

**FACULTE UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux
COMMUNAUTE FRANÇAISE DE BELGIQUE**

=====
U.E.R. DE ZOOTECHNIE

**Gestion intégrée des ressources fourragères
naturelles et de l'élevage bovin dans la savane
guinéenne de basse altitude**

Lecomte Philippe

Dissertation originale présentée en vue
de l'obtention du grade de docteur en
sciences agronomiques

Promoteurs: Professeur Honoraire R. Compère
 Professeur A. Théwis

VT 075220
BA-TH 112

FACULTE UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux
COMMUNAUTE FRANÇAISE DE BELGIQUE

=====
U.E.R. DE ZOOTECHNIE

**Gestion intégrée des ressources fourragères
naturelles et de l'élevage bovin dans la savane
guinéenne de basse altitude**

Lecomte Philippe

Dissertation originale présentée en vue
de l'obtention du grade de docteur en
sciences agronomiques

Promoteurs: Professeur Honoraire R. Compère
Professeur A. Théwis

- 1995 -



* TH02361 *

Copyright

Aux termes de la loi Belge du 22 mars 1886 sur le droit d'auteur, seul l'auteur a le droit de reproduire cet ouvrage ou d'en autoriser la reproduction de quelque manière et sous quelque forme que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous une autre forme est donc faite en violation de la loi.

Lecomte Ph. (1995). Gestion intégrée des ressources fourragères naturelles et de l'élevage bovin dans la savane guinéenne de basse altitude. (thèse de doctorat) Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques. 130 tableaux, 101 figures, 317 p. + annexes.

Résumé

Dans les élevages bovins extensifs en savane de la zone guinéenne de basse altitude, la méconnaissance ou la mauvaise appréciation de la capacité de charge des formations végétales perturbe l'équilibre naturel de la végétation. Pour garantir la capacité de production, l'aménagement équilibré du territoire et l'élaboration d'indicateurs de suivi de la gestion sont indispensables. Face à l'ensemble des facteurs de variation spatio-temporelle de la capacité de charge et de façon plus générale face à la taille des espaces et des effectifs de bétail à gérer, l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) présente un intérêt incontestable.

L'étude de deux cas d'élevage en ranching, l'un au Togo, l'autre au Zaïre, aboutit à proposer l'intégration, dans un SIG, d'un ensemble d'indicateurs de terrain mis au point dans la savane typique de la zone considérée. Ceux-ci tiennent compte, au long des saisons, tant du climat, du milieu naturel, de la productivité et de la qualité alimentaire de la végétation et des risques de sa dégradation, que de la croissance du bétail adapté à ce milieu et aux conditions alimentaires que celui-ci lui offre.

Pour conclure, une approche du bilan alimentaire saisonnier de différentes végétations et la description d'un schéma conceptuel intégrant les données et indicateurs de terrain dans un système d'information géographique montrent l'intérêt et la pertinence d'une démarche d'ensemble aboutissant à une gestion raisonnée de l'espace et des systèmes d'élevage en zone guinéenne.

Lecomte Ph. (1995). Integrated management of natural forage resources and cattle rearing in the Guinean low altitude savanna. (thèse de doctorat)
Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques. 130 tables, 101 figures, 317 p. + annexes.

Abstract

In extensive cattle rearing in the Guinean low altitude savanna, poor knowledge or appreciation of the plant communities, disturbs the natural equilibrium of vegetation. A carefully designed land management programme and the establishment of indicators to monitor any changes are crucial for ensuring production capacity. Given the fluctuations in carrying capacities over time and space, the sheer size of the grazing areas and the amount of livestock, a Geographic Information System (GIS) is undoubtedly an invaluable tool.

The study of two ranch type stock farms, one in Togo, the other in Zaïre, suggests the integration into a GIS of a set of field indicators defined for a typical savanna of the area in question.

These indicators take into account throughout the seasons, data on the climate, the natural environment, the productivity and the nutritional value of vegetation and the risk of its degradation, as well as the growth of cattle adapted to the environment and the prevailing feeding conditions.

To conclude this research, a tentative seasonal feed balance sheet presented for different types of vegetation and a plan integrating data and field indicators into a Geographic Information System stress the interest and relevance of a global process towards a rational management of space and rearing methods in the Guinean zone.

A Robert Lecomte
mon père.

*Hommage à celui qui aimait et connaissait la
terre, et s'amusait à la faire tourner.*

*Hommage à celui qui curieux de tout et sachant
beaucoup, n'impose rien et écoute toujours.*

B. Delvigne, 29-11-94.

*Tu ne vas quand même pas passer ta vie
dans l'adoration d'un brin d'herbe me
disait celui qui passait sa vie dans
l'adoration du monde où rien ne pousse,
pas même un brin d'herbe.*

Christian Bobin, 1993.

Préambule

La dissertation a pour objet l'amélioration de la perception, de la gestion et de l'utilisation de l'espace par les bovins dans les élevages extensifs implantés en savane périforestière de la zone guinéenne de l'Afrique. L'étude s'inscrit pour l'auteur dans le prolongement d'une période de douze années d'activités de terrain, portant sur l'étude et la réalisation de projets d'élevage, en ranching, ou en milieu villageois.

En droit coutumier africain, la sagesse Kongo rappelle que:

Ndòzi'a ntwādi lòtila kumòsi, sikamèna mpe kumòsi

"Le songe commun, on le rêve ensemble, on s'en réveille ensemble aussi."

Ce proverbe judiciaire (Ryckmans et Mwelanzambi-Bakwa, 1992) s'applique au cas d'un élevage en commun; il illustre de façon plus générale la notion de partage équitable qui doit succéder à une activité réalisée ensemble. S'il me revient d'avoir compilé et assemblé les éléments de cette thèse, il importe avant toutes choses de rappeler ici que le travail aura été le fruit d'une collaboration étroite entre des personnes, des institutions, des organismes ou sociétés qui, en mettant à disposition leurs compétences, leurs moyens analytiques ou les données dont ils disposaient auront contribué à l'étude d'un système de production intéressant par l'exemple qu'il constitue en matière de gestion de ressources naturelles.

Promoteur de cette thèse, le Professeur honoraire Roger Compère a plus que largement contribué à la formation et à la réputation des zootechniciens de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. L'intérêt qu'il porte aux grands espaces et à l'élevage en milieu tropical, l'ont conduit à développer et à partager une expérience peu commune sur le milieu et les systèmes d'élevage de ces régions. Je lui dois mes premiers pas sur le continent africain et de mémorables souvenirs dans la forêt des abeilles (Gabon). L'initiation de cette étude et son soutien constant ainsi que ses commentaires attentifs auront été déterminants. Puisse-t-il trouver dans ce travail un témoignage de profonde reconnaissance tant affective que scientifique.

Lui-même et son équipe ont rapporté du ranch de l'Adélé (Togo) les données qui serviront ici à caractériser, sur un exemple complexe, le milieu savanique guinéen, ainsi que la productivité et la valeur alimentaire des repousses exploitables par le bétail. Ce ranch d'élevage, objet d'un financement commun de la part du Gouvernement togolais et du Fonds Européen de Développement,

nécessitait une étude complémentaire en vue d'améliorer sur un plan pratique la gestion quotidienne et le système d'exploitation du pâturage. L'étude a été réalisée par le bureau d'étude AFC (Bonn) et l'UER de Zootechnie de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.

N'eut été un départ vers d'autres horizons, Philippe Hellemans aurait probablement lui-même réalisé un travail de thèse au départ des éléments de terrain dont il a coordonné la collecte et à laquelle ont activement participé: d'une part, Florence Gernez lors de son mémoire de fin d'étude à la Faculté, d'autre part Marcello Tommassini, Folli Messan et le personnel du ranch. Puisse chacun d'entre eux trouver ici la reconnaissance et la valorisation du temps et de l'énergie qu'ils ont consacrés à surmonter les nombreuses difficultés de terrain.

Connue pour son expérience en matière de gestion de ranches et de projets d'élevage en Afrique, la compagnie Jules Van Lancker a également contribué largement à ce travail. Les années passées au service de cette entreprise auront été pour moi l'occasion d'une initiation technique et de découvertes humaines particulièrement passionnantes. Mes remerciements s'adressent tout particulièrement à Monsieur Jean Van Lancker pour son soutien au cours de ces années, pour l'accès aux données concernant le ranch et le bétail Ndama de Kolo (Zaïre) et pour l'acceptation de participer au jury de cette thèse.

Parmi le personnel de la JVL et dans l'optique de ce travail, je tiens également à remercier Jean François Renard, Pol Frère, Charles Mégas et André Beusaert pour les nombreuses heures d'échange et l'ouverture qu'ils m'ont apportée quant au milieu, à la technique d'élevage et aux gens de la région.

De même au delà de la réflexion technique et scientifique, parcequ'ils m'ont fait partager une part de la culture bantoue et qu'ils ont contribué à renforcer ma conviction quant à l'importance de la dimension humaine dans la compréhension de tout système agricole, je remercie collégalement les amis africains qu'il m'a été donné de côtoyer. Dans le cadre plus spécifique de l'étude, l'hommage s'adresse particulièrement à Samuel Chabi (Bénin) lequel, lors de son séjour à la Faculté, a contribué pour une grande part à l'étude de la dégradabilité *in sacco* des fourrages de savane. Sa rigueur dans le travail et nos réflexions philosophiques, au bord du rumen, sur la place d'Allah dans la Science me laissent un souvenir particulièrement vivace.

Les développements effectués dans le domaine de la valeur alimentaire des fourrages ont pu en grande partie être réalisés grâce aux compétences et à l'équipement analytique de la Station de Haute Belgique. Puisse Robert Biston, Directeur du Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux auquel j'appartiens, trouver ici une juste rétribution aux efforts que lui-même et le personnel de la station ont consenti et au soutien apporté tout au long du travail.

Co-promoteur de ce travail le Professeur André Théwis responsable de l'UER de zootechnie et André Buldgen ont tout au long de l'étude abondamment commenté les différentes étapes et l'orientation des recherches. Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma reconnaissance à chacun d'eux ainsi qu'à tout le personnel de l'unité, pour l'étroite collaboration et l'accueil chaleureux qu'ils ont manifestés.

J'exprime également toute ma gratitude à Monsieur Alain Xandé responsable du Centre de Recherches Zootechniques de Petit-Bourg (INRA-Guadeloupe), pour tout l'intérêt et la collaboration qu'il a manifesté en cours de travail, ainsi que pour avoir accepté de participer au jury.

Je remercie enfin vivement Monsieur Claude Deroanne, Recteur de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. De même, je remercie Jean Pierre Baudoin et André Buldgen tous deux rapporteurs, Rudy Palm, Jacques François et Philippe Drèze, pour les conseils et les remarques constructives qu'ils ont prodiguées dans l'encadrement et la finalisation de cette thèse.

Je m'en voudrais de ne pas exprimer mes sentiments à l'égard de tous ceux qui par leurs talents particuliers ont grandement contribué à la réalisation de ce travail. Les prestations de chacun d'entre eux se sont orchestrées de la manière suivante:

Jacques François a assuré l'ambiance avec, aux thermomètres sec et humide, les chefs de gare de Sotouboua et Anié-Mono. Au Togo, ce sont eux qui quotidiennement ont pris en charge la collecte des données climatiques qui devront servir à l'estimation de l'évapotranspiration locale. Au clavier Jean Herman a encodé ces nombreuses données.

Richard Agneessens a coordonné les multiples traitements qu'il est nécessaire de faire subir à l'échantillon pour en déterminer la valeur alimentaire avec, au Kjeltéc, Georges Glesner; au Fibertec, Ferdinand Henneau; à la cellulase, Véronique Labbé; au four, Anne Devos; à la bombe Anne Mouteau; au CHN, Patricia Destrée et au jus de rumen la Station RVP du Centrum voor Landbouw Onderzoek de Gand.

Samuel Chabi, Yves Beckers et Mohamed Kamoun ont maîtrisé les cinétiques de dégradabilité ruminale des fourrages, ils se sont relayés au perfuseur, aux sachets, à la fistule, à l'essoreuse, à l'étuve, à la balance et à la modélisation. Sous leur férule, Apollon et ses deux boeufs-frères ont généreusement mis à disposition leur large rumen.

L'éclairage en proche infrarouge a été régi en PLS par Pierre Dardenne avec, à la coupelle, Denis Mahin et au spectro, Claudine Clément et Bernard Lecler.

Virtuosos de la table à digitaliser, du polygone, du pixel, du raster et de la couleur, Philippe Hellemans, André Buldgen, Fabio Berti et Christian Poncelet ont numérisé l'information géographique.

L'interprétation à quatre mains des trois premières composantes sur les variables centrées-réduites a pu être exécutée grâce à l'expertise et aux conseils avisés de Rudy Palm et de Robert Oger.

L'harmonie des accords et le respect des hémistiches doit beaucoup à la sagacité de Roger Compère, Isabelle Patout et Pierre Limbourg.

En coulisse enfin, Thomas, Julien, Charlotte, Jeremy et Agathe ont assuré la logistique et l'humeur au quotidien. Puissent-t-ils trouver à la page 317 le soulagement d'un point final et l'encouragement à solliciter sans remords un père et un mari profondément reconnaissant du respect qu'ils ont témoigné et des efforts qu'ils ont consentis au cours de la réalisation de cette thèse.

Table des matières

Introduction	1
1^{ère} Partie : La végétation et l'élevage en région guinéenne	
I Le milieu tropical humide de basse altitude	
1. Situation, relief et hydrographie	7
2. Climat	8
2.1. Les saisons	8
2.2. Pluviosité	9
2.3. Insolation et températures	10
2.4. Humidité relative et évapotranspiration	10
3. Géologie	10
4. Les sols	11
5. Population et agriculture	13
II. La végétation en zone tropicale humide	16
1. Description de la végétation	16
1.1. Types de végétation	16
1.2. Zones forestières et savanicoles	17
1.3. Structure et types physiologiques des savanes	18
1.4. Morphologie et adaptation de la végétation	20
1.5. Incidence des facteurs biotiques	22
2. Associations végétales des savanes guinéennes	25
2.1. Caractérisation botanique	25
2.2. Séquences de végétation	26
3. Productivité et valeur alimentaire des fourrages de savane	29
3.1. Productivité de la végétation naturelle en savane	29
3.2. Valeur alimentaire de la végétation	35
4. L'écosystème savanicole	41
4.1. Equilibre et changements de végétation	41
4.2. Transferts dans l'écosystème savanicole	43
III. Utilisation pastorale de la savane en région guinéenne	
1. Généralités.	46
1.1. Historique et types d'élevage.	46
1.2. Le bétail	48
1.3. Production bovine en Afrique centrale et de l'Ouest	53
2. Le système d'élevage en ranching	57
2.1. Organisation du bétail dans un ranch d'élevage	57
2.2. Infrastructures et parcellaire d'un ranch	59
2.3. Utilisation rationnelle du feu	60
3. Intérêt de l'utilisation d'un système d'information géographique dans la gestion d'un périmètre d'élevage	65

2^{ème} Partie : Les savanes guinéennes du ranch de l'Adélé (Togo)
I. Le milieu régional de l'Adélé

1. Situation géographique	70
2. Géologie, géomorphologie et hydrographie	70
3. Climat régional	72

II. Méthodologies

1. Etude du climat	75
1.1. Pluviosité	75
1.2. Température et humidité relative	75
1.3. Evapotranspiration potentielle	76
1.4. Evapotranspiration réelle	76
2. Prospection des sols et de la végétation	78
2.1. Composition botanique	79
2.2. Dégradation du couvert végétal	80
2.3. Structure de la végétation	81
2.4. Etude des sols	81
3. Traitement de l'information géographique	82
3.1. Traitement des données	82
4. Analyses multivariées	84
4.1. Analyses en composantes principales	84
4.2. Classification des stations	85
5. Mesures de production	87
5.1. Mesures de biomasse	87
5.2. Repousse de la végétation	88
6. Etude de la valeur alimentaire des fourrages	89
6.1. Méthodes d'analyse classiques et spectrométrie proche infrarouge	90
6.2. Etablissement des valeurs alimentaires	94
6.3. Dégradabilité ruminale des fourrages de savane	101

III. Le climat, les sols et la végétation du ranch de l'Adélé

1. Le climat du ranch	105
1.1. Pluviosité (1984 -1991)	105
1.2. Température, humidité relative et évapotranspiration potentielle	107
2. Les sols du ranch de l'Adélé	109
2.1. Description générale	109
2.2. Texture des sols	114
2.3. Caractéristiques physico-chimiques des sols	115
3. Formations végétales pâturées	119
3.1. Structure de la végétation	119
3.2. Types de végétation	120
3.3. Dégradation des pâturages	124
4. Traitement de l'information géographique	126
4.1. Cartographie de la végétation du ranch de l'Adélé	126
4.2. Cartographie de l'infrastructure et du parcellaire du ranch de l'Adélé	127
4.3. Croisement de l'information géographique	131

5. Analyse multivariée des facteurs sol et végétation	134
5.1. Analyse en composantes principales des données pédologiques	134
5.2. Analyse en composantes appliquée aux variables phytosociologiques	138
5.3. Synthèse des facteurs sol et composition botanique	143
5.4. Analyse en composantes de la structure de la végétation	147
5.5. Classement des stations	150
IV. Productivité des pâturages naturels de l'Adélé	
1. Introduction	154
2. Production potentielle de fourrage	154
2.1. Biomasses herbacées vivantes de fin de saison pluvieuse	154
2.2. Evolution des biomasses en relation avec la dégradation	156
2.3. Croissance normale de la végétation	157
2.4. Indicateurs de la biomasse présente	160
3. Variations de la croissance journalière de la repousse	162
3.1. Description générale	162
3.2. Relations entre la production de repousses et la pluviosité	167
3.3. Relations entre la production de repousse et l'évapotranspiration	175
V. Valeur alimentaire des parcours naturels de l'Adélé	
1. Introduction	181
2. Résultats obtenus par les différentes méthodes d'analyse	181
2.1. Analyses de référence	181
2.2. Relations entre l'énergie brute et les teneurs en carbone, hydrogène et azote élémentaires.	182
2.3. Relations entre les méthodes d'estimation <i>in vitro</i>	183
2.4. Caractérisation des modèles de prédiction en spectrométrie dans le proche infrarouge	184
3. Variations de la valeur alimentaire du fourrage	187
3.1. Caractérisation générale des paramètres de la valeur alimentaire	187
3.2. Evolution de la valeur alimentaire selon l'âge de la repousse	198
3.3. Variations saisonnières de la qualité des repousses	200
4. Dégradabilité ruminale des constituants de l'herbe	214
4.1. Caractérisation des échantillons et des cinétiques de dégradabilité mesurées <i>in sacco</i> .	214
4.2. Dégradabilité de la matière azotée corrigée de la contamination bactérienne	217
4.3. Dégradabilité théorique des constituants	220
4.4. Intérêt de l'utilisation de la SPIR dans les mesures de la dégradabilité <i>in sacco</i>	225

3^{ème} partie : Eléments pour une gestion intégrée de l'élevage en savane guinéenne

I. Méthodologies

1. Données collectées au ranch de Kolo	233
1.1. Caractérisation de la fécondité	234
1.2. Caractérisation de l'évolution pondérale des animaux	234
2. Calcul des effectifs théoriques dans un ranch d'élevage	235
2.1. Paramètres du modèle	236
2.2. Calculs des effectifs	237
3. Calcul de la charge en bétail et de la capacité d'ingestion des animaux	239
4. Etablissement d'un bilan relatif à la situation agrostologique de la parcelle	241

II. Quelques paramètres zootecniques observés sur le bétail Ndama au ranch de Kolo (Bas-Zaïre)

1. Présentation succincte de la région	246
1.1. Localisation	246
1.2. Climat	247
1.3. Végétation	247
2. Fécondité des reproductrices	247
2.1. Sources de variation	247
2.2. Evolution du taux de fécondité et de la répartition des naissances selon l'âge des reproductrices	249
3. Croissance pondérale des animaux	251
3.1. Croissance des veaux	251
3.2. Evolution comparée des poids des taureaux et boeufs	253
3.3. Evolution du poids des boeufs âgés de 12 à 42 mois - Incidence de la période de mesure	256

III Effectifs et charges en bétail dans un ranch

1. Répartition des effectifs	267
2. Charges et capacités d'ingestion par catégories et classes d'âge	270
2.1. Troupeaux de reproduction	270
2.2. Charges par classe d'âge pour les animaux en croissance	272
3. Capacité de charge d'un pâturage	272
4. Exemple de superficies à mettre en oeuvre	274
5. Bilan appliqué à la situation agrostologique de la parcelle	277

IV. Intégration des données en vue de la gestion d'un élevage extensif

1. Etablissement d'un parcellaire équilibré	277
2. Schéma d'une gestion intégrée de l'espace et des animaux	280
4. Exemples appliqués au ranch de l'Adélé	283

Synthèse et Conclusions

Bibliographie

Liste des tableaux et figures

Annexes

Liste des abréviations

A	Fraction granulométrique argileuse d'un sol	%
a	Fraction soluble immédiatement dégradée	% constituant
AAa	Acides aminés d'origine alimentaire	
AAm	Acides aminés d'origine microbienne	
ACP	Analyse en composantes principales	
ADF	Acid detergent fiber (selon Van Soest)	%MS
ADL	Acid detergent lignin (selon Van Soest)	%MS
AE	Acidité d'échange	méq/100g de sol
Asc	<i>Andropogon schirensis</i>	
b	Fraction potentiellement dégradable	% constituant
Bé	Savane arbustive à herbeuse sur éboulis de cuirasse	
Bo	Savane arborée sur bowal	
Bv	Savane arborée de bas de versant et de bas-fond	
bvol	Biovolume (hauteur en cm x recouvrement en %)/100	
C	Carbone (élément)	%MS
c	Vitesse de dégradation	%/heure
C/N	Rapport entre le carbone et l'azote élémentaires de la matière sèche	
casedMO	Digestibilité cellulase de la matière organique	%MO
CB	Cellulose brute (selon Weende)	%MS
CBo	Cellulose brute dans la matière organique	g/kg MO
CC	Capacité de charge d'une surface de pâturage	ha/tête
CCi	Capacité de charge d'une formation végétale à l'intérieur d'un pâturage	ha/tête
CEC	Capacité d'échange cationique	méq
CI	Capacité d'ingestion	kg MS/kg P ^{0,75}
CT	Cendres totales	%MS
Cte	<i>Ctenium elegans</i>	
dE	Digestibilité de l'énergie	
dl	nombre de degrés de liberté	
Dicot	Dicotylées herbacées	
dMO	Digestibilité de la matière organique	%MO
dr _a	Digestibilité réelle des acides aminés de l'aliment	
DT	Dégradabilité théorique de l'azote de la matière sèche de l'aliment	%
EA	Energie amidon, unité de valeur alimentaire	/kg MS
e'a	Tension de vapeur actuelle	mb
Ea	Tension de vapeur saturante à la température de l'air	mb
EB	Energie brute	Mjoules/kgMS
ED	Energie digestible	Mjoules/kgMS
EG	Élément grossier dans la granulométrie d'un sol	%
EM	Energie métabolisable	Mjoules/kgMS
EN	Energie nette	Mjoules/kgMS
ENA	Extractif non azoté	%MS
ENL	Energie nette pour l'entretien et la lactation	Mjoules/kg MS
ENV	Energie nette pour l'entretien et la production	Mjoules/kg MS
ETM	Evapotranspiration maximale	mm d'eau
ETP	Evapotranspiration potentielle	mm d'eau
ETR	Evapotranspiration réelle	mm d'eau
ETR ₁₅₀	Evapotranspiration réelle calculée pour une réserve utile de 150 mm	mm d'eau
F	Valeur observée d'une variable F de Snedecor	
Fc SMB	Forêt claire sur sols minéraux bruts	

Fd	Facteur de dégradation	
Fo	Forêt dense	
Fu	Facteur d'utilisation	
Ga	Reliques boisées et galeries forestières	
Gn	Gneiss	
GraViv	Graminées vivaces	
H	Hydrogène (élément)	%MS
Hdi	<i>Hyparrhenia diplandra</i>	
HR	Humidité relative de l'air	%
Hsm	<i>Hyparrhenia smithiana</i>	
ID	Indice de dégradation	
ING ₁₅₀	Quantité de MS ingestible par un bovin de 150 kg	
kl	Rendement de la transformation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour la lactation	
kmf	Rendement de la transformation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour l'entretien et l'engraissement	
L	Fraction granulométrique limoneuse d'un sol	%
L < 5m	Ligneux inférieurs à 5 m	
L > 5m	Ligneux supérieurs à 5 mètres	
Lar	<i>Loudetia arundinacea</i>	
Lsi	<i>Loudetia simplex</i>	
MAD	Matières azotées digestibles	% MS
MAT	Matières azotées totales	%MS
MATo	Matières azotées totales dans la matière organique	g/kg MO
még	milliéquivalent	
MGB	Matière grasse brute	%MS
Mo	Mosaïque de végétations sols profonds-sols superficiels	
MO	Matière organique	
MOD	Matière organique digestible	en g/kgMS
MOF	Matière organique fermentescible	
MS	Matière sèche	
Ms	Micaschistes	
MSa	Matière sèche analytique	%
N	Azote (élément)	%MS
n	Effectif ou nombre d'individus d'une population	
NA	Niveau d'alimentation g de MOD ingérée par kg P ^{0,75} /23	
NDF	Neutral detergent fiber (selon Van Soest)	%MS
Nmi	Azote microbien	
p	Probabilité associée à un F observé	
P	Fraction de matière dégradée au temps t	% constituant
p ^{0,75}	Poids métabolique	kg
PDI	Protéines digestibles dans l'intestin	g/kgMS
PDIA	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire	
PDIE	Protéines digestibles dans l'intestin selon l'énergie	
PDI _{ing}	Quantité de PDI ingérée par l'animal selon l'ingestibilité de l'aliment	/jour
PDIMe	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne selon l'énergie	
PDIMn	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne selon l'azote	
PDIN	Protéines digestibles dans l'intestin selon l'azote	
Pi	Production instantannée d'un pâturage	kg MS/jour
PLS	Régression au sens des carrés partiels (Partial least squares)	
Pph	<i>Panicum phragmitoides</i>	
PV	Poids vif	kg

q	Rapport entre l'énergie métabolisable et l'énergie brute	
Qib	Quantité de matière sèche par kg de poids métabolique ingérée par un bovin	g MS/kg P ^{0,75}
Qim	Quantité de matière sèche par kg de poids métabolique ingérée par un mouton	g MS/kg P ^{0,75}
Qz	Quartzites	
r	Coefficient de corrélation	
r ²	Coefficient de détermination	
R _c ²	Coefficient de détermination en calibration (SPIR)	
R _{cv} ²	Coefficient de détermination en validation croisée (SPIR)	
Rb	Bilan radiatif	
Rn	Rayonnement net	joules/cm ² /j
RU	Réserve utile en eau du sol	
RUr	Rapport entre la réserve utile actuelle et la réserve utile à pleine capacité	
s	Ecart-type de répétabilité d'une mesure	
S	Fraction granulométrique sableuse d'un sol	%
S6d	Somme de pluviosité calculée sur les 6 dernières décades précédant la mesure	mm
S6d2	Somme de pluviosité calculée sur les 6 dernières décades 20 jours avant la mesure	mm
SA	Savane arborée	
Sa	Savane arbustive	
SBgl	Sol brun de glaci	
SBRtr	Sol brun rouge de transition	
SBsup	Sol brun superficiel	
SEc	Ecart-type résiduel de calibration (SPIR)	
SEcv	Ecart-type résiduel en validation croisée (SPIR)	
Ser	<i>Setaria restioides</i>	
Sk	Schistes de Kanté	
SMB	Sol minéral brut	
SP ou sp	Saison de pluies	
SPIR	Spectrométrie dans le proche infrarouge	
SRAp	Sol rouge argileux profond	
SS ou ss	Saison sèche	
Ssa	<i>Schyzachirium sanguineum</i>	
Ssq	Sol squelettique	
SubL	Subligneux	
s _{y,x}	Ecart-type résiduel de la régression	
T	Somme des bases échangeables à pH7	méq/100g de sol
t°max	Température maximale	°C
t°min	Température minimale	°C
t°moy	Température moyenne	°C
ttMS	Digestibilité in vitro de la matière sèche (selon Tilley et Terry)	%MS
UBT	Unité de bétail tropical (bovin de 250 kg PV)	
UF	Unité Fourragère (France, avant 1978)	/kg MS
UFL	Unité Fourragère Lait (France, 1978, 1988)	/kg MS
UFLing	Quantité d'UFL ingérée par l'animal selon l'ingestibilité de l'aliment	/jour
UFV	Unité fourragère viande (France depuis 1988)	/kg MS
V	Coefficient de variation	%

Introduction

La zone de climat guinéen (Aubréville, 1949) s'étend de part et d'autre de l'Equateur, dans le Centre et l'Ouest du continent Africain. Elle est en partie occupée par la forêt tropicale humide. En bordure de cette dernière coexiste un complexe de forêts et de savanes péreforestières qui s'est installé au cours des temps et évolue en fonction de conditions édaphiques et biotiques locales.

Les savanes guinéennes de l'Afrique couvrent au total près de 60 millions d'hectares. Ces étendues sont colonisées par un couvert mixte de plantes herbacées et ligneuses en proportions variables contrôlé par les feux périodiques qui participent de manière prédominante à la réalisation d'un équilibre subclimacique existant depuis de nombreux millénaires. Les cycles de la végétation sont rythmés par l'alternance des saisons sèches et pluvieuses et les biomasses herbacées annuellement produites oscillent, selon les conditions écologiques, entre 3 et 12 tonnes de matière sèche par hectare.

La population de cette partie de l'Afrique atteint en 1995 plus de 200 millions d'habitants. Pour l'ensemble des pays de la zone, les disponibilités en protéines animales se situent actuellement à une valeur moyenne de 3,5 kg par habitant et par an. Une part relativement importante de cette consommation, 3 à 20 % selon les pays, est couverte par des importations (FAO, 1993).

Dans ces régions, les repousses après passage des feux saisonniers ont de tout temps constitué un potentiel fourrager important. Jusqu'il y a peu, ce potentiel n'était que très partiellement valorisé par la faune sauvage. Cette dernière a vu ses effectifs diminuer d'année en année, en raison d'une exploitation non réglementée laissant de vastes espaces libres d'occupation.

L'utilisation des savanes guinéennes à des fins d'élevage est restée longtemps limitée par les affections parasitaires. En particulier, la présence endémique de glossines, vecteurs de trypanosomoses, a limité au cours de l'histoire les migrations d'éleveurs et l'implantation de l'élevage à l'intérieur des bordures de ce que l'on nomme couramment le "Fly Belt" (ceinture glossinaire). Au début du siècle, les diverses tentatives d'introduction de bétail ont permis avec succès l'installation de premiers troupeaux composés de races dites "trypanotolérantes" dont la plus représentative est la race Ndama. Les activités d'élevage se sont

fortement développées au cours des 40 dernières années et la zone comporte actuellement un total de 26 millions de bovins.

Les systèmes d'élevage ont généralement un caractère extensif ou extensif amélioré. Dans les systèmes industriels dits de "ranching", la gestion technique quotidienne est relativement simple. Elle est toutefois fort difficile à conduire, compte tenu de la taille de l'exploitation (20.000 à 350.000 ha), de la variabilité spatio-temporelle du potentiel fourrager et du grand nombre de troupeaux. En système villageois, les problèmes deviennent encore plus complexes car ils se posent à l'échelle de régions entières dans lesquelles de nombreux élevages de petites dimensions colonisent l'espace le plus souvent de façon anarchique.

Dans ces systèmes d'élevage, la productivité et la valeur alimentaire de l'herbe conditionnent fortement le niveau des performances animales. Ces deux éléments clés de la rentabilité sont soumis à de nombreux facteurs de variation spatio-temporelle. La production d'herbe fluctue sous l'influence du type de sol, de la topographie, du recouvrement ligneux, des exploitations successives du pâturage et de l'avancée de la saison sèche (Compère *et al.*, 1993; César, 1992; Renard et Compère, 1980). La valeur alimentaire des parcours est, quant à elle, fonction de la composition floristique du pâturage, du rythme d'exploitation et de la saison.

Les variations saisonnières de la production herbacée impliquent l'utilisation de modèles d'exploitation basés sur le chargement alternatif de différentes parcelles au cours de l'année. Le maintien de repousses d'herbe de qualité tout au long de l'année exige une préparation des parcours par des feux échelonnés dans le temps. La mise en repos périodique d'une partie de la superficie pastorale est indispensable pour préserver la dégradation des parcours.

D'un point de vue plus général et à long terme, l'exploitation des savanes périforestières par le bétail perturbe nécessairement le fragile équilibre établi au cours du temps. Elle peut entraîner rapidement une profonde modification de la structure de la végétation, de la composition floristique, de la productivité et de la valeur alimentaire des parcours. Les causes de cette dégradation, qui provoque une baisse des performances animales, résident surtout dans la surexploitation localisée des pâturages et l'incapacité d'utiliser rationnellement les parcours dans l'espace et dans le temps. Le plus souvent, ces carences résultent d'erreurs commises dans la conception des modèles d'exploitation. La méconnaissance ou la mauvaise appréciation de la capacité de charge des formations végétales est fréquente. L'absence de carte agrostologique et de carte précise du parcellaire ne permet pas une estimation correcte des surfaces et de leur potentiel fourrager. La division du territoire est fréquemment réalisée en parcelles de capacité de charge inégale et conduit à une mauvaise répartition du cheptel dans l'espace.

Ce type de situation prévaut malheureusement dans un nombre croissant de savanes présentes en climats équatorial et subéquatorial de l'Afrique où l'élevage se développe sans planification.

Des études telles que celles menées par Compère *et al.* (1993), César (1992), Renard (1991), deWispelaere (1987), ont largement démontré qu'en l'absence d'encadrement technique des éleveurs et de règles strictes de gestion de l'espace, on aboutit, et ce tout particulièrement dans les systèmes paysans, à une faible productivité du cheptel et à une dégradation systématique et permanente de l'espace pastoral.

Afin d'enrayer les phénomènes de dégradation du couvert végétal et de restaurer l'équilibre entre la pression animale et les disponibilités fourragères, l'aménagement ou le réaménagement du territoire et l'élaboration de règles de gestion adéquates sont indispensables. Pour ce faire, des outils de gestion appropriés doivent être disponibles, non seulement pour préserver le milieu, mais également pour accroître et garantir la capacité de production de ces régions.

L'implantation d'exploitations de type industriel ou paysan dans les zones savaniques ne sera en effet durable que si elle est fondée sur une connaissance suffisante de la dynamique de production de l'herbage dans l'espace et dans le temps. La gestion quotidienne des parcours aura dès lors pour souci constant d'adapter l'abondance des repousses et leur qualité aux besoins des troupeaux tout en préservant l'équilibre de l'écosystème.

En ce qui concerne les savanes de la zone guinéenne, les connaissances dans le domaine de l'élaboration de tels outils sont cependant limitées. De nombreux travaux ont été spécifiquement consacrés à l'étude des sols ou de la composition botanique ou encore à l'analyse de paramètres zootechniques mesurés en station de recherche ou sur de faibles effectifs en milieu paysan. La valeur alimentaire des parcours naturels est encore peu connue; la grande majorité des travaux concerne des espèces fourragères cultivées et étudiées en station. Rares sont les recherches qui s'orientent vers une compréhension de l'influence des facteurs du milieu sur la production ou vers la mise au point d'indicateurs de gestion utilisables en pratique.

Pour résoudre la problématique décrite ci-dessus, face à autant de facteurs de variation dans l'espace et dans le temps, et de façon plus générale face à la taille de l'espace à gérer, l'utilisation de Systèmes d'Information Géographique (GIS) présente un intérêt incontestable. Dans ces systèmes, l'utilisation de couches d'information spatiale agissant en interaction et l'estimation d'effets cumulatifs

sont de première importance (Buldgen *et al.*, 1994). A ceci s'ajoutent les nombreuses possibilités offertes par les GIS pour percevoir l'espace dans sa globalité, pour identifier les aires d'intérêt particulier et définir des stratégies rationnelles d'occupation du territoire.

Notre propos ne sera pas de discuter toutes les potentialités offertes par les GIS ni de les valider, mais plus en amont de décrire en s'attachant à des exemples particuliers, les composantes de l'écosystème dans ses relations sol - plante - animal et les indicateurs susceptibles d'être intégrés dans cette technique pour aider le gestionnaire de terrain à concevoir et contrôler l'utilisation très complexe des ressources pastorales en zone tropicale humide.

Le travail est structuré en trois parties:

1/

La première décrit les notions les plus importantes et les connaissances actuelles concernant le milieu édapho-climatique, la végétation, les potentialités en matière d'élevage et l'équilibre précaire de l'écosystème savanicole périforestier.

2/

En exploitant l'ensemble des données agronomiques collectées dans un élevage typique de la zone guinéenne, le ranch de l'Adélé au Togo, la seconde partie présente un exemple d'analyse et de synthèse des facteurs du milieu, de la productivité et de la qualité alimentaire de la végétation d'une savane naturelle.

Elle caractérise tout d'abord le milieu particulièrement complexe de ce ranch sous l'angle du climat, des sols et des formations végétales pâturées. Elle décrit ensuite la végétation et les infrastructures de façon spatiale en recourant à un système de numérisation de l'information géographique.

L'analyse multivariée des variables sol et végétation établit, pour cet exemple, une synthèse des relations que l'on peut observer entre ces deux composantes du milieu. Elle permet par ailleurs de concevoir des regroupements logiques à l'intérieur de l'ensemble des stations de mesure choisies sur le terrain.

Les productions d'herbe mesurées tout au long d'une année dans ces différentes stations sont ensuite mises en relation avec les éléments du climat pour ébaucher des modèles permettant une prédiction des variations de croissance de la végétation naturelle au cours des saisons.

Enfin, le recours à des techniques actuelles telles que la spectrométrie dans le proche infrarouge et la dégradabilité *in sacco* sont mises en oeuvre pour permettre l'analyse de la composition chimique et la détermination des valeurs énergétiques et azotées exprimées dans un système standard réactualisé.

La démarche aboutit à une meilleure connaissance de la valeur alimentaire des fourrages de savane et situe les fluctuations saisonnières de la qualité des herbages. Par ailleurs, les développements effectués en associant la spectrométrie dans le proche infrarouge à la technique *in sacco* permettront de préciser les valeurs de dégradabilité ruminale de l'azote des fourrages de savane, élément essentiel pour le calcul de la valeur azotée.

3/

La troisième partie traite plus spécifiquement des aspects zootechniques de l'élevage extensif en savane et de l'intégration des différents niveaux d'information qui auront été décrits en vue d'améliorer la gestion de l'élevage extensif en région guinéenne. En exploitant les comptabilités de troupeaux et les mesures pondérales recueillies dans l'élevage industriel de Kolo, propriété de la Compagnie Jules Van Lancker (Zaïre), l'étude s'attache à décrire plus particulièrement la fécondité et la croissance du bétail Ndama, élevé en ranching.

Ces observations permettent ensuite de décrire et de chiffrer les coefficients de charge que l'on peut attribuer aux différentes catégories et classes d'animaux composant les troupeaux.

Pour établir un exemple d'effectifs de bétail présents dans un ranch, l'étude présente un modèle statique simple permettant de simuler les charges animales en fonction des paramètres biologiques du troupeau ainsi qu'une approche du bilan alimentaire saisonnier des différents types de végétation.

Pour conclure, un modèle conceptuel intégrant les données de terrain dans un système d'information géographique démontre l'intérêt et la pertinence de la démarche proposée en vue de la gestion raisonnée de l'espace et des systèmes d'élevage extensifs en savane guinéenne.

1^{ère} Partie

La végétation et l'élevage en région guinéenne

I Le milieu tropical humide de basse altitude

1. Situation, relief et hydrographie

Les végétations étudiées dans le cadre de cette étude colonisent principalement la région du continent africain sise de part et d'autre de l'Equateur, entre les latitudes de 10° Nord et 6° Sud. Cette zone s'étend parallèlement à la bordure atlantique du golfe de Guinée et pénètre l'intérieur du continent jusqu'aux confins des hauts plateaux du centre de l'Afrique.

L'ensemble de ce que l'on appelle sur un plan écoclimatique, le domaine guinéen (figure 1), couvre tout ou partie des pays qui se succèdent le long de l'océan en remontant de l'Angola à la Guinée soit environ 600.000 km².

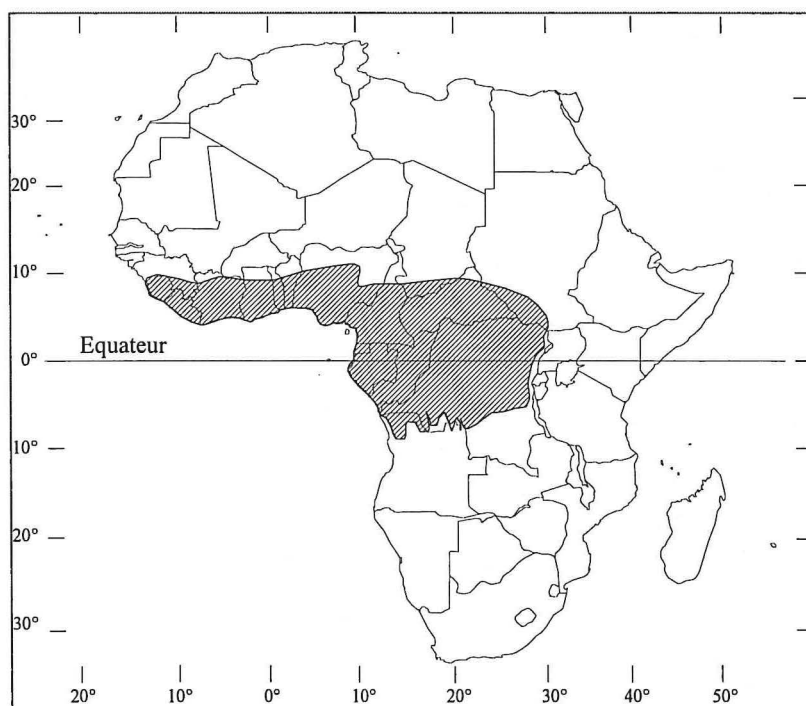


Figure 1. - Situation du domaine écoclimatique guinéen en Afrique.

L'altitude générale des plaines oscille entre 200 et 800 m. Les plateaux les plus élevés, (Fouta Djallon, plateau de Jos) et les reliefs (Atakora, Chaîne du Mayombe, Massif du Chaillu etc..) culminent à une altitude comprise entre 1000 et 1200 m.

Le système hydrographique qui draine les importantes quantités d'eau arrosant la zone équatoriale, est constitué par une succession de grands bassins et fleuves dont le plus important, le bassin du fleuve Zaïre, occupe la cuvette centrale de l'Afrique et couvre à lui seul une superficie de 60.000 km².

2. Climat

Le climat de cette partie de l'Afrique est de type équatorial de transition australe. Dans la classification de Köppen (1936) revue par Trewartha (1968), il est à classer dans la catégorie Aw. Le climat de type A est de type tropical humide, constamment chaud, à pluviosité supérieure à 750 - 1000 mm et à rayonnement intense. Le sous-type w caractérise pour les régions de savane, l'alternance de saisons sèches et humides plus ou moins longues.

Cette alternance climatique est liée au balancement apparent du soleil de part et d'autre de l'équateur. Les solstices caractérisent deux minima pluviométriques dont le plus marqué, en juillet dans l'hémisphère austral, en décembre dans l'hémisphère boréal, correspond à la grande saison sèche. L'affaiblissement et le renforcement successifs des anticyclones influencent également le climat. Ceux-ci déplacent de grandes masses d'air entre des positions extrêmes et entraînent avec elles la zone de fortes pluies qui balaie annuellement la région dans les deux directions sur l'axe Est-Ouest et détermine la succession régulière des saisons.

2.1. Les saisons

L'apparition dans le temps des saisons sèches et humides varie selon la latitude. Si l'on se place en dessous de l'équateur à hauteur du Bas-Zaïre, entre les mois de juin et septembre, le front intertropical atteint sa limite nord-est. Cette période correspond à l'hiver dans l'hémisphère austral. Le sud de la région guinéenne est à cette époque sous la dépendance d'un flux d'air atlantique humide et stable refroidi dans son parcours océanique par le courant d'eaux froides du Benguélé lequel remonte le long de la côte occidentale de l'Afrique (figure 2). En traversant le continent il se réchauffe au contact des terres et absorbe de la vapeur d'eau. Sa stabilité détermine la rareté des précipitations. Cette époque dite de la "grande saison sèche" est caractérisée par de la rosée et des brouillards matinaux, l'abaissement des températures moyennes (minima nocturnes < 20°C) et par la présence, en début de période

sèche, d'un plafond quasi permanent de nuages gris. Au cours des mois suivants, les fronts intertropicaux se déplacent vers le sud. Ils compriment la zone de contact entre les courants atlantique et indien et déplacent, de cette façon, le front de pluie vers l'Ouest et le Sud. Le Nord de la région entre à son tour dans la saison sèche tandis qu'au Sud, c'est le début de la "saison des pluies", marquée par une succession d'orages et de grains entrecoupés de journées ensoleillées et chaudes.

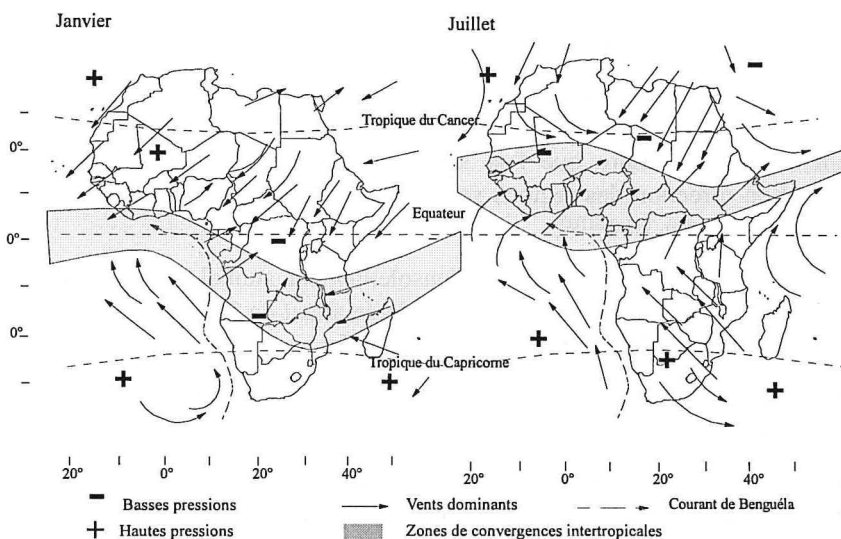


Figure 2. - Evolution des fronts intertropicaux au cours de l'année.

En décembre-janvier, le front intertropical atteint sa limite à l'Ouest. Les précipitations plus espacées deviennent moins abondantes et cessent parfois certaines années d'où le nom de "petite saison sèche". L'époque de l'apparition et l'intensité de cette saison sont toutefois très variables. A partir de février, le front remonte vers le Nord et le centre du continent, cette période est caractérisée par l'abondance des pluies et une élévation de la température, c'est "la grande saison des pluies" au cours de laquelle la pluviosité mensuelle dépasse souvent 200 mm.

2.2. Pluviosité

A l'intérieur de ce domaine tropical humide, la topographie, l'orientation des côtes, la distance par rapport à la mer, introduisent des nuances locales dans le régime et l'intensité des précipitations. Alors que dans la zone continentale occupée par la forêt équatoriale la pluviosité annuelle est supérieure à 1800 mm et s'étale sur la quasi totalité de l'année, la bordure

occupée par la savane guinéenne connaît des variations allant de 800 à 3000 mm de pluies. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une saison sèche marquée, de 3 à 4 mois, encadrée par deux périodes de pluies et pouvant selon les endroits s'étendre sur 6 mois. Les nuances internes sont parfois très marquées. Au Bas-Zaïre, par exemple, la longueur de la saison sèche augmente du N-E vers le S-O. D'une durée moyenne de 120 jours à la longitude de Kinshasa elle passe à 160 jours le long de la côte atlantique (Bultot, 1949).

2.3. Insolation et températures

La couverture nuageuse se situe en moyenne annuelle à 5/10^{ème} avec des variations allant de 9/10^{ème} en pleine saison des pluies à 4/10^{ème} en fin de saison sèche. A mesure que l'on se dirige vers le Nord et l'intérieur du continent en direction des régions soudaniennes et sahéliennes, la couverture moyenne descend à 3/10^{ème}.

Au niveau de la frange côtière, l'ensoleillement annuel est de l'ordre de 1500 h par an avec des variations dans la durée allant de 3h/j pour les premiers mois de la saison sèche à 9 h/j en saison des pluies.

La radiation solaire oscille ainsi selon les époques entre 1,46 et 2,10 kjoules/cm²/jour.

En moyennes journalières, les températures varient peu au cours de l'année. Elles se situent entre 24 et 25°C. Les minima et maxima évoluent entre 17 et 35 °C selon la saison et le moment de la journée.

2.4. Humidité relative et évapotranspiration

L'humidité relative moyenne de l'air, rapport exprimé en % entre la pression actuelle de vapeur et la pression de vapeur saturante à la température de l'air, est constamment élevée, de l'ordre de 80% en moyenne avec des écarts saisonniers allant de 60 à 95 %.

L'évapotranspiration selon Penman (1948), exprimée en mm d'eau potentiellement évaporable par la végétation, varie assez peu au cours de l'année. Comparée à d'autres situations du continent, elle évolue selon la période entre 2,9 et 5,0 mm/jour, ce qui correspond à des totaux oscillant entre 1400 et 1600 mm d'eau potentiellement évaporables sur l'année (FAO, 1991).

3. Géologie

Le socle de la région est à l'origine constitué de roches cristallines précambriennes, granites et gneiss. Celles-ci ont subi au cours du temps des remaniements divers à caractère tectonique et érosif. Au cours des ères

Secondaire, Tertiaire et Quaternaire, elles ont été recouvertes en de nombreux endroits par des sédiments : grès, schistes, calcaires d'origine marine ou continentale. Certains sont d'origine éolienne, c'est le cas par exemple des sables kalahariens des plateaux des Batékés. Au cours de l'ère Secondaire d'importants sédiments calcaires se sont déposés et composent actuellement le sous-sol des savanes de la Niari et du Bas-Zaïre ainsi que des vallées du Niger et de la Bénue.

Le modelé général se présente sous la forme d'un grand plateau faiblement incliné dont la monotonie est rompue par de vastes bassins tectoniques peu déprimés. Parmi les nombreux mouvements qui ont affecté la surface du continent, c'est principalement le plissement hercynien qui a eu pour effet d'onduler le paysage en larges cuvettes telles que celles du Zaïre et du Niger et en bombements tels que ceux du Fouta Djallon et de l'Atakora.

4. Les sols

Tout comme les roches du soubassement, les sols de l'ensemble de la région sont très variés. Les facteurs pédogénétiques d'érosion, de lessivage et de colluvionnement ont oeuvré en fonction de la topographie, faisant apparaître différentes "chaînes de sols" auxquelles correspondront des *catena* de végétation (Koechlin, 1961).

Le développement d'un profil de sol en région périforestière est conditionné par la combinaison de facteurs tels que le couvert végétal, le climat du sol, l'apport de matière organique et son incorporation dans les couches superficielles. La pédogenèse diffère selon qu'elle s'opère sous la forêt ou en savane. Sous la forêt sempervirente guinéenne, l'effet des pluies abondantes et quasi-continues combiné aux conditions d'acidité liées à la décomposition rapide de la matière organique et à la température ambiante élevée entraînent une altération rapide et profonde de la roche mère et une dissociation importante des éléments composant l'argile : Si et Al. L'eau percolant continuellement dans le sol emporte les éléments fertiles les plus solubles et la silice. Les cations les plus facilement mobilisables sont Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} ; ils sont emportés par lessivage. Les cations modérément mobilisables sont K^+ , Si^{++} et Fe^{++} ; ils se déplacent mais se recombinaient aussitôt. Les cations les moins mobilisables sont Fe^{+++} et Al^{+++} . Il s'ensuit une concentration en hydroxydes de fer et d'alumine. En région guinéenne, en l'absence d'érosion sous forêt, la couche d'altérite se révèle très profonde et ancienne. Le rapport Silice/Alumine des argiles s'abaisse à des valeurs $< 1,5$ ce qui correspond au type kaolinite auquel sont associées une porosité plus grande et une toxicité aluminique plus importante.

L'absence de forêt impose à la pédogenèse tropicale des conditions particulières : biomasse et protection du sol moindres, aération plus importante du sol favorable à l'oxydation du fer. Sous la savane l'effet des saisons est notoire, le sol est régulièrement mis à nu suite aux feux, se dessèche créant des conditions propices à l'oxydation des hydroxydes de fer et d'alumine générés en saison de pluies (saturation du sol en eau, conditions réductrices). Ils auront éventuellement migré vers les horizons inférieurs où, de nouveau oxydés lors des périodes d'assèchement du sol, ils précipitent en sesquioxydes et se concrétionnent (phénomène de latérisation). Sur les pentes, s'ajoute un facteur de fluage latéral des particules fines de la surface et la mise à nu des dalles ou concrétions latéritiques.

L'ensemble aboutit à une série topographique de sols, *catena*, où l'on distingue trois grands complexes. Le complexe éluvial occupe le sommet convexe des ondulations du relief d'où les matériaux solides et les colloïdes sont emportés par l'écoulement latéral. Le complexe colluvial se développe dans les concavités de la pente : les matériaux grossiers occupant les parties hautes, les plus fins se déposant au bas de la pente. Le complexe illuvial occupe le fond des vallées et reçoit ses matériaux par décantation.

La microfaune du sol a un rôle très important dans la pédogenèse. Nye (1954) décrit ainsi un complexe typique de la région d'Ibadan au Nigéria : le sommet de chaque complexe est surmonté par un horizon rampant qui migre en permanence de la partie supérieure de la *catena* vers le bas de la pente, il est constitué de trois couches. La première, d'une épaisseur de 1,5 à 3 cm, trouve son origine dans les déjections des vers qui colonisent la frange supérieure du sol. La couche médiane est colonisée par les termites sur des profondeurs allant de 15 à 60 cm selon le type de complexe et la nature du sol. Enfin au-dessous, une couche d'accumulation gravillonnaire pratiquement continue repose à une profondeur de 40 à 180 cm selon la position. Ce niveau résulte probablement de l'intense remaniement du sol par les microorganismes (Descoings, 1976).

La texture des sols est déterminée par les proportions des fractions argiles, limons et sables. La nature et la proportion d'argiles influencent largement la structure et la fertilité des sols tropicaux. Les argiles, constituées de couches de silicates et d'alumine en particules très fines, ont des propriétés colloïdales déterminantes. En s'hydratant, les particules s'agrègent entre elles et à des particules plus grosses, organisant ainsi la structure du sol et sa capacité à retenir l'eau. Les charges négatives portées par ces mêmes particules captent les cations et déterminent la fertilité. La kaolinite (dite 1/1) est l'argile dominante dans les sols de la région; c'est une argile non gonflante, elle floccule et forme des agrégats ce qui lui confère un caractère poreux. Constituée de couches alternées Si-Al fortement liées, elle s'oppose au type

montmorillonite (2/1) constituées de 2 couches de silicates pour une d'alumine. Ces dernières, moins fortement liées, ont une capacité de rétention en eau plus importante et induisent une fertilité plus grande car elles permettent des échanges sur les surfaces cristallines internes et externes.

Etant donné le climat et la nature des formations superficielles qui sont à l'origine des sols, ceux-ci seront fréquemment de nature ferrallitique. Ils peuvent être classés selon leur couleur, laquelle est fonction de la nature et de la proportion des différentes formes d'oxydes de fer, et de la charge en matière organique.

Les sols rouges ferrallitiques dérivent des schistes et des roches schisto-gréseuses. Ils sont caractéristiques de l'altération ferrallitique et fortement désaturés. Ils occupent de vastes étendues et sont en général profonds.

Les sols jaunes ferrallitiques dérivent de l'altération des calcaires. Moins acides, ils sont un peu plus fertiles. On les retrouve dans les grandes plaines du Bas-Zaïre et du Niari.

Les sols bruns se sont formés principalement au départ des grès et des limons éoliens. Les teneurs en matière organique y sont faibles mais bien réparties. Leur drainage favorable fait qu'ils sont relativement moins altérés.

Sur le plan topographique, on distingue généralement les unités suivantes:

- les sols minéraux bruts, réduits à des débris grossiers avec des cuirasses affleurantes; ils sont surtout localisés sur les sommet érodés;
- les sols squelettiques ou lithosols, peu profonds (30 à 60 cm); ils sont localisés sur le haut des pentes et les replats des versants;
- les sols profonds occupent les bas de pentes et les plaines. Ils peuvent avoir deux origines, soit ce sont des altérites en place plus ou moins évoluées, soit ils résultent d'apports fluviaux ou éoliens.

5. Population et agriculture

La population de la région a participé, par son organisation sociale et ses activités agricoles, à la constitution des paysages et fait partie intégrante de l'écosystème local.

Le peuplement de la région est ancien, il date de la préhistoire.

La population de la zone périforestière guinéenne appartient en grande majorité au groupe "Bantou", entité ethnique à l'intérieur de laquelle existe une grande diversité liée essentiellement à la culture et à langue.

Le sous groupe Guinéen occupe la bordure du golfe de Guinée, il a vu s'épanouir entre le 10^{ème} et le 15^{ème} siècle de nombreux états : Ashanti (Ghana), Baoulé (Côte d'Ivoire), Adja (Dahomey), qui fondèrent leur prospérité sur le commerce avec les pays du nord et les navigateurs se livrant au trafic et à la traite le long des côtes du golfe.

En Afrique centrale, le premier peuple à avoir occupé le territoire est celui des "Négrilles" ou "Pygmées", originaires des régions sahariennes, d'où ils ont essaimé à partir du 5^{ème} millénaire A.C. à travers des grandes zones de forêt et de savane. Systématiquement repoussés au cours des migrations successives, ils sont aujourd'hui dispersés dans les zones de grandes forêts et numériquement peu nombreux.

La population des savanes de l'équateur descend de peuples encore actuellement installés au centre du Nigéria, dont une partie émigra vers le sud à partir du premier siècle de notre ère et fonda de grands royaumes dont le plus important était celui de "Kongo" avec pour capitale la ville de Mbanza Kongo (Angola).

Les systèmes traditionnels de culture en zones de savane sont restés très longtemps de type itinérant. Dans les savanes occupées par les Kongos par exemple, une multitude de campements et de petits villages, répartis sur l'ensemble de la savane, regroupaient des personnes de même famille et même clan. L'habitat était conçu en matériaux provisoires. L'édification de cases en chaume, en terre, en écorce ou en planches éclatées d'Alomba était courante. Régulièrement, le village se déplaçait pour des raisons de structure sociale ou le plus souvent lorsque la productivité naturelle et les disponibilités en terres se restreignaient. Les vestiges de ces campements et anciens villages subsistent dans la savane à l'état de boqueteaux peuplés de palmiers, de manguiers, d'atangatiers, etc.

Les terroirs agricoles en savane sont très diversifiés. L'exploitation des terrains est la plupart du temps organisée en rotation et tient compte de la qualité des types de sols. Elle tire parti de la matière organique et des matières minérales apportées par les feux.

En bordure forestière, les cultures sont en général réalisées comme suit. Les travaux débutent, dès le mois de juin, par l'abattage du sous-bois et de la plupart des arbres, les plus gros restant sur pied. A la mi-septembre, les abattis sont incendiés et à la reprise des pluies début novembre, on plante ou on sème suivant les habitudes régionales, le maïs, le manioc, les tarots, les bananes, les ignames, les patates douces, les Calebasses, les courges et le tabac. Le maïs est récolté en avril avec les Calebasses et les courges, le tabac en mai, les patates douces en juillet. L'arrachage du manioc commence en général la deuxième

année et se poursuit pendant deux ans, au fur et à mesure des besoins. Le terrain est ensuite laissé en jachère pendant 6 à 10 ans voire beaucoup plus.

D'une manière générale dans toute la zone de savanes, la chasse pourvoit à l'approvisionnement en viande des populations; l'élevage traditionnel se limitant à l'entretien de quelques animaux de case. Le brûlage des grandes plaines est systématiquement pratiqué dès le début de la saison sèche, le feu permet de rabattre la végétation herbeuse et induit une repousse qui attire le gibier.

La colonisation et l'organisation administrative des territoires a progressivement conduit au regroupement et à la stablisation des populations en bordure des routes. L'évolution récente, caractérisée par un exode rural fort important, tend vers une régression de l'habitat en bordure des axes routiers et un départ vers les villes de moyenne importance. Il s'ensuit le plus souvent une concentration des zones de culture en bordure des axes routiers, une diminution de la longueur de la période de jachère et un abaissement de la fertilité des sols.

II. La végétation en zone tropicale humide

Préalablement à une description des composantes botaniques et du potentiel de production des principales associations végétales qui colonisent les savanes de la zone guinéenne, il nous paraît utile de décrire ce milieu sur un plan général, en tant que formation végétale typique en équilibre avec le feu, ainsi que ses relations particulières avec cet autre milieu naturel qu'est la forêt tropicale humide.

1. Description de la végétation

1.1. Types de végétation

Les types de végétation qui colonisent les sols de l'Afrique sont liés aux conditions climatiques et édaphiques locales, ainsi qu'à l'influence des facteurs biotiques. La qualité des sols, le régime hydrique, l'incidence d'éléments tels que l'activité humaine, les animaux et le feu ont présidé à l'implantation d'un paysage, susceptible d'évoluer, où l'on distingue deux grands types de végétation en contact : la forêt équatoriale et la savane périforestière.

Par types de végétation, il faut entendre : "de grands ensembles végétaux qui impriment au paysage une physionomie particulière parce qu'ils résultent de l'accumulation d'espèces végétales appartenant, en grande majorité, à une même forme biologique dominante" (Trochain, 1957). La forêt est un peuplement fermé à prédominance de plantes ligneuses, arbres et arbustes, de plantes herbacées et grimpantes, à l'intérieur duquel les graminées sont généralement peu représentées (Hopkins, 1974). La forêt tropicale humide est centrée sur l'équateur et s'étend en latitude aux zones où la pluviosité annuelle ne descend pas au-dessous de 1150 mm, distribués saisonnièrement avec au moins 6 mois bénéficiant de plus de 100 mm et au plus 2 mois recevant moins de 25 mm. Les forêts primaires sont rares et limitées aux zones peu accessibles de la forêt équatoriale. Elles ont pour la plupart été affectées au cours de leur histoire par le travail de l'homme et sont alors qualifiées de secondaires. A ce premier type de végétation succède, à mesure que l'on s'éloigne vers des zones climatiquement moins adaptées, une formation herbeuse plus communément dénommée "savane" lorsqu'il s'agit du continent africain. A l'échelle du globe, les caractéristiques bien marquées et l'importance spatiale des "formations herbeuses" conduisent à les considérer comme un grand type de végétation que Descoings (1976) définit ainsi :

"La formation herbeuse est caractérisée par la présence obligatoire d'un tapis herbacé de taille et de recouvrement variables, de structure horizontale régulière ou non, composé de graminoides (graminées et cypéracées) annuelles ou

pérennes auxquelles se mêlent, facultativement et en proportion de biomasses variables, des plantes herbacées non graminoides; par la présence, non obligatoire, d'un peuplement de végétaux ligneux (buissons, arbres, arbustes, palmiers, etc.), de taille, de recouvrement et de stratification variables, de structure horizontale régulière ou non, et qui peut influencer plus ou moins fortement la structure du tapis herbacé sans jamais l'éliminer".

Telle qu'elle est présentée, cette définition s'applique à toutes les formations herbeuses du globe. Qu'il s'agisse de la pampa d'Argentine, de la prairie nord-américaine, de la steppe asiatique, de la pelouse européenne, ou de la savane guinéenne, toutes sont sans conteste des formations herbeuses. La savane est propre aux régions tropicales, aux pays constamment chauds, où le principal facteur limitant est la sécheresse saisonnière. Largement répandue dans la zone tropicale, c'est sur le continent africain que l'on en trouve les plus grandes étendues, réparties alentour de la forêt tropicale.

Originaire de l'Amérique latine, le terme "savane" est issu du Taïno, langue indienne disparue de Haïti. Le mot est employé pour la première fois dans la littérature par Oviedo en 1529 sous la forme hispanique de "Zabana" ou "Zavana" pour décrire les llanos Vénézuéliens (Rosevaere, 1948). Dans le langage général, il désigne " les prairies et toutes les plaines qui produisent de l'herbe pour la nourriture des bestiaux" (Littré, 1985) ou encore " une vaste prairie des zones tropicales, pourvue en arbres" (Robert, 1992).

Boudet (1984) applique le terme "savane" à un type de végétation caractérisé par un couvert herbacé d'au moins 80 cm de hauteur où les espèces se répartissent en deux strates. Les graminées y sont en majorité vivaces. La plupart de celles-ci forment des touffes isolées dont les tiges, atteignant leur pleine croissance, constituent une couche plus ou moins continue qui, ordinairement, brûle chaque année. Les plantes ligneuses y sont naturellement présentes, la taille et le taux de recouvrement de ces dernières conduisent à distinguer différents types de savanes (cfr II.1.3).

Tout comme pour une part importante de la forêt tropicale, du fait de la mise en culture par l'homme au cours des millénaires écoulés, les savanes ont le plus souvent acquis un caractère secondaire.

1.2. Zones forestières et savaniques

La forêt équatoriale africaine est centrée sur le bassin du fleuve Zaïre et sa distribution peut être divisée en trois zones:

-une zone de forêt équatoriale pure, où la savane n'intervient que sous forme de savanes incluses liées aux caractéristiques des sols ou résultant d'activités à caractère anthropique;

-un complexe forêt-savane périforestière, qui est une zone de transition où les deux types de végétation peuvent coexister sur le plan climatique et où la prédominance de l'un par rapport à l'autre est déterminée par des critères édaphiques ou par l'incidence de facteurs biotiques particuliers;

-enfin, à la périphérie, une dernière zone où la forêt, lorsqu'elle existe, se limite aux bordures de rivières et ruisseaux et porte alors le nom de forêt galerie.

Les zones savanicoles sont quant à elles liées à la latitude et, partant, au climat qui y prédomine. Dans le contexte africain on distingue les zones sahélienne, soudanienne et guinéenne (Boudet, 1984; Hopkins, 1974).

La zone sahélienne, la plus septentrionale, est caractéristique des climats subdésertiques à tropicaux secs (100 à 550 mm de pluie). Elle s'étend en bordure du Sahara et la végétation, à prédominance d'épineux, est caractéristique des steppes. Les ligneux sont à petites feuilles; fortement espacés, ils présentent en général un aspect tourmenté. Les feuilles des graminées ont un profil enroulé ou plié et la taille des plantes herbacées, pour la plupart annuelles, ne dépasse pas 80 cm de hauteur.

La zone soudanienne qui lui succède plus au sud est caractéristique des climats tropicaux semi-humides (550 à 800 mm); elle s'étend sur une bande de 150 à 600 km. Le couvert végétal, dérivé de la forêt claire, y est constitué d'arbres à feuilles petites et moyennes (nombreux acacias) et de graminées dont la hauteur est limitée à 1,0-1,5 m de hauteur. Sous l'influence d'un peuplement datant de plusieurs millénaires, la végétation de cette zone a été profondément modifiée par l'activité humaine.

La zone guinéenne est caractéristique du climat équatorial humide (800 à 2000 mm) et borde la forêt. La hauteur du couvert herbacé varie entre 0,8 et 2,5m et les graminées, principalement vivaces, ont pour la plupart des feuilles larges, parfois basilaires et surtout caulinaires, qui contrastent avec les annuelles des steppes de climat sec. Cette zone est peu peuplée du fait de la pauvreté des sols, de la luxuriance de la végétation forestière, de la haute fréquence des maladies parasitaires (trypanosomiase et paludisme) et de la dépopulation qui a découlé de la traite des esclaves. En conséquence, la végétation présente un caractère moins secondaire que dans les zones avoisinantes. Les savanes qui nous occupent, se situent dans les limites de cette zone.

1.3. Structure et types physiologiques des savanes

Au plan physiologique, selon le "code écologique" établi par Godron *et al.* (1968), on distingue dans les formations végétales celles où une forme biologique est massivement prépondérante, ce sont les formations simples, et celles où les végétaux se rattachent à deux ou plusieurs formes biologiques

principales qui sont qualifiées de formations complexes. Arbres et arbustes sont généralement présents dans les savanes, ce qui leur confère un caractère complexe et la classification physionomique que l'on peut en tirer est liée aux catégories et tailles de plantes ligneuses. Selon la classification de Yangambi les types physionomiques de formation que l'on rencontre en milieu guinéen peuvent ainsi être définis (CSA, 1956). Ils sont illustrés à la figure 3.

- la forêt claire, forêt ouverte où les cimes sont plus ou moins jointives et possèdent une strate graminéenne parfois peu dense ou en mélange avec une autre végétation herbacée ou subligneuse;
- la savane boisée où les arbres et arbustes forment une canopée légère;
- la savane arborée où les arbres et arbustes sont disséminés;
- la savane arbustive laquelle, dépourvue de grands arbres, contient des proportions variables d'arbustes disséminés dans la masse de graminées et dépassant les inflorescences de celles-ci;
- la savane herbeuse, ou pseudo-steppe, qui ne contient ni arbres ni arbustes et dans laquelle les graminées vivaces sont largement espacées et n'atteignent parfois pas 80 cm.

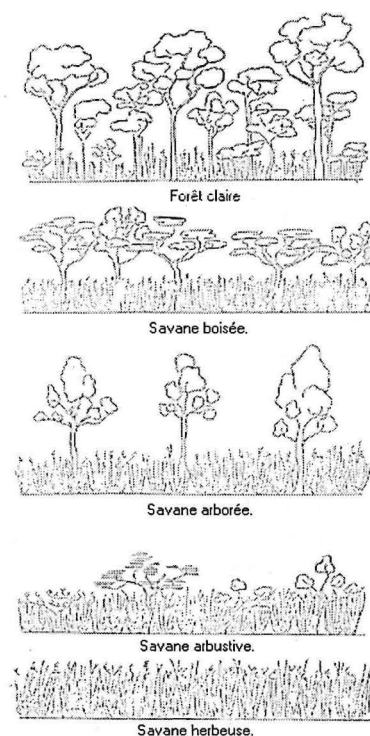


Figure 3 - Types physionomiques de la végétation de savane (CSA, 1956)

1.4. Morphologie et adaptation de la végétation

Les plantes de savane possèdent des particularités anatomiques et physiologiques qui leur permettent de résister à la sécheresse saisonnière et aux feux.

1.4.1. Adaptation à la sécheresse

Les plantes s'adaptent à la sécheresse en l'évitant ou en développant des mécanismes de résistance. Les annuelles (*Eragrostis tremula* Steud., *Pennisetum polystachion* Linn.), représentent la première forme d'adaptation. Leur cycle végétatif est court, il prend place très rapidement au cours de la saison des pluies et les plantes traversent la saison sèche à l'état de graines (thérophytes).

Au niveau structural, différentes formes d'adaptation peuvent être observées. La plupart des graminées adaptées à la sécheresse ont un système racinaire fortement développé. Les études menées par Dagg et Mc Queen (1967) sur *Panicum maximum* Jacq. et *Cenchrus ciliaris* Linn. montrent que le système racinaire de ces graminées occupe très rapidement un important volume de sol (figure 4) et peut, après 18 mois, atteindre une profondeur de 6 m. La croissance en touffe (plantes cespitueuses) permet également à ces plantes de collecter l'eau des petites pluies et sur une surface assez large la canaliser vers le centre de la plante et les racines sous-jacentes (Glover, 1962).

Sur le plan de l'anatomie foliaire, Pratt et Knigh (1977) notent que l'abondance de tissus fibreux, constitués de petites cellules où la pression osmotique est élevée, ainsi que la taille réduite des vacuoles, permettent à certaines graminées de perdre jusqu'à 50 % de leur poids frais sans manifester de signes de fanage. Les stomates localisés en majorité à la face inférieure des feuilles sont de petites dimensions et sont inclus dans un puits où la pilosité limite le déplacement de l'air et l'évaporation. En conditions d'extrême sécheresse certaines cellules à parois fines perdent rapidement leur eau, ce qui provoque l'enroulement de la feuille qui met ainsi ses stomates à l'abri de l'air sec.

Dans leur description de l'écomorphologie des graminées du Bas Zaïre, Kiwak et Duvigneaud (1953) ont par ailleurs très bien décrit et illustré les formes d'adaptation des différents genres et espèces des *catena* typiques de l'association à *Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf. qui colonisent la plupart des savanes guinéennes.

L'ensemble de ces observations effectuées par les différents auteurs permet d'appréhender la grande variabilité d'adaptation et de constitution tissulaire de la flore graminéenne selon les conditions écologiques qui se succèdent dans une *catena* de sol occupée par la savane.

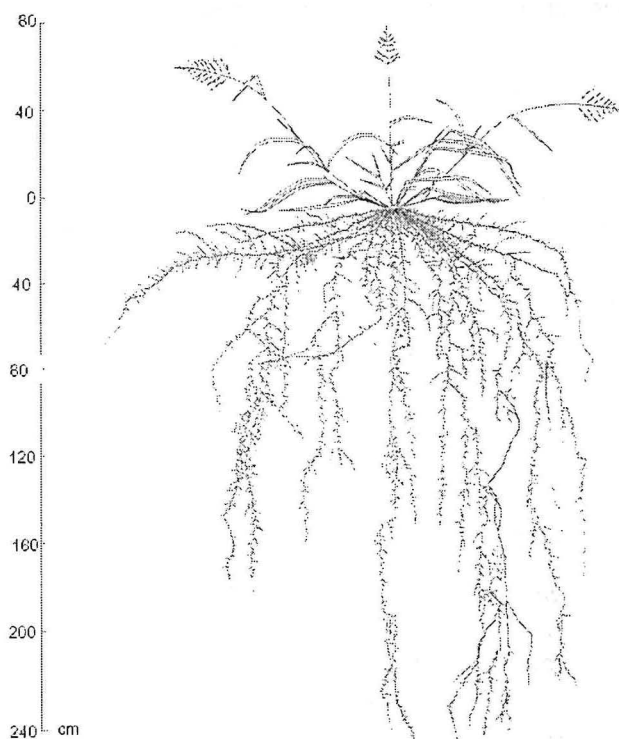


Figure 4. - Système racinaire de *Panicum maximum* (Dagg et Mc Queen, 1967)

1.4.2. Adaptation au feu

Quoiqu'on connaisse assez peu les mécanismes qui confèrent la tolérance au feu, on peut toutefois relever les éléments suivants.

Une première forme d'adaptation se marque dans le type cespiteux de la plupart des graminées pérennes qui croissent en touffes séparées et entourées de sol nu. La partie externe des touffes protège l'intérieur et permet à ces herbes pour la plupart hémicryptophytes (bourgeons persistants situés au ras du sol) de préserver leurs bourgeons lors du passage rapide des feux.

Le feu stimule la repousse des graminées pérennes. Hopkins (1965) a mis en évidence des corrélations importantes entre les dates de brûlis et de repousses de la végétation savanicole: 6 à 10 jours pour les graminées, 3 à 4 semaines pour les arbustes. Il suggère que cette réaction au feu pourrait résulter de la production d'un activateur de croissance ou éventuellement de la destruction d'un inhibiteur. L'apport de minéraux provenant des cendres ou l'effet de la lumière qui atteint le

piéd des plantes lorsque la canopée de végétaux et la litière ont disparu pourraient également être un facteur stimulant (Old, 1969).

Les arbres et arbustes de savane ont en général un tronc tortueux et noueux suite au passage régulier des feux qui les ont affectés au cours de leur croissance. L'écorce est très épaisse, souvent plus d'un cm, ce qui participe à leur tolérance au feu; leur système racinaire comprend généralement un pivot central au départ duquel s'étend un réseau de racines latérales qui se développent de 10 à 20 cm sous la surface sur des distances parfois considérables et sont susceptibles d'émettre des rejets.

1.5. Incidence des facteurs biotiques

Par facteurs biotiques, on entend toutes les activités engendrées par les hommes et les animaux. Participant à l'écosystème, ils en tirent parti pour assurer leur subsistance.

1.5.1. Activités agricoles

Les activités agricoles ont un impact notoire sur la physionomie du paysage. A l'établissement de la culture, le paysan choisit un terrain dans la bordure forestière de la savane. Il le défriche, abattant les arbres et arbustes de taille moyenne, pour ensuite les brûler préalablement à la culture. Les repousses sont régulièrement sarclées et lors de la mise en jachère, le terrain est recolonisé dans un premier temps par des espèces post-culturelles, telles qu' *Imperata cylindrica* (Linn.) Raeusch, *Rynchelytrum roseum* (Willd.) C.E Hubbard, et *Aframomum latifolium* (Afzel.) K. Schum. La succession des rotations et des feux annuels limite le recrû ligneux aux espèces résistantes puis, progressivement, l'association caractéristique des zones avoisinantes prend place et colonise l'ensemble du terrain. Ce type d'évolution est à la base de la transformation de nombreuses zones forestières en savanes.

1.5.2. Pâturage par les animaux

En conditions naturelles, un grand nombre d'espèces animales sauvages broutent la savane et les ligneux qui leur sont accessibles. Chacune a un comportement alimentaire spécifique et dans leur ensemble, elles participent à l'équilibre de l'écosystème savanicole. La pression démographique, l'utilisation de techniques de chasse modernes tendent à faire disparaître la faune sauvage, laissant de vastes espaces vides de faune où, progressivement, l'élevage domestique prend place. Lorsque les pressions animales sont faibles et intermittentes, l'équilibre de la végétation se maintient. Ce n'est plus le cas lorsque les charges sont trop élevées et continues; la proportion de graminées diminue, la biomasse inflammable est réduite et on assiste alors à

l'envahissement par des espèces peu ou non comestibles : *Sporobolus spp*, *Sida spp*, *Chromolaena odorata* Linn., mimosoïdées etc. et, à l'extrême, l'érosion des sols. Du fait de la réduction des surfaces pâturables et de l'augmentation de la charge ponctuelle qui s'ensuit, les plages dégradées recouvrent progressivement l'ensemble du terrain et le rendent de moins en moins utilisable.

Ce type de dégradation prend une extension croissante dans nombre de pays de la zone guinéenne où l'élevage se développe de façon anarchique. Le phénomène, quasiment irréversible, n'est enrayable qu'au prix d'une réglementation très stricte de l'utilisation des parcours et la mise en oeuvre de moyens mécaniques ou chimiques excessivement coûteux pour tenter de réhabiliter les terrains dégradés. L'ampleur atteinte en de nombreux endroits plaide pour la recherche de systèmes permettant de mieux évaluer et contrôler la capacité de charge, d'apprécier la dynamique saisonnière de cette dernière et d'intégrer au mieux ces paramètres dans la gestion de l'espace savanicole et des troupeaux.

1.5.3. Incidence des feux

L'influence la plus ancienne et de loin la plus importante que l'homme puisse avoir eu sur les herbages naturels, résulte de l'usage du feu (Crowder et Chheda, 1982). En région guinéenne, chaque année, la quasi-totalité des espaces est incendiée pendant la saison sèche, principalement au cours de feux organisés par les populations rurales.

Les feux de végétation sont toutefois antérieurs à l'histoire de l'homme. La biomasse accumulée après plusieurs cycles est hautement combustible et les feux initiés par les éclairs naturels étaient fréquents; ils réapparaîtraient si l'homme cessait de brûler les savanes. Les feux ont ainsi, depuis des millénaires, joué un rôle prédominant dans la constitution des associations végétales et dans l'établissement de relations entre les plantes et les animaux (Bartlett, 1956). Ils participent à l'équilibre du milieu savanicole.

Les feux de savane ont fait l'objet de nombreuses controverses. Longtemps, ils ont été considérés par les scientifiques comme un énorme gaspillage de matière organique entraînant un appauvrissement des sols.

Au cours des dernières années, les recherches ont évolué vers une meilleure compréhension de la place du feu dans les écosystèmes et ont démontré l'utilité des feux contrôlés pour la gestion des périmètres d'élevage et le renouvellement des ressources alimentaires du bétail. Les raisons justifiant la mise à feu des savanes sont très diverses. Certaines sont d'ordre traditionnel et social :

- le brûlage attire le gibier vers les nouvelles repousses dans un terrain dégagé;

- il prépare le terrain dans les systèmes de culture itinérante;
- le feu a valeur de cérémonie sociale ou rituelle en vue d'assurer de bonnes récoltes.

Sous l'angle de la gestion des espaces, les feux ont un intérêt notoire:

- ils contrôlent l'envahissement par les broussailles et les ligneux et maintiennent un faible pourcentage en nombre des espèces les plus indésirables (Rose Innes, 1971);
- ils favorisent l'implantation d'espèces intéressantes. Dans des savanes rhodésiennes régulièrement soumises à l'action du feu, Kenman (1971) observe un développement préférentiel et une densité plus importante du *Themeda triandra* "standing hay" en regard des autres espèces;
- ils stimulent la repousse à contre saison et renouvellent la qualité du pâturage. Au terme de la saison de pluies, la végétation est en fin de cycle et l'herbe particulièrement cellulosique est peu digestible. L'effet des feux sur la repousse est indiscutable. Six à dix jours après le feu, même en l'absence de pluie, les graminées pérennes émettent de jeunes pousses qui sont très rapidement appréciées par le bétail (Ramsay et Rose Innes, 1963);
- ils permettent d'organiser la répartition du cheptel sur l'ensemble du pâturage. En saison de pluies, à mesure du vieillissement de la végétation, le bétail a tendance à se concentrer sur un territoire limité pour entretenir la repousse de l'herbe. Un système de rotations judicieuses permettra d'exploiter l'ensemble de l'espace et de ne pas surpâturer systématiquement les mêmes endroits.

Par ailleurs, les feux constituent également un facteur de contrôle sanitaire qui permet de limiter les populations de tiques. De plus, en rabattant la végétation ils limitent les déplacements des glossines (vecteurs de la trypanosomiase) aux bordures de galeries forestières.

Le feu n'a toutefois pas que des effets positifs. L'usage répété du feu en période de fin de végétation conduit à une réduction des réserves racinaires et limite le ressemis naturel des espèces (van Rensburg, 1952). Il s'ensuit un envahissement progressif par les adventices. La disparition de la biomasse aérienne prive le sol de la litière protectrice et ouvre la voie à l'érosion, tandis que l'absence de mulch en surface diminue l'efficacité de pénétration de l'eau en facilitant le ruissellement. A la longue il n'y a plus aucune restitution de matière organique dans des sols qui naturellement en sont déjà faiblement pourvus.

L'étendue de ces effets négatifs peut toutefois être fortement limitée lorsque l'on organise une répartition et une rotation correcte des feux dans l'espace et dans le temps.

Selon l'époque, la hauteur et la masse de végétaux, l'augmentation de la température est très rapide; elle retrouve toutefois son niveau normal après

quelques minutes (Hopkins, 1965). A Lamto (Côte-d'Ivoire), Gillon (1970) mesure des températures allant de 75 à 350 °c au sol et de 65°C à l'intérieur des touffes. En hauteur, dans le cas de feux précoces, ces températures décroissent très rapidement (60 - 70°C à 1 m). Elles restent beaucoup plus élevées dans le cas de feux tardifs et peuvent excéder 500°C à 3m et 100°C à 6m. Dans le sol à une profondeur de 2 cm la température peut dans le cas de feux lents augmenter de 14°C au-dessus de la normale; ces fluctuations sont toutefois limitées à 3-4°C dans la majorité des cas. Selon l'intensité des feux, le pourcentage de plantes consumées variera de 25 à 65, voire 95%, selon qu'il s'agit de feux précoces ou de feux tardifs (Hopkins, 1974). Il apparaît ainsi que selon l'époque où ils sont pratiqués, les feux auront un effet de contrôle fort variable. Une description de la pratique courante des feux en élevage extensif est présentée au chapitre III de cette 1^{ère} partie.

2. Associations végétales des savanes guinéennes

Dans le cas des savanes, la simple approche physionomique du milieu ne suffit pas en général à le qualifier complètement. La connaissance approfondie de la composition floristique et de ses variations spatiales est à cet égard essentielle.

2.1. Caractérisation botanique

Chaque étendue de savane est colonisée par une ou plusieurs associations de base et par leurs divers faciès d'évolution, qui sont liés aux variations de la morphologie et des caractères édaphiques des terrains.

De nombreuses études ont été réalisées concernant la caractérisation botanique et écologique des savanes en région guinéenne. On peut citer entre autres les travaux de : Devred (1956), à propos des savanes du Bas-Zaïre (Zaire); Koechlin (1961), concernant les savanes de la vallée de la Niari (Congo); Descoings (1974), pour les savanes de la Nyanga et de la Ngounié (Gabon); van der Zon (1992), pour les végétations du Cameroun; Adjanohoun (1962) et César (1992), pour les savanes de Côte d'Ivoire; Renard et Compère (1979;1980) pour les savanes du Togo.

Le domaine est complexe et chaque étude, adaptée à une région particulière, détaille de façon analytique la variabilité rencontrée. Il serait bien difficile de rassembler en un seul document l'ensemble des situations qui peuvent être rencontrées. Nous nous limiterons dans ce paragraphe à une description succincte des conceptions d'approche et de la valeur indicatrice de quelques espèces végétales en relation avec les types de sols. Ces connaissances aboutissent à définir des *catena* typiques qui, à leur tour, peuvent être utilisées en

tant qu'outil pour la description spatiale des variations d'un couvert végétal à l'intérieur d'un périmètre d'élevage.

La description d'une communauté végétale nécessite en pratique le recours à une méthode d'inventaire faisant appel tant à la floristique qu'à l'écologie. La science qui regroupe ces disciplines est la phytosociologie, développée à l'origine par Braun-Blanquet (1932). Celle-ci est en constante évolution.

La méthodologie repose au départ sur des relevés définis par Emberger (1968) comme : "Un ensemble d'observations écologiques et phytosociologiques sur un lieu donné". La végétation du relevé est définie par sa structure, sa répartition en strates et surtout par la liste des espèces végétales présentes, chacune étant caractérisée par un indice d'abondance - dominance dans le relevé. L'analyse de l'ensemble des données pouvant être collectées selon diverses techniques (voir ci-après l'exemple du ranch de l'Adélé) conduit à distinguer différentes associations et faciès d'évolution ou de substitution.

L'intégration de cette approche dans la caractérisation d'un pâturage (végétation destinée à l'élevage) amène toutefois à quelques limitations. Boudet (1984) définit très bien la conception qu'il faut en avoir : "La définition d'un type de pâturage comprendra une description de la végétation correspondant à une moyenne des relevés établis sur des stations présentant des conditions écologiques comparables. Les subdivisions qui peuvent être réalisées seront nécessairement variables en nombre selon l'ampleur géographique de la zone étudiée, mais elles ne devront pas descendre au-dessous des normes agronomiques, chaque pâturage défini devant être de taille suffisante pour constituer une unité exploitable par un troupeau. La description spécifiera les variantes floristiques et écologiques apparaissant dans l'unité définie. Toutefois les faibles dimensions limiteront bien souvent les possibilités d'en faire une unité "pâturage". Cette dernière sera le plus souvent constituée par une mosaïque de communautés végétales imbriquées, reflet de la complexité des conditions écologiques en présence."

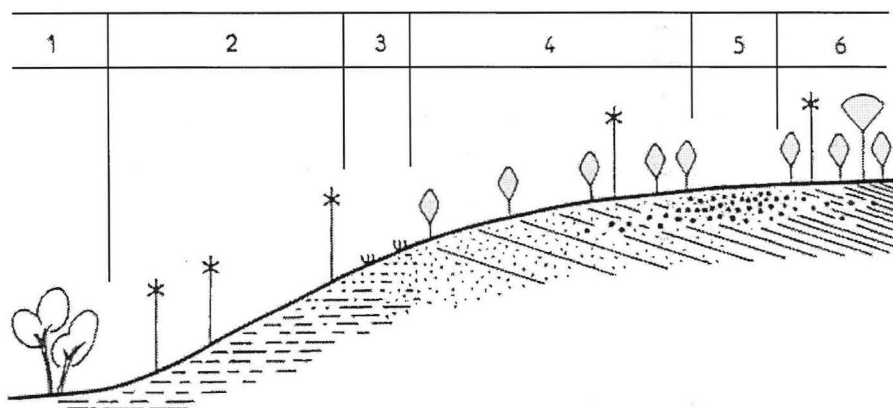
Comme le rappelle César (1992), les arbres et les arbustes qualifient le mieux le type physiologique : savane herbeuse, arbustive ou arborée et ils jouent un grand rôle dans la définition du paysage. Par leur grande longévité, ils sont les indicateurs les plus fiables du climat et du sol. Les graminées et les subligneux caractérisent par contre mieux les variations plus fines des conditions édaphiques et microclimatiques.

2.2. Séquences de végétation

En fin de compte, le problème qui se pose à l'agrostologue ou au zootechnicien est d'évaluer au mieux sur un territoire donné la répartition d'un

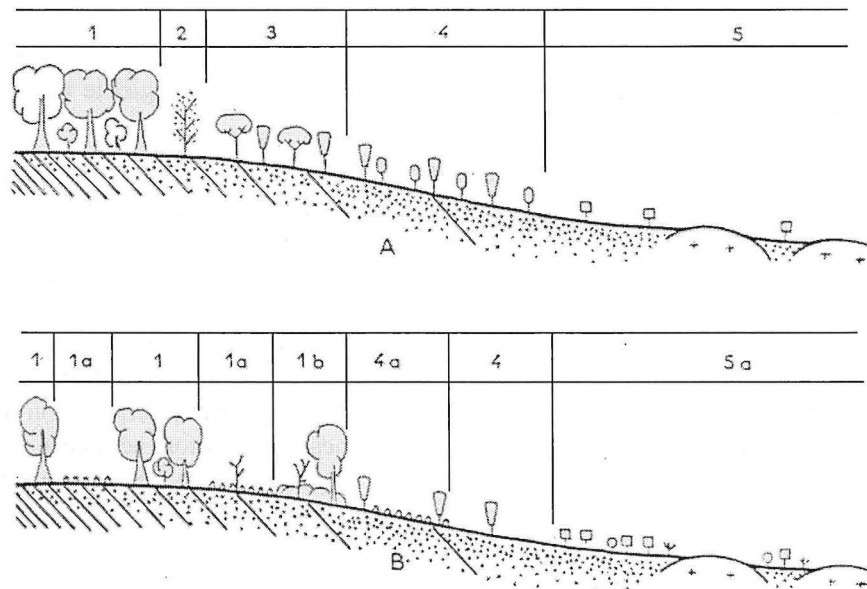
potentiel fourrager et donc d'une charge animale dans l'espace et dans le temps. Comme il s'agit en général de la gestion extensive de territoires de grandes dimensions, il importe, au-delà d'une analyse exhaustive, d'arriver à définir une typologie au sein de laquelle on intègre globalement la morphologie, le type de sol et les caractéristiques du tapis végétal.

César (1992) dans une analyse très détaillée des végétations guinéennes de la Côte d'Ivoire décrit quelques exemples typiques de séquences de végétation liées à des types de sol ou à l'influence de facteurs biotiques. Les figures 5 et 6 illustrent deux de ces séquences. La première montre l'évolution de la végétation le long d'une *catena* sur altérite de granite à Lamto, la seconde illustre pour la région de Dabakala l'évolution de la séquence de végétation sous l'influence des activités agricoles et de l'élevage. Des typologies de végétation ainsi définies au cours de la prospection de terrain pourront être utilisées pour l'interprétation de cartes pédologiques, géologiques, topographiques, de photos aériennes ou d'images satellites, en vue de l'établissement d'une carte de répartition des différents ensembles "pâturages" reconnus.



1-Galerie forestière; 2-Savane herbeuse à *Loudetia simplex* parsemée de quelques rôniers (*Borrassus aethiopicum*) sur sols sableux hydromorphes à pseudogley; 3-Zone de transition à *Cochlospermum planchoni* 4-Savane arbustive à *Crossopteryx febrifuga* sur sols sablo-argileux; 5-Savane herbeuse à *Andropogon schirensis* sur les substrats gravillonnaires; 6-Savane boisée à *Terminalia glaucescens* sur sols argilo-sableux.

Figure 5 - Evolution de la végétation sur altérite de granite (Lamto, Côte d'Ivoire, César, 1992).



A Séquence de végétation typique sur altérite de granite (Dabakala, Nord de la zone guinéenne de Côte d'Ivoire)

B Evolution de la même séquence sous l'influence des cultures et du broutage

1-Forêt dense humide, sols argilo-sableux

1a-Culture sous forêt

1b-Fourré forestier post-cultural

2-Frange à *Anogeissus leiocarpus*

3-Savane boisée à *Terminalia glaucescens*

4- Savane arborée à *Daniellia oliveri* et *Lophira lanceolata*

4a-Culture en savane arborée

5-Savane arbustive à *Parinari curatellifolia*, sur sols sableux avec affleurements latéritiques

5a-Savane dégradée et embroussaillée à *Parinari curatellifolia*

Figure 6 - Evolution de la végétation sous l'influence de facteurs biotiques (Dabakala Côte d'Ivoire; César, 1992).

3. Productivité et valeur alimentaire des fourrages de savane

L'efficacité de l'exploitation de la savane à des fins de production animale sera conditionnée par la quantité et la valeur alimentaire des fourrages mis à la disposition des troupeaux. Les graminées pérennes des milieux tropicaux sont susceptibles de croître et de produire du fourrage tout au long de l'année. Comme dans tout système de croissance végétale, leur développement quotidien est conditionné par l'apport d'énergie et les conditions de température ambiante, ainsi que par les disponibilités en nutriments et en eau. Les particularités de croissance des graminées tropicales ont une incidence certaine sur leur valeur alimentaire.

3.1. Productivité de la végétation naturelle en savane

3.1.1. Mécanismes de la production en conditions tropicales

Par la photosynthèse, la plante élabore des hydrates de carbone qui seront mis en réserve ou utilisés à des fins d'élaboration d'autres substances (cellulose, acides aminés, glycérides). Le rendement de la photosynthèse est lié à la disponibilité en CO₂, en eau et en minéraux, il est proportionnel à l'intensité lumineuse. Il est également en relation avec les voies photosynthétiques empruntées. Sur un plan biochimique, de nombreuses graminées tropicales tirent parti de particularités propres. On distingue parmi les systèmes photosynthétiques, les voies basées sur le cycle de Calvin, générant des composés en C₃, et celles basées sur le système en C₄ (Hatch et Boardman, 1973). Le système en C₄ est d'une façon générale associé à une réduction des processus de photorespiration (processus concomitant de la photosynthèse, au terme duquel la plante consomme de l'O₂ et libère du CO₂), une capacité de photosynthèse plus grande, une utilisation plus économique de l'eau et des niveaux de température et d'utilisation de la lumière plus élevés. Des graminées tropicales, telles que *Cynodon dactylon*, *Saccharum officinale*, ont ainsi un rendement photosynthétique qui croît jusque 5-6 % pour des niveaux d'éclairement de l'ordre de 60.000 lux (Cooper et Tainton, 1969). En contraste, des graminées tempérées, telles que *Lolium perenne* ou *Dactylis glomerata*, atteignent la saturation à des niveaux de 20.000 à 30.000 lux et auront alors une efficacité de 2 à 3 %. De même l'optimum de température évolue entre 30 et 45°C pour les espèces à voies dites en C₄, soit 10 à 15 °C plus haut que pour les espèces en C₃ (Phillips, 1971).

Géographiquement, les espèces (Festucées) en C₃ prédominent dans les climats tempérés à subtempérés, tandis que celles (Andropogonées et Panicées) en C₄ sont confinées aux régions tropicales humides et sèches.

En conditions guinéennes, la température de l'air et le rayonnement solaire se situent à des niveaux élevés et varient certes au cours de l'année, mais dans des proportions faibles comparativement à ce que l'on observe en régions tempérées. L'alimentation minérale et hydrique sera par contre nettement plus limitante ou variable. Les graminées tropicales auront ainsi, par les éléments du climat et les mécanismes mis en oeuvre dans la photosynthèse, un potentiel de croissance individuel élevé, souvent supérieur à celui de graminées tempérées. Cela ne se traduira pas nécessairement par des rendements à l'hectare plus élevés; les facteurs nutritionnels et hydriques, la densité de plantes par unité de surface étant fort variables selon les situations. On peut toutefois citer le fait qu'en conditions non limitantes (2000mm de pluies, 849 kg N /ha, fauches tous les 90 jours), Vincente Chandler *et al.* (1969) ont pu obtenir en milieu tropical des rendements annuels en matière sèche de l'ordre de 85 tonnes/ha pour une culture de *Pennisetum purpureum*. Les rendements annuels les plus élevés obtenus avec des cultures de *Lolium perenne* également cultivés en conditions non limitantes sont de 17 à 25 tonnes/ha.

Les formes de stockage des produits de la photosynthèse diffèrent également selon les voies photosynthétiques. Les graminées en C₃ telles que le ray-grass, le brome, le dactyle fixent préférentiellement les sucres sous forme de fructose, alors que des graminées en C₄ d'origine tropicale telles que le maïs, le sorgho, *Chloris* et *Panicum* l'accumuleront sous forme de sucres complexes ou d'amidon. Ce facteur peut avoir une incidence sur la valeur alimentaire, ces dernières formes étant moins rapidement dégradables que les fructoses.

Au cours de la croissance, la plante développe des tissus de structure constitués en grande partie de cellulose mais également d'hémicelluloses (différentes formes de polysaccharides) qui, au cours de la fermentation microbienne, peuvent être rapidement hydrolysés en sucres simples et autres produits carbonés solubles et partant plus digestibles que les composés cellulosiques. Les parois cellulaires sont construites sur une trame de cellulose dans laquelle sont déposés divers polyholosides désignés sous le terme d'hémicelluloses. Les polyholosides le seront à des degrés variables; constitués principalement de xylanes ils présentent généralement des liaisons fortes avec les lignines dont la teneur augmente avec la croissance de la plante. La lignine constitue un obstacle physique pour les bactéries et rend ainsi les différents composés cellulosiques moins accessibles et dégradables par les bactéries cellulolytiques (Grenet, 1970). La lignine, constituée d'un ensemble de substances complexes non hydrocarbonées (phénols, polyphénols), participe progressivement à la structure des tissus en se déposant dans les interstices des parois cellulaires. Particulièrement résistante aux acides et enzymes, elle contribue également à la diminution de la digestibilité des fourrages et les graminées tropicales en sont davantage pourvues que les plantes de climat tempéré.

3.1.2. Production de biomasse en savane guinéenne

La biomasse aérienne s'accroît en saison de pluies et atteint un maximum en fin de période pluvieuse ou en début de saison sèche. Elle diminue ensuite durant la saison sèche du fait de la sénescence de la plante et de la perte de matériel végétal. La biomasse maximale observée lors de la fauche de placeaux laissés en défens est une valeur unique qui rend compte de façon simple de la production herbacée potentielle du lieu et permet d'effectuer des comparaisons.

Les biomasses que l'on peut ainsi observer varient selon les situations climatiques, l'association végétale et les types de sols.

César (1992) compare l'effet station et année sur la production de biomasse dans des dispositifs en blocs répartis sur différents types de végétation à Lamto (Côte d'Ivoire). Il conclut pour ces deux facteurs à des effets significatifs. Selon les années il observe des variations allant de 4,6 à 7,1 tonnes de MS/ha. De même entre stations, il observe des biomasses aériennes de 6,4 tonnes de MS/ha pour la savane herbeuse à *Loudetia simplex* sur sols hydromorphes, 5,3 t pour la savane boisée à *Imperata cylindrica* et 5,8 t pour la savane arbustive à *Hyparrhenia chrysargyrea*. L'amplitude des variations interannuelles paraît nettement plus importante que celle observée entre types de végétations. Le régime annuel de pluies apparaît comme un facteur fort important. César observe de façon plus générale que la pousse rapide en début d'année, favorisée par la précocité des pluies, subit un ralentissement de croissance provoqué par la petite saison sèche en juillet-août. Selon les années, ce ralentissement peut être inexistant ou très important et peut aller jusqu'à un arrêt de la production de biomasse si les pluies des mois suivants sont inexistantes.

Ce paramètre est encore parfois utilisé dans les études pastorales en milieu guinéen en tant que base de calcul du disponible fourrager et de la capacité de charge du pâturage. Pour estimer la charge animale, on utilise par exemple la norme communément admise qui a été proposée par Boudet (1984). Tenant compte des pertes de biomasse en saison sèche, des pertes par piétinement et de la nécessité du maintien d'une fraction de la couverture herbacée pour protéger le sol contre l'embuissonnement, il estime la production consommable par les animaux au 1/3 de la production potentielle.

Si l'on estime les besoins de l'Unité de Bétail Tropical (250 kg) à 6,25 kg MS/j, une biomasse de 5 t de MS/ha permettra une charge de 0,73 UBT/ha.

Cette estimation fournit des valeurs approchées; elle ne tient cependant pas compte de la valeur alimentaire de l'herbe, ni des variations saisonnières de la croissance, ni du système d'exploitation. Enfin, si l'on s'en réfère aux variations interannuelles que César (1992) met en évidence, l'appréciation devient fort aléatoire et tout à fait dépendante de l'année d'estimation.

3.1.3. Repousses de la végétation

L'étude des repousses permet une approche plus réaliste de la production et amène à traduire celle-ci en terme de productivité journalière nette du couvert herbacé, paramètre que l'on peut mettre en relation avec les besoins quotidiens d'un animal de référence et auquel on peut aussi associer une valeur alimentaire selon l'âge de repousse.

Pour étudier expérimentalement l'exploitation du couvert par l'animal, à défaut d'autres moyens, on remplace le broutage par la fauche répétée de carrés de végétation à des rythmes compatibles avec une exploitation pastorale. L'exploitation de repousses d'âges différents permettra une évaluation des variations de la valeur alimentaire selon l'âge. Les données présentées en 2^{ème} partie de ce document en sont un exemple.

De même, l'exploitation des carrés de fauche au cours de différentes saisons permettra une évaluation des disponibilités saisonnières et conduira à des estimations de charge mieux raisonnées.

Cette substitution à l'activité de l'animal permet d'apprécier le disponible fourrager quotidien. Elle ne peut cependant tenir compte des choix que fait l'animal. Celui-ci sélectionne l'herbe qu'il ingère selon les espèces et le stade de développement, il choisit de préférence les organes tendres plus digestibles et également plus riches en matières azotées.

Cette sélection ne peut être réalisée par une fauche manuelle. Toutefois, en simulant une exploitation intensive de jeunes repousses par un rythme de fauche de 20 à 30 jours, correspondant à une charge animale instantanée importante, on peut considérer que les critères de choix de l'animal auront moins d'importance. Les disponibilités en herbe étant limitées, l'animal élargit son spectre de choix à l'ensemble des espèces comestibles et les refus sont dès lors faibles.

Un exemple de calcul de charge lié à des estimations de vitesse de repousse peut être extrait de l'étude du Ranch de la Lékabi (Gabon) (Compère, 1978). Le calcul (tableau 1) est établi pour les diverses formations végétales en tenant compte des productivités enregistrées au cours de la saison sèche (repousses de 30 jours), d'un facteur correctif lié à la situation du terrain (pente, érosion potentielle), d'une ingestion par l'animal de 2,5 kg MS/100 kg de poids vif et d'un système de rotation sur 4 parcelles avec mise en repos annuelle d'un quart de la superficie du parc. Deux parcelles sont exploitables en saison sèche.

Tableau 1 - Charges proposées pour les diverses formations naturelles du ranch de la Lékabi (Gabon), (Compère, 1978).

	Kg MS/ha/j en période critique	Correctif	Charge théorique ha/UBT sans mise en réserve	Charge théorique ha/UBT mise en réserve d'un quart de la surface
<u>Savanes arborescentes</u>				
HPo	2,74	0,8	2,85	3,80
An	1,17	-	5,34	7,12
HAn-HS	2,04	-	3,06	4,08
HPo-HAn	2,22	-	2,82	3,76
<u>Savanes herbeuses</u>				
Po	1,90	0,8	4,11	5,48
PoS	2,10	0,8	3,72	4,96
PoAr	1,87	0,7	4,77	6,36

Codes espèces caractéristiques de l'association : H : *Hyparrhenia diplandra*, Po : *Pobeguinia arrecta*, An : *Andropogon schirensis*, S : *Schyzachirium platyphyllum*, Ar : *Aristida arrecta*.

3.1.4. Indicateurs climatiques de la production

Pendant la phase végétative, les variations de la croissance des végétaux sont liées au climat. En ce qui concerne les fourrages tempérés, de nombreuses études ont conduit à caractériser l'évolution de la production fourragère, sur base de paramètres de pluviosité, d'ensoleillement, de sommes de températures et d'évapotranspiration (Raphalen et Le Bris, 1985). Des approches similaires ont été effectuées pour de nombreuses cultures tropicales : maïs, sorgho, canne à sucre, riz pluvial. Doorenbos et Kassam (1980) en donnent une excellente synthèse. Dans le domaine de l'étude des milieux savanicoles, les travaux récents les plus remarquables sont ceux de de Ridder *et al.* (1982) concernant les steppes de la zone sahélienne ou plus particulièrement en ce qui concerne la zone qui nous intéresse, ceux de Talinear (1970), de César et Havet (1986) sur les savanes en zones soudanienne et guinéenne de la Côte d'Ivoire. Pour les végétations de la zone guinéenne, César (1992) développe par exemple des relations permettant de prédire la production potentielle en faisant intervenir des variables climatiques, sommes de déficit hydriques (ETP_{TURC} -Pluies) sur plusieurs mois, et édaphiques, teneur en phosphore, argiles et limons.

$$y = 630 - 1,075x_{6,7} - 0,517x_{8,9} - 1,093x_{10,11} + 1,38P \quad r = 0,91$$

avec y, biomasse maximale en g MS/m², x_{6,7}, x_{8,9}, x_{10,11}, déficits hydriques des mois de juin-juillet, août-septembre, octobre-novembre, P teneur en phosphore.

ou encore:

$$y = 598 - 0,792x_{6,11} + 1,384A \quad r = 0,86$$

avec $x_{6,11}$ somme des déficits de juin à novembre, A fraction fine argiles + limons.

De même, en étudiant les repousses de 30 jours, il établit pour la zone guinéenne de la Côte d'Ivoire un modèle quadratique liant la production de repousses en g MS/m² à la pluviosité en mm observée au cours des 30 jours de repousse,

$$y = 15,19 + 0,488x - 0,0013x^2 \quad r = 0,68$$

avec y, production de biomasse de repousse (30 jours) en g/m²; x, pluviosité au cours des 30 derniers jours en mm.

Le modèle adapté à la mesure des repousses à un niveau régional présente une corrélation intéressante.

D'autres paramètres climatiques permettent d'établir des relations plus précises et une description de la croissance journalière ou de la production.

Les mécanismes de croissance des végétaux sont liés à l'évaporation de l'eau par la plante. La quantité d'eau qui peut être évaporée par la végétation dépend du climat ambiant. Elle est également liée à la disponibilité en eau du sol. Les relations entre la croissance et l'évapotranspiration potentielle (ETP), fonction de la demande évaporative de l'air, ou l'évapotranspiration réelle (ETR), fonction à la fois de l'ETP et de l'état de la réserve hydrique du sol (RU), sont celles qui traduisent le mieux les variations de la croissance. Cette approche est bien connue sous climat tempéré (Lemaire et Denoix, 1987; Ledieu *et al.* 1991; Penning de Vries et van Laar, (1982).

Des démarches similaires ont été entreprises dans le milieu tropical (Forest et Kalms, 1985; Forest *et al.*, 1993; Fréteaud *et al.*, 1987). Les travaux de Cortier *et al.* (1988) par exemple, conduits en milieu paysan dans les conditions de l'Afrique sahélo-soudanienne, conduisent à exprimer les rendements en maïs grain.

$$y = 1.130 \times (ETR/ETM_{cycle} \times ETR/ETM_{pc}) - 128 \quad r^2 = 0,71$$

avec : y, rendement grain en kg/ha; ETR/ETM_{cycle} , rapports entre les évapotranspirations actuelles et maximales calculées sur l'ensemble du cycle; ETR/ETM_{pc} , rapports entre les évapotranspirations actuelles et maximales calculées sur la période de fructification.

Des approches de ce type nous paraissent hautement intéressantes dans la mesure où elles permettraient d'estimer des biomasses potentielles et plus particulièrement de simuler des croissances d'herbe sous diverses situations pluviométriques. Les variations de charge qu'il faudrait appliquer au cours des saisons en seraient d'autant mieux approchées. La deuxième partie du travail tentera d'affiner ce type de démarche, en distinguant des classes de végétation à l'intérieur d'un territoire plus restreint et en recherchant des indicateurs adaptés à la prédiction de la croissance journalière des repousses.

3.2. Valeur alimentaire de la végétation

Pour couvrir ses besoins métaboliques quotidiens, le ruminant doit disposer d'un aliment susceptible de lui apporter l'énergie et les matières azotées en quantités suffisantes. Les quantités d'aliment qui peuvent être ingérées quotidiennement sont, particulièrement dans le cas des fourrages, limitées par l'encombrement créé au niveau du rumen. On traduit donc généralement la qualité de l'herbe en termes de valeur énergétique, de valeur protéique et d'ingestibilité.

3.2.1. Expression de la valeur alimentaire

Pour traduire la valeur énergétique, on utilise des systèmes de référence, dans lesquels la valeur de l'aliment est exprimée selon un standard. Jusque 1960, la plupart des systèmes trouvaient leur origine dans les conceptions développées par Kellner (1905) et exprimaient la valeur énergétique en termes d'équivalent amidon (EA) ou d'unités fourragères (UF) selon que l'on comparait le croît potentiel de boeufs à celui permis par un kg d'amidon digestible ou un kg d'orge. Pour calculer la valeur, on substituait à la mesure sur l'animal une relation établie sur la composition chimique de l'aliment. Pour les fourrages tropicaux, Rivière (1977) traduit la valeur énergétique en termes d'UF calculées de façon générale comme égale à 0,70 EA, cette dernière étant estimée pour les graminées en utilisant la relation de Dijkstra (1957) établie sur les teneurs en cellulose brute (CB) et en cendres totales (CT) exprimées en % de la matière sèche de l'aliment :

$$EA = 0,97 \times (100 - CT) - 0,32 \times CB - 2,66 \times CB^2 / (100 - CT)$$

Au cours des dernières décennies, les études conduites sur le métabolisme énergétique des ruminants ont conduit à l'élaboration de systèmes nouveaux qui prennent en compte la transformation de l'énergie brute de l'aliment en énergie métabolisable et les différences de rendement d'utilisation de cette énergie, selon qu'il s'agit de couvrir des besoins d'entretien, de croissance ou de production de lait.

Le schéma de principe est constant au travers des nombreux systèmes établis à ce jour (près d'un par pays en Europe). Des nuances de calcul propres à chacun apparaissent dans l'établissement des différents coefficients et dans l'expression finale selon un standard. Décrire ces variantes n'est pas l'objet de ce travail; on a choisi ici de se référer au système français des Unités Fourragères Lait établi par l'INRA (1988), parce qu'il nous paraît être le plus analytique, le mieux documenté en matière de valeurs alimentaires de fourrages tropicaux et qu'il est couramment utilisé dans les pays de l'Afrique francophone. Dans ce système l'UFL équivaut à 1700 kCal ou 7,12 Mjoules d'énergie nette.

Le paramétrage des coefficients qui sont applicables pour l'estimation de la valeur énergétique des fourrages tropicaux sera décrit plus loin.

A propos de la valeur protéique, la plupart des systèmes alimentaires utilisaient jusqu'au début des années 80 l'expression en matières azotées digestibles (MAD), en recourant à des relations établies sur des mesures de digestibilité apparente de la protéine des aliments. Boudet (1984) par exemple propose pour les fourrages tropicaux la relation simple établie par Demarquilly (1973)

$$MAD = 9,29 \times MAT - 35,2.$$

avec MAD exprimé en g/kg MS et MAT matières azotées totales exprimées en % de la MS

Ce système ne tient toutefois pas compte du rôle très particulier et essentiel des fermentations microbiennes dans le système de digestion en deux étapes des ruminants.

Le rumen des polygastriques contient une importante population microbienne (bactéries, protozoaires), laquelle fermente une fraction variable de l'aliment, produit des métabolites et se multiplie en consommant une partie de ceux-ci. D'une part la dégradation de la cellulose, de l'amidon, et des sucres génère l'énergie (ATP) nécessaire à la prolifération microbienne, d'autre part les protéines dégradées en peptides, acides aminés génèrent l'ammoniaque, principale source d'azote dans les synthèses microbiennes.

Les protéines alimentaires non dégradées ne peuvent être absorbées au niveau du rumen; le contenu de ce dernier est continuellement transféré vers la caillette puis l'intestin où une digestion de type monogastrique, à caractère enzymatique, prend place. La fraction protéique des digesta sera ainsi un mélange de matières protéiques alimentaires non dégradées et de protéines microbiennes, ces dernières ayant un profil en acides aminés essentiels différent de celui des végétaux de l'aliment. Les acides aminés non dégradés de l'aliment et ceux d'origine microbienne seront dans leur ensemble aptes à couvrir les besoins

métaboliques des ruminants, lesquels sont ainsi capables de tirer parti d'un aliment au profil en acides aminés peu équilibré en le transformant en protéines de haute valeur biologique telles que le lait ou la viande.

Les composés azotés dégradés dans le rumen entreront dans les voies de la synthèse microbienne au prorata des quantités d'énergie qui sont disponibles pour cette synthèse. Cette interdépendance entre l'énergie et l'azote est à la base des différents systèmes (une dizaine) actuellement utilisés en Europe; tous sont basés sur le même concept. On ne peut également examiner ici toutes les variantes propres à chacun; tout comme pour l'énergie, on se référera dans la suite du document au système français des PDI (protéines vraies digestibles dans l'intestin) également établi par l'INRA (1988). Bien que plus complexe, la démarche de calcul est nettement plus proche de la réalité et permet de traduire la notion essentielle d'équilibre azote-énergie dans l'alimentation des ruminants. Elle permet de qualifier la protéine et conduit à ajuster au mieux la complémentation à apporter. La dégradabilité ruminale des protéines est mesurée par la technique des sachets nylon; la description de la méthode et des exemples appliqués aux fourrages de savane en seront présentés plus loin.

Le troisième paramètre permettant de qualifier l'aliment est son ingestibilité. Chez les monogastriques, l'ingestion est principalement contrôlée par le niveau des métabolites circulant dans le sang. Chez les ruminants, elle sera d'abord liée à la capacité du rumen et au temps qu'il faudra pour réduire l'aliment en particules de taille suffisamment petite pour qu'elles transitent vers les compartiments suivants. L'ingestion peut être envisagée selon deux aspects, d'une part la capacité d'ingestion de l'animal, elle varie selon l'espèce et la taille corporelle et l'état physiologique de l'animal, d'autre part l'ingestibilité de l'aliment, c'est à dire son aptitude à être ingéré en plus ou moins grandes quantités par l'animal. Pour les fourrages naturels, ce second paramètre varie selon la nature, et pour une large part, selon la digestibilité et la teneur en azote. On admet généralement que 70 % des variations d'ingestibilité peuvent être attribués à des variations de composition chimique et de digestibilité. Des fourrages âgés, à teneurs en fibres et lignine élevées, à teneur faible en protéine séjourneront plus longtemps dans le rumen. La limitation dans les quantités d'azote dégradable et d'énergie fermentescible ralentira d'autant le développement de la population bactérienne cellulolytique; le transit et l'ingestion de quantités nouvelles se feront moins rapidement que pour des fourrages plus jeunes.

La matière sèche volontairement ingérée par l'animal augmente avec son poids vif mais de façon non linéaire. L'augmentation est liée à celle des besoins énergétiques dont une grande part est l'entretien; elle est permise par l'accroissement de la capacité du rumen (Jarrige, 1978). Rapportée au poids vif,

la matière sèche volontairement ingérée diminue; elle reste à peu près constante si on la rapporte à une puissance du poids vif qui se situe entre 0,60 et 0,75. On admet dans la plupart des systèmes un facteur de 0,75 dans l'expression de ce que l'on qualifie alors de poids métabolique de l'animal ($P^{0,75}$) ce qui permet, à l'intérieur d'une catégorie ou d'une espèce animale, l'expression uniforme de l'ingestibilité en termes de g de matière sèche par kg de poids métabolique.

Dans le cas des fourrages, l'ingestibilité peut varier considérablement; chez le mouton par exemple, un même ray-grass aura à un stade jeune (herbe de 10 cm de hauteur) une ingestibilité de $90\text{g/kgP}^{0,75}$, elle ne sera plus que de 40g au stade floraison (Lecomte, 1994). De nombreuses mesures de référence effectuées sur des lots d'animaux alimentés *ad libitum* ont permis l'établissement de relations permettant d'apprécier l'ingestibilité selon des critères de digestibilité et de composition chimique. Des relations de ce type adaptées aux fourrages tropicaux seront décrites et utilisées plus loin.

A ces systèmes seront associées des normes de besoins énergétiques des animaux exprimées dans les mêmes unités. Ces normes ont également été établies à partir de nombreux essais d'alimentation au cours desquels on a comparé les productions aux quantités d'énergie et de protéines ingérées.

L'application pratique de ces systèmes d'évaluation dans un élevage extensif de savane ne va bien entendu pas dans le sens de la formulation d'une ration alimentaire équilibrée. Par ailleurs, mise à part la digestibilité de la matière organique et dans une moindre mesure la dégradabilité des protéines, les paramètres concernant le métabolisme ou les besoins énergétiques, ainsi que ceux adaptés au calcul de la synthèse microbienne, n'ont généralement pas été vérifiés en milieu tropical. On ne peut donc utiliser le système qu'en tant que référentiel, à l'intérieur duquel on comparera la valeur des fourrages selon des critères d'âge ou de types de végétation dans le but de faire correspondre la valeur alimentaire, énergie, protéine et ingestibilité à un objectif de performance optimale.

3.2.2. Digestibilité et valeur alimentaire des fourrages tropicaux

Pour les fourrages tropicaux, tout comme pour les fourrages tempérés, la digestibilité varie selon les espèces et diminue au cours de la croissance de la plante. En comparant selon la méthode Tilley et Terry (1963) les valeurs de digestibilité de la matière sèche de 543 échantillons d'espèces tropicales, Minson et McLeod (1973) mettent en évidence une plage de variation allant de 30 à 75%, la forme de la distribution étant similaire à celle de 593 échantillons d'espèces tempérées. Ces dernières évoluaient entre des valeurs allant de 45 à 85% avec une moyenne générale plus élevée de 12,5% que celles des espèces tropicales. En comparant les valeurs obtenues pour les mêmes espèces sous

différentes conditions climatiques de l'Australie, ils montrent une corrélation (r) de 0,76 avec la température. L'effet est à mettre en relation avec les mécanismes décrits plus haut; l'activité et le rendement photosynthétique sont liés à la température ambiante. En condition de température croissante, la vitesse de croissance augmente et la graminée élabore plus de produits de structure (hémicellulose, cellulose), elle se lignifie plus rapidement et perd de sa digestibilité.

Avec l'âge, la graminée devient moins digestible et sa valeur énergétique diminue. Dieng (1991) montre cette évolution (tableau 2) dans des bilans *in vivo* réalisés au Sénégal sur un premier cycle de repousse d'*Andropogon gayanus*.

Tableau 2 - Evolution de la valeur alimentaire d'*Andropogon gayanus* au cours du premier cycle de la plante.

Age de la pousse en semaines	dMO %MO	MAT %MS	CB %MS	UFL /kg MS	MAD gr/kg MS
3-4	69,7	17,3	29,1	0,96	130
4-5	69,2	15,8	30,0	0,94	117
6	59,6	9,7	33,2	0,68	57
7	61,5	7,9	34,9	0,70	42
8	50,4	7,0	35,7	0,54	31

Source : Dieng, 1991.

La digestibilité de la matière organique chute assez rapidement; cette diminution se répercute sur la valeur UFL, laquelle nous apparaît ici élevée pour les jeunes repousses et liée à la teneur élevée en azote du fait que les plantes étaient cultivées avec un apport d'engrais azoté. De même la valeur exprimée en MAD décroît très rapidement, pour les jeunes repousses.

Xandé *et al.* (1991) présentent des valeurs alimentaires à différents âges, calculées selon les normes standard INRA (1988), pour une gamme assez large de fourrages cultivés et testés en digestibilité de la matière organique et ingestibilité de matière sèche à la Guadeloupe, dans des conditions de sol et de climat similaires à celles que l'on peut observer dans la zone guinéenne.

Les valeurs moyennes et les limites encadrant 90% de la population testée obtenues sur 23 graminées et 7 légumineuses, classées selon l'âge de la pousse offerte aux animaux, sont synthétisées au tableau 3.

Tel qu'il est présenté, le tableau 3 traduit l'ordre de grandeur des variations que l'on peut observer pour les différentes valeurs alimentaires dans une population de fourrages tropicaux. Les valeurs évoluent avec l'âge; les teneurs en protéines sont généralement peu élevées et décroissent très rapidement. Les valeurs PDIN sont généralement inférieures aux valeurs PDIE, traduisant ainsi le déséquilibre quasi constant entre l'énergie et l'azote du fourrage au niveau du

rumen. L'ingestibilité décroît dans des proportions réduites, les valeurs UFL étant calculées selon la digestibilité de la matière organique (dMO), elles suivent toutes deux la même évolution.

Tableau 3. - Valeurs alimentaires (moyennes et amplitudes) de fourrages de la Guadeloupe selon l'âge de la repousse.

Age de repousse en semaines	MAT %MS	CB %MS	dMO %MO	MS ingérée mouton g/kgP ^{0,75}	PDIN g/kgMS	PDIE g/kgMS	UFL /kgMS
4	12,3 3,8-20,8	28,7 15,6-41,7	62,3 48,2-76,3	63 52-73	79 25-133	89 56-122	0,71 0,49-0,93
5	11,8 6,5-17,1	29,5 21,4-37,5	63,1 54,5-71,8	63 57-69	76 42-109	89 69-109	0,74 0,60-0,88
6	9,9 5,2-14,5	28,2 21,1-35,3	61,8 54,2-69,4	61 55-67	63 34-93	81 63-99	0,71 0,59-0,83
7	10,2 5,5-14,8	30,3 23,2-37,4	60,7 53,1-68,4	61 55-66	65 35-95	82 64-100	0,70 0,58-0,82
8-9	9,4 4,4-14,5	31,2 23,5-38,8	59,9 51,6-68,2	60 54-66	60 28-93	79 60-98	0,69 0,56-0,82
10 à 12	8,5 3,2-13,8	31,5 23,3-39,6	59,4 50,6-68,1	59 52-65	55 20-89	76 56-96	0,68 0,55-0,82
>12	7,8 3,3-12,3	31,5 24,6-38,4	56,8 49,4-64,3	57 52-63	50 21-79	72 54-89	0,65 0,53-0,76

Sources : Xandé *et al.*, 1991

En étudiant l'effet saison, ils mettent en évidence les écarts centrés à la moyenne annuelle de la façon suivante (tableau 4) :

Tableau 4 - Variation de la valeur alimentaire des fourrages de la Guadeloupe selon les saisons.

Saison	MAT %MS	CB %MS	dMO %MO	MS ingérée mouton g/kgP ^{0,75}	PDIN g/kgMS	PDIE g/kgMS	UFL /kgMS
sèche	6	-11	0.4	1	4	2	0.05
humide	-6	11	-0.4	-1	-4	-2	-0.05

Sources : Xandé *et al.*, 1991

L'effet saison pourrait également être confondu avec la croissance journalière de la plante, tributaire de la pluviosité. En saison sèche, il n'y a plus de floraison; la perte des vieilles feuilles et la croissance ralentie entraînent une concentration moins grande en cellulose et en parois lignifiées.

4. L'écosystème savanicole

La description d'un type de végétation, si elle s'opère en général d'un point de vue statique, ne doit pas pour autant laisser oublier la dynamique et les notions d'équilibre qui sont inhérentes à tous les systèmes biologiques. L'exploitation extensive de la savane tire parti de cet écosystème; le caractère extensif suppose que l'on apporte très peu, voire aucun intrant extérieur, ce qui rend l'équilibre naturel d'autant plus fragile.

4.1. Equilibre et changements de végétation

Les changements que l'on peut observer dans les végétations tropicales sont de trois grands ordres (Hopkins, 1974).

Les changements saisonniers se reproduisent régulièrement d'année en année. Ils sont essentiellement liés au climat (alternance de saisons sèche et humide, thermo-photopériodisme). Ils influencent de façon cyclique la productivité journalière de la savane et induisent périodiquement la floraison des plantes.

Les fluctuations irrégulières, qui sont liées à des incidents climatiques, tels que des saisons sèches particulièrement longues et intenses, induisent par exemple la floraison et la production de graines en surabondance chez le Fromager (Kapokier) *Ceiba pentandra*.

Les successions où la végétation évolue selon un schéma bien défini que l'on appelle *sere*, pour tendre vers un équilibre plus ou moins stable qualifié de *climax*. L'équilibre naturel de la végétation est d'abord lié au climat et l'on parle alors de *climax climacique*. L'ère quaternaire, qui a débuté depuis un million d'années, a ainsi connu une suite de périodes sèches et humides s'étendant sur 20.000 à 200.000 ans. Au rythme de ces variations, les végétations se sont succédé; la zone forestière s'étendait en latitude au cours des périodes humides, tandis que la savane recolonisait les zones équatoriales en périodes sèches.

Au cours des dernières décennies, on a pu observer une régression importante de la forêt équatoriale au profit de la superficie de savane. Cette évolution est en grande partie attribuable à l'intensification des activités humaines. Parallèlement, on a pu observer, particulièrement dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne, une diminution considérable de la pluviosité au cours des 20 dernières années accentuant encore d'autant ce phénomène.

Les successions sont qualifiées de primaires lorsqu'elles débutent sur le sol nu. Les successions secondaires s'opèrent, quant à elles, au départ d'un type de végétation défini. En région tropicale, la recolonisation d'une zone de culture itinérante par la forêt ou par une savane sont un exemple de deux types bien distincts de successions secondaires.

Dans la zone forestière, un terrain de culture abandonné sera rapidement envahi par les espèces herbacées, lesquelles sous l'action du vent, des animaux ou d'autres facteurs, sont susceptibles de se disperser sur de grandes distances. Tôt ou tard, le feu s'installe et détruit les jeunes pousses d'essences forestières sensibles à ce facteur, tandis que d'autres plus résistantes prennent place. La végétation originelle évolue alors vers une formation dominée par les espèces herbacées que l'on qualifiera de "savane dérivée". En régions périforestières, cette formation sera à son tour progressivement envahie par les ligneux de savane résistants au feu et prendra peu à peu l'aspect d'une savane arborée typique. Ce type d'évolution se produira à des degrés divers selon la proximité de contact et d'échange entre les deux types originels de végétation. Lorsqu'une succession débute, la vitesse d'évolution est d'abord très rapide; elle ralentit ensuite et un nouvel équilibre est progressivement atteint. Il reste toutefois relativement instable et ne perdure que sous l'action du feu. Le nouveau *climax* qui s'installe est qualifié d'anthropique ou biotique.

La protection d'une zone de savane dérivée contre le feu induit par contre un retour au *climax climacique* et à la recolonisation par la forêt. Des expérimentations telles que celles relatées par Vuattoux (1970) à Lamto (Côte d'Ivoire), par Dereix et Amani (1976) à Kolondékro (Côte-d'Ivoire) ou par Charter et Keay (1960) dans la réserve d'Okolomedji (Nigéria) démontrent ce retour à la forêt.

Le tableau 5 présente les observations qui ont pu être faites à Okolomedji après 6 années de différents traitements de feu dans une savane typique de la zone périforestière. Les espèces sensibles disparaissent totalement dans le cas de feux tardifs systématiques. Pour ce même type de feu, le nombre de ligneux totaux est réduit de moitié en regard d'une pratique de feu précoce ou au quart en regard de l'absence de feux.

Tableau 5 - Evolution de la végétation ligneuse à Okolomedji (Charter *et al.* 1957).

Feux	Nombre de ligneux pieds /acres	
	espèces sensibles	toutes espèces
tardifs	0	98
précoces	11	163
aucun	279	433

La figure 7 tirée des travaux de Vuattoux (1976) présente cette évolution régressive de la savane au profit de la forêt en absence de feux.

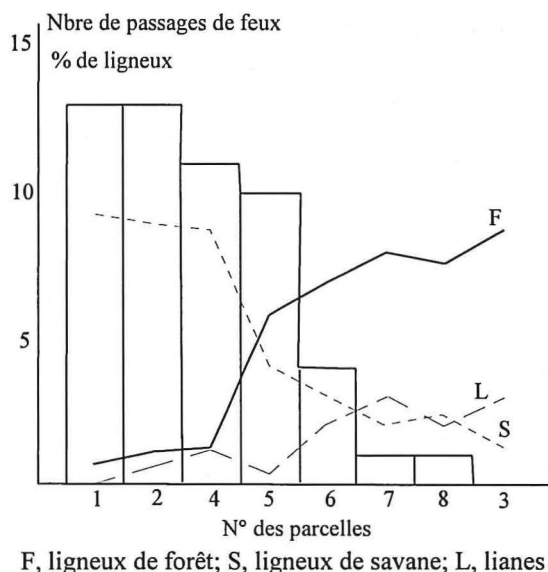


Figure 7 - Variation du pourcentage des différentes catégories de ligneux selon le nombre de passages du feu, dans la savane de Lamto (Vuattoux, 1976, *in* César, 1992).

Ces données illustrent bien l'incidence du feu et de son intensité sur le couvert végétal ainsi que l'importance d'une utilisation judicieuse de ce facteur lorsque l'on veut maintenir une végétation herbeuse et l'exploiter pour l'affouragement des animaux. On se rappellera par ailleurs que la pratique des feux n'est pas limitée au continent africain et que c'est de façon tout à fait analogue que les paysans de Famenne (Belgique) entretenaient au 16^{ème} siècle les pacages à moutons établis sur les pelouses calcaires, limitant l'embuissonnement par des mises à feu périodiques de la végétation (Limbourg, comm. verb.).

Il apparaît donc clairement que lorsque l'on veut exploiter la savane à des fins d'élevage, la notion d'équilibre et le corollaire d'instabilité qu'il sous-entend sont particulièrement fondamentaux. Le feu, qui fait partie intégrante de l'écosystème en tant qu'élément régulateur du retour à la végétation forestière, est utilisé pour régénérer des repousses appréciées par le bétail. L'excès de feu ou de charge animale, ou leur mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps, déséquilibre les relations qui se sont établies entre les espèces et, très rapidement, une nouvelle succession prend place.

4.2. Transferts dans l'écosystème savanicole

L'écosystème savanicole comprend les facteurs du milieu, les plantes, les animaux, le feu et l'ensemble des relations qu'ils ont entre eux.

Le bilan énergétique d'un écosystème savanicole guinéen dont on valorise la productivité en élevage extensif peut être approché en s'inspirant des approches faites par Mooney et Godron (1986) et en se basant sur les paramètres suivants. Le rayonnement solaire moyen dans la zone guinéenne est de l'ordre 2,01 kJoules/cm²/jour; le rayonnement net directement utilisable par la plante pour ses besoins d'évapotranspiration et de photosynthèse est en moyenne de 1,00 kJ/cm²/jour. Une savane à *Hyparrhenia diplandra* sur sols moyennement fertiles produit à l'hectare une biomasse annuelle de l'ordre de 8 tonnes de matière sèche avec un pouvoir calorifique de 18,4 kJ/g MS. Dans un élevage extensif en savane, la productivité globale du troupeau Ndama est de l'ordre de 40 kg de gain de poids vif/tête/an pour une charge moyenne de 2,5 ha/tête. Les besoins d'entretien et de production de l'animal de référence (250 kg) sont de 3,5 UF/jour. L'herbe de savane contient en moyenne 0,6 UF/kg MS, ce qui conduit l'animal moyen à consommer un total annuel de 2.200 kg de matière sèche par 2,5ha de surface.

La figure 8 illustre les différents niveaux de transferts énergétiques dans l'écosystème savane.

Le rendement de la transformation de l'énergie solaire en biomasse végétale est très faible (0,4%). L'excédent est dispersé dans les mécanismes de transpiration, diffusé ou réfléchi vers le milieu.

Sept pour cent de la biomasse existante sont consommés par les animaux, ce qui est un rapport global tenant compte de la mise en défens d'une part importante de la végétation et d'un coefficient d'utilisation de $\pm 60\%$ des végétaux disponibles.

L'efficacité de la transformation de cette matière consommée est également très faible (2,3%); la qualité de la matière et les variations saisonnières de la disponibilité en herbe limitent les quantités ingérées et la valeur énergétique. Par ailleurs, le choix des animaux est limité à des races rustiques, trypanotolérantes, nettement moins productives que d'autres races de bétail.

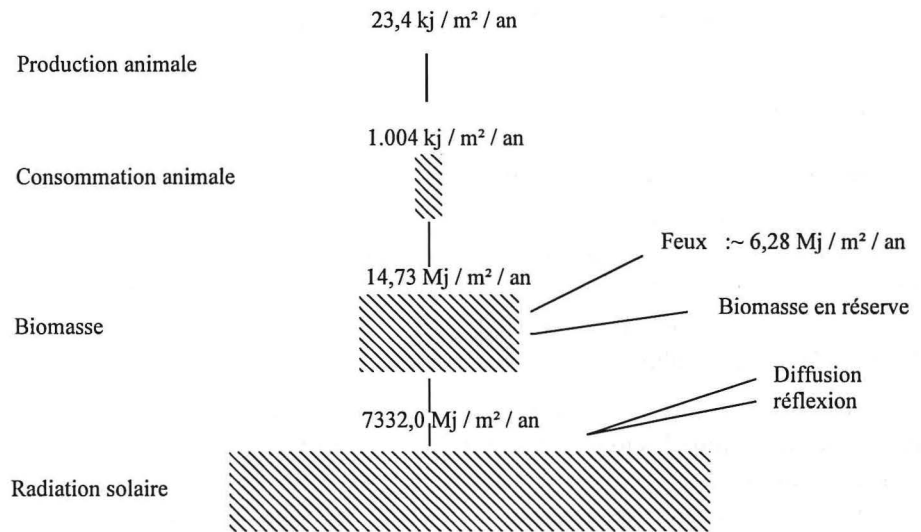


Figure 8 - Transferts énergétiques dans l'écosystème de savane.

Cet ensemble caractérise relativement bien le côté extensif d'un système où l'on utilise très peu d'intrants et où, tout en essayant de rendre la production optimale, on attache une importance prépondérante au contrôle des ligneux et au maintien de l'équilibre naturel de la végétation. Les possibilités d'intensification sont assez limitées. De nombreuses tentatives ont été engagées pour améliorer les espèces végétales et leur utilisation : introduction d'espèces nouvelles ou de légumineuses, remplacement du feu par des traitements mécaniques, constitution de silos pour la saison sèche, etc. Dans le cas de grands élevages, pratiquement aucune n'aboutit à un système durable dans la pratique, soit pour des raisons de précarité d'installation dans le cas des espèces nouvelles (concurrence, pathologie telle que l'anthracnose du *Stylosanthes guyanensis*), soit dans la majorité des situations pour des raisons de coût prohibitif. La taille de l'espace n'étant pas dans ce cas un facteur limitant, il est souvent plus rentable de répartir au mieux les charges et de veiller à l'approvisionnement régulier en fourrages de qualité tout en sélectionnant parallèlement un bétail rustique adapté aux ressources locales, que d'introduire des végétaux ou des animaux exotiques performants mais trop sensibles au climat et au parasitisme.

III. Utilisation pastorale de la savane en région guinéenne

1. Généralités.

1.1. Historique et types d'élevage.

La domestication du bétail à des fins d'élevage et de travail date du 10^{ème} millénaire *A.C.* Elle aurait eu la Mésopotamie comme centre d'origine. L'introduction du bétail sur le continent africain a suivi le rythme des grandes migrations des peuples au cours des 4^{ème} et 5^{ème} millénaires *A.C.* (Faulkner et Epstein, 1957), pour aboutir sur les plateaux du Nigéria en 200 *A.C.*

L'hostilité du milieu et plus particulièrement l'incidence de la trypanosomiase ont par la suite limité les migrations du bétail aux bordures de la zone guinéenne et l'on ne trouve pas de traces anciennes d'élevage bovin domestique dans les savanes de l'intérieur de la zone. La faune sauvage y était par ailleurs particulièrement abondante et constituait la principale ressource en produits carnés.

Le développement de l'élevage est en fait très récent. En Afrique Centrale, il date du tout début du siècle et trouve son origine dans les diverses tentatives d'implantation qui ont été réalisées par les colons. Au Zaïre par exemple, les premières introductions de bétail datent de 1880 (Mortelmans et Kageruka, 1976).

Les régions de l'Ouest de l'Afrique subissant la pression des glossines comptent actuellement près de 26 millions de bovins (FAO, 1993). Ce sont le recours à des races de bétail adaptées et l'amélioration des techniques qui ont permis cet important développement de la production bovine.

Selon la taille et le niveau d'évolution de l'exploitation, on peut distinguer plusieurs types d'entreprises : le ranch industriel, l'exploitation villageoise et, à un niveau intermédiaire, la ferme de dimension moyenne.

De nombreux ranches ont été implantés dans les différents pays de la zone guinéenne. Au début du siècle, ils étaient le fruit d'initiatives privées auxquelles revient le mérite de l'importation des animaux et de l'élaboration progressive d'un système adapté aux conditions locales. L'élevage de Kolo au Bas-Zaïre en est un exemple typique.

Par la suite, chaque pays ayant le souci de développer sa propre production d'élevage, des efforts importants ont été entrepris pour implanter des structures nationales, à vocation commerciale ou de plus en plus comme support à des systèmes villageois (ferme d'élevage, traction animale).

Dans un ranch, les animaux séparés en catégories et classes d'âge sont répartis en troupeaux installés sur de vastes pâtures, individualisées ou non par des clôtures, à l'intérieur desquelles sont organisées des rotations de feux et de mises en réserve de parcelles de végétation. Régulièrement, le bétail est rassemblé afin d'assurer les opérations de contrôle sanitaire, de triage et d'organisation des troupeaux. La taille de ces exploitations varie de 1.000 à 30.000 têtes à raison de 2 à 6 hectares par Unité de Bétail Tropical (animal de 250 kg).

En milieu villageois, l'élevage est considéré à la fois comme une forme de capitalisation et comme une source de revenus. L'éleveur conduit les animaux le plus souvent en un seul troupeau de 5 à 50 têtes et exploite de petites étendues clôturées ou non à proximité du village. Le savoir faire de l'éleveur, l'intérêt qu'il porte à son troupeau et à la gestion de sa pâture, ses connaissances en matière de soins à apporter au bétail conditionnent les performances de son troupeau.

En Afrique de l'Ouest, les troupeaux appartiennent généralement à des populations nomades (Peuls,..) lesquelles, sous l'action persistante de périodes de sécheresse récurrentes, quittent les zones sèches et s'installent progressivement dans les milieux plus humides. En Afrique Centrale, les troupeaux de petites dimensions que l'on trouve dans de nombreux villages sont le plus souvent issus d'opérations de métayage lancées par les gouvernements ou les organisations religieuses pour introduire un cheptel bovin dans les zones qui en étaient dépourvues. Le principe général du métayage est de mettre à la disposition d'un individu ou d'une communauté un ou plusieurs noyaux d'animaux, composés de 5 à 10 génisses et d'un taureau (Lecomte *et al*, 1988; 1990). Le métayer doit édifier l'infrastructure (clôture, parc de nuit, couloir de soins) et acquérir l'équipement nécessaire aux opérations de prophylaxie. Au terme d'un contrat, le prêteur s'engage à restituer l'équivalent de son cheptel de départ et verse parfois un intérêt, sous forme de jeunes animaux. Des opérations de ce type ont été lancées principalement dans les années 50 au Zaïre, au Congo, au Gabon, avec des succès divers liés à la qualité de l'organisation de départ et au suivi des éleveurs. Ces opérations ont permis de développer dans cette région un troupeau de près de 100.000 bovins et d'intéresser les villageois aux activités d'élevage.

Les fermes constituent un mode intermédiaire qui s'est surtout développé au cours des 20 dernières années; propriétés de commerçants ou de personnalités importantes, elles utilisent de la main d'oeuvre salariée. Les méthodes d'élevage dérivent des techniques utilisées dans les grands ranches. Ces fermes comptent de 50 à 1000 bovins.

1.2. Le bétail

1.2.1. Incidence de la trypanosomiase

Dans les régions semi-arides de l'Afrique, les maladies contagieuses bactériennes ou virales, comme la peste bovine, sont une entrave à l'élevage. Avec l'accroissement de l'humidité du climat, les maladies parasitaires prennent le pas et parmi celles-ci, la trypanosomiase, transmise par les glossines ("mouches tsé-tsé"), constitue une contrainte de premier ordre. Pierre en 1906 fut un des premiers à décrire l'aptitude de certaines races bovines de l'Afrique occidentale à survivre dans les zones infestées de glossines. Cette aptitude a par la suite été qualifiée de trypanotolérance et étendue à toute espèce animale.

Au cours du siècle, les taurins de l'Afrique occidentale, dont on considérait la trypanotolérance comme une singularité biologique, ont pris peu à peu une importance considérable dans le développement de l'élevage en régions à forte pression glossinaire où d'autres races ne peuvent être maintenues que sous des schémas prophylactiques très stricts.

Suivant la classification régionale établie par Mason (1951), basée sur l'existence ou l'absence de bosse, on distingue deux espèces bovines en Afrique Occidentale et Centrale : les taurins, (*Bos taurus*, bovins sans bosse), les zébus (*Bos indicus*, bovins à bosse) et leurs métis. Il est généralement admis que seuls les taurins de la zone sont trypanotolérants.

Une classification des races et effectifs de bovins trypanotolérants est présentée au tableau 6. Les données sont issues d'un inventaire effectué par le Centre International des Productions d'Elevage en Afrique en 1979, lequel organisme contribue depuis 1974 à l'étude de la trypanosomiase et de ses implications dans les systèmes d'élevage.

La race Ndama représente la catégorie la plus importante, 45 % des effectifs de la région étudiée par CIPEA (1978). En ranching, la race Ndama est quasiment la seule utilisée.

De nombreuses études ont été consacrées à la race et à son potentiel pour l'élevage (Pagot, 1959; Coulomb, 1976; Frère *et al.*, 1984; Traore, 1989). Nous nous limiterons dans ce travail à l'analyse en 3^{ème} partie de paramètres de fécondité et de croît mesurés dans un grand élevage en savane de l'Afrique centrale et ici à une caractérisation succincte de la race.

Tableau 6 - Classification et effectifs de bovins trypanotolérants en Afrique de l'Ouest et centrale.

Classes	Catégories	Races	Millions de têtes
Taurins à longues cornes			3,4
	Ndama	Ndama	
Taurins à courtes cornes			1,8
	Taurins nains	Lagune, Muturu de forêt	(0,1)
	Taurins de savane	Baoulé, Ghana Shorthorn, Somba, Muturu de savane, Doayo Bakosi, Kapsiki	(1,7)
Métis zébus × taurin			2,4
	Zébus × Ndama	Djakoré, Bambara	(1,0)
	Zébus × taurins à courtes cornes	Ghana Sanga, Borgou, Keteku	(1,4)

Sources : CIPEA, 1979

1.2.2. Le bétail Ndama

Originaire du massif montagneux du Fouta-Djallon en Guinée, le Ndama est un descendant direct du bétail hamitique à longues cornes (*Bos primigenius*) dont le centre d'origine était la Mésopotamie. La grande tolérance de la race à l'égard de la trypanosomiase est à la base de sa survie en région guinéenne et de sa dispersion dans de nombreux pays africains.

La fécondité des femelles évolue selon les situations entre des valeurs de 35 à 88%, variations qu'il faut lier aux conditions alimentaires locales et à l'état sanitaire des animaux. Le premier oestrus est observé chez les jeunes génisses entre 11 et 12 mois. En élevage organisé, elles ne sont mises au taureau que lorsque elles atteignent les 2/3 de leur poids adulte (220 kg) entre 22 et 28 mois. L'intervalle entre deux vêlages est en moyenne de 14 mois et demi. En monte libre, on observe généralement un pic dans la répartition des naissances au cours de la période septembre à février, époque correspondant au retour des pluies à hauteur de l'équateur; dans les latitudes plus élevées (Sénégal), le pic se décale vers les mois de janvier à juin.

Les taux de mortalité sont très variables. Le tableau 7 établi par Frère *et al.* (1984) donne quelques exemples de taux de mortalité globale et de répartition entre les différentes catégories d'animaux sous différentes situations d'élevage de la zone guinéenne.

Comparée à celle du bétail européen, la productivité des taurins trypanotolérants est basse. Elle reste toutefois la seule possible, le recours à des

rares plus performantes (Zébus, croisements avec des races européennes) n'étant pas rentable.

La production laitière est faible : les estimations effectuées à partir de la croissance de veaux indiquent une production journalière variant de 2 à 3,3 litres (Hoste *et al.*, 1983). En station, les meilleures lactations atteignent 900 kg avec une teneur moyenne en matière grasse de 4,75% pour une durée moyenne de 38 semaines (Pagot *et al.*, 1972).

La croissance pondérale est lente, le développement complet n'étant atteint qu'à l'âge de 6-7 ans (Traoré, 1989). A la naissance, les veaux mâles ont des poids allant de 17 à 24 kg; ils atteignent leur poids adulte aux environs de 48 mois et pèsent alors 310 à 350 voire 390 kg selon qu'ils sont élevés sur pâturages naturels ou embouchés sur pâturages améliorés. En embouche intensive, les gains maximaux que l'on peut observer sur de courtes périodes sont de l'ordre de 800 g/j. Les rendements 4 quartiers sont de 50 à 54%.

Le tableau 8 également établi par Frère *et al.* (1984) compare les performances enregistrées dans différentes situations de la zone guinéenne.

Tableau 7 - Paramètres biologiques de la race Ndama observés dans diverses situations d'élevage en zone guinéenne.

Pays	Types d'élevage	Age au 1er vêlage mois	Intervalle de vêlage mois	Fécondité %	Répartition des naissances	Taux de mortalité selon les catégories			
						Troupeau %	< 1 an %	1-2 ans %	> 3ans %
Sénégal	E.T.	≤ 42	16-19	56	janvier-juin	12	30	15	2
Gambie	E.T.	34-40	29	35-42	-	-	30	12	3
	S.R.	28-40	13	-	-	-	-	-	-
Sierra-Leone	E.T.	36-48	12-16	-	novembre-mars	-	23,7	-	-
	S.R.	39,4	13,2	-	septembre-février	-	7	-	-
Mali	E.T.	42-48	-	60-65	-	21	35-40	-	-
	S.R.	45,5	-	75	-	-	-	-	-
Côte-d'Ivoire	E.T.	36-48	-	<50	-	-	11,9	-	-
	S.R.	35	14,2	88,5	octobre-janvier	-	-	-	-
Nigéria	R.	42-45	-	-	-	4	10-12	-	-
	R.	40,5-47,5	15,5-18,7	54-78	novembre-mars	2-3	-	-	-
Zaïre	R	40 - 44	12,4	68,9	septembre - décembre	1,14	0,96	1,3	1,4

ET, élevage traditionnel; SR station de recherche; R, ranch

Source: Frère *et al.*, 1984

Tableau 8 - Paramètres de production du bétail Ndama dans diverses situations d'élevage de la zone guinéenne

Pays	Type d'élevage		Evolution des poids (Kg)						
			Naissance	6 mois	12 mois	18 mois	24 mois	36 mois	48 mois
Sénégal	S.R.	M	24,0	86,0	122,0	142,0	217,0	272,0	350,0
		F	21,5	80,0	112,0	141,0	183,0	251,0	281,0
Gambie	S.R.	M	20,4	92,4	104,0	181,0	206,0	-	-
		F	20,4	97,5	130,0	172,0	190,0	-	-
Sierra-Leone	Pâturages naturels	M	17,0	75,0	-	-	145,0	-	311,0
		F	-	-	-	-	-	-	235,0
	Pâturages améliorés	M	20,0	95,0	-	-	220,0	-	390,0
		F	-	-	-	-	-	-	310,0
		F	-	46,0	80,0	99,0	123,0	188,0	-
Côte-d'Ivoire	S.R.	M	18,0	90,0	130,0	177,0	227,0	311,0	329,0
		F	17,0	84,0	121,0	154,0	191,0	160,0	287,0
Nigéria	R	M	18,0	109,0	164,0	202,0	246,0	-	259,0
		B	17,0	85,0	104,0	183,0	220,0	262,0	-
Zaïre	R	M	24,5	94,0	158,4	190,0	230,0	310,0	330,0
		F	23,5	85,5	149,1	160,0	210,0	225,0	260

M, mâles; F, femelles; B, boeufs; SR, stations de recherche; ET, élevage traditionnel, R, ranch.

Source: Frère *et al.*, 1984

1.3. Production bovine en Afrique centrale et de l'Ouest

La situation du secteur de production bovine dans la zone tropicale humide de l'Afrique et son évolution récente peuvent être caractérisées en observant les données reprises dans les tableaux 9, 10 et 11.

Les tableaux ont été établis en reprenant d'une part, les chiffres cités dans l'inventaire effectué par le CIPEA en 1979 et d'autre part, les données présentées dans l'annuaire statistique des productions agricoles de la FAO (1993). Le premier tableau (9) présente la situation des effectifs (1978) dans les dix-neuf pays de l'Afrique centrale et de l'Ouest inclus en partie ou en totalité dans la zone d'endémie de la trypanosomiase. Les superficies sont celles où les glossines sont présentes dans ces pays (totalité de la zone guinéenne et pour certains une partie de la zone soudanienne). Sont repris ensuite : l'effectif d'habitants, le total des bovins et l'effectif de bovins trypanotolérants, enfin, les densités d'habitants et de bovins au kilomètre carré en 1976 - 77.

En 76-77, la population bovine totale était selon cette étude de 14,6 millions de têtes dont plus de la moitié sont des bovins trypanotolérants. Une part importante des bovins considérés comme non trypanotolérants correspond au flux de bétail des régions sahélo-soudanaises qui transhument vers les grands centres urbains. Le tableau fait apparaître une décroissance des concentrations en bovins au km² à mesure que l'on se dirige vers les pays de l'Afrique centrale où l'élevage est moins développé dans le milieu traditionnel.

Le tableau 10 présente l'évolution des effectifs de bovins et de la population au cours de la dernière décennie, ainsi que l'accroissement démographique en % entre 1980 et 1993.

La population aurait augmenté au cours de cette période de près de 50%. Même si l'on pondère cette statistique par le fait qu'il s'agit souvent de données estimées ou projetées, l'accroissement aura été très important. Au cours de cette même période le pourcentage de personnes actives dans l'agriculture est passé de 74 à 68%, des pays tels que le Ghana ou la Côte d'Ivoire se situant à moins de 50%.

Le cheptel s'est quant à lui accru de 28%. Dans les pays proches des zones sèches, l'évolution est liée au déplacement des éleveurs vers les zones plus humides et au développement de l'embouche. En Afrique centrale, il s'agit de programmes de développement nationaux (Gabon) ou de l'accroissement en milieu villageois et dans les ranches.

Tableau 9 - Situation de l'élevage dans l'Ouest et le centre de l'Afrique.

Pays	Superficies 1000 km ²	Habitants 1000 habitants	Bovins		Têtes /km ²	Hab. /km ²
			totaux 1000 têtes	trypanotolérants 1000 têtes		
<u>Ouest</u>						
Sénégal*	111,5	1700	1310	1152	11,7	15,2
Gambie	11,3	540	296	296	26,2	47,8
Guinée Bissau	36,1	530	166	166	4,6	14,7
Guinée	245,9	5685	1215	1215	4,9	23,1
Sierra Leone	72,3	3053	207	207	2,9	42,2
Libéria	111,4	1600	25,5	25,5	0,2	14,4
Mali	220,0	3500	1810	987	8,2	15,9
Haute Volta	203,0	5000	1534	1024	7,6	24,6
Côte d'Ivoire	322,5	7028	516	356	1,6	21,8
Ghana	238,5	10500	777	755	3,3	44,0
Togo	56,8	2280	214	210	3,8	40,1
Bénin	112,6	3200	726	595	6,4	28,4
Nigéria*	400,0	44000	766	300	1,9	110,0
<u>Centre</u>						
Cameroun	475,4	7606	2917	8	6,1	16,0
Centrafrique	623,0	1827	1115	18	1,8	2,9
Gabon	267,7	544	3,2	3	0,0	2,0
Congo	342,0	1360	43,3	43,3	0,1	4,0
Zaïre*	763,0	9500	281	274	0,4	12,5
Angola*	314,0	1750	700	nc	2,2	5,6
Totaux	4927,0	111203	14622	7634,8		
Moyennes					3,0	22,6

Les superficies correspondent à celles où les glossines sont endémiques dans ces pays;
*estimations

Source : CIPEA, 1979.

Tableau 10 - Evolution de l'élevage et de la population au cours de la dernière décennie.

	Bovins			Population		
	1980	1993	croît %	1980	1993	croît %
<u>Ouest</u>						
Sénégal	1301	1476	13,45	1833	2631	43,5
Gambie	293	400	36,52	641	932	45,4
Guinée Bissau	290	475	63,79	795	1028	29,3
Guinée	1500	1650	10,00	4461	6306	41,4
Sierra Leone	349	333	-4,58	3263	4494	37,7
Libéria	39	36	-7,69	1876	2845	51,7
Mali	2621	2568	-2,05	4113	6075	47,7
Haute Volta	1660	2513	51,38	5638	7932	40,7
Côte d'Ivoire	664	1205	81,48	8194	13397	63,5
Ghana	804	1250	55,47	10736	16446	53,2
Togo	229	246	7,42	2615	3885	48,6
Bénin	810	1100	35,80	3459	5075	46,7
Nigéria	1122	1518	35,22	44817	68187	52,1
<u>Centre</u>						
Cameroun	3521	4867	38,23	8655	12547	45,0
Centrafrique	1662	2781	67,33	2313	3258	40,9
Gabon	5	30	500,00	806	1279	58,7
Congo	64	67	4,69	1669	2441	46,3
Zaïre	302	430	42,36	10106	15403	52,4
Angola	3117	3200	2,66	6993	10276	46,9
<u>Totaux</u>	20.354	26.145		122.984	184.438	
Moyennes			28,45			50,0

Totaux pour l'ensemble de la zone d'endémie de la trypanosomiase

Sources : Statistiques FAO, 1993.

Utilisant les mêmes sources, le tableau 11 présente pour l'année 1993 les productions totales de viande en carcasse de chaque pays et les rapports au nombre d'habitants et têtes de bétail.

Tableau 11 - Production de viande bovine dans les pays de l'Ouest et du centre de l'Afrique et situation moyenne pour l'Europe.

Pays	1000 t	Kg/habitant	Kg/tête de bétail
<u>Ouest</u>			
Sénégal	45,0	5,7	16,4
Gambie	1,0	1,1	2,5
Guinée Bissau	4,0	3,9	8,4
Guinée	15,0	2,4	9,1
Sierra Leone	5,0	1,1	15,0
Libéria	1,0	0,4	27,8
Mali	81,0	8,0	14,6
Haute Volta	41,0	4,2	9,8
Côte d'Ivoire	34,0	2,5	28,2
Ghana	21,0	1,3	16,0
Togo	5,0	1,3	20,3
Bénin	16,0	3,2	14,5
Nigéria	219,0	1,8	13,4
<u>Centre</u>			
Cameroun	74,0	5,9	15,2
Centrafrique	45,0	13,8	16,2
Gabon	1,0	0,8	33,3
Congo	2,0	0,8	29,9
Zaïre	30,0	0,7	18,2
Angola	54,0	5,3	16,9
<u>Total / Moyenne</u>	694,0	2,5	14,4
Europe	10,2	20,3	93,6

Sources : Statistiques FAO, 1993.

La comparaison de la production et de la consommation de viande dans ces pays et en Europe (Europe + Pays de l'Est) permet d'apprécier la grande disparité des données et les différences de productivité et de disponible par habitant entre des pays pratiquant un élevage extensif en conditions difficiles et les systèmes européens fortement intensifiés utilisant des races à haut potentiel de production.

2. Le système d'élevage en ranching

Les exemples repris dans le travail relevant plus particulièrement de la gestion de ranches d'élevage industriel, il nous paraît utile de rappeler sommairement les fondements de l'organisation de ceux-ci.

L'élevage extensif en savane peut être défini comme l'utilisation d'une superficie couverte par une végétation naturelle sur laquelle, en ne recourant qu'à une quantité limitée d'intrants, on organise la transformation d'une partie de la végétation en un produit à haute valeur économique.

Le processus de transformation est celui par lequel les ruminants, en grande partie grâce à la flore microbienne du rumen, utilisent l'énergie et l'azote des végétaux qu'ils consomment pour élaborer des protéines animales.

La rentabilité du processus est d'abord liée à la productivité du troupeau. En conditions naturelles, un troupeau ne réagit qu'en fonction d'instincts de survie et de reproduction; il n'a en soi aucun objectif de production. L'élevage consiste à conférer cet objectif à l'animal domestiqué en organisant le troupeau de façon à ce que d'une part, il se reproduise en nombre élevé et à ce que d'autre part, les jeunes issus de la reproduction connaissent un développement harmonieux.

La productivité du système dépend donc essentiellement de la fécondité des reproductrices, du niveau de mortalité affectant les différentes classes d'âge et du potentiel de croissance des animaux destinés à être commercialisés.

Ces différents paramètres sont eux-mêmes liés à des facteurs d'ordre alimentaire et sanitaire.

En élevage extensif, l'alimentation provient avant tout du pâturage naturel. Les quantités d'aliments disponibles dépendent de la charge en animaux par unité de surface et de la répartition de l'abreuvement qui limite les déplacements du troupeau et sa capacité à utiliser rationnellement l'espace qui lui est dévolu. La qualité du fourrage ingéré dépend de la gestion du parcours, plus précisément dans le cas des savanes de l'Afrique tropicale humide, d'une organisation de feux visant à planifier dans le temps la mise à disposition du troupeau d'une herbe qui soit hautement transformable par l'animal.

D'un point de vue sanitaire, il faut en permanence prémunir les animaux contre les parasites externes, principalement les tiques inoculant les parasites du sang, et traiter les myases cutanées ou autres plaies.

2.1. Organisation du bétail dans un ranch d'élevage

L'ensemble du système d'élevage est réparti en deux secteurs. L'un porte sur la reproduction : il rassemble des vaches et des taureaux et produit d'une part, des

veaux et velles et d'autre part, un lot annuel d'animaux réformés principalement pour des raisons d'âge. Le second porte sur l'élevage des jeunes animaux, il produit d'une part, des génisses qui, lorsqu'elles auront atteint une maturité suffisante, pourront entrer dans la reproduction ou être commercialisées et d'autre part, des mâles, pour la plupart castrés, qui seront engraisés jusqu'à un âge optimal de commercialisation en boucherie.

La figure 9 présente l'organigramme de répartition du bétail selon les catégories d'âge et de sexe (Lecomte *et al.*, 1994). L'ensemble du secteur reproduction est détaillé en troupeaux pouvant compter plusieurs centaines de têtes et comportant chaque fois les reproductrices, les taureaux et leurs veaux. Chaque troupeau évolue sur une superficie déterminée de pâturage. Les veaux sont sevrés à l'âge de 9 mois et transférés dans le secteur d'élevage où ils sont regroupés et transitent de troupeau en troupeau en fonction de la catégorie d'âge et de poids à laquelle ils appartiennent.

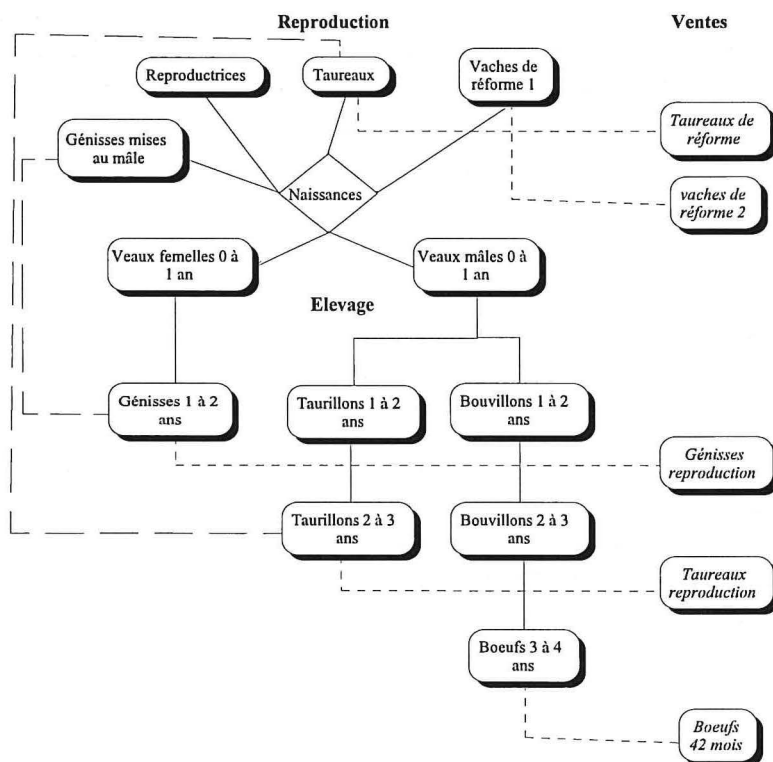


Figure 9 - Organigramme de la répartition du bétail dans un ranch d'élevage extensif (Lecomte *et al.* 1994).

2.2. Infrastructures et parcellaire d'un ranch

Dans un ranch, les opérations courantes consistent à rassembler chacun des troupeaux, généralement une fois par semaine, de façon à pouvoir traiter les animaux de façon préventive contre les tiques par un passage au bain acaricide ou au couloir d'aspersion. Une fois traités, les animaux sont conduits au couloir de soins où sont effectués les soins et les opérations de triage, marquage, écornage, castration, et sevrage des jeunes animaux. Les naissances, mortalités, mutations de parcs et de classes sont comptabilisées chaque semaine dans un état de cheptel.

Les troupeaux et les pâtures qui leur sont attribuées sont organisées autour de centres de soins répartis sur l'ensemble de l'élevage (Vanderwaeren et Wissocq, 1976). L'infrastructure comprend ainsi des routes et pistes, des centres de soins équipés chaque fois d'un "dipping tank", d'un couloir de soins et de parcs de triage du bétail. Un ensemble de parcs (paddocks) est réparti autour du centre. Chaque parc occupe une portion de territoire généralement colonisée par plusieurs types de végétation. Il est clôturé sur le pourtour par du fil barbelé et divisé en parcelles séparées par des pare-feu de 3 à 10 m de large qui sont entretenus manuellement ou à l'aide d'une niveleuse. Chaque parcelle est dotée d'un ou de plusieurs abreuvoirs.

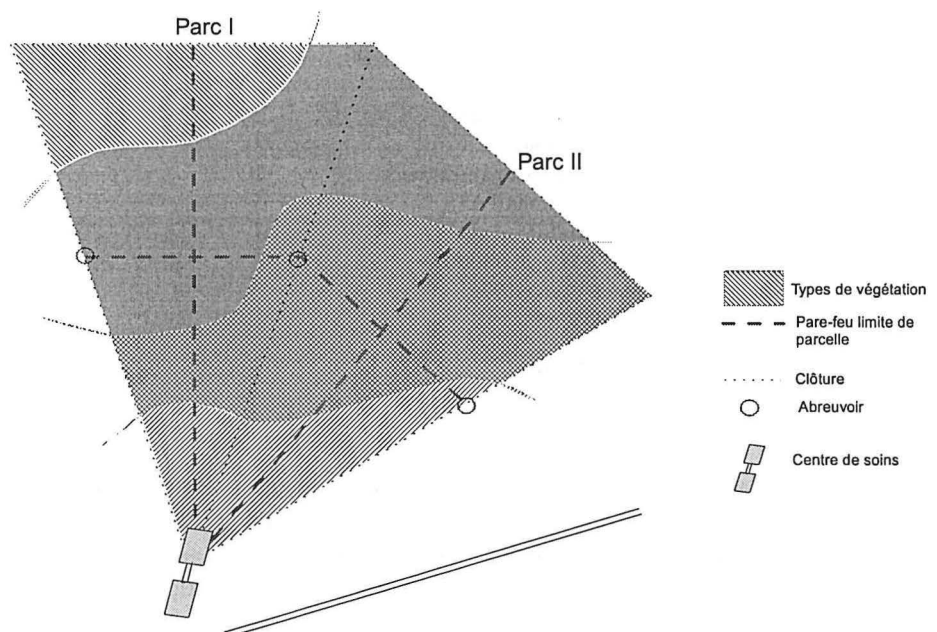


Figure 10 - Représentation schématique de la disposition des parcelles et parcs d'un ranch (Lecomte *et al.* 1994).

Le tableau 12 détaille à titre d'exemple l'infrastructure installée à l'intérieur du ranch de Kolo au Bas-Zaïre.

Le personnel comprend des responsables de section, de centre, de pâture, accompagnés de 2 à 3 bouviers par pâture. On compte en moyenne 12 personnes pour 1000 têtes.

Cette description donne un aperçu de la taille et de la complexité d'un élevage en ranching, dans lequel il faut maîtriser sur un grand territoire la gestion des personnes, des animaux, de la végétation et des infrastructures.

Tableau 12 - Caractérisation de l'infrastructure et de l'organisation en troupeaux au ranch de Kolo (Bas-Zaïre).

Superficie totale		52.258 ha
Périmètre		471 km
Effectif de bétail*		24.032 têtes
Routes et pistes		227 km
Sections		3
Centres de soins		15
Pâtures		51
Clôtures		803 km
Troupeaux	Catégorie	Nombre
	Reproduction	20
	Sevrans mâles 1 à 2 ans	1
	Sevrans femelles 1 à 2 ans	2
	Génisses 2 à 3 ans	9
	Génisses de vente	2
	Taurillons 2 à 3	1
	Taureaux reproducteurs	1
	Bouvillons 2 à 3	5
	Boeufs 3 à 4 et +	7
	Vaches de réforme	1

* moyenne sur 12 années (1964-1976)

Sources : Frère *et al.*, 1984.

2.3. Utilisation rationnelle du feu

2.3.1. Types de feux

Pour réussir un feu, il faut que les plantes soient en état de dormance ou dans un état proche, de façon à provoquer une progression rapide des flammes qui endommageront le moins possible les bourgeons situés à la base des touffes. L'objectif est de générer des repousses et de contrôler la végétation ligneuse. Il faut selon Thomas et Pratt (1967) une biomasse sèche d'au moins 1 tonne/ha pour contrôler un étage de buissons de 1 m de hauteur et d'au moins 2,5 t pour contrôler de plus hautes végétations.

On distingue différents types de feux selon la période de l'année:

- les feux précoces allumés dès les dernières pluies, en début de saison sèche. Ce sont des feux lents relativement contrôlables; ils préparent les repousses de saison sèche.

- les feux de pleine saison sèche, plus communément dénommés "feux de brousse", correspondent d'une manière plus générale à tous les feux allumés de manière sauvage ou accidentelle depuis le milieu jusqu'à la fin de la saison sèche. Avec l'avancement de la saison, ils sont de moins en moins contrôlables et, du fait de la disparition des réserves en eau du sol, ils n'engendrent que de faibles repousses. Ils sont donc à éviter.

- les feux tardifs ou feux différés s'opèrent en fin de saison sèche ou en début de saison des pluies. Particulièrement violents, ils ont un grand effet de contrôle sur la végétation arbustive et permettent de préparer les repousses de début de saison de pluies. La violence des feux, la présence fréquente de vents, les courants d'air qu'ils engendrent, les rendent particulièrement dangereux et difficiles à gérer.

- les feux de contre-saison se situent dans la période de ralentissement des pluies, que l'on dénomme souvent "petite saison sèche". Ils exigent, pour être efficaces, l'accumulation au sol d'une biomasse morte résultant de l'absence de mise à feu au cours de la précédente saison sèche. Ces feux sont fort importants, car ils permettent de régénérer la végétation offerte aux animaux à une période où la croissance exubérante et la perte de qualité au cours des mois précédents ne permet plus la réalisation de gains de croît.

2.3.2. Organisation des feux

Les principes qui conduisent à l'élaboration d'un schéma de feux sont de deux ordres.

En ce qui concerne la végétation, on doit alterner dans le temps l'époque à laquelle les différentes parcelles seront mises à feu et garder systématiquement une fraction du territoire qui sera mise en repos pour une période d'au moins un an.

Sur un plan zootechnique, il y a lieu d'adapter les surfaces mises à disposition des animaux en fonction des saisons ou, plus précisément, du potentiel de croissance de l'herbe.

La taille du troupeau auquel on attribue un bloc de parcelles matérialisé par des galeries forestières ou des pare-feu sera fonction de la productivité et du nombre de parcelles dont le bétail pourra disposer au creux de la saison sèche pour couvrir tout au moins ses besoins d'entretien.

Renard (communication personnelle) décrit ainsi les principes qu'il applique dans la gestion des parcours des ranches de la compagnie Van Lancker :

"En intégrant les facteurs de types de formations végétales, de configuration de l'espace, de rassemblement de bétail et d'abreuvement, les parcelles sont dimensionnées de façon à être, non pas de surface, mais de capacité de charge équivalente. On tentera d'ajuster la charge instantanée de la parcelle à sa productivité actuelle en évitant que le bétail ne se laisse dépasser par la pousse et ne crée un sous ensemble de parcelles surpâturées. Ce souci d'ajustement conduit à faire régulièrement passer le bétail en dehors des zones surpâturées, à multiplier les dépôts de sels minéraux ou à introduire dans le cas de systèmes en gardiennage une rotation secondaire à l'intérieur de la parcelle. C'est le rapport des quantités de repousses produites entre les saisons sèches et humides qui détermine pour un troupeau donné le nombre de parcelles à utiliser au cours de chaque saison. L'évolution de la qualité des repousses et le vieillissement de l'herbe déterminent la périodicité des feux".

Différents schémas de rotation de feux peuvent ainsi être mis au point. Ils varient selon les types d'élevage, le climat et la nature des formations végétales.

Selon les schémas que l'on adopte, la part de la surface totale qui sera mise en défens varie de 20 à 33 %, ce qui conduit à découper l'espace en 3 à 5 parcelles et à organiser la rotation sur des périodes allant de trois à quatre ans. Plus on dispose de parcelles, plus il est possible de moduler l'espace mis à disposition du bétail en relation avec le potentiel saisonnier de croissance. Le nombre de parcelles mis en oeuvre doit toutefois rester raisonnable en regard de la complexité de gestion et du coût d'entretien.

Deux exemples sont proposés au tableau 13; ils correspondent à des situations climatiques différentes, elles-mêmes illustrées à la figure 11.

Le premier est celui proposé pour les savanes arborées du ranch de l'Adélé au Togo (Compère *et al.*, 1993); il est du type 4 parcelles en rotation alternée sur 4 ans, et comporte l'utilisation de trois feux .

Le second est le schéma proposé par Renard (1981) pour les pâturages du ranch de la Nyanga (Gabon). Le système repose sur une division en cinq parcelles et l'utilisation de trois feux; un tel système diminue toutefois les temps de repos et présente plus de risques de dégradation.

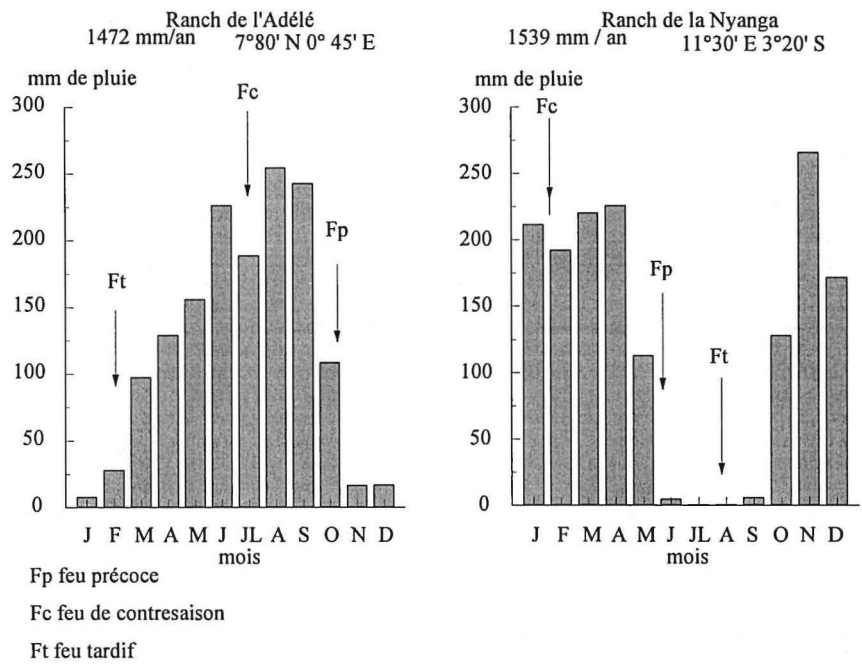
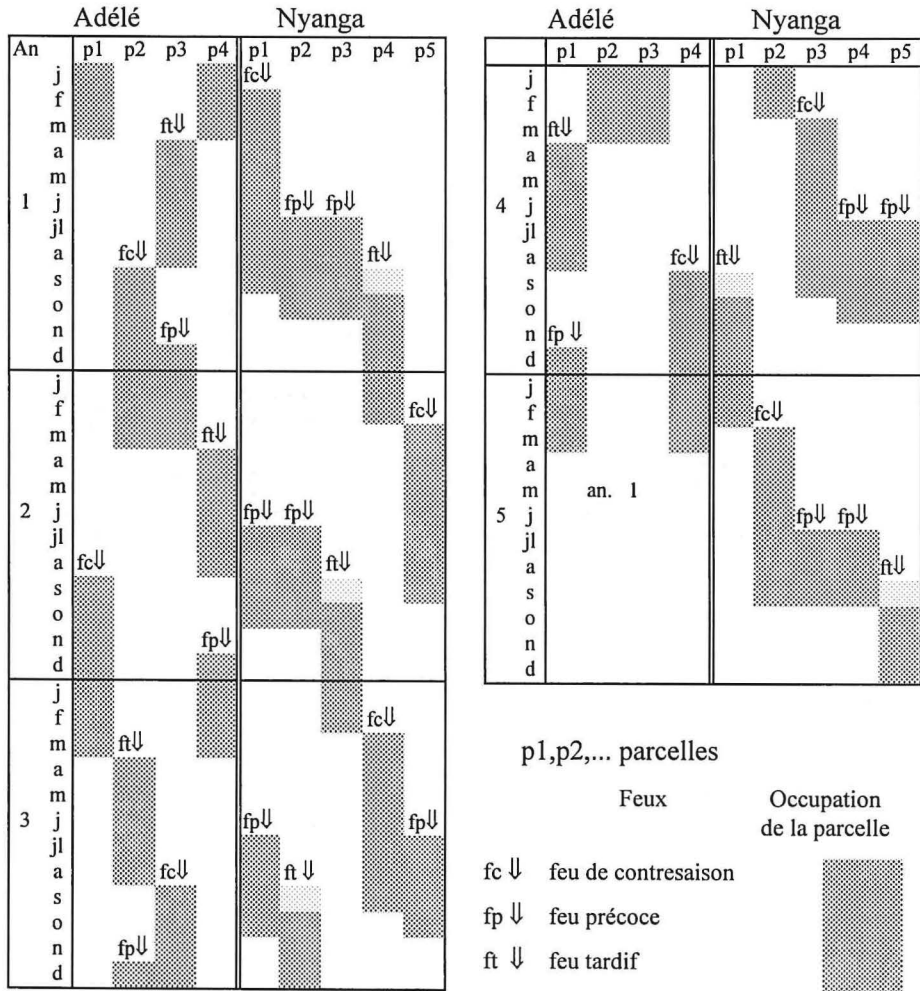


Figure 11 - Répartition de la pluviométrie et de la position des feux dans deux situations climatiques de la zone guinéenne, ranch de l'Adélé (Togo), ranch de la Nyanga (Gabon).

Tableau 13 - Répartition annuelle des feux précoces, tardifs et de contre-saison et de l'occupation des parcelles dans les ranches de l'Adélé et de la Nyanga (selon Renard, 1981; Compère *et al.* 1993).



3. Intérêt de l'utilisation d'un système d'information géographique dans la gestion d'un périmètre d'élevage

La gestion globale d'un territoire d'élevage sera la résultante d'une utilisation intégrée des éléments d'information dont on peut disposer et de la répartition de cette information à l'échelle de la superficie mise en oeuvre.

Les méthodes traditionnelles utilisées pour planifier l'aménagement des savanes exploitées par le bétail étaient, jusqu'il y a peu, très sommaires et manquaient de précision. La simple estimation d'une surface devait être réalisée par de laborieux travaux de planimétrie. De tels travaux s'avéraient pratiquement impossibles lorsque le territoire est découpé par de nombreuses galeries forestières. La division du pâturage en parcelles de capacité de charge identique était très difficile voire impossible. Comme cela sera montré dans l'étude du ranch de l'Adélé, en permettant la superposition de couches d'informations géographiques, ainsi que des opérations arithmétiques ou de croisement de l'information géographique, les Systèmes d'Information Géographique offrent à cet égard des perspectives intéressantes.

3.3.1. Définition

L'information géographique peut d'une façon très générale être définie comme une relation entre un objet et sa localisation à l'intérieur d'une surface (Dunglas, 1989). Elle implique d'abord un repérage spatial des objets dans un système planimétrique et éventuellement altimétrique. Elle comporte ensuite la description de la surface exprimée classiquement par une carte qui rend compte des principaux objets visibles dans le paysage.

3.3.2. Description

Le système d'information géographique (SIG) permet de construire et de combiner entre eux différents plans d'information, de reproduire des processus physiques ou biologiques en les représentant dans l'espace à l'aide de modèles combinant les plans d'information et les données extraites de bases de données informatiques, et enfin d'en éditer les résultats sous forme de cartes de synthèse.

Un premier niveau de travail consiste à définir les différents objets et à les regrouper en classes (ex. : routes, pistes, parcelles à l'intérieur d'un parc à bétail). Le second, propre au SIG et de nature géométrique, consiste à localiser l'objet en lui associant un ensemble de coordonnées x-y digitalisées, décrivant sa position. L'objet géographique apparaît comme un ensemble d'arcs et de sommets qui par liaisons définissent des domaines auxquels on peut associer une ou plusieurs informations (ex. : nom de la parcelle, nombre d'animaux).

La productivité et la valeur alimentaire des parcours conditionnent fortement le niveau des performances animales. Ces deux éléments clés de la rentabilité du système sont soumis à de nombreux facteurs de variation spatio-temporelle. La productivité fluctue sous l'influence du type de sol, de la topographie, de l'encombrement ligneux, des exploitations successives du pâturage et de l'avancée de la saison sèche (Compère *et al.*, 1993a; César, 1992; Renard et Compère, 1980).

La valeur alimentaire des parcours, quant à elle, est fonction du type de pâturage et subit l'influence du rythme d'exploitation et de la saison. D'une manière générale, la valeur des repousses fluctue au cours de l'année. Les variations sont particulièrement importantes pour la teneur en matières azotées qui présente une grande sensibilité à la sécheresse et est étroitement liée aux disponibilités en azote dans le sol.

Face à autant de facteurs de variations dans l'espace et dans le temps, l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) présente également un intérêt incontestable pour aménager le territoire et assurer au mieux sa gestion. Dans une étude consacrée à une comparaison entre des méthodes dites conventionnelles ("environmental checklists", matrix approaches", "input-output methods", "network methods") et le SIG, Cocklin *et al.* (1992) font bien apparaître les nombreuses possibilités offertes par ce dernier. Pour résoudre la problématique décrite ci-dessus, l'utilisation de couvertures spatiales agissant en interaction et l'estimation d'effets cumulatifs pouvant induire un changement environnemental sont de première importance. A ceci s'ajoutent les nombreuses possibilités offertes par les SIG pour identifier les aires d'intérêt particulier et définir des stratégies rationnelles d'occupation du territoire, pour étudier et caractériser les divers impacts sur l'environnement, pour représenter certaines grandeurs dans l'espace et au travers du temps, pour rechercher des voies de communication et d'aménagement, etc. (van Kleef and Linthorst, 1986; Johnston *et al.*, 1988; Davidson, 1992; Moffat, 1990).

Un premier avantage dont bénéficie l'utilisateur du SIG concerne tout simplement la précision cartographique et l'évaluation aisée des superficies, même pour des contours complexes. Ces deux qualités indéniables et évidentes sont trop souvent passées sous silence. Davidson (1992) discute la qualité de l'information géographique en mettant en évidence le rôle crucial joué par les opérations de digitalisation. Ce même auteur souligne également l'utilité des modèles d'élévation de terrain (digital terrain models). Dans la description des infrastructures à prévoir, l'utilisation de cette technique est d'un grand secours. Les possibilités de rotation du modèle, d'inclinaison de l'image, d'exagération du relief, de superposition de l'importance des pentes, etc., offrent de nombreuses

possibilités d'analyse. Ces options permettent d'identifier les accès aisés aux écoulements permanents ou le positionnement des infrastructures.

Un autre intérêt du SIG évoqué et discuté par Cocklin *et al.* (1992), en complément à d'autres méthodes d'évaluation, réside dans l'identification et l'analyse de relations spatiales partiellement ou complètement décrites à partir de bases de données et de relations mathématiques. Les possibilités d'évaluation concernant les changements d'impact ou d'activités au cours du temps et la possibilité de changer d'échelle à volonté sont par ailleurs des atouts complémentaires. Dans notre cas, la gestion des parcours doit être raisonnée en fonction de l'état du pâturage, des événements climatiques et de la démographie en cheptel. Cette gestion devra être assurée à l'échelle de la parcelle, à l'échelle du parc et de ses parcelles et à celle de l'ensemble de la superficie.

Dans un même ordre d'idée, des études telles que celle réalisée au ranch de l'Adélé, peuvent également constituer une base intéressante pour la mise en oeuvre d'autres outils de gestion tels que les "Geographical Information and Modelling Systems" (GIMS). A ce propos, une approche très intéressante a été réalisée par Kessel (1990) en Australie. En utilisant ce type de système, cet auteur démontre les capacités du GIMS pour prédire les changements dans le comportement de la végétation et pour modéliser la progression des feux de végétation.

Toutes les autres qualités et aptitudes d'un SIG signalées par de nombreux auteurs repris par Davidson (1992) et par Cockling *et al.* (1992) doivent évidemment être prises en considération. Cependant, ce dernier auteur souligne que "*the real challenge lies in developing the appropriate side-model*". Une fois que celui-ci est élaboré, des logiciels d'information géographique, tels que MAPinfo, ARCview, destinés au grand public, sont particulièrement bien adaptés pour assurer la gestion quotidienne d'un territoire. Ces systèmes commercialisés à faible coût et basés sur des options de requête ont été spécialement élaborés pour les gestionnaires de terrain. Ils permettent de stocker et de paramétrer de vastes bases de données qui peuvent être mises à jour et simulées dans le temps.

Notre propos ne sera pas de discuter toutes les potentialités offertes par les SIG ni de les valider, mais plus simplement d'envisager la place que pourrait occuper la technique dans la gestion des ressources pastorales complexes dont il a été question lorsque celles-ci sont utilisées à des fins d'élevage extensif.

2^{ème} Partie:

Les savanes guinéennes du ranch de l'Adélé (Togo)

En exploitant l'ensemble de données agronomiques collectées dans un élevage typique de la zone guinéenne, le ranch de l'Adélé au Togo, cette seconde partie présente un exemple d'analyse et de synthèse des facteurs du milieu, de la productivité et de la qualité alimentaire de la végétation des savanes naturelles. L'étude initiale commandée par le Fonds Européen de Développement avait pour objectifs d'améliorer le système d'exploitation, l'organisation du parcellaire et la répartition du cheptel sur le territoire du ranch. Plusieurs équipes se sont tour à tour succédé sur le terrain; elles ont collecté des données à caractère géographique, pédologique, agrostologique et climatique permettant de mieux comprendre les ressources pastorales. Le but de l'étude était de définir un schéma équilibré d'exploitation de la végétation et de répartition du bétail.

En reprenant les données détaillées dans les divers rapports (Hellemans, 1991, UER de Zootechnie, 1991, 1992; Lecomte, 1992), mémoire (Gernez, 1991) et publications (Compère *et al.* 1992, 1993 a et b), cette seconde partie caractérise tout d'abord le milieu sous l'angle du climat, des sols et des formations végétales pâturées. Elle décrit ensuite la végétation des savanes et les infrastructures de façon spatiale en recourant à un système de numérisation de l'information géographique.

L'analyse multivariée des variables sol et végétation établit, pour cet exemple, une synthèse des relations que l'on peut observer entre ces deux composantes du milieu. Elle permet par ailleurs de concevoir des regroupements logiques à l'intérieur de l'ensemble de stations de mesure plus spécifiquement choisies sur le terrain par les expérimentateurs dans le but de décrire la productivité potentielle et la valeur alimentaire.

Les productions d'herbe mesurées tout au long d'une année sont ensuite mises en relation avec les éléments du climat pour ébaucher des modèles permettant une prédiction des variations de croissance de la végétation naturelle au cours des saisons.

Enfin, le recours à des techniques récentes d'analyse de la composition chimique et de la valeur alimentaire, ainsi que l'expression dans un système standard actualisé, aboutit à une meilleure connaissance des facteurs de fluctuation de la valeur des fourrages de savane.

I. Le milieu régional de l'Adélé

1. Situation géographique

Le ranch de l'Adélé est destiné à l'élevage extensif de bovins croisés (race locale × Ndama) pour la production de boeufs de trait et de viande. Localisé entre 7°56' N et 8°07' N de latitude et 00°43' E et 00°48' E de longitude, il occupe une superficie totale de 16.030 ha dans la région montagneuse des plateaux cuirassés traversant d'Ouest en Est le territoire togolais (Figure 12). Il se situe plus précisément à l'Est de la route reliant Assoukolo près de la frontière du Ghana à Kidjan en passant par les villages de Atchintché, Tentkro, Nkinghé, Lalamila et Badjasidé situés le long de la limite occidentale du périmètre exploité.

2. Géologie, géomorphologie et hydrographie

Adossé sur sa partie Est à la chaîne quartzitique des monts Togo (chaîne de l'Atacora) dont les points culminants se situent à plus de 800 m d'altitude, le ranch couvre une série de collines découpées par un réseau hydrographique dense.

L'altitude varie de 520 à 600 m avec des buttes rocheuses qui émergent jusqu'à 615 voire 670 m d'altitude.

Trois assises géologiques sont présentes à l'intérieur du périmètre du ranch (Godonou *et al.*, 1986) et sont orientées selon un axe général NNE, SSW, à savoir :

-les schistes métamorphiques de la zone frontale (schistes de Kanté) dans la partie occidentale.

-les micaschistes, gneiss albitiques et schistes graphiteux, des Monts Togo dans la partie centrale et orientale.

-les quartzites à séricite et/ou à muscovite de la zone frontale des Monts Togo à l'Est du périmètre. Ces roches anciennes (terrains infralittiques) et plus dures, associées aux micaschistes constituent les unités structurales qui dominent nettement l'ensemble du périmètre.

Ces différentes unités géologiques ont été affectées par une tectonique cassante et sont dès lors parcourues par des bandes d'épaisseur variable de quartz. Leur grande résistance aux facteurs d'altération fait qu'elles ont fourni une part importante de la charge caillouteuse des sols squelettiques.

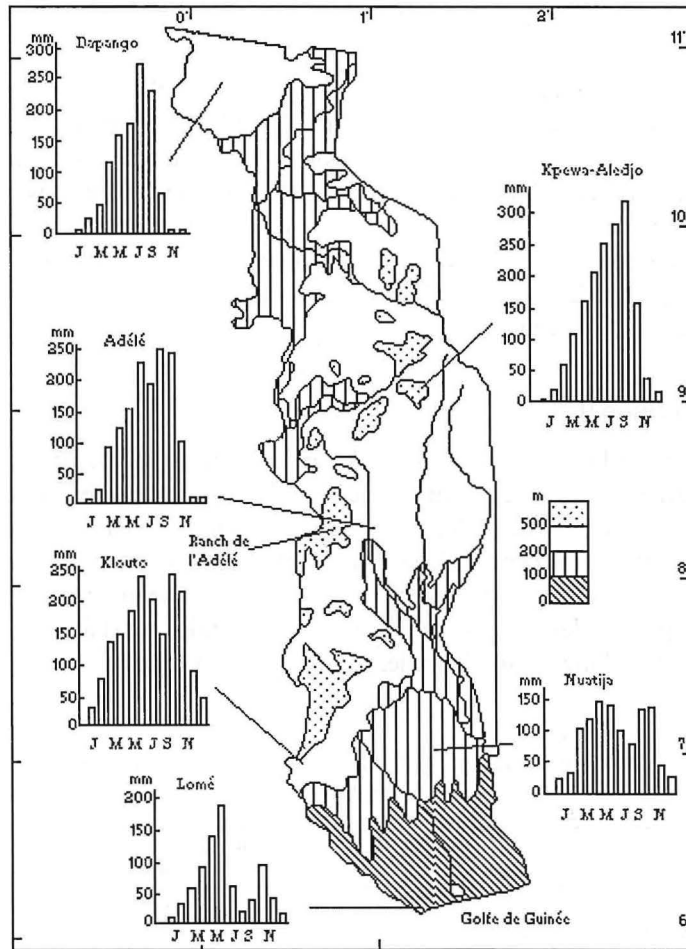


Figure 12 - Situation géographique du ranch de l'Adélé sur une carte indiquant le relief et la pluviosité du Togo.

Les formations superficielles du Quaternaire sont bien représentées au sein du périmètre. Il s'agit essentiellement de latérites relativement récentes, issues du démantèlement du haut glacis originel aujourd'hui disparu, dans lesquelles peuvent être emballés des éléments du niveau plus ancien (Levêque, 1979). Les cuirasses arment les sommets et les bordures des plateaux et collines sur schistes. Leur démantèlement donne lieu à des éboulis de gros blocs au niveau des fortes pentes ou à une séquence de glacis étagés partiellement ou totalement indurés au niveau des versants à pente faible.

Les alluvions récentes des bordures de rivière sont constituées principalement de limons et de sables micacés.

Le réseau hydrographique d'orientation générale E - W est bien développé et comprend les principales rivières suivantes : Koflo, Alelemdou et Tatabo qui sont alimentées à partir des bassins versants des montagnes formant la limite orientale du périmètre. La fracturation de la région détermine un réseau au tracé angulaire. Les débits très variables sont en rapport avec les fluctuations de la pluviosité. Ils sont faibles en étiage, voire intermittents sur les contreforts des montagnes quartzitiques ce qui, dans certains cas, compromet leur fréquentation régulière par les troupeaux.

3. Climat régional

Le climat de la région est influencé par le relief de la chaîne de l'Atacora. Quatre stations : Sokodé, Anié-Mono, Akaba et Atakpamé fournissent les éléments du climat le long d'un transect pénéplaine - montagne (tableau 14). Anié-Mono, situé dans la pénéplaine s'étendant à l'Est du ranch, présente le creux pluviométrique le plus marqué; le climat d'Akaba est quelque peu influencé par la présence proche des hauts sommets de l'Adélé, tandis qu'Atakpamé et Sokodé jouissent d'un climat plus humide, typique de la chaîne montagneuse de l'Atacora.

Tableau 14 - Variation climatique pénéplaine-montagne au niveau de quatre stations climatologiques.

Stations :	Sokodé	Anié-Mono	Akaba	Atakpamé
Altitude, m	402	180	230	403
Pluviosité annuelle moyenne, mm	1414	1.046	1.160	1.432
Variations annuelles, écart-type, mm	315	257	246	357
Nombre moyen de jours de pluie par an	105	103	79	103
Durée de la saison sèche, mois	3 à 4	4 à 5	4 à 5	3 à 4
Température moyenne annuelle, °C	25,7	27,3		25,8
Température minimale moyenne annuelle, °C	20,6	20,9		20,6
Température maximale moyenne annuelle, °C	30,8	33,6		30,9
Humidité relative de l'air moyenne annuelle, %	77	73		74
Durée annuelle de l'insolation, heures	2445	2.093		2.363
Evaporation annuelle d'une nappe d'eau libre, mm	1367	1.333		1.225

(Sources : Météorologie nationale; FAO, 1991)

L'influence de la chaîne montagneuse sur les éléments du climat se manifeste de la manière suivante:

- une élévation de la hauteur de la lame d'eau annuelle précipitée se manifeste au fur et à mesure que l'on se rapproche du massif, avec toutefois des fluctuations annuelles plus prononcées sous l'influence des microclimats de versants;

-sur le flanc de la montagne, la durée de la saison sèche est réduite d'un mois en regard de celle de la pénéplaine; ce phénomène est le fait de pluies à la fois plus précoces en février-mars et plus tardives en octobre-novembre;

-la température en altitude est naturellement plus basse de plusieurs degrés;

-si la durée de l'insolation est plus longue en altitude, du fait de la dissipation plus rapide des brumes matinales, l'évaporation y est par contre moins élevée, l'ambiance étant moins chaude et l'humidité de l'air généralement plus grande.

La période de végétation active dans un climat de ce type peut être approchée à partir d'un diagramme de bilan hydrique régional (Franquin,1969) tel que celui représenté à la figure 13.

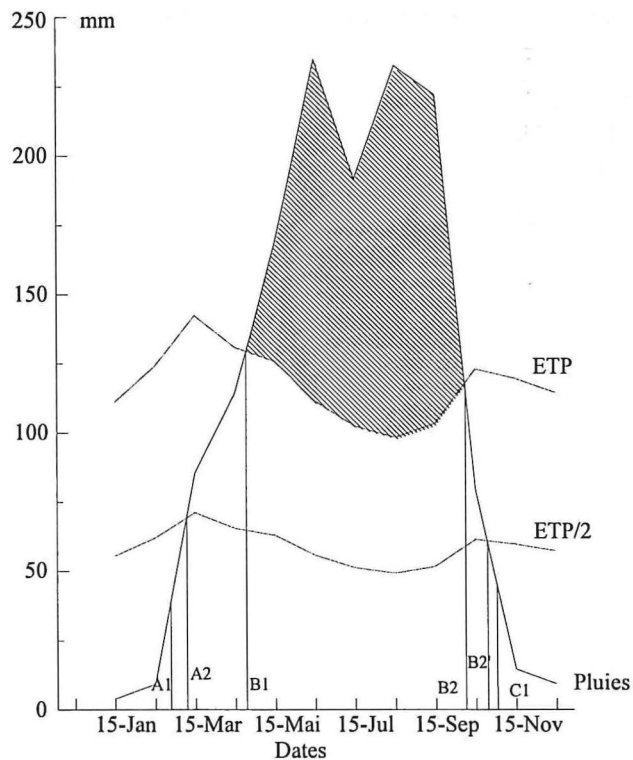


Figure 13 - Diagramme du bilan hydrique régional au niveau du Ranch de l'Adélé.

La pluviosité correspond à la moyenne enregistrée au ranch entre 1984 et 1991. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée sur base des moyennes entre les valeurs mensuelle décrites (FAO, 1991) pour Sokodé (Lat. 8°39; Long. 1°08; Alt. 403m) et Atakpamé (Lat 7°35, Long 1°07, Alt 402m), les deux plus proches stations météorologiques officielles permettant d'établir ce paramètre:

- la saison pluvieuse (A₁ - C₁) s'étend du 1/3 au 1/11;
- la saison humide (B₁ - B₂) s'étale du 21/4 au 8/10;
- les périodes intermédiaires subhumides (A₂ - B₁) et (B₂ - B₂') vont du 10/3 au 21/4 et du 8/10 au 25/10;
- on enregistre une légère diminution des pluies entre juin et août correspondant à la "petite saison sèche".

Selon ce diagramme, la période active de végétation, qui correspond à celle durant laquelle la pluviosité mensuelle est supérieure à la moitié de l'ETP, s'étend du 10 - 3 au 25 - 10 (229 jours). En conditions naturelles, le cycle végétatif des graminées vivaces démarre toutefois un peu plus tôt et se prolonge un peu plus tard.

La période climatique la plus défavorable à la croissance des végétaux herbacés va de fin décembre à fin février et correspond à la saison sèche chaude; lorsque souffle le vent chaud du Nord (Harmattan) et que la rosée matinale est très vite évaporée.

II. Méthodologies

1. Etude du climat

Le climat est un critère essentiel du déroulement des cycles de végétation et de l'expression de la productivité. Les données collectées sur le ranch et dans différents postes climatiques de la région permettent d'en caractériser les divers éléments de la façon suivante:

1.1. Pluviosité

Pour le ranch de l'Adélé, on dispose des données journalières complètes (mm/jour) relevées au pluviomètre du poste central du ranch au cours de la période couvrant les années 1984 à 1991. Les données journalières ont été sommées par décades et traitées comme telles.

1.2. Température et humidité relative

Pour l'année 89-91, période comprenant celle où les mesures de productivité de la savane ont été effectuées, on dispose des données quotidiennes de températures sèches et humides relevées à 6, 9, 12, 15 et 18 heures, ainsi que des températures minimales et maximales journalières. Ces données fournies par la météorologie nationale ont été relevées dans les gares de Sotouboua et Kolokope. Elles permettent de calculer (François, 1990) les tensions de vapeur saturante (E_a) et actuelle (e_a) ainsi que l'humidité relative (HR) aux différentes heures en utilisant les relations suivantes:

Le calcul de la tension de vapeur saturante (E_a) exprimée en mb à la température T (°K), s'effectue en utilisant la relation:

$$E = e^{21,3936 - 5348,2/T}$$

La pente (d) de la courbe de tension de vapeur saturante à la température T exprimée en °Kelvin vaut:

$$d = \frac{de}{dT} = \frac{E \times 5348,2}{T^2}$$

Le calcul de la tension de vapeur actuelle (e_a) exprimée en mb s'effectue en appliquant la formule psychrométrique:

$$e_a = E(t_h) - 0,666 \times (t_a - t_h)$$

avec t_a température sèche et t_h température humide en °C. L'humidité relative de l'air exprimée en % est calculée selon le rapport:

$$HR = \frac{e_a}{E_a} \times 100$$

1.3. Evapotranspiration potentielle

La croissance de la végétation est directement liée à l'évaporation. Il paraissait intéressant dans le cadre de cette étude d'en apprécier les variations saisonnières locales à l'aide d'un calcul d'évapotranspiration potentielle (ETP). Les variations seront ensuite mises en relation avec les mesures de productivité effectuées dans les divers types de végétation. Les calculs ont été effectués selon le modèle originellement établi par Penman (1948) adapté aux normes tropicales FAO et décrit par Doorenbos et Kassam (1980)

$$ETP = \frac{d}{d+a} \times \frac{Rn}{L} + \frac{a}{d+a} \times (A + BU) \times (E_a - e_a)$$

avec pour paramètres : a , constante psychrométrique (0,5); L , chaleur latente de vaporisation (247 joules/mm d'eau); d , pente de la courbe de saturation à la température de l'air. U est la vitesse moyenne de l'air en m/seconde; A et B des constantes (respectivement 0,175 et 0,184).

Rn rayonnement net exprimé en joules/cm²/jour est établi en appliquant la relation:

$$R_n = R_g(1-r) - R_b$$

avec : r , albédo de la végétation (0,25), R_g , le rayonnement global et R_b , le bilan radiatif correspond à l'énergie radiative disponible au niveau de la couverture végétale, calculé selon la relation:

$$R_b = \varepsilon \sigma T^4 (0,56 - 0,092\sqrt{ea}) \times (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

avec, n , ensoleillement réel en heures; N ensoleillement potentiel à la latitude du lieu, ε constante de pouvoir émissif (0,98) et σ constante de Boltzmann (4,94 10⁻⁷ joules/cm²/j).

Les différents termes de l'équation ont été calculés à l'aide des valeurs réelles disponibles, température (T) et humidité relative (HR) recalculées en moyennes journalières puis décadaires ou selon des données (moyennes mensuelles) établies par le bureau météorologique de la FAO (1993), pour les paramètres de vitesse de vent, ensoleillement et rayonnement global.

1.4. Evapotranspiration réelle

L'ETP calculée selon Penman (1948) est une estimation de la quantité d'eau potentiellement évaporable par un gazon. Elle est fonction des paramètres actuels

du climat (ensoleillement, t° , humidité et vitesse du vent). Les variations de ce paramètre au cours de la période 90-91 ont été présentées en première partie.

Le gazon est une référence et l'on adopte des coefficients culturaux propres aux différentes cultures et aux stades végétatifs, de façon à traduire l'ETP en évapotranspiration maximale ETM pour la végétation considérée.

Ces coefficients ne sont pas connus pour les végétations de savane. On les assimilera ici à 1, valeur moyenne proche de celles qui sont adoptées pour les grandes graminées cultivées (maïs, mil, sorgho, canne à sucre) dans leur première phase de croissance (Doorenbos et Kassam, 1980).

Différents auteurs (Pierce, 1958; Denmead *et al.*, 1962; Van Bavel, 1967) ont démontré que la décroissance de l'évapotranspiration réelle liée à la diminution de la réserve utile (RU) est de forme curvilinéaire. Reprenant les travaux de ces différents auteurs, Eagleman (1971) en a tiré un modèle empirique de forme:

$$ETM / ETR = a + b(RUr) + c(RUr)^2 + d(RUr)$$

avec : ETR = évapotranspiration réelle, ETM = évapotranspiration maximale, RUr = rapport entre la réserve utile actuelle et la réserve utile à pleine capacité.

Les valeurs des coefficients mis au point par Eagleman, exprimés en fonction de l'ETP, sont repris au tableau 15.

Tableau 15 - Coefficients proposés par Eagleman pour établir l'évolution du rapport ETM/ETR.

a =	- 0,05 + 0,732/ETP
b =	+ 4,97 - 0,661×ETP
c =	- 8,57 + 1,560×ETP
d =	+ 4,35 - 0,880×ETP

Ce modèle est couramment utilisé par le CIRAD (France) comme base de calcul pour l'établissement de l'ETR de différentes cultures en région tropicale (Forest *et al.*, 1993).

Fréteaud *et al.* (1987) ont, dans les conditions du Togo méridional, vérifié l'efficacité de cette relation, en la confrontant à des mesures tensio-neutroniques de l'eau du sol et des mesures de l'ETP locale en bac lysimétriques de classe A.

La réserve utile (RU) dépend de la texture et de la profondeur du sol colonisé par les racines. Il n'était pas aisé de l'estimer a priori dans le contexte de l'Adélé. La texture n'est connue que sur une profondeur de 60 cm. Les profondeurs d'enracinement peuvent, quant à elles, être fort variables selon les plantes et très importantes si l'on s'en réfère à des observations telles que celles effectuées par Dagg et McQueen, (1967) ou Taerum, (1970), décrites en première partie (cfr

1.2.). Les différents modèles proposés (Poss *et al* 1988) pour le calcul de la RU en région soudano-guinéenne se rapportent à des plantes semées ou bouturées et tiennent compte d'une évolution progressive du profil racinaire. Le cas des plantes de savane est fort différent; on s'adresse généralement à des plantes vivaces, implantées depuis une longue période et capables de tirer parti de tout ou partie de leur important système racinaire.

L'approche adoptée dans le travail consistera à calculer, sur base de réserves utiles croissantes, plusieurs valeurs raisonnables d'ETR pour ensuite observer les corrélations que l'on peut établir entre ces valeurs et les vitesses de repousse observées au cours de l'étude de terrain.

2. Prospection des sols et de la végétation

En s'appuyant sur la documentation régionale existante, une première prospection a conduit à reconnaître sur l'ensemble du territoire du ranch les principales unités morphopédologiques existantes. Les documents dont on disposait en vue de la description spatiale du territoire du ranch, sont:

cartes géologiques au 1/200.000 (feuilles Atakpamé et Sokodé) Bureau National des Recherches Minières du Togo (1986).;
cartes topographiques au 1/20.000 (Ranch);
couverture photographique aérienne au 1/30.000 (Ranch);
étude pédologique (Levêque, 1975).

Au terme de cette reconnaissance générale, l'étude s'est poursuivie en caractérisant la composition botanique de la végétation des grandes unités morphopédologiques; 83 relevés répartis sur l'ensemble du périmètre ont été effectués. De même, la dégradation des parcours a été évaluée en attribuant une cote de dégradation (cfr. 2.2.2.) à chacune des 93 parcelles de pâturage (élément d'un parc attribué à un troupeau) existant sur le ranch.

Pour caractériser les biomasses présentes en fin de saison de pluies, 35 mesures ont été effectuées dans des sites représentatifs des différentes unités morphopédologiques.

La suite du travail de terrain envisagera plus particulièrement la caractérisation de la production de repousses et de la valeur alimentaire de la végétation des unités susceptibles d'être décrites de manière spatiale. Compte tenu du temps imparti pour les activités de terrain, il n'était pas possible d'envisager chacune en particulier.

Seize stations ont été choisies selon des critères de représentativité de l'unité morphopédologique et d'accessibilité permanente au cours des saisons. Chacune

de ces stations a ensuite été décrite de façon particulière, en étudiant la structure et la composition botanique de la végétation, ainsi que le sol (profil pédologique).

L'évolution de la productivité et de la qualité saisonnière du pâturage a ensuite été étudiée dans ces 16 stations.

2.1. Composition botanique

La description de la composition botanique permet de caractériser l'association et les faciès occupant les divers types de sols. Elle repose sur la méthode phytosociologique d'inventaire de la végétation (Braun-Blanquet, 1951) citée dans la première partie. Quatre-vingt-trois relevés phytosociologiques distribués aléatoirement sur l'ensemble du périmètre ont été réalisés entre juin et octobre 1990. Les observations ont porté sur l'abondance-dominance des espèces dans l'association présente. Dans une liste reprenant de la façon la plus complète les espèces que l'on peut rencontrer dans la végétation régionale, chaque plante est cotée à l'intérieur de la station selon un critère d'abondance-dominance (Boudet, 1984) tel que décrit au tableau 16.

Tableau 16 - Indices d'abondance-dominance attribués aux espèces présentes dans l'association.

Indices	Caractérisation
+	espèce présente à l'état d'individus isolés (abondance et recouvrement très faibles)
1	espèce présente à l'état d'individus abondants mais à faible recouvrement
2	espèce présente à l'état d'individus abondants et recouvrement voisin de 5%
3	espèce dont le recouvrement peut atteindre entre 5 à 35 % du relevé
4	espèce dont le recouvrement occupe entre 35 et 65 % du relevé
5	espèce dont le recouvrement atteint 65 à 100 % du relevé

Le traitement dans un tableur des données d'abondance-dominance collectées dans les 83 relevés phytosociologiques permettra de dégager un tableau synoptique des composantes botaniques occupant les unités morphopédologiques citées plus haut. L'échelle synthétisant les fréquences d'apparition et les indices d'abondance-dominance comprend les sigles repris au tableau 17.

Tableau 17 - Indices synthétisant les fréquences d'apparition et l'abondance-dominance des espèces présentes.

Indices	Description
R :	espèces présentes dans moins de 30 % des relevés, abondance moyenne et faible recouvrement;
! :	espèces abondantes avec un bon recouvrement dans moins de 30 % des relevés;
x :	espèces présentes dans 50 % des relevés environ avec une abondance moyenne et un faible recouvrement;
! ! à 5 ! :	espèces abondantes avec un bon recouvrement dans 50 % des relevés environ, ou espèces toujours présentes dans les relevés, mais avec une répartition en taches;
+ à 5 :	espèces présentes dans près de 75 % des relevés ou plus; la cote adoptée représente l'abondance - dominance moyenne de l'espèce dans les relevés;
+ à 5 suivi de 2 ! à 5 ! :	espèces présentes dans près de 75 % des relevés ou plus; le deuxième chiffre! indique le recouvrement exceptionnel de l'espèce dans près de 50 % des relevés.

2.2. Dégradation du couvert végétal

Afin de pouvoir coter la dégradation des parcours, une échelle d'appréciation a été élaborée en début de prospection. L'annexe I présente un formulaire de relevé de la situation agrostologique d'une parcelle de pâturage. Les stades caractéristiques auxquels correspondent les indices attribués sont résumés dans le tableau 18.

Tableau 18 - Indices de dégradation du couvert végétal.

Indices	Description
-Stade 0	savane intacte, physionomie de savane herbeuse, arbustive ou arborée selon les unités de sol, passages réguliers du feu correctement alimenté par une biomasse herbacée importante et continue.
- Stade 1	apparition d'îlots de graminées prostrées (<i>Paspalum</i> sp., espèces stolonifères, graminées annuelles à larges feuilles) et d'adventices (<i>Borreria</i> sp., légumineuses) qui remplacent les graminées vivaces cespiteuses surexploitées.
- Stade 2	réduction de l'abondance des graminées vivaces, ruissellement diffus entre les touffes, développement des adventices (<i>Chromolaena odorata</i> , <i>Hyptis swavenolens</i> , <i>Afromomum latifolium</i>) avec un taux de recouvrement inférieur à 25 %, développement du recrû forestier (petits arbustes).
- Stade 3	envahissement du pâturage par les subligneux (25 à 50 % de recouvrement), la disparition des graminées vivaces ne permet plus de réaliser des feux efficaces de contrôle des ligneux, multiplication du nombre des arbustes.
- Stade 4	recrû forestier abondant, grands arbustes couvrant 25 à 50 % du sol, envahissement généralisé, surexploitation des plages de graminées qui subsistent et érosion localisée du sol.
- Stade 5	dégradation ultime : reboisement ou dénudation du sol selon l'endroit et les unités de sol.

Nonante-trois relevés ont été effectués de façon à couvrir toutes les parcelles susceptibles d'être occupées par le bétail.

2.3. Structure de la végétation

L'étude de la structure de la végétation permet d'approcher la physionomie de la savane et l'évolution de la végétation sous l'influence des conditions de sol et d'exploitation.

Les mesures effectuées à l'intérieur de chaque station portent sur les taux de recouvrement:

- des espèces graminéennes, en distinguant les vivaces des annuelles;
- des dicotylées herbacées ou sub-ligneuses;
- des espèces ligneuses, en distinguant celles dont la hauteur est supérieure ou inférieure à 5 mètres, norme couramment utilisée en milieu de savane par Penning De Vries (1982).

La technique utilisée a consisté, pour chaque station, en des relevés systématiques le long de 5 transects de 100 mètres de long distribués au hasard à l'intérieur de la station, une observation de présence-absence (matérialisée par au moins 1 point de contact le long d'une tige métallique placée verticalement) étant effectuée pour chaque classe, tous les mètres. Les fréquences moyennes de présence-absence calculées pour chaque classe sur 5 transects donnent une appréciation du recouvrement.

2.4. Etude des sols

Afin de caractériser les principales unités de sol rencontrées au sein du périmètre, 16 profils pédologiques ont été analysés (Gernez, 1991). Pour chaque profil, une fosse d'un mètre de profondeur et d'un m² de surface a été creusée dans la station, à proximité du plateau de mesure agrostologique. L'analyse du profil a été effectuée à partir de la surface sur une tranche bien nette; trois échantillons moyens ont été prélevés pour les analyses de laboratoire respectivement entre 0 et 20 cm, 20 et 40 cm, 40 et 60 cm.

Les résultats de l'analyse détaillée des profils pédologiques et la description des paramètres étudiés sont décrits dans le mémoire de Gernez (1991).

En reprenant les données de ce travail, l'étude se limitera à décrire les unités morphopédologiques attribuées sur le terrain et à caractériser les données de texture et les principaux critères physicochimiques des 16 profils répartis sur le territoire. Ces mêmes critères seront utilisés par la suite dans des procédures

d'analyse multivariées pour décrire et synthétiser la variabilité entre stations (cfr. 2.4.).

Les variables de sol reprises dans l'étude concernent:

- la texture caractérisée selon une mesure granulométrique par tamisage décrivant les fractions éléments grossiers (EG), sable (S), limon (L) et argile (A).
- les teneurs en carbone (C), azote (N) et le pourcentage de matière organique (%MO) calculé selon un rapport MO/C de 1,72 proposé par Sprengel (De Leenher *et al.*, 1957);
- l'acidité actuelle ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) et potentielle effective (pH_{KCl}) et l'acidité d'échange (AE), somme des ions Al^{3+} et des ions H^+ échangeables;
- la somme des bases échangeables : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ , (S) exprimée en méq/100g de sol;
- la capacité d'échange cationique à pH7 (T) exprimée en méq/100 g; elle est une mesure de la capacité d'échange cationique potentielle si le pH était de 7 et elle permet la classification internationale des sols;
- l'argile minéralogique caractérisée en calculant la CEC argile; elle équivaut à $100(\text{CEC} - 2\% \text{MO})/\% \text{A}$. On retranche 2% MO pour tenir compte d'une moyenne de 200 méq/100 g de sol due à la fraction organique sur la CEC. Si cette CEC argile est inférieure à 25 méq/100 g de sol dans l'horizon de profondeur, l'argile est de type Kaolinite dominant (argile de type 1/1, Si-A1). Dans le cas contraire il s'agira d'argile de type Montmorillonite (argile de type 2/1, Si-A1-Si). On mesure la CEC argile en profondeur afin de limiter autant que possible les interférences de la matière organique.

3. Traitement de l'information géographique

3.1. Traitement des données

Les informations susceptibles d'être digitalisées sont d'une part, le périmètre, l'infrastructure et le parcellaire, d'autre part, la répartition des unités agrostologiques.

Les différentes données ont été traitées au moyen du logiciel ILWIS (Integrate Land and Water Information System) commercialisé par l'ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences). La numérisation des segments délimitant les unités cartographiques a été réalisée au moyen d'une table à digitaliser en veillant à raccorder les segments entre eux au niveau des intersections, par la création de noeuds.

A l'issue de cette opération, le logiciel effectue un contrôle des noeuds puis réalise la "polygonalisation" des unités cartographiques. Au cours de cette étape, l'opérateur attribue un nom à l'unité cartographique correspondant à chaque polygone. Le traitement des données géographiques digitalisées et "polygonalisées" peut être réalisé en mode vectoriel ou en mode matriciel ("raster").

Dans le premier, les coordonnées affectées à chaque polygone permettent d'en calculer la surface, le contour ou la longueur d'un segment particulier (dans le cas d'un élevage, la superficie en ha de la parcelle, le périmètre clôturé, la distance à un point d'eau). Ces données, inscrites dans les bases de données associées aux différentes cartes, peuvent être combinées pour effectuer des calculs.

Dans le second, la carte polygonalisée est transformée en une matrice de points vidéo en veillant à fixer la taille des pixels (m² par point vidéo) de manière à obtenir la précision géographique désirée. Lors de cette opération, l'utilisateur peut considérer chaque polygone de manière indépendante ou attribuer la même valeur de pixel à toutes les unités cartographiques de même nom. Il peut également affecter à chaque unité cartographique, donc à chaque pixel, une valeur attribut qui pourra ultérieurement être utilisée pour la réalisation de calculs ou de croisement de l'information géographique.

Pour réaliser le croisement de l'information géographique à partir de deux cartes, le logiciel réalise autant d'unités qu'il y a de couples différents d'attributs. Le premier attribut du couple correspondant à celui de la première carte et le second à celui de la deuxième carte. Un exemple en est donné au tableau 19.

Tableau 19 - Exemple d'opération de croisement de l'information géographique.

	carte 1	croisée avec	Carte 2	Carte 3
Ligne 1	1 2 3 4	×	1 1 2 3	= 1 2 3 4
Ligne 2	1 1 1 2	×	1 1 2 3	= 1 1 5 6

Le calcul et l'analyse en mode matriciel sont effectués au moyen d'un calculateur permettant de réaliser toutes les opérations arithmétiques, logiques ou conditionnelles dont dispose un calculateur conventionnel; les différentes opérations étant réalisées sur une partie ou sur l'ensemble de la carte (matrice de points vidéo) selon les objectifs de l'utilisateur. Un exemple est donné au tableau 20.

Tableau 20 - Exemple de calcul en mode matriciel : addition de deux cartes.

	Carte 1		Carte 2		Carte 3
Ligne 1	1 2 5 4	+	1 1 2 1	=	2 3 7 5
Ligne 2	2 3 5 4	+	2 4 3 1	=	4 7 8 5

Les données digitalisées et traitées à l'aide d'ILWIS ont ensuite été transférées dans le logiciel MAPinfo (1993) pour effectuer les présentations de cartes.

4. Analyses multivariées

4.1. Analyses en composantes principales

L'analyse synthétique de tableaux de variables caractérisant le sol ou la végétation, tels que ceux présentés plus avant, est complexe. Chaque facteur étudié présente une variation propre et il n'est pas toujours aisé de situer les positions des différentes stations étudiées pour l'ensemble des facteurs. Cette complexité s'accroît lorsque l'on veut apprécier les relations qui peuvent exister entre des groupes de variables telles que celles qualifiant les sols et la végétation. L'analyse en composantes principales (ACP) permet dans des cas de ce type une description analytique de la variabilité et aide à la compréhension de l'ensemble.

Le principe de l'ACP peut être sommairement décrit comme suit (Philippeau, 1986, Palm, 1994). La variabilité d'une population d'individus s'exprime généralement selon plusieurs variables. Cette variabilité multiple peut être synthétisée en recourant à des indices (composantes) qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales.

La procédure analytique consiste à rechercher en premier lieu celle qui exprimera une part maximale de la variance. Les composantes suivantes sont ensuite recherchées en respectant chaque fois un principe d'expression maximale de la variance restante et de corrélation nulle avec la composante précédente.

Les corrélations entre les variables et les axes permettent d'interpréter ceux qui sont les plus représentatifs. Etant non corrélés entre eux, ces axes peuvent être considérés comme orthogonaux et croisés dans un plan ou un espace. Le report des corrélations à l'intérieur de ces plans permet d'apprécier les relations entre les variables et la recherche des combinaisons d'axes les plus représentatives.

Par la suite, les valeurs calculées pour les différents individus selon les coefficients des combinaisons linéaires propres à chacune des composantes, sont projetées dans les différents systèmes d'axes, ce qui permet d'observer les liaisons aux axes et les proximités entre individus.

Une interprétation géométrique simple du principe de l'ACP est celle présentée à la figure 14 pour un cas à deux dimensions. Les coordonnées d'origine V_1 , V_2 sont transformées par une translation suivie d'une rotation du centre d'origine au centre de gravité de l'ellipsoïde représentant la variabilité dans les deux axes.

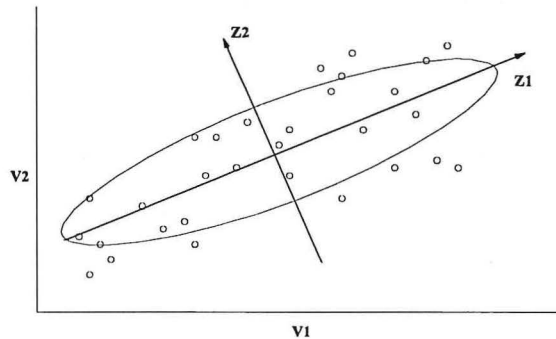


Figure 14 - Interprétation géométrique du principe de l'ACP.

Les nouveaux axes définis sont les deux premières composantes Z_1 et Z_2 . Les graphiques de projection des individus selon des paires d'axes ramènent l'information à un seul plan; ils déforment la position de la variable dans l'espace en dehors du plan. Une mesure de la qualité de la représentation par rapport à l'axe est le calcul du \cos^2 de l'angle formé par le point et sa projection sur l'axe, dont on démontre (Dervin, 1988) qu'elle équivaut au carré de la corrélation individu-axe. En sommant les carrés des cosinus, on se donne une appréciation de la qualité de représentation des individus dans le plan ou l'espace formé par les axes.

Les analyses ACP ont été réalisées successivement sur les variables pédologiques, les variables phytosociologiques et les variables de structure du couvert végétal collectées dans les 16 stations. Le traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel Stat-Itcf (1992). Les variables étant le plus souvent de nature et d'ordre de grandeur différents, les données ont été dans chaque cas standardisées (centrées, retrait de la moyenne et réduites, division par l'écart-type), de façon à ne pas donner un poids plus important aux variables d'ordre de grandeur élevé.

4.2. Classification des stations

Les chapitres II et III de cette 2^{ème} partie analysent la productivité ainsi que la valeur alimentaire de la végétation de l'Adélé. La variabilité pédologique et agrostologique décrite pour les 16 stations, confrontée à l'effectif limité de placeaux de mesure et à la discontinuité des mesures (v. II.1.2.), fait qu'il aurait

été peu raisonnable de vouloir attribuer à chaque plateau une caractérisation propre de sa productivité. Pour exploiter les données et en tirer des valeurs qui soient représentatives à l'échelle du territoire étudié, il importait de pouvoir envisager des regroupements de stations. La démarche peut être effectuée en se basant simplement sur un critère de nomenclature de sol ou d'unité morphopédologique attribuée sur le terrain. Cette approche reste toutefois assez délicate et nécessite une expérience approfondie du milieu. Lorsque l'on ne dispose pas de cette expérience, les techniques de classification multivariée sont un outil de choix pour raisonner les regroupements qui peuvent être effectués.

L'objectif d'une classification sera de placer les stations de mesure dans des groupes, non définis a priori, de façon telle qu'à l'intérieur d'un même groupe, elles puissent être considérées comme similaires. Le regroupement des différentes stations (auxquelles étaient associées des données pédologiques et botaniques) a été abordé par une méthode de classification agglomérative (clustering) (Everitt, 1980). L'approche a été effectuée en recourant à la procédure "cluster" du logiciel SAS (1985). La technique consiste à agréger progressivement les objets selon leur proximité relative calculée sur un ensemble de variables caractéristiques en terme de distance. Dagnelie (1975) définit la notion de distance comme étant une mesure globale de la différence existant à plusieurs dimensions entre deux vecteurs de moyennes.

La mesure la plus simple est la *distance euclidienne*. Entre deux stations, elle correspondra à la racine carrée de la somme des carrés des différences calculées pour chaque variable.

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (V_{ij} - V_{kj})^2}$$

avec d_{ik} , distance entre les stations i et k; p, ensemble des variables; V_{ij} , valeur observée sur le site i pour la variable j; V_{kj} , valeur observée sur le site k pour la variable j.

La méthode particulière utilisée ici pour agréger les plateaux est celle de Ward (1963), dans laquelle le niveau d'agrégation entre deux groupes est la perte d'inertie résultant de leur regroupement. On démontre (Saporta, 1990) qu'elle est égale à:

$$\Delta_{IK} = d_{IK}^2 \frac{n_I n_K}{n_I + n_K}$$

Δ_{IK} , perte d'inertie, d_{IK} distance entre les centres de gravité des groupes I et K, $n_I n_K$, poids (effectifs) dans chacun des groupes.

La somme des carrés des distances calculées 2 à 2 exprime l'inertie totale de l'ensemble dans l'espace à p variables. A chaque regroupement correspond un nouveau calcul de distances établies entre le centre de gravité du groupe formé et le reste des objets ou groupes de la population. A chaque étape, deux objets ayant été regroupés, l'inertie totale diminue. Le diagramme 15 illustre cette notion dans le cas de trois groupes G_a , G_b , G_c ramenés à deux par la réunion de a et b . L'inertie de départ ($G_a - G_b + G_a - G_c + G_b - G_c$) est ramenée à $G_{ab} - G_c$.

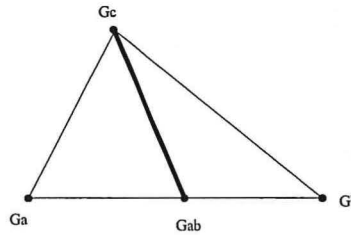


Figure 15 - Perte d'inertie au cours de l'agrégation (d'après Saporta, 1990).

Au départ, chaque station est en soi un groupe; l'agrégation progressive s'opère en retenant à chaque étape celle qui minimise l'inertie à l'intérieur du groupe ou la perte d'inertie totale résultant du regroupement. Les étapes sont répétées jusqu'à ne plus avoir qu'un seul groupe.

5. Mesures de production

Les mesures de production d'herbe ont été réalisées en deux phases successives.

L'évaluation de la biomasse herbacée aérienne vivante en fin de saison des pluies permet une comparaison globale de la productivité potentielle à l'intérieur des principales unités de pâturage qui ont été cartographiées. Elle permet également une estimation de l'évolution de cette production en fonction du stade de dégradation observé.

L'étude plus détaillée de la production des repousses d'herbe a été poursuivie pendant une année complète en établissant des placeaux de référence, représentatifs des types de pâturage les plus importants. L'analyse des données conduit à observer l'évolution de la croissance des repousses au cours du temps, à définir des indicateurs de la biomasse présente et à évaluer l'intérêt de l'utilisation de paramètres climatiques pour prédire la croissance de l'herbe.

5.1. Mesures de biomasse

La production potentielle est mesurée par la fauche du couvert herbacé à l'intérieur de végétations laissées en défens jusqu'à la fin de la saison des pluies,

après la floraison des graminées. Elle dépend des conditions écologiques de la station (sol, structure et composition botanique de la végétation), des conditions climatiques au cours du cycle et de l'état de dégradation des pâturages.

Trente-cinq mesures ont été effectuées dans les formations végétales du ranch. La biomasse herbacée aérienne a été récoltée en fauchant manuellement 12 fois un échantillon de 1 m² réparti au hasard. La hauteur de coupe a été systématiquement fixée à 5 cm. La masse végétale ainsi collectée a été triée et séchée en séparant graminées et dicotylées herbacées. Un indice de dégradation, tel que décrit plus haut, a également été déterminé sur la base de l'observation de la composition floristique et du recouvrement de la végétation.

5.2. Repousse de la végétation

Au total, 16 placeaux agrostologiques protégés ont été installés sur des superficies indemnes de dégradation à l'intérieur des 16 stations choisies selon leur représentativité sur les plans pédologique et botanique. Comme l'indique la figure 16, le placeau est ici un carré de 4 m de côté divisé en quatre placettes de 2 m de côté. Ces placettes sont exploitées selon 4 rythmes de fauche : A, 20 jours; B, 35 jours; C, 50 jours; D, 65 jours.:

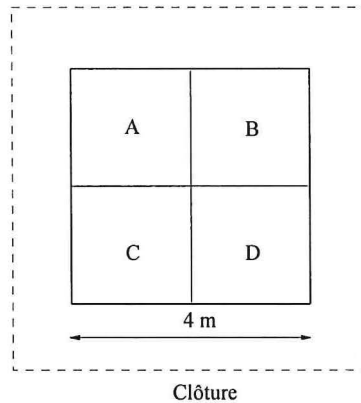


Figure 16 - Schéma représentant un placeau agrostologique protégé.

Les placeaux n'ont pas tous été exploités au cours d'une seule et même période. L'étendue du territoire sur lequel ils étaient répartis, les difficultés de déplacement sur le terrain et les moyens mis en oeuvre ne le permettaient pas.

Une première série de 12 placeaux, implantés en mai 90, a été exploitée au cours de la saison des pluies, de juin à novembre 90. Une seconde série, de 11 placeaux implantés en octobre 90, a été exploitée de novembre 90 à mai 91, couvrant ainsi la période de saison sèche et le retour des pluies.

La répartition de l'exploitation des divers placeaux est décrite au tableau 21.

Tableau 21 - Répartition de l'exploitation des placeaux au cours de la période 90-91.

Période	Placeaux	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
05/90 - 11/90	Série 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
10/90- 05/91	Série 2		*	*	*	*	*			*			*	*	*	*	*

Afin d'éviter une durée d'exploitation trop longue, les emplacements où les fauches ont été poursuivies au-delà de la première période ont été déplacés en fin de saison des pluies et reconstitués à quelques mètres, sur une zone intacte. Au cours de l'année d'observation, la poursuite des fauches sur certains sites a dû être abandonnée en cours d'exploitation (sites 11 et 16), du fait de la destruction accidentelle du placeau par le feu.

La préparation des placeaux a été effectuée en fauchant et en brûlant la biomasse existante. Les différentes fauches de repousses ont été réalisées selon un calendrier préétabli, en recoupant la totalité des repousses émises. Les mesures effectuées lors de chaque coupe portent sur le poids de la matière verte récoltée, la hauteur moyenne de l'herbe et sur une appréciation du pourcentage de recouvrement basal des touffes présentes à l'intérieur de la placette. Chaque récolte a été échantillonnée et pesée en frais, séchée à l'air libre sur place jusqu'à être amenée à l'état de foin puis mise à l'étuve (65°C pendant 24 h) pour en extraire l'humidité résiduelle et permettre d'exprimer le poids de matière sèche récoltée.

Au total 382 fauches de repousses réalisées au cours de l'étude de terrain ont ainsi permis une évaluation des variations de la production. Les principaux facteurs pris en considération sont : les classes ou groupes de pâturage définis plus loin, la croissance du fourrage exprimée sur la base des différents stades de coupe et, de façon plus particulière, les variations saisonnières de la production des repousses.

6. Etude de la valeur alimentaire des fourrages

Le chapitre décrit les techniques utilisées pour la détermination des paramètres et le mode de calcul de la valeur UFL et PDI de l'herbe, adapté aux fourrages tropicaux. L'évolution des caractéristiques alimentaires des fourrages de savane est ensuite étudiée selon les critères d'âge de la repousse, de période climatique et de type de végétation.

La qualification des 462 échantillons de repousses et de biomasses prélevés sur le terrain a été abordée par le biais d'analyses classiques effectuées selon les méthodes de référence, et par la technique de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR).

Une étude plus particulière a par ailleurs été effectuée pour caractériser la dégradabilité ruminale des différents constituants et plus particulièrement des matières azotées de l'herbe de savane à différents stades de sa croissance.

6.1. Méthodes d'analyse classiques et spectrométrie proche infrarouge

Le nombre d'échantillons étant relativement important, la démarche a consisté à effectuer une mesure en spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) de chaque échantillon et à sélectionner un sous-ensemble représentatif de l'entièreté du lot. Les analyses de référence ont été appliquées à cette sélection et ont permis l'établissement de calibrages aptes à prédire le reste des échantillons de la population.

Au retour du terrain, tous les échantillons ont, après passage à l'étuve, été broyés une première fois au moulin à marteau puis 2 fois dans un moulin Cyclotec équipé d'un tamis à mailles de 1,0 mm, de façon à en standardiser la granulométrie.

6.1.1. Mesures spectrales et choix des échantillons

Le spectre de réflexion aux différentes longueurs d'onde dans le proche infrarouge a été mesuré pour chaque échantillon à l'aide d'un appareil monochromateur NIRSystem 5000, travaillant par pas de 2 nanomètres (nm) dans une gamme de longueurs d'ondes comprises entre 1100 et 2500 nm. La matière broyée et présentée dans une coupelle à fenêtre de quartz a été mesurée deux fois, différents jours, dans des conditions de température optimales (20 à 22°C).

Les données spectrales, exprimées en logarithme de l'absorption ($\log 1/R$), ont été traitées à l'aide du logiciel ISI (InfraSoft International).

L'introduction des valeurs de réflexion aux différentes longueurs d'onde (700 longueurs d'onde) dans une analyse en composantes principales (ACP) permet de réduire le nombre de variables et amène à exprimer la totalité de la variabilité de la population et la position de chaque échantillon dans un ensemble d'axes principaux (20 axes).

La sélection des échantillons représentatifs s'est opérée comme suit. Un premier choix est effectué au départ d'un calcul de la distance spectrale de chaque échantillon vis-à-vis de tous les autres (Dardenne, 1990). La *distance*

euclidienne telle que définie précédemment accorde le même poids à toutes les variables et donne une importance prépondérante aux phénomènes qui s'expriment sur le spectre entier (granulométrie) ou sur de larges plages (humidité résiduelle). Il existe par ailleurs d'importantes corrélations entre certaines longueurs d'ondes. Pour utiliser des informations indépendantes on utilise une *distance généralisée de Mahalanobis* qui est une *distance euclidienne* pondérée pour chaque paire de variables par l'inverse de la covariance.

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^p \sum_{l=1}^p w_{jl} (A_{ij} - A_{kj})(A_{il} - A_{kl})}$$

avec : d_{ik} , distance entre les spectres i et k , j et l , longueurs d'ondes de l'ensemble p , w_{jl} , élément de l'inverse de la matrice de variance-covariance.

Les distances de Mahalanobis sont invariantes à toutes transformations linéaires des variables (Dardenne, 1990). La formule générale est simplifiée lorsque l'on utilise comme variables les coordonnées dans les axes de l'ACP : ceux-ci sont orthogonaux et tous les éléments w_{jl} sont nuls. Seuls sont considérés les éléments de la diagonale de la matrice qui ont les valeurs propres les plus importantes (20 axes). La distance généralisée est calculée sur les axes ACP car le calcul de l'inversion d'un tableau 700 sur 700 poserait des problèmes de quasi-singularité. Cette procédure permet par ailleurs de réduire considérablement le temps de calcul qui aurait été nécessaire pour les 700 longueurs d'ondes.

L'indice est normalisé par rapport à l'ensemble de la population de manière à représenter l'écart en termes de valeurs h dont on démontre (Hoaglin et Welsh, 1978) qu'elle est égale à :

$$h_{ik}^{\circ} = \left(\frac{d_{ik}^2}{n-1} + \frac{1}{n} \right) \frac{n}{p},$$

pour n spectres et p composantes.

La technique de sélection consiste à rechercher la plus petite distance h entre 2 spectres et à éliminer l'un des deux. Par itérations successives, on obtient un nombre d'échantillons, fixé par l'opérateur, qui soient les plus éloignés deux à deux. L'ensemble défini occupe de la façon la plus homogène possible l'espace spectral engendré par la population d'échantillons de départ.

Quarante échantillons ont ainsi été sélectionnés sur base de valeurs h les plus élevées. La procédure choisit les plus extrêmes quant au spectre; ils ne seront pas nécessairement tous extrêmes quant à la composition chimique. Une seconde sélection a été effectuée en prédisant, selon un calibrage adapté aux fourrages

tempérés, les paramètres les plus importants de teneurs en matières azotées et de digestibilité-cellulase, et en retenant au terme d'une régression entre ces deux paramètres les individus situés aux extrêmes et ceux présentant les résidus les plus importants. Complémentaires à la première, les deux méthodes conduisent à effectuer les analyses de référence sur une distribution optimale des variables à étalonner (y) et des variables explicatives (x) représentées par les longueurs d'onde du spectre.

Le nombre total d'échantillons retenus pour les analyses courantes était de 78, il a été ramené à 50 échantillons selon les cas pour les analyses plus coûteuses ou plus délicates.

6.1.2. Paramètres étudiés selon les méthodes de référence

Les différents paramètres nécessaires à l'établissement de la valeur alimentaire selon les normes standard actuelles du système français UFL-PDI ont été déterminés en recourant aux méthodes succinctement décrites ci-après. Chaque analyse a été répétée au moins deux fois.

Matière sèche analytique

La matière sèche analytique (MSa) de chaque échantillon a été déterminée (norme AFNOR NF-V18-109) après passage à l'étuve, 4 h à 103 °C. Le paramètre permet de déterminer la teneur en eau résiduelle et l'expression de chacun des constituants à 100% de matière sèche, valeur utilisée dans les calibrages.

Cendres totales

Les cendres totales (CT) ont été déterminées (norme NF V18-101) pour chaque échantillon sélectionné par calcination au four à 550 °C pendant 3 h ou jusqu'à l'obtention de cendres blanches.

Energie brute

L'énergie brute (EB), variable de départ dans le calcul de la valeur énergétique, a été déterminée à l'aide d'une bombe calorimétrique de type adiabatique (PARR 1241.). A cette mesure de référence ont systématiquement été associés des dosages de la teneur en éléments C, H, N, de la matière, ces mesures étant effectuées à l'aide d'un analyseur élémentaire (Perkin Elmer CHN 2400).

Fibres brutes et constituants pariétaux

Les fibres ont été caractérisées globalement par l'analyse classique de la cellulose brute (CB) en recourant à la méthode de Weende (norme NF V03-400) et de façon plus détaillée, en distinguant les différents constituants pariétaux par

la technique du fractionnement de Van Soest et Wine (1967), AOAC (1984) en Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), et Acid Detergent Lignin (ADL). La technique permet ainsi de décrire les fractions hémicellulosique, différence NDF - ADF, cellulosique ADF - ADL et lignocellulosique ADL, contenues dans les fibres de la plante.

Matières azotées totales

L'azote a été déterminé de façon classique par la technique de dosage de la matière azotée selon Kjeldahl (norme NF V18-100 adaptée au Kjeltec)

Digestibilité in vitro

Le paramètre de digestibilité a été évalué selon la technique microbiologique au jus de rumen (Tilley et Terry, 1963) et selon la technique enzymatique de solubilisation à la pepsine-cellulase (Aufrère, 1982).

6.1.3. Etablissement des calibrages

L'établissement du modèle prédictif reliant les densités optiques ($\log I/R$) et les valeurs de référence est basé sur la recherche d'un modèle multilinéaire qui exprimera le paramètre en fonction des absorbances aux longueurs d'onde les plus explicatives.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i + b_px_p$$

\hat{y} est la valeur estimée pour le constituant recherché; b_0 est la constante; $b_1..b_p$, les coefficients affectés aux différentes longueurs d'ondes (termes) $x_1..x_p$.

Dardenne (1990, 1991) décrit les différentes techniques de régression qui sont applicables en analyse SPIR. Celle que nous utilisons ici est la procédure Partial Least Squares (Martens *et al.*, 1982) du logiciel InfraSoft International (Shenk, 1989).

La procédure PLS consiste à décomposer la matrice x des absorbances en facteurs orthogonaux sur lesquels on applique la technique de régression au sens des moindres carrés partiels.

En régression sur les composantes principales (Principal Component Regression), la décomposition en facteurs est réalisée de façon à exprimer sur chaque axe une part décroissante de la variabilité totale. Les coordonnées sur chacun des axes principaux sont alors introduites successivement dans une régression classique des moindres carrés partiels, les coordonnées de l'ACP représentant les dimensions "dominantes" de la matrice des spectres. En PLS, les facteurs représentent les dimensions "relevantes", c'est à dire celles dont les projections (coordonnées) sont les mieux corrélées avec le paramètre à calibrer.

On peut représenter le PLS comme une recherche dans l'espace multivarié (700 longueurs d'ondes) des directions sur lesquelles les projections des points donneront de façon décroissante les plus hautes corrélations avec le vecteur y (paramètre à étalonner).

La méthode ayant tendance à surajuster les modèles, on utilise une procédure de validation croisée pour déterminer un nombre optimal de termes à retenir. La validation, effectuée à chaque étape pour un nombre croissant de termes, généralement 1 à 14 termes PLS, consiste à choisir aléatoirement 3/4 des échantillons sur lesquels un modèle est développé; celui-ci est ensuite appliqué au 1/4 des échantillons restants et aboutit à un écart résiduel de prédiction sur des échantillons indépendants. La procédure étant à chaque étape répétée quatre fois, tous les échantillons sont au moins prédits une fois. La moyenne quadratique des quatre écarts obtenus donne une erreur de validation croisée dont le minimum fixe le nombre de termes à retenir dans le modèle. Le modèle final est ensuite recalculé sur l'ensemble des échantillons.

Les performances des modèles prédictifs sont estimées de la façon suivante. Les coefficients de détermination en calibration R^2_c et validation croisée R^2_{cv} expriment dans les deux cas la part de variation expliquée par la régression. Les écarts-types de calibration (SE_c) et de validation (SE_{cv}) expriment la variabilité de l'erreur commise par le modèle sur les échantillons en calibration et en validation, sur ceux n'ayant pas participé à la calibration.

L'expression dans un graphique-plan des valeurs de référence et des valeurs prédites permet d'apprécier visuellement la dispersion des résidus et l'existence éventuelle de points aberrants pour lesquels une nouvelle mesure spectrale ou un contrôle de l'analyse de référence peut s'avérer nécessaire.

6.2. Etablissement des valeurs alimentaires

Les valeurs énergétiques et azotées exprimées dans le nouveau système système UFL - UFV - PDI (1988), ainsi que l'ingestibilité, ont été calculées selon les normes établies pour les fourrages de la zone tropicale humide par Aumont *et al.* (1995) à la Station de Recherches Zootechniques INRA de la Guadeloupe. Les équations qu'ils proposent sont une adaptation des normes aux conditions tropicales, les estimations de digestibilité et d'ingestibilité des fourrages étant établies sur les données de 233 bilans de digestibilité *in vivo* réalisés sur des moutons de race locale alimentés *ad libitum*.

6.2.1. Valeur énergétique

Les étapes du calcul comprennent l'établissement de l'énergie brute (EB) de l'aliment, la transformation en énergie digestible (ED), puis métabolisable (EM),

et enfin nette (ENL), exprimée en UFL ou UFV selon les normes alimentaires dont on dispose. Le paragraphe présente les équations utilisables pour les fourrages tropicaux.

Energie brute:

Une équation particulière aux fourrages tropicaux, établie par Xandé et Garcia-Trujillo (1985), permet de la calculer selon la teneur en azote :

$$EB = (19,02 + 8,42 \times 10^{-3} \times MATo) / (MO \times 10^{-3}), \text{ Mjoulés/kg MS,}$$

avec MATo = quantité de matières azotées totales en g/kg de matière organique.

Dans le cas présent, les valeurs ont été prédites en SPIR à l'aide d'une équation spécifique développée sur les résultats des mesures à la bombe calorimétrique. Un modèle est également proposé (III.3.) pour la calculer selon la teneur en constituants élémentaires : carbone, hydrogène, azote.

Energie digestible

$$ED = EB \times dE,$$

où le coefficient de digestibilité de l'énergie (dE) se calcule à partir de la digestibilité de la matière organique en utilisant la relation suivante (Andrieu et Demarquilly, 1987):

$$dE = (0,957 \times dMO) - 0,068.$$

Le coefficient d'utilisation digestive de la matière organique dMO est établi à l'aide d'une relation utilisant le paramètre de digestibilité *in vitro* de la matière sèche mesurée selon Tilley et Terry (ttMS). Les termes en sont les suivants (Aumont *et al.*, 1995):

$$dMO = 0,7794 \times ttMS + 1,4048 \times MAT - 0,1965 \times MAT \times ttMS + 14,03;$$

l'équation permet d'exprimer la digestibilité en % de la MO avec un écart résiduel de 3,79.

Energie métabolisable:

$$EM = ED \times \frac{EM}{ED},$$

avec EM/ED facteur de transformation de l'énergie digestible en énergie métabolisable calculé comme suit (Vermorel *et al.*, 1987; Andrieu et Demarquilly, 1989):

$$\frac{EM}{ED} = 0,8417 - 9,9 \times 10^{-5} CBo - 1,96 \times 10^{-4} MATo + 0,221NA,$$

avec CBo cellulose brute en g/kg de matière organique et NA valeur du niveau d'alimentation (égale à 1 dans le cas d'une alimentation couvrant seulement les besoins d'entretien), fixée ici pour le calcul à une valeur moyenne de 1,7 équivalente à celle adoptée par Demarquilly (1978) pour les fourrages tempérés.

Energie nette et valeur UFL-UFV

L'énergie nette, qui sera utilisée par l'animal pour ses besoins d'entretien, de production de lait ou de croissance, peut être calculée au départ de l'énergie métabolisable selon des coefficients exprimant le rendement de la transformation de l'énergie métabolisable en énergie nette d'entretien (km), de lactation (kl) ou de croît (kf). Van ES (1975) démontre que kl et km évoluent dans un rapport constant et que l'on peut exprimer l'énergie nette d'entretien et lactation selon la relation:

$$ENL = EM \times k_1,$$

le coefficient k_1 variant selon la densité en énergie métabolisable de la ration:

$$k_1 = 0,6 + 0,24 \times (q - 0,57) \text{ avec } q = \frac{EM}{EB}$$

L'unité de référence du système équivaut par convention à la valeur du kg d'orge soit 7,12 Mj/kg de matière sèche

$$UFL = ENL / 7,12$$

Dans le cas de l'entretien et de la croissance, l'utilisation de l'énergie métabolisable varie selon le niveau de production, le coefficient k_{mf} défini par Harkins (1974) pour un standard de production de 1,2 à 1,4 kg/jour comme étant égal à :

$$k_{mf} = \frac{km \times kf \times 1,5}{kf + 0,5km} = \frac{0,3358 \times q^2 + 0,6508 \times q + 0,005}{0,9235 \times q + 0,283}$$

L'énergie nette d'entretien et de croissance est calculée selon ce coefficient et rapportée à la valeur du kg d'orge de référence soit 7,12 Mj/kg de MS.

$$ENV = EM \times K_{mf} \text{ et } UFV = ENV / 7,62$$

A titre de comparaison les valeurs alimentaires ont également été calculées d'une part, selon la relation liant la valeur UF à la teneur en cellulose brute et en cendres totales établie par Dijkstra (1957) et utilisée par Rivière (1977):

$UF / \text{kg MS} = 0,7 \times (0,970 \times (100 - CT) - 0,32 \times CB - 2,66 \times CB^2 / (100 - CT))$ et d'autre part, selon la relation établie par Dieng (1991) au terme des essais de

digestibilité qu'il a effectués à différents stades de croissance d'*Andropogon gayanus* au Sénégal:

$$UFL = 0,0041 \times MAD + 0,4576 .$$

La valeur établie sur un standard UFL de l'orge de 1730 kcal (INRA, 1978) est ici affectée d'un coefficient de 1,018 pour la ramener au standard redéfini en 1988 (INRA, 1989), MAD, dont l'expression est définie plus loin, étant la quantité de matières azotées digestibles en g/kg de MS.

6.2.2. Valeur azotée

Le calcul de la valeur azotée est effectué selon les normes du système français des protéines vraies digestibles dans l'intestin (PDI).

La procédure de calcul est illustrée à la figure 17.

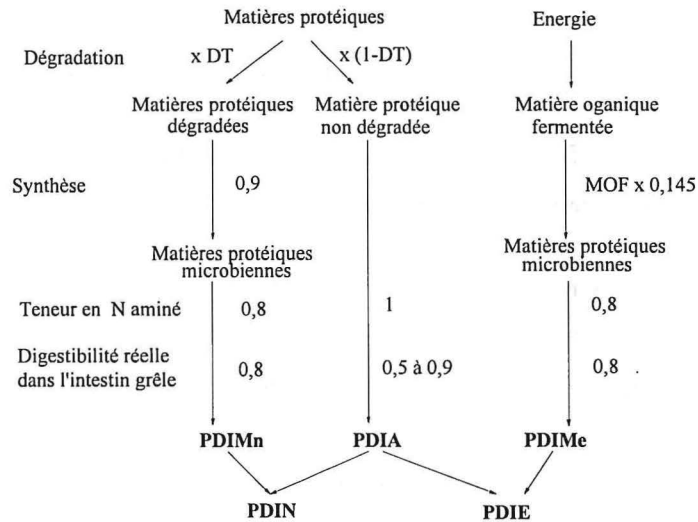


Figure 17 - Schéma de l'établissement des valeurs PDI.

Elle consiste à établir d'une part, la quantité de protéines dégradables dans le rumen et d'autre part, la quantité de matière organique fermentescible (MOF); à calculer ensuite, selon des coefficients propres à l'aliment, les quantités de protéines microbiennes qui peuvent être élaborées et digérées, soit au départ de l'énergie fermentescible (PDIM_E), soit au départ de la quantité d'azote dégradé (PDIM_N). Ces quantités ajoutées à la quantité de protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA) conduiront à l'établissement de deux valeurs, PDIN et PDIE dont la plus faible est la valeur protéique qui pourra être réellement utilisée.

Les équations utilisées dans le travail correspondent aux normes décrites par Vérité et Geay (1987) adaptées aux fourrages tropicaux selon les paramètres décrits par Aumont *et al.* (1995) :

Protéines alimentaires digestibles dans l'intestin:

$$PDIA = 1,11 \times MAT \times (1 - DT) \times dr_a \times AA_a \text{ g/kg MS,}$$

avec : MAT, matière azotée totale en g/kg MS; DT, dégradabilité théorique de l'aliment fixée pour les fourrages tropicaux à une valeur moyenne de 0,53 d'après les premiers travaux réalisés sur ce paramètre à la station INRA de la Guadeloupe; dr_a , digestibilité réelle des acides aminés dans l'intestin grêle fixée ici à 0,7, valeur proche de celle utilisée pour les fourrages tempérés; AA_a, taux d'acides aminés dans les matières azotées alimentaires non dégradées, égal à 1; 1,11, facteur de conversion entre la mesure de dégradabilité mesurée en sachet et celle mesurée *in vivo*.

$$PDIA = 0,3652 \times MAT$$

Protéines microbiennes digestibles dans l'intestin calculées sur l'azote dégradable:

$$PDIM_N = MAT \times (1 - (1,11 \times (1 - DT))) \times dr_m \times AA_m ,$$

avec : AA_m, taux d'acides aminés dans les matières azotées d'origine microbienne, 0,8;

dr_m , digestibilité réelle des AA microbiens 0,8.

$$\text{Soit : } PDIM_N = 0,2752 \times MAT$$

Protéines microbiennes digestibles dans l'intestin calculées sur l'énergie:

$$PDIM_E = MOF \times \text{efficacité} \times dr \times AA_m$$

avec MOF, quantité de matière organique fermentescible dans le rumen et donc utilisable par les micro-organismes pour se multiplier et produire des AA microbiens, calculée comme suit:

$$MOF = MOD - MGB - MAT \times (1 - DT)$$

avec MOD, quantité de matière organique digestible en g/kg MS; MGB matière grasse brute fixée à 18,5 g/kg MS et DT dégradabilité de la matière azotée fixée à 0,53.

efficacité : production potentielle de protéines microbiennes fixée à 145 g/kg de matière organique fermentescible.

soit:

$$PDIM_E = MOF \times 0,093$$

Valeur PDI

La valeur PDI finale de l'aliment est exprimée en g par kg MS par les valeurs:

$$PDIN = PDIA + PDIM_N$$

$$PDIE = PDIA + PDIM_E$$

On choisira pour se référer aux tables alimentaires la valeur la plus basse selon que l'énergie ou l'azote contenus dans l'aliment constitue le facteur limitant dans la synthèse ruminale. Dans le cas des fourrages tropicaux, il s'agira généralement de la valeur PDIN, l'azote étant le plus souvent le facteur limitant.

De même à titre de comparaison, les valeurs azotées ont également été exprimées dans le système classique des matières azotées digestibles MAD en recourant aux relations établies par Chenost (1975) :

$$MAD = (0,916 \times MAT) - 28,95 \text{ g/kg MS}$$

ou plus récemment par Dieng(1992):

$$MAD = (0,99339 \times MAT) - 40,28 \text{ g/kg MS}$$

où l'expression matière azotée totale (MAT) g/kg de MS équivaut à la matière azotée totale décrite précédemment.

6.2.3. Ingestibilité

L'ingestibilité traduit pour un fourrage la quantité maximale qui peut en être ingérée quotidiennement par l'animal.

Aumont *et al.* (1992) ont établi une relation qui permet d'estimer l'ingestibilité pour un mouton (Qim) selon la teneur en MAT et la digestibilité de la matière sèche, cudMS avec:

$$Qim = 0,5767 \times cudMS + 0,876 MSh + 0,5509 \times MAT + 2,5062, \text{ g MS/kg P}^{0,75}$$

$$cudMS = 0,8554 \times ttMS + 1,7272 \times MAT - 2,5824 \times 10^{-3} \times ttMS \times MAT + 7,8891$$

avec MSh, matière sèche de l'herbe fixée ici à une valeur moyenne de 30%. La relation établie sur 355 mesures portant sur des fourrages de natures très diverses exprime l'ingestibilité pour des moutons avec un écart résiduel de 7 g/kg de poids métabolique, soit un coefficient de variation résiduel de 8,3%. La valeur sera ensuite estimée pour un bovin (Qib) par la relation (Dulphy *et al.*, 1987):

$$Qib = 22,4 \times 0,969 Qim$$

6.2.4. Besoins alimentaires de référence

Disposant des paramètres UFL, PDI et ingestibilité, il était intéressant de pouvoir traduire la valorisation par les animaux en confrontant les valeurs alimentaires à des normes de besoins raisonnables pour des bovins tropicaux. Il n'existe pas encore de normes proprement définies pour ces derniers. Pour rester cohérent avec le système UF, on les estimera selon la relation proposée par Troccon (1987) pour les animaux à croissance lente (< 1kg/j). Etablis sur un grand nombre d'essais de croissance, les besoins en énergie nette sont ici traduits en UFL/jour; ils ont été calculés selon le modèle formulé par Geay *et al.*, (1978) liant l'ingestion d'énergie nette au poids vif métabolique ($PV^{0,75}$) et au gain de poids quotidien (GQM) de l'animal.

$$EN_{(UFL)} = 0,042 \times PV^{0,75} + 0,0435 \times PV^{0,75} \times GQM^{1,4}$$

A défaut de pouvoir vérifier l'efficacité de ces références alimentaires, on les envisagera ici surtout en tant que référentiel pour comparer la valeur alimentaire des fourrages de savane selon les performances attendues d'un animal de référence. Le tableau 22 reproduit les besoins énergétiques que l'on peut estimer pour différents poids et niveaux de croît quotidien.

Tableau 22 - Besoins énergétiques d'entretien et de croissance exprimés en UFL.

Poids vif Kg	Entretien UFL/j	Gains quotidiens g/jour			
		100	200	300	400
100	1,33	1,38	1,47	1,58	1,71
125	1,57	1,63	1,74	1,87	2,02
150	1,80	1,87	2,00	2,15	2,32
200	2,23	2,33	2,48	2,66	2,88
250	2,64	2,75	2,93	3,15	3,40
300	3,03	3,15	3,36	3,61	3,90

De même, les besoins en protéines exprimés en PDI sont calculés selon les normes INRA en tenant compte d'un besoin d'entretien de 3,25 g de PDI/kg de poids métabolique et de besoins de croissance équivalent à 270 g de PDI/kg de croît, valeurs moyennes proches de celles adoptées pour des animaux de poids et de performances comparables à ceux décrits dans les tables alimentaires INRA (1988) (tableau 23).

Tableau 23 - Besoins en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) pour l'entretien et la croissance.

Poids vif Kg	Entretien	100	200	300	400
			g/jour		
100	103	130	157	184	211
125	121	148	175	202	229
150	139	166	193	220	247
200	173	200	227	254	281
250	204	231	258	285	312
300	234	261	288	315	342

6.3. Dégradabilité ruminale des fourrages de savane

La dégradabilité ruminale des constituants de l'aliment et plus particulièrement des matières azotées est un paramètre fréquemment utilisé dans l'étude de la valeur alimentaire des fourrages. La dégradabilité peut être mise en relation avec des critères tels que la digestibilité, l'ingestibilité ou en ce qui concerne la protéine, la disponibilité plus ou moins importante ou rapide d'azote pour la synthèse microbienne dans le rumen. Michalet et Ould-Bah (1992) présentent une revue très claire et synthétique des techniques applicables à l'estimation de la dégradabilité et des facteurs pouvant influencer sa mesure.

En dehors des travaux de Aii et Strobs (1980), Negi *et al.* (1988) Kabuga et Darko (1993), Aumont *et al.* (1994) ou de Kamatalit *et al.*, (1992) Makkar *et al.* (1989) qui portent respectivement sur des graminées tropicales cultivées ou sur des arbustes fourragers, il n'existe pas de données concernant la dégradabilité ruminale des graminées de la végétation naturelle de savane. Une attention particulière a été apportée à la caractérisation des cinétiques de dégradation ruminale des constituants pour des repousses de différents âges et au calcul d'une valeur de dégradabilité théorique pour la matière azotée, afin de vérifier la conformité par rapport à la norme (DT = 53%) proposée par Xandé *et al.* (1992) et utilisée dans le calcul des valeurs PDI.

6.3.1. Etablissement des cinétiques de dégradation

Les échantillons traités dans le cadre de cette étude concernent 4 stades de repousse après feux et ont été collectés en début de saison des pluies (mai 1992).

Du point de vue de la composition botanique, le faciès auquel ils se rapportent est celui lié aux sols argileux de transition, comportant une bonne proportion d'*Hypparhenia smithiana* et de *Loudetia arundinacea*.

L'âge du fourrage, estimé en se référant à la date du feu organisé dans la parcelle, était respectivement pour chacun des quatre échantillons de 15, 25, 45 et 65 jours. Pour chaque repousse, la collecte a consisté à prélever manuellement

et de façon aléatoire des échantillons de repousses dans un espace d'environ 4 ares, de manière à obtenir un poids total de matière sèche de 500 g.

Préséchés au soleil intense à cette saison (24 à 30 h de séchage), ils ont ensuite été ramenés et séchés à l'étuve (60°C pendant 36h), broyés au moulin à marteau et deux fois au Cyclotec équipé d'une grille à mailles de 1 mm.

La dégradabilité des constituants a été étudiée *in situ* en recourant à la technique des sachets nylon (la technique est décrite *in extenso* en annexe II).

Le protocole expérimental comportait l'utilisation de trois animaux (boeufs de race Pie Noire), équipés chacun d'une fistule du rumen. La ration de base, distribuée à raison de 10 kg de MS par jour, était constituée de 80% de foin de prairie et 20 % de concentrés. Trois périodes de mesure ont permis de tester les quatre aliments sur trois animaux. Une préexpérience montrant qu'il fallait, pour ce type de fourrage, recourir à des temps de séjour assez longs pour atteindre la valeur maximale de dégradabilité, chaque série a ainsi été étudiée avec des temps de séjours de 0, 4, 8, 16, 48, 72, 96, 120 heures. Après lavage selon un schéma très strict, chaque sachet est séché, pesé et l'on établit pour chacun d'eux le pourcentage de matière sèche disparue. Les valeurs sont classées par aliment, par animal et par temps d'incubation; les sachets qui se situent à plus de deux écarts-types de la moyenne par temps sont écartés, la perméabilité du sachet pouvant être mise en cause. Pour établir la dégradabilité des différents constituants, les sachets ont été regroupés par temps d'incubation de façon à disposer de quantités suffisantes de matière résiduelle pour effectuer selon les méthodes classiques l'analyse des cendres totales, des MAT, de l'NDF et de l'ADF.

Les quantités de matière disparues aux différents temps d'incubation, tant pour la matière sèche que pour les autres constituants (MO, MAT, NDF, ADF), permettent de définir une courbe de dégradation en fonction du temps. Cette courbe est établie sous l'hypothèse que tout ce qui disparaît des sachets est dégradé, y compris les substances solubles dans le rumen et les particules de faible granulométrie.

La fraction potentiellement dégradable est calculée en ajustant les pourcentages de disparition observés aux différents temps dans une fonction de type (Orskov et McDonald, 1979):

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

où : $P(\%)$ représente le % de matière dégradée au temps t ; $a(\%)$, la fraction soluble immédiatement dégradée; $b(\%)$, la fraction potentiellement dégradable; $c(\%/h)$, la vitesse de dégradation.

6.3.2. Analyse des contenus de sachets en SPIR

Disposant de 4 séries d'échantillons de matière résiduelle, générées au travers d'une succession étendue de temps de séjour dans le rumen, une étude annexe a permis d'approcher l'intérêt de l'utilisation de la spectrométrie infrarouge proche pour d'une part, caractériser l'évolution spectrale des aliments séjournant dans un rumen et d'autre part, envisager la possibilité d'établir des calibrages permettant de prédire les constituants de la matière résiduelle après incubation.

Avant de procéder à l'analyse classique, nous avons effectué une mesure spectrale des matières regroupées par temps d'incubation, ainsi que des sachets classés à chaque temps de séjour par aliments et par groupes homogènes de matière sèche disparue.

Les spectres de réflexion aux différentes longueurs d'onde dans le proche infrarouge ont été enregistrés en double pour chaque échantillon à l'aide d'un appareil monochromateur NIRSystem 6500 incluant le visible et travaillant dans la gamme des longueurs d'ondes comprises entre 400 et 2500 nm. Les spectres ont été traités selon les procédures décrites au point III.2.1.

6.3.3. Mesure de la contamination bactérienne

La technique *in sacco* suppose que l'on dose les constituants sur les résidus de la matière originelle sans qu'il y ait interférence d'autres éléments. En pratique, le lavage, quelle que soit la technique utilisée, ne suffit généralement pas à détacher complètement les particules microbiennes qui ont colonisé l'aliment au cours de l'incubation ruminale (Ould Bah, 1989). La contamination des résidus entraîne particulièrement dans le cas de l'azote une sous-estimation de la dégradabilité. De nombreux auteurs ont mis cette contamination en évidence à l'aide de marqueurs tels que le DAPA (acide diaminopimélique) (Mathers et Aitchison, 1981) ou en recourant à des molécules marquées à l'aide de S^{35} ou N^{15} , (Kennedy *et al.*, 1984; Ould Bah, 1989; Kamoun et Théwis 1990; Kamoun *et al.* 1993).

En tenant compte de la contamination, Michalet et Ould Bah (1989) et Kamoun *et al.* (1993) démontrent que l'on aboutit à un relèvement de la valeur de dégradabilité théorique de la protéine, correction d'autant plus importante que la teneur en protéines de l'échantillon de départ est faible.

Il n'était pas possible de mesurer directement la contamination sur les 4 échantillons testés ici. Pour l'estimer, nous avons eu recours à une technique originale qui est en cours de mise au point et qui fait appel à une prédiction en spectrométrie proche infrarouge. Ce travail, réalisé en collaboration entre l'UER de Zootechnie et la Station de Haute Belgique, fait partie du travail de doctorat de Kamoun (1995).

Ce travail permet d'établir un calibrage basé sur 388 échantillons issus de l'incubation ruminale de différents fourrages pour lesquels la contamination bactérienne, exprimée en % d'azote microbien par rapport à l'azote total du résidu, a été estimée par une mesure N^{15} .

Pour étendre la base de calibration développée par Kamoun sur 30 fourrages méditerranéens, ainsi que sur des ray-grass cultivés en Ardenne, et y intégrer des fourrages tropicaux, 2 échantillons de repousse de savane naturelle de l'Adélé, l'un de 20 jours, l'autre de 45 jours, ont été intégrés à des séries de mesure *in sacco*. Ces mesures ont été effectuées dans le rumen de trois animaux recevant une ration de base constituée de 2/3 de foin et 1/3 de concentrés. Au cours d'une période préparatoire de 5 jours et tout au long de la mesure, ils recevaient une perfusion ruminale de sulfate d'ammoniaque marqué. La perfusion permet un marquage uniforme de la flore microbienne du rumen (Kamoun, 1995). La manipulation a permis de générer un lot de 40 échantillons de matière résiduelle répartis entre des temps d'incubation de 2, 4, 8, 16, 24, et 48 heures. Le dosage en spectrométrie de masse de l'azote marqué d'isolats de bactéries prélevés à chaque série de mesure aboutit à fixer un pourcentage de marquage de l'azote total des bactéries. En dosant l'azote marqué sur chaque échantillon de résidus, on exprime ensuite la fraction microbienne restant fixée à la matière après lavage. L'intégration de ces données aux séries de mesures développées sur d'autres fourrages a permis de développer un calibrage permettant de prédire les taux de contamination sur les résidus des 4 fourrages envisagés précédemment.

6.3.4. Calcul de la dégradabilité théorique

En pratique, l'aliment ne reste pas dans le rumen jusqu'à dégradation totale et le flux des digesta entraîne également une fraction de particules non dégradées. En marquant l'aliment (mordancage, terres rares) et en mesurant la décroissance de la concentration en marqueur dans le rumen au cours de la période suivant l'administration (t), on peut estimer dans un modèle de type : e^{-kt} , le facteur k qui exprime la constante de vitesse de sortie des résidus du rumen. Orskov et McDonald (1979) établissent la dégradabilité théorique de l'aliment de la façon suivante:

$$DT = a + \int_0^t e^{-kt} bc e^{-ct} dt = a + \frac{(bc)}{c+k}$$

Le paramètre k ne pouvait être mesuré dans le cadre de ces travaux. L'objectif étant surtout de comparer la dégradabilité aux différents âges de repousse, on tablera ici sur des valeurs standard de 4% ou 6% par heure, proches de celles que l'on trouve dans la littérature (Orskov et McDonald, 1979; Fall et Michalet, 1992), la valeur 6%/h étant le standard de référence utilisé dans le système PDI établi par l'INRA.

III. Le climat, les sols et la végétation du ranch de l'Adélé

1. Le climat du ranch

Le climat du ranch de l'Adélé est de type tropical humide et appartient au type Aw₄ de Köppen (1936). Il présente 4 mois de saison sèche (novembre à février) et une distribution légèrement bimodale de la pluviosité (diminution en juillet-août), ce qui dans la classification des climats tropicaux humides d'Aubréville (1949) correspond au sous-type dahoméen (1b₁₂). Une synthèse des données climatiques moyennes est présentée au tableau 24.

Tableau 24 - Données générales du climat de l'Adélé, moyennes annuelles.

Paramètres	Moyennes annuelles
Pluviosité, en mm	1472,2 *
Nombre moyen de jours de pluie par an	98,1
Durée de la saison sèche en jours	120
Température moyenne, en °C	25,8
Température minimale, en °C	20,6
Température maximale, en °C	30,9
Humidité relative de l'air, en %	71,1
Evapotranspiration en mm / jour	3,13

(Sources : données moyennes in FAO, 1991; *Ranch 1984-1991)

1.1. Pluviosité (1984 -1991)

La pluviosité annuelle moyenne a été pour cette période de 1.472 mm avec une valeur maximale de 1.821 mm en 1991 et une valeur minimale de 1.314 mm en 1984, les autres valeurs enregistrées ne s'écartant pas de plus de 100 mm de la valeur moyenne.

Le nombre de jours de précipitations est de l'ordre de 98 ± 10 par an (86 jours en 1987 et 113 jours en 1985).

En saison pluvieuse, de mars à octobre, la pluviosité mensuelle moyenne atteint au moins 100 mm et est répartie sur sept jours. La pluviosité augmente ensuite avec le nombre de jours de précipitations pour culminer en août - septembre avec près de 250 mm répartis sur 15 jours (figure 18). En moyenne annuelle, on observe un apport de 15 mm par jour de pluie.

La répartition des valeurs mensuelles (tableau 25) laisse apparaître une période sèche de quatre mois (novembre, décembre, janvier, février) où la pluviosité peut être nulle et ne dépasse pas en moyenne mensuelle 30 mm pour trois jours de précipitations. La répartition décadaire de la pluviosité (annexe IIIa et figure 17) permet de mieux décrire la période sèche.

Tableau 25 - Répartition mensuelle moyenne des précipitations et du nombre de jours de pluie de 1984 à 1991.

mois	Pluviosité en mm			Nombre de jours de pluie			
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	*P/n
J	0,0	7,7	29,6	0	0,7	2	10,3
F	0,0	28,0	128,6	0	3,0	11	9,3
M	12,5	97,3	158,3	1	7,0	9	13,9
A	57,1	128,9	214,2	4	8,1	11	15,9
M	85,0	155,9	229,2	6	11,2	17	13,9
J	164,3	226,5	257,3	10	13,9	19	16,3
J	165,3	188,7	283,1	9	13,7	17	13,7
A	123,6	254,4	313,8	6	15,7	20	16,1
S	173,9	242,7	286,5	10	14,5	20	16,7
O	33,1	108,5	222,5	4	6,7	9	16,1
N	0,0	16,7	56,1	0	1,9	5	8,9
D	0,0	16,9	55,3	0	1,5	6	11,3
années		1.472,2		86	98,1	113	15,0

*P/n nombre de mm de pluie en moyenne par jour de pluie au cours du mois

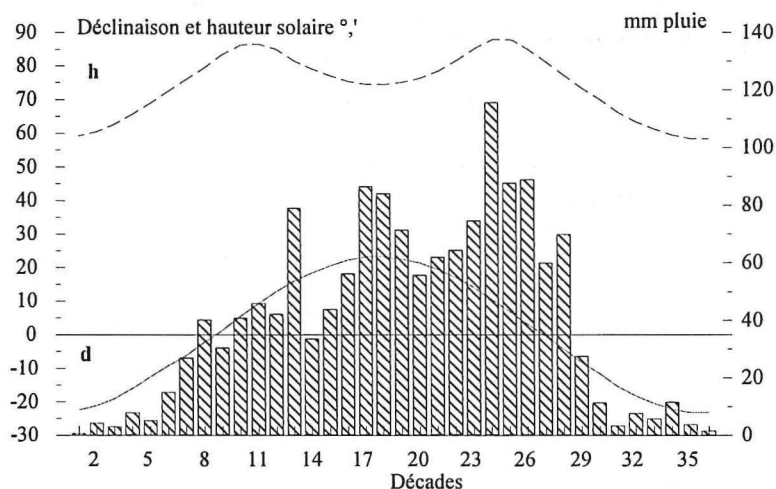


Figure 18 - Incidence de la hauteur (h) et de la déclinaison solaire (d) sur la pluviosité.

En ne tenant pas compte des pluviosités décadaires inférieures à 15 mm, on constate que la période sèche commence en moyenne après la 29^{ème} décade de l'année (3^{ème} décade d'octobre) pour se terminer à la 5^{ème} décade de l'année suivante (2^{ème} décade de février). Cette période sèche a donc en moyenne une durée de 120 jours (4 mois) et est centrée sur le solstice d'hiver.

La période des pluies est liée au balancement du soleil de part et d'autre de l'équateur (déclinaison supérieure à -12°) ou à une hauteur de culmination supérieure à 70° . On observera un accès pluvieux en décade 13 peu après le passage du soleil au zénith et le maximum en décade 24 lors du retour de passage au zénith.

Les maxima décadaires moyens concernent la dernière décade d'août et les deux premières décades de septembre (décades 24, 25 et 26) lors du passage du soleil au zénith. Le mois de juin est également bien arrosé à la période du solstice d'été (décades 17 et 18), tandis qu'un léger creux pluviométrique se manifeste durant la 2ème décade de juillet qui serait le meilleur moment pour les feux de contre-saison.

Les précipitations journalières oscillent entre des extrêmes allant de 0 à 102,3 mm. La répartition par classes des lames d'eau tombée montre (annexe IIIb) que la distribution n'est pas normale autour de la moyenne de 15 mm par jour.

Les périodes les plus arrosées sont caractérisées par un nombre plus élevé de jours de précipitations et par des lames journalières plus élevées. Ainsi, en moyennes annuelles, on ne rencontre jamais de précipitations journalières supérieures à 40 mm en saison sèche, mais il faut s'attendre en saison pluvieuse à 1 ou 2 jours de pluies dépassant 60 mm.

1.2. Température, humidité relative et évapotranspiration potentielle (1990-1991)

Les moyennes des données assemblées par décades dans les deux stations ont été calculées de façon à pouvoir être mises en relation avec les données de pluviosité enregistrées au cours de la même période sur le site de l'Adélé. Les figures 19 et 20 montrent l'évolution saisonnière de la température moyenne, de l'humidité relative, des tensions de vapeur et de l'ETP au cours de la période 90-91. Le tableau 26 résume les paramètres statistiques relatifs aux différentes valeurs.

Tableau 26 - Caractéristiques des paramètres de t° , tension de vapeur E_a e_a , humidité relative HR, rayonnement net Rn et ETP au ranch de l'Adélé en 1990-91.

	t° min °c	t° max °c	t° moy °c	E_a mb	e_a mb	HR %	Rn joules /cm ² /j	ETP mm /décade
max.	24,1	37,8	29,9	34,3	22,0	91,4	1.168	40,1
min.	15,0	28,4	23,9	14,2	10,4	35,8	674	21,2
moy.	20,8	32,7	26,5	26,2	19,1	71,1	996	31,3
écart-type	1,6	2,5	1,5	3,5	2,8	15,5	112,9	4,0

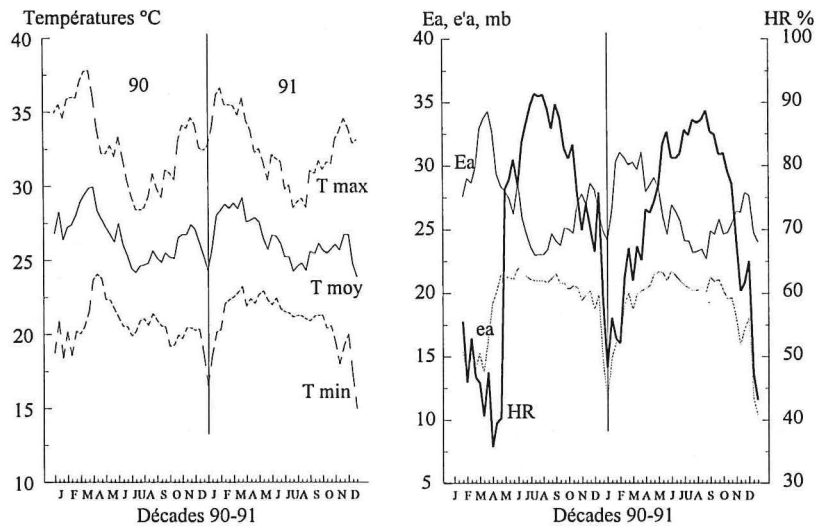


Figure 19 - Evolutions décadaires des températures moyenne, minimale et maximale, des tensions de vapeur actuelle (e'_a) et saturante (E_a) et de l'humidité relative (HR) au cours de la période 90-91.

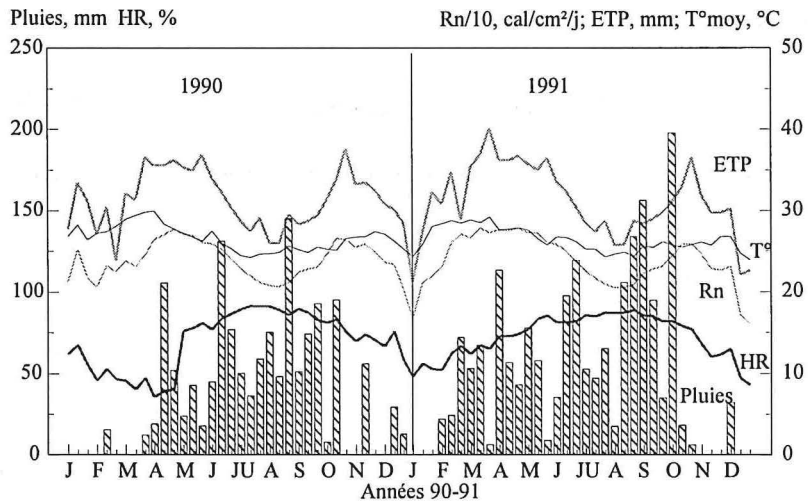


Figure 20 - Evolutions comparées de la pluviosité, de l'humidité relative (HR), du rayonnement net (R_n), de la température moyenne (T°) et de l'ETP en 1990-91.

L'amplitude des variations de température est assez faible. On observe une distribution légèrement bimodale, avec un premier abaissement en juillet-août et un second en saison sèche au cours des mois de janvier et février. L'humidité

relative subit par contre une amplitude de variation plus importante avec des valeurs extrêmes allant de 35% en saison sèche à 90% en saison pluvieuse.

L'ETP évolue entre 2,1 et 4,0 mm/jour, la figure 20 montre deux périodes d'abaissement : la première, en petite saison sèche (décades 20 à 23), est liée à la diminution du rayonnement qui se reflète dans l'abaissement des températures moyennes, combiné à l'humidité relative importante (déficit hydrique, $E_a - e_a$ faible). La seconde est surtout liée, malgré la faible humidité relative, à l'abaissement du rayonnement, dû à la position basse du soleil (déclinaison $< -12^\circ$) et à l'importante couverture nuageuse du début de la saison sèche. Ainsi décrites pour la période 90-91, les variations de l'évapotranspiration potentielle seront utilisées plus loin pour établir des relations permettant de simuler la productivité de l'herbe après feux.

2. Les sols du ranch de l'Adélé

2.1. Description générale

La localisation du ranch au sein d'une région au relief accidenté, traversée par diverses assises géologiques (schistes de Kanté à l'Ouest, gneiss albitiques et schistes graphiteux au centre et quartzites à l'Est), est à l'origine de la présence de sols très variés sur de faibles distances.

Les principales unités de sols rencontrées au cours de la prospection de terrain (Helleman, 1991) dépendent d'une part, de la nature de la roche sous-jacente qui leur a donné naissance par altération et d'autre part, de leur position topographique. La figure 21 illustre une toposéquence typique qui traverse les trois principales assises géologiques présentes au ranch selon un axe orienté NW- SE à la hauteur du parallèle $08^\circ 02'$ de latitude Nord.

L'examen de cette figure appelle les commentaires suivants. Aux schistes métamorphiques de la zone frontale (schistes de Kanté) sont associés des sols rouges sablo-argileux à argileux, profonds ou superficiels. Ces sols, à texture relativement lourde, sont battants et présentent le plus souvent un horizon argileux compact à faible profondeur. Le cuirassement est généralisé, les cuirasses affleurent sur certains sommets ainsi qu'au niveau des ruptures de pente et des glacis étagés. Les versants à forte pente sont couverts de sols graveleux, la charge étant constituée de quartz, schistes et grenailles latéritiques reposant sur la roche-mère ou sur la cuirasse.

Aux micaschistes et quartzites de la partie orientale du ranch sont associés des sols bruns à texture plus légère que celle des sols rouges. On retrouve toutefois un horizon plus argileux ou une cuirasse ferrugineuse à faible profondeur. Leur texture plus grossière leur confèrera cependant une meilleure

résistance aux pluies battantes et au piétinement par le bétail. Les cuirasses sont moins abondantes que dans le type précédent et les versants convexes à forte pente présentent les mêmes caractéristiques que celles énumérées ci-avant.

Appuyée par l'étude pédologique effectuée par Levêque (1975) et par les documents cartographiques disponibles pour la région, la prospection de terrain a permis d'identifier, dans un premier temps, la répartition spatiale des unités géomorphologiques auxquelles on raccordera ensuite les différents types de végétation. Le tableau 27 dresse les relations observées entre les assises géologiques, la morphologie du terrain, la position topographique et la nature des sols (matériaux et texture), ainsi que la classification morphopédologique qui a été attribuée. Seize stations ont fait l'objet d'une analyse pédologique détaillée. Un descriptif général de chacune d'entre elles est repris au tableau 28.

Les paragraphes suivants résument les caractéristiques des principaux paramètres observés sur les seize profils (Gernez, 1991)

Tableau 27 - Description générale des sols en liaison avec la géomorphologie

Géologie	Morphologie	Position topographique	Matériaux	Sols	Code
Quartzites Micaschistes (Qm)	Massifs dômes ou buttes	Sommets (So) et versants de colline (Vc) à pente raide	Débris grossiers, pierres, altérites gravillonnaires et fines	Sols minéraux bruts ou squelettiques grossiers	SMB
Gneiss (Gn)	Glacis colluvial associé aux unités structurales	Versants à pente moyenne et faible	Colluvions fines ou légèrement gravillonnaires	Sols bruns sablo argileux profonds ou superficiels	SBgl
Micaschistes (MS)	Plateaux ou plaines perchées	Sommets et versants rectilignes	Sable grossier en surface, argileux en profondeur	Sols bruns sablo argileux profonds	SBp
	Plateaux collines et versants érodés	Sommets et versants convexes à pentes fortes	Sable grossier en surface carapace friable en profondeur Colluvions pierreuses et graveleuses (quartz schistes et latérites)	Sols bruns sablo argileux superficiels Sols squelettiques pierreux ou graveleux	SBsup Ssq
Micaschistes schistes de Kanté (MS SK)	Cuirasse sommitale et bas de glacis cuirassé Eboulis et cuirasses	Sommets et versants étagés Ruptures de pente versant très raide	Cuirasse ferrugineuse colluvions fines superficielles Blocs cailloux grenailles latéritiques et colluvions fines	Sols minéraux bruts Sols minéraux bruts à squelettiques grossiers	Bo Bé
Schistes de Kanté (SK)	Plateaux orientés E W	Sommets et versants rectilignes à pente faible	Altérites de schistes	Sols rouges argileux profonds	SRAp
			Altérites de schistes quartz et gravillons latéritiques	Sols rouges argileux superficiels	SRAsup

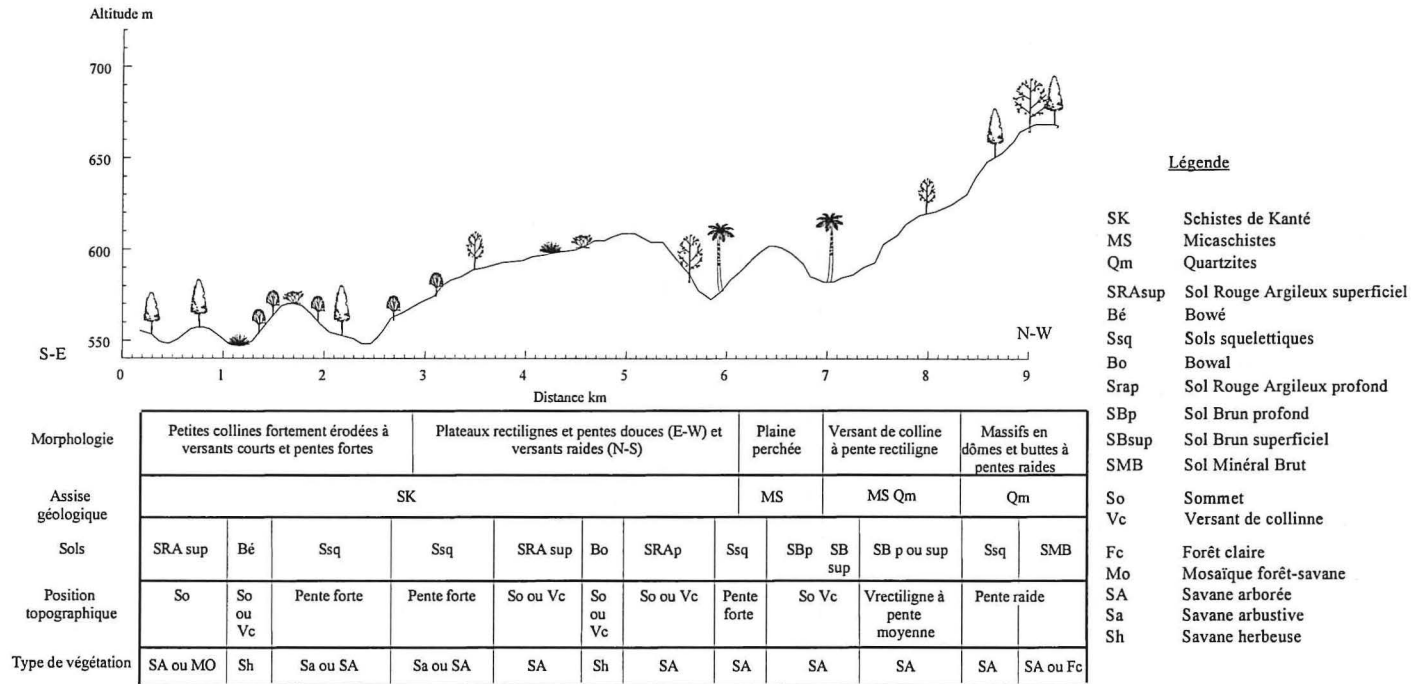


Figure 21 - Toposéquence typique des terrains de l'Adélé.

Tableau 28 - Caractérisation géomorphologique des 16 stations étudiées.

N°	Substrat ⁽¹⁾	Topographie	Erosion: ⁽²⁾	Drainage	Code
1	Ms	versant rectiligne à pente faible	nappe lente <25%	modéré	SRAp
2	Gn	versant à pente faible	nappe lente 25à50 %	imparfait	SBsup
3	Ms-Qz	versant rectiligne de massif	nappe modérée 50à75%	imparfait	SBgl
4	Qz	versant raide de la montagne	nappe rapide 50à75 %	imparfait	SMB
5	Ms Sk	plaine haute			SBRtr
6	Sk	versant de colline à pente forte			Ssq
7	Sk	versant rectiligne à pente moyenne d'un large plateau	nappe rapide 20-50%	imparfait	SRAp
8	Sk	sommet horizontal de vaste plateau	nappe modérée >75%	modéré à bon	SRAp
9	Ms	versant graveleux à forte pente	nappe modérée 20-50%	imparfait	Ssq
10	Ms	plateau à pente douce	nappe rapide 20-50%	modéré à bon	SRAp
11	Ms	sommet de plateau érodé	nappe lente <25%	imparfait	Mo
12	Ms	bas de versant à pente raide	nappe modérée 50-75%	imparfait	Ssq
13	Gn-Ms	versant rectiligne	nappe très lente	bon	SBsup
14	Ms	sommet de plateau	nappe rapide >75%	imparfait	SRAp
15	Sk	versant pente moyenne avec Bowal	nappe lente >75%	imparfait	SRAsup
16	Sk	bas de versant	nappe lente < 25%	modéré à bon	Bv

(1)Ms : micaschistes; Sk : schistes de kanté; Qz : quartzites; Gn : gneiss.

(2)Erosion : type, vitesse, extension.

2.2. Texture des sols

Les données de charge caillouteuse (EG) et de granulométrie sont détaillées selon les fractions décrites précédemment (EG, S, L, A) en annexe IV.

La charge caillouteuse dépend avant tout de la position topographique, importante sur les reliefs et les fortes pentes (sols squelettiques et sols minéraux bruts) et nulle sur les sommets et versants rectilignes. Elle est toutefois très variable selon la profondeur et la localisation du profil. Elle peut jouer un rôle important en favorisant l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement.

Du point de vue de la texture, on se trouve en présence de sols caractérisés par une granulométrie argilo-sableuse (Loam argilo-sableux et argiles sableuses) dans les horizons superficiels et franchement argileux en profondeur. Le diagramme textural représenté à la figure 22 illustre cette observation générale.

Le pourcentage de la fraction fine ($< 2 \mu\text{m}$) reste relativement homogène entre les différents profils. Seuls deux sites sont significativement différents des autres : le profil n°2 à tendance limono-sableuse, situé sur un affleurement localisé de gneiss albitique auquel sont généralement associés des sols bruns superficiels, et le profil n°10 présentant une texture franchement limoneuse probablement d'origine alluviale.

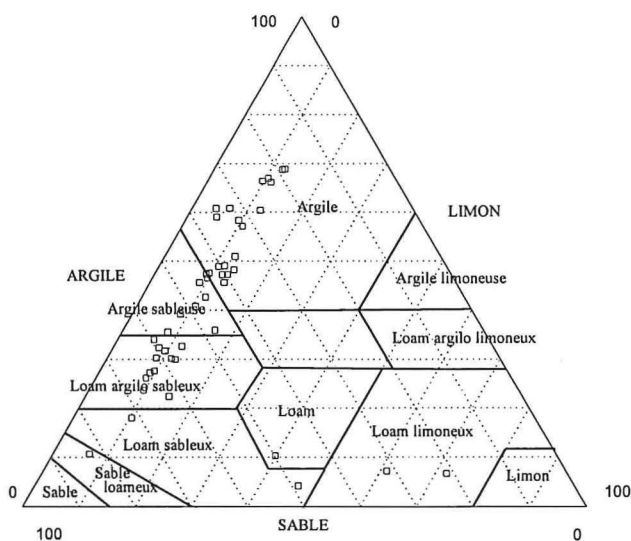


Figure 22 - Distribution des échantillons dans le diagramme des classes texturales U.S.D.A. (Gernez, 1991).

2.3. Caractéristiques physico-chimiques des sols

Les caractéristiques physico-chimiques relevées dans les différents horizons de chacun des profils sont détaillées au tableau repris en annexe IVb. Elles portent sur l'acidité, les paramètres de la matière organique et la capacité d'échange.

2.3.1. Matière organique

Les données moyennes pour les sols échantillonnés dans le périmètre sont reprises au tableau 29:

Tableau 29 - Caractérisation de la matière organique des sols de l'Adélé.

Horizon	% MO	% C	% N	C/N
0 - 20 cm	2,65	1,5	0,09	17,8
20 - 40 cm	2,00	1,2	0,07	15,1
40 - 60 cm	1,39	0,8	0,06	14,0

Dans l'horizon supérieur les taux de matière organique apparaissent élevés. Le pourcentage de carbone diminue avec la profondeur et traduit une minéralisation plus importante dans les horizons inférieurs. Le rapport C/N apparaît nettement élevé eu égard aux faibles teneurs en azote. Pour l'Afrique de l'Ouest, des teneurs en azote de 0,1 à 0,2 seront considérées comme satisfaisantes (Dabin, 1979). Dans le cas de l'Adélé, elles sont généralement inférieures à ces valeurs. L'humus peut être classé dans le type *moder* étant donné les rapports C/N compris entre 15 et 25.

En tenant compte de la teneur en C du premier horizon, on peut également établir une série croissante de profils (tableau 30).

Tableau 30 - Répartition des profils selon la teneur en carbone.

1 < %C < 1,5								
9	13	10	3	2	5	14	8	1
Ssq	SBsup	Srap	SBgl	SBsup	SBRtr	SRAp	SRAp	SRAp
% C > 1,5								
	16	11	7	4	6	15	12	
	Bv	Mo	SRAp	SMB	Ssq	SRAsup	Ssq	

Dans l'échantillon de surface (0-20cm) les taux de carbone varient de 1 à 2,2% sans qu'il apparaisse de corrélation claire avec le fait qu'il s'agisse de sols profonds ou superficiels.

2.3.2. pH H₂O et pH KCl

Selon les normes internationales, les sols du ranch de l'Adélé sont d'une manière générale acides à très acides. Les valeurs moyennes de pH des différents horizons se détaillent comme suit (tableau 31):

Tableau 31 - Acidité des sols de l'Adélé.

Horizons	pH _{H₂O}	pH _{KCl}
0 - 20 cm	5,2 ± 0,3	4,3 ± 0,3
20 - 40 cm	4,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1
40 - 60 cm	4,9 ± 0,2	4,0 ± 0,2

Le pH_{H₂O} ainsi que le pH_{KCl} diminuent du 1er au 2ème horizon pour augmenter parfois dans le 3ème horizon du profil. Lorsque le milieu est acide, certains éléments nutritifs tels que le P sont moins accessibles; cela indique également une tendance à la désaturation du complexe de sorption et à un appauvrissement en éléments cationiques (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ et Na⁺).

Le pH_{H₂O}, toujours supérieur au pH_{KCl}, indique que le complexe d'échange reste dominé par des colloïdes électronégatifs (MO et minéraux silicatés), plutôt que par les oxydes de fer et d'alumine. Cela indique également une fixation d'ions Al⁺⁺⁺ par le complexe absorbant.

Si l'on compare le pH eau des 20 premiers cm de chacun des profils, ils se répartissent comme suit (tableau 32):

Tableau 32 - Répartition des profils selon le niveau d'acidité

pH < 5,0	pH < 5,5	pH < 6,0
4SMB, 10 SRAp, 14SRAp, 6Ssq,	5 SBRtr, 3 SBgl, 12 Ssq, 11 Mo, 9 Ssq, 15 SRAsup, 16 BV, 1 SRAp, 2 SBsup, 8 SRAp	7 SRAp, 13 SBsup

Les valeurs vont de 4, à 5,8 et n'apparaissent pas particulièrement liées au type de sol; pour les sols rouges argileux profonds, elles vont de 4,8 à 5,6.

2.3.3. Acidité d'échange

La somme des ions Al³⁺ et des ions H⁺ échangeables varie de façon inverse et non proportionnelle avec le pH. Le critère est intéressant, car il traduit à la fois l'acidité et le risque de toxicité aluminique pour les plantes. La majorité des sols profonds ont une acidité d'échange inférieure à 0,6 méq/100 g de sol. Les sols superficiels ont une AE plus importante : 1,2 à 2,6 méq/100g; ils présentent des

pH bas et des niveaux de toxicité aluminique plus importants, susceptibles de limiter d'autant le développement racinaire des plantes. L'observation de la densité racinaire des graminées de savane dans les différents profils (Gernez, 1991) ne semblait toutefois pas montrer de liaison claire avec les teneurs en Al^{3+} .

2.3.4. Bases échangeables

L'abondance des bases échangeables est sous la dépendance de plusieurs facteurs dont l'importance relative varie selon l'horizon et l'évolution pédologique d'ensemble du profil. Les facteurs principaux sont :

- l'accumulation dans les horizons superficiels des éléments minéraux libérés par l'incinération ou par la décomposition de la matière végétale;
- le stade atteint par l'altération des minéraux primaires et secondaires.

Ce dernier facteur est toutefois assez complexe. Lorsque la dégradation des minéraux primaires est peu poussée, la quantité d'argile pouvant retenir les bases libérées est faible. A l'inverse, l'argilification complète des silicates s'accompagne le plus souvent, dans les sols bien drainés, de la décomposition totale des minéraux riches en bases et de leur lixiviation. La nature de la roche-mère constitue un autre facteur prépondérant.

Pour les sols du ranch, la somme des bases échangeables(S) : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ varie selon la profondeur du profil. Les variations sont décrites au tableau 33.

Tableau 33 - Evolution moyenne de la somme des bases échangeables (S) selon la profondeur du profil

Horizons	méq/100 g
0 - 20 cm	6,3 ± 1,4
20 - 40 cm	3,9 ± 0,7
40 - 60 cm	3,7 ± 0,8

Ces valeurs relativement basses correspondent à celles signalées par Levêque (1975). Les valeurs décroissent très rapidement au-delà de 20 cm. La fertilité dans le premier horizon, exprimée dans l'échelle de Forestier (*in* Duchaufour, 1960) en calculant $S^2/(\%argile+limons\ fins)$, apparaît bonne pour le profil 2, moyenne pour les sols profonds 1, 3, 5, 7, 8, 16 et les sols squelettiques 9 et 12, médiocre pour les sols 6, 11, 15 et basse pour les sols acides 4, 10, 14.

2.3.5. Phosphore disponible

Aucune des deux méthodes mises en oeuvre n'ayant permis de le mettre en évidence, on suppose dès lors l'existence de fortes carences en P disponible dans les sols de l'Adélé.

2.3.6. Capacité d'échange

Selon Cottenie (1980, *in* Gernez, 1991), la capacité d'échange cationique à pH7 (T) des sols peut être appréciée de la manière suivante (tableau 34).

Tableau 34 - Appréciation de la CEC à pH 7 selon Cottenie (1980).

	faible	< 10 méq/100 g
CEC	moyenne	10 - 20 méq/100 g
	élevée	> 20 méq/100 g

Pour les sols de l'Adélé, les valeurs moyennes suivantes caractérisent les différents horizons (tableau 35):

Tableau 35 - Capacité d'échange cationique moyenne selon les horizons.

Horizons	T en méq/100 g
0 - 20 cm	7,7 ± 1,7
20 - 40 cm	7,8 ± 1,7
40 - 60 cm	7,6 ± 1,7

Pour l'ensemble des sols, les valeurs de CEC sont faibles; seuls les échantillons issus des profils 12, 1, 9, 2 et 14 atteignent des valeurs > 10 méq par 100 g de sol.

2.3.7. Nature des argiles

Selon les données du tableau 36, pour les sols du ranch, la CEC argile est inférieure à 25 méq/100 de sol, excepté pour le profil 10. En général, les sols profonds sont à kaolinite dominante, tandis que les sols gneissiques, superficiels, squelettiques et hydromorphes possèdent une dominance de kaolinite accompagnée dans une proportion variable par une argile 2/1. Le sol limoneux (profil 10) posséderait une argile 2/1 dominante.

Tableau 36 - Caractérisation des 16 profils du ranch selon la CEC argile.

Profils	CEC argile méq/100 g de sol	Profils	CEC argile méq/100 g de sol
1 SRAp	4,0	9 Ssqu	20,0
2 SBsup	11,0	10 SRAp	87,0
3 SBgl	11,0	11 MO	8,0
4 SMB	7,0	12 Ssqu	7,0
5 SBRtr	10,0	13 SBsup	9,0
6 Ssqu	9,0	14 SRAp	11,0
7 SRAp	8,0	15 SRAsup	21,0
8 SRAp	9,0	16 Bv	13,0

3. Formations végétales pâturées

L'identification et la cartographie des types de pâturage présents dans le ranch reposent sur l'étude de la structure et de la composition botanique de la végétation, ainsi que sur l'appréciation des relations entre ces paramètres et les conditions du milieu telles que décrites en 1^{ère} partie.

3.1. Structure de la végétation

L'appréciation du recouvrement du sol par les différentes strates dans les 16 stations est reprise au tableau 37.

Tableau 37 - Taux de recouvrement du sol en % par les différentes strates de végétation et indice de dégradation à l'intérieur des 16 stations de référence.

Stations	Végétation ligneuse				Végétation herbacée		Indice de dégradation
	ligneux		adventices		graminées		
	>5m	<5m	subligneux	dicotylées	vivaces	annuelles	
1 SRAp	10	7	10	34	21	4	1
2 SBsup	14	6	3	2	28	1	0
3 SBgl	13	7	2	24	29	0	1
4 SMB	20	10	3	8	26	0	0
5 SBRtr	9	10	9	61	21	0	1,5
6 Ssq	1	7	6	56	25	0	0
7 SRAp	7	17	12	35	22	1	3
8 SRAp	14	4	11	24	24	0	0
9 Ssq	10	8	3	15	22	0	0
10 SRAp	4	18	16	42	20	0	3,5
11 MO	8	8	4	7	20	0	2
12 Ssq	9	13	8	31	21	0	0,5
13 SBsup	14	7	3	11	32	0	1
14 SRAp	0	10	20	11	26	1	1,5
15 SRAsup	2	2	3	14	31	0	0
16 Bf	1	20	7	38	26	0	1,5

Les taux de recouvrement des graminées annuelles se révèlent très faibles sous ce type de climat. Les graminées vivaces présentent des recouvrements assez homogènes variant entre 20 et 32 %. La strate ligneuse est pratiquement toujours présente sous forme arborée ou arbustive, elle varie en recouvrement de 2 à 20 %.

La dégradation du couvert végétal, variable selon les lieux, se marque dans le recouvrement que peuvent prendre les subligneux (2,7 à 20%) et les dicotylées de petite taille (2 à 61%).

Décrites ici de façon succincte, ces données seront utilisées par la suite pour analyser les relations entre le sol ou la composition floristique et la structure du couvert végétal (cfr I.7.).

3.2. Types de végétation

3.2.1. Description des formations végétales de savane

Le tableau repris en annexe V décrit d'une part, dans une colonne générale, les indices que l'on peut attribuer aux différentes espèces sur un plan régional et d'autre part, une caractérisation plus fine de la végétation que l'on peut observer pour les différents types morphopédologiques présents à l'intérieur du périmètre.

Au plan de la physionomie générale, cette région du Togo abrite encore d'authentiques forêts de type semi-sempervirent (Knapp, 1973). Elles se situent le plus souvent au bas des versants et dans les vallées et y subsistent, du fait de la profondeur des sols, d'une importante humidité atmosphérique et de l'abri de l'Harmattan. N'ayant pas d'intérêt direct pour l'élevage, elles ne seront pas caractérisées dans cette étude.

Végétation ligneuse : Les formations végétales naturelles se présentent le plus souvent sous la forme de savanes arborées (SA).

Sur les sols rouges argileux profonds, les espèces ligneuses dominantes sont *Terminalia avicennioides* Guill. et Perr. et *Pseudocedrela kotschy* (Schweinf.) Harms; une diminution de la profondeur du sol fait apparaître *Cussonia kirkii* Seeman et *Crossopteryx febrifuga* (Azal. ex. G. Don) Benth.

Les sols minéraux bruts des reliefs sont couverts par deux types de végétation:

- la forêt claire (Fc) dominée par *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz., *Lophira lanceolata* van Tiegh. ex Keay et *Prosopis africana* (Guill. et Perr.) Taub.;

- la savane arborée (SA) à *Daniella oliveri* et *Lophira lanceolata* qui se rencontre également sur les sols bruns superficiels avec *Parinari curatellifolia* Planch ex Benth., sur les glacis colluviaux avec *Terminalia avicennioides* évoluant vers la savane arbustive (Sa), sur les sols graveleux avec *Hymenocardia acida* Tul.

Dans les bas fonds hydromorphes de superficie réduite, la savane arborée est caractérisée par *Borassus aethiopium* Mart.

Les endroits cuirassés sont couverts d'une savane arborée en évolution au niveau des éboulis, d'une savane herbeuse (Sh) sur les bowé et d'une mosaïque forêt-savane (MO) sur les sommets occupés par une alternance de sols profonds et superficiels.

Végétation graminéenne : Les pâturages du ranch dérivent de l'association à *Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf et *Panicum phragmitoides* Stapf qui caractérise de nombreuses savanes du domaine guinéen.

Ces deux graminées climaciques à floraison tardive (octobre à novembre) et de grande taille sont caractéristiques de l'association et sont encore dominantes sur les sols profonds intacts à bonne économie en eau. Sur le territoire du ranch de l'Adélé, elles sont systématiquement accompagnées par deux Andropogonées de taille plus faible et à floraison plus précoce : *Schizachyrium sanguineum* (Retz.) Alston et *Andropogon schirensis* Hochst. ex A. Rich (floraison en septembre-octobre), dont l'abondance indique les premiers signes d'une évolution régressive de l'association.

L'influence du sol et du relief se marque nettement dans le remplacement des grandes Andropogonées par des Arundinellées moins luxuriantes.

Sur les sols superficiels, graveleux et en pente apparaissent des graminées à cycle de développement plus court (floraison en août - septembre) : *Loudetia arundinacea* (Hochst ex A. Rich.) Steud. et *Loudetia simplex* (Nees) C.E. Hubbard qui indiquent une plus grande sécheresse du milieu.

Sur les sols bruns profonds et bien drainés, on voit apparaître en abondance *Hyparrhenia smithiana* (Hook f.) Stapf var. major W.D. Clayton.

Le stade ultime de l'évolution régressive de la strate herbacée est atteint sur les sols très superficiels des bowés. La végétation présente alors un caractère nettement xérophile avec la présence de *Loudetia simplex*, *Andropogon fastigiatus* Sw, *Microchloa indica* (L.f.) P. Beauv. et *Ctenium newtonii* Hack, caractéristiques de sols particulièrement désaturés.

Les sols à hydromorphie plus ou moins prononcée occupant les dépressions peu étendues sont identifiés par la présence du palmier rônier (*Borassus*

aethiopium Mart.) et de graminées tolérant une inondation temporaire en saison pluvieuse : *Loudetiopsis ambiens* (K. Schum.) Conert, *Digitaria diagonalis* (Nees) Stapf et *Setaria longisetata* P. Beauv.

Végétation herbacée et subligneuse adventice : Les indicateurs de dégradation du pâturage correspondent au remplacement des graminées climaciques par des graminées à floraison plus précoce et à port rampant (*Digitaria horizontalis* Willd., *Paspalum conjugatum* Berg., *Paspalum scrobiculatum* L.), au développement de dicotylées adventices (*Borreria* sp. G.F. W. Mey) et de légumineuses diverses et à la prolifération de subligneux très envahissants : *Chromolaena odorata* (L.) A.M. King et Robinson (Herbe du Laos), *Lippia multiflora* Moldenke (thé de Gambie) et *Hyptis swaveolens* Poit (sauge). Cette dégradation conduit à la réduction de la production de paille nécessaire au contrôle du recrû forestier par les feux.

3.2.2. Evolution de la végétation sur le territoire du ranch

L'intégration des observations portant sur la morphologie du terrain, les sols, la structure, la composition botanique, la dégradation de la végétation, permet d'ébaucher un schéma synthétisant l'évolution du pâturage dans l'espace et dans le temps (figure 23).

Associées à l'interprétation de la documentation photographique aérienne, les données de ce schéma de synthèse ont conduit à établir une esquisse agrostologique détaillée, décrivant la répartition des formations présentes à l'intérieur du périmètre.

Liés à la morphologie locale, 14 types de végétation ont été identifiés en vue des travaux de cartographie (tableau 38). Parmi ceux-ci, si l'on exclut les formations fortement ligneuses (Fo, Ga, Fc), 11 sont des végétations utilisables pour le pâturage. L'esquisse de base a ensuite été digitalisée (cfr 2.I.6.) de façon à produire une carte informatique détaillant la nature et les surfaces des types de végétation présents sur le territoire.

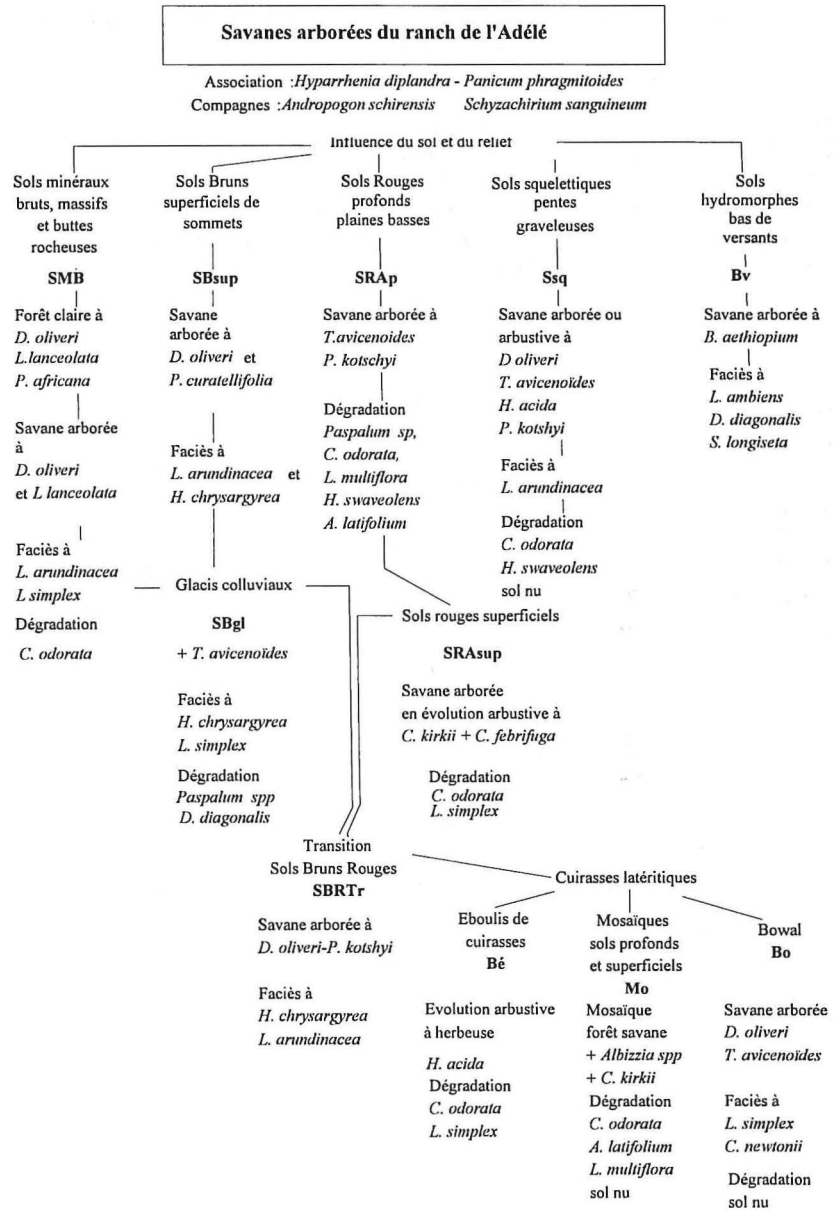


Figure 23 - Schéma illustrant l'évolution en faciès de l'association végétale caractérisant le pâturage sur le territoire du ranch.

Tableau 38 - Formations végétales reconnues sur le territoire du ranch.

Sigles	Description
Fo	Forêt dense
Ga	Reliques boisées et galeries forestières
Fc SMB	Forêt claire sur sols minéraux bruts
SA SMB	Savane arborée sur sols minéraux bruts
SA SRAp	Savane arborée sur sols rouges argileux profonds
SA ou Sa SRAsup	Savane arborée ou arbustive sur sols rouges argileux superficiels
SA SBRtr	Savane arborée sur sols bruns rouges de transition
SA SBsup	Savane arborée sur sols bruns superficiels
SA SBgl	Savane arborée sur sols bruns de glaciis colluviaux
SA ou Sa Ssq	Savane arborée ou arbustive sur sols squelettiques
Bv	Savane arborée de bas de versant et de bas-fond
Bo	Savane arborée sur bowal
Bé	Savane arbustive à herbeuse sur éboulis de cuirasse
Mo	Mosaïque de végétations sols profonds-sols superficiels

3.3. Dégradation des pâturages

De l'observation de terrain, il ressort que les lieux de dégradation apparaissent tout d'abord aux alentours des parcs de nuit et des points d'abreuvement; ils se prolongent ensuite le long des pistes de déplacement du bétail et correspondent à une régression des graminées vivaces au profit des dicotylées et des subligneux (cfr I.7.3).

L'importance des dégradations observées sur l'ensemble du ranch est présentée au tableau 39 : 30 % de la superficie exploitée ont atteint un stade de dégradation inquiétant (stade 2 dépassé) et 25 % sont en voie de dégradation.

Tableau 39 - Répartition des résultats de relevés de dégradation.

Stade de dégradation	Nombre de relevés	%
0	21	22,5
0 à 1	7	7,5
1	12	12,9
1 à 2	14	15,0
2	10	10,7
2 à 3	9	9,7
3	9	9,7
3 à 4	7	7,5
4	2	2,2
4 à 5	1	1,1
5	1	1,1
Totaux	93	100,0

Les causes de cette dégradation sont assez classiques; elles résident ici dans la surcharge des parcours naturels et leur mauvaise gestion, l'absence de rotation et

de plan de feux. Le phénomène s'amplifie avec le temps. La destruction progressive des bonnes graminées vivaces réduit la compétitivité du tapis herbacé face aux adventices et abaisse la production de biomasse combustible, limitant d'autant l'intensité des feux. Sur les versants à pente forte, les problèmes d'érosion et de dénudation du sol se posent avec acuité dans les lieux de passage fréquent du bétail, en particulier à proximité des parcs de nuit et des points d'abreuvement.

Une attention toute particulière devra être accordée à la prolifération de *Chromolaena odorata*, plante semi-ligneuse appartenant à la famille des Asteracées (Stachurski, 1987), qui est apparue en 1985 en provenance du Ghana. Son développement végétatif exubérant lui permet d'étouffer rapidement la végétation herbacée, sa production intense de semences fertiles assure une diffusion rapide dans tous les endroits dénudés.

La répartition des dégradations (tableau 40) montre que selon le type de sol auquel elle sont associées, les formations agrostologiques réagissent de manière particulière à la pression animale; les formations végétales sur les sols squelettiques, rouges argileux profonds et superficiels, ainsi que les mosaïques forêt-savane apparaissent plus sensibles à la présence du bétail : 65 à 75 % de ces formations manifestent les signes d'une dégradation inquiétante. Les formations colonisant les sols bruns, brun-rouges et les sols superficiels des montagnes se révèlent relativement moins sensibles à la présence des troupeaux de bovins. Les données présentées ici de façon succincte illustrent surtout l'importance que peut prendre la dégradation dans un territoire d'élevage. Elles rappellent le côté impératif du souci que doit avoir l'éleveur de respecter en permanence un équilibre judicieux dans le chargement de ses pâturages.

Tableau 40 - Répartition des dégradations actuelles (en % de la surface pâturable exploitée) en fonction des unités de sol.

Unités agrostologiques	Dégradation		
	nulle à faible ID ≤ 1	moyenne 1 < ID < 3	forte ID > 3
FC SMB	73,3	26,7	0,0
SA SMB	65,1	34,9	0,0
SA SBgl	36,1	63,7	0,2
SA SBsup	43,4	48,6	8,0
SA SBRtr	48,9	51,1	0,0
SA SRAp	23,6	75,9	0,5
SA ou Sa SRAsup	24,7	70,4	5,0
SA ou Sa Ssq	28,8	55,5	15,8
Bv	41,5	58,5	0,0
Bé - Bo	23,6	71,8	4,7
Mo	34,0	56,6	9,4

4. Traitement de l'information géographique

Dans la gestion d'un élevage de grande taille tel que le ranch de l'Adélé, on conçoit aisément l'intérêt que peut avoir une base de données associée à un système d'information géographique permettant d'appréhender les problèmes à l'échelle de l'ensemble du périmètre.

Les informations dont on disposait au terme de la prospection et de la description du terrain ont été intégrées dans un tel système pour établir la carte agrostologique et la carte du parcellaire du ranch.

Les travaux exécutés au moyen du logiciel ILWIS ont porté dans une première étape sur:

- la digitalisation : encodage des vecteurs représentant les limites des unités,
- la polygonalisation : transformation des vecteurs lignes en polygones,
- la "rasterisation" : transformation des polygones en points vidéo auxquels sont attribuées des valeurs représentatives de l'unité incluse dans le polygone.

Ce travail a permis l'évaluation des surfaces occupées par les divers types de végétation et les différents parcs.

4.1. Cartographie de la végétation du ranch de l'Adélé

La figure 24 présente la carte de répartition des unités de végétation sur le territoire du ranch. Les points vidéo codés par unités de végétation, représentent chacun 90 m²; la carte est ainsi une base de données que l'on peut trier et dont on peut tirer des superficies. Le tableau 41 résume les surfaces totales occupées par les différentes unités identifiées sur l'ensemble du périmètre de l'élevage.

L'information associée à cette carte pourra être utilisée pour des calculs de chargement potentiel adaptés à chaque type de végétation.

Tableau 41 - Superficies occupées par les diverses formations végétales à l'intérieur du ranch de l'Adélé.

Sigles	Dénomination	ha	%
<u>Superficies sans valeur pastorale</u>			
Fc-SMB	Forêt claire sur sols minéraux bruts	1.130	7,05
Bo	Cuirasse latéritique affleurante (Bowal)	884	5,51
Be	Savane Arborée sur éboulis de cuirasse (Bowé)		
Gal	Galerias forestières en bordure de cours d'eau	3.724	23,23
Fo	Reliques boisées de forêt dense sèche	554	3,46
V	Villages et Poste Central	59	0,37
	Sous Total	6.351	39,62
<u>Superficies pâturables</u>			
SA-SMB	Savane Arborée sur Sols Minéraux Bruts	789	4,92
SA-SRAp	Savane Arborée sur Sols Rouges Argileux profonds	751	4,68
SA-SRAsup	Savane Arborée sur Sols Rouges Argileux superficiels	1.694	10,57
SA-SBRtr	Savane Arborée sur Sols Bruns Rouges de transition	780	4,87
SA-SBsup	Savane Arborée sur Sols Bruns superficiels	287	1,79
SA-SBgl	Savane Arborée sur Sols Bruns de glaciaire colluviaux	1.375	8,58
Sa ou SA-Ssq	Savane arbustive ou Arborée sur Sols squelettiques	3.039	18,96
Bv	Savane arborée de bas de versant ou de bas-fond	422	2,63
Mo	Mosaïque forêt-savane	542	3,38
	Sous-Total	9.679	69,38
	Total général:	16.030	100

4.2. Cartographie de l'infrastructure et du parcellaire du ranch de l'Adélé

Les routes, les pistes, les pare-feu, les abreuvoirs, les clôtures et les limites de chacune des parcelles du ranch ont été numérisées de façon à produire une carte et une base de données de l'infrastructure d'élevage existante (figure 25). Le tableau 42 présente la situation du parc LB divisé en 4 parcelles avec pour chacune d'entre elles le nombre de polygones numérisés, le périmètre et la surface. Le nombre de têtes auxquelles on attribue un parc reste généralement constant au cours de l'année. Il apparaît ici une disproportion allant du simple au double entre les tailles de certaines parcelles. La rotation du bétail sur les 4 parcelles conduira périodiquement à des surcharges ou sous-charges selon la parcelle pour laquelle le troupeau a été dimensionné.

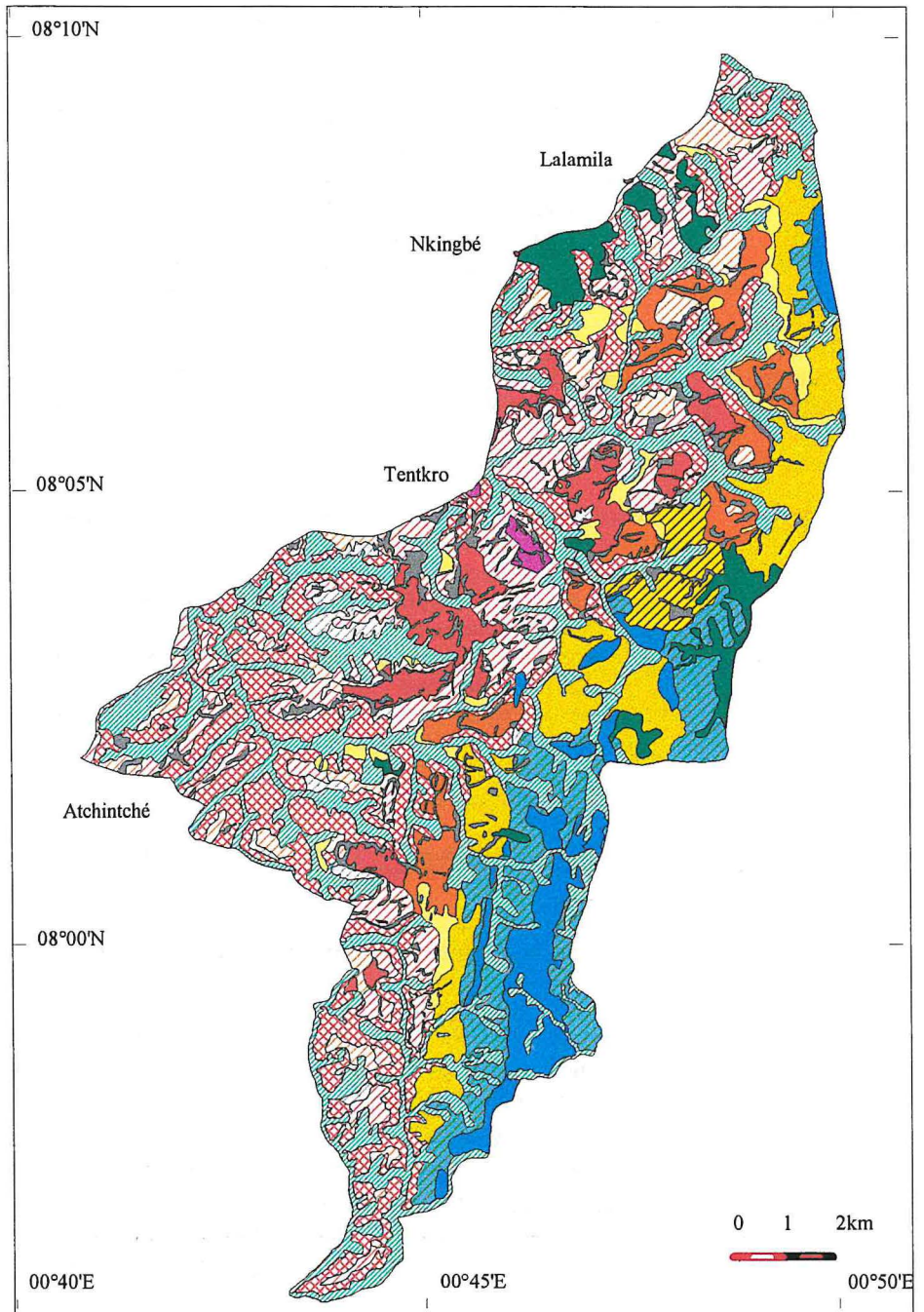

















Figure 24 - Carte des formations végétales du ranch de l'Adélé.

Légende

	SA-SRAp	Savane Arborée - Sols Rouges Argileux profonds.
	SA-SRASup	Savane Arborée - Sols Rouges Argileux superficiels.
	Sa/SA-Ssq	Savane arbustive ou Arborée - Sols squeletiques.
	SA-SBRtr	Savane Arborée - Sols Bruns Rouges de transition.
	SA-SBgl	Savane Arborée - Sols Bruns de glacis colluviaux.
	SA-SBsup	Savane Arborée - Sols Bruns Superficiels.
	Bv	Savane Arborée - Bas-fonds et bas de versant.
	SA-SMB	Savane Arborée - Sols Minéraux Bruts.
	Fc-SMB	Forêt claire - Sols Minéraux Bruts.
	Mo	Mosaïque forêt claire-savane - Complexe de sols profonds et superficiels.
	Be	Savane Arborée - Eboulis de cuirasse.
	Bo	Bowal - Cuirasse latéritique.
	Gal	Galleries forestières - Bordures de cours d'eau.
	Fo	Reliques de forêt dense sèche.
	V	Villages - PC.

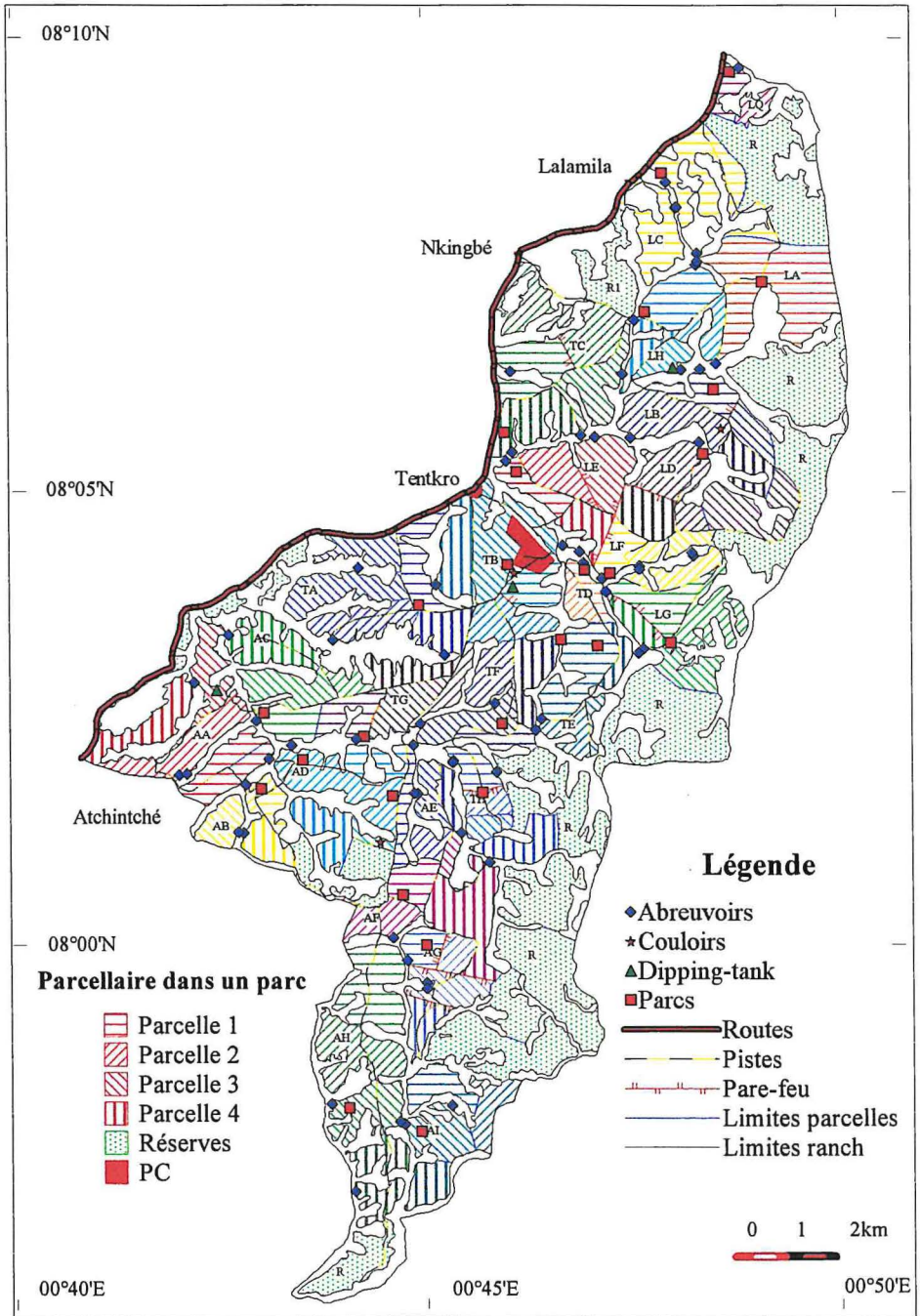


Figure 25 - Cartes des infrastructures et du parcellaire du ranch de l'Adélé.

Tableau 42 - Situation de l'infrastructure du parc LB.

Parc	Parcelles	Nombre de polygones	Périmètre m	Nombre de pixels	Surface ha
LB	LB1	1	5544	8803	80,1
	LB2	2	6389	17672	158,9
	LB3	1	3575	6843	60,2
	LB4	1	5643	7549	69,4

4.3. Croisement de l'information géographique

Le croisement de la carte du parcellaire et de la carte des végétations selon la procédure décrite précédemment (cfr I.2.3.) aboutit à établir les superficies des différentes unités de végétation présentes à l'intérieur de chaque parcelle. Le tableau 43 présente un exemple des données liées à la carte de la répartition des différentes unités au travers des 4 parcelles du parc LB.

Tableau 43 - Exemple de données de végétation, de surfaces et de dégradation (ID) relatives à l'ensemble des 4 parcelles du parc LB.

Parc	Parcelles		Végétations		Surfaces		Tot	ID
	Nom	Code	Nom	Code	Pixels	(ha)		
LB	LB1	44	Bo	13	146	13,1	80,1	1,5
	LB1	44	Mo	3	34	3,1		1,5
	LB1	44	SA-SRAp	7	402	36,2		1,5
	LB1	44	Sa Ssq	1	309	27,8		1,5
	LB2	45	SA SBRtr	10	10	0,9	158,9	2
	LB2	45	Sa Ssq	1	501	45,1		2
	LB2	45	Mo	3	367	33,0		2
	LB2	45	SA SRAp	7	260	23,4		2
	LB2	45	Bo	13	240	21,6		2
	LB2	45	SA SRAsup	6	388	34,9		2
	LB3	46	Mo	3	5	0,5	60,2	0,5
	LB3	46	SA SBgl	9	1	0,1		0,5
	LB3	46	Bo	13	85	7,6		0,5
	LB3	46	SA SRAp	7	66	5,9		0,5
	LB3	46	SA SBRtr	10	416	37,4		0,5
	LB3	46	Sa Ssq	1	97	8,7		0,5
	LB4	47	Sa Ssq	1	64	5,8	69,4	1
	LB4	47	SA SBRtr	10	210	18,9		1
	LB4	47	Bo	13	150	13,5		1
	LB4	47	SA SBgl	9	215	19,4		1
LB4	47	Mo	3	133	12,0	1		
Total							368,9	

La figure 26 donne la représentation cartographique des parcelles et types de végétation inclus dans le parc LB.

Les niveaux de dégradation (ID) introduits dans la base de données géographiques peuvent être traduits en carte (figure 27), laquelle permet au gestionnaire de mieux percevoir la localisation et l'ampleur de la dégradation à l'intérieur de son territoire d'élevage. L'information ainsi créée sera utile pour calculer une charge potentielle par parc et parcelles, en tenant compte des différences de productivité liées aux types de végétations représentées dans le parc et ses différentes parcelles et du stade de dégradation de celles-ci. Elle permettra de revoir le parcellement de manière à l'équilibrer au mieux. La base de données ainsi développée pourra être utilisée pour des calculs de charge et l'optimisation de la répartition du cheptel. Ce type de démarche est décrit en 3^{ème} partie du travail.

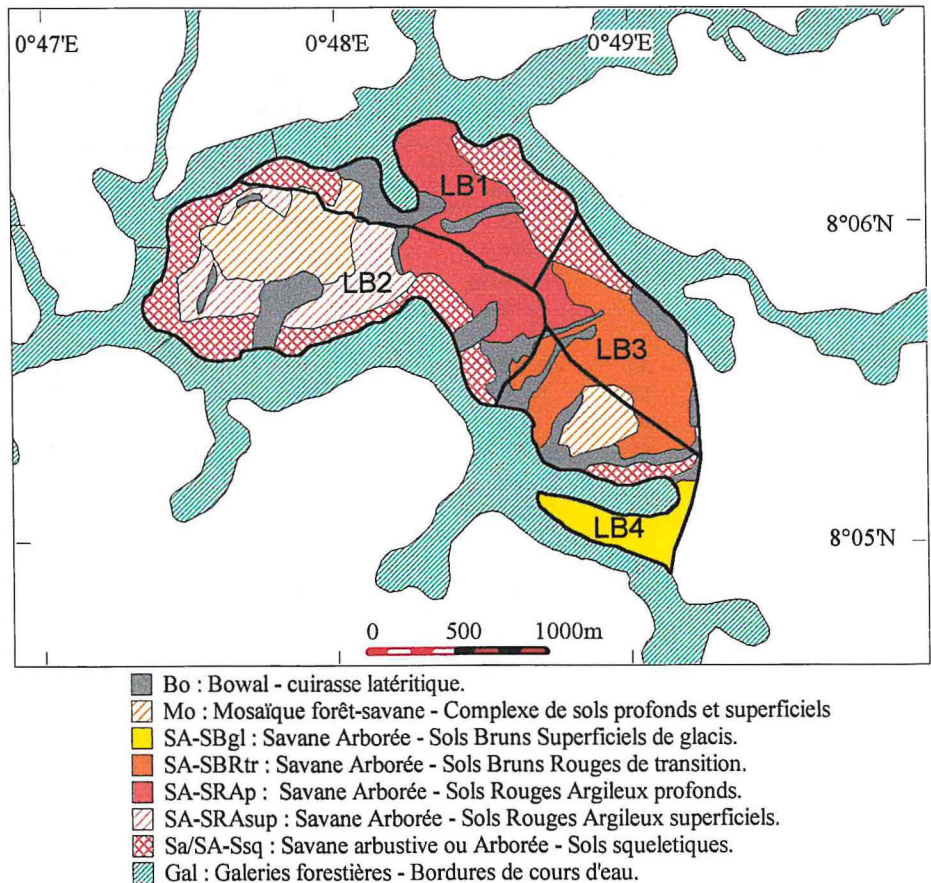


Figure 26 - Représentation des parcelles et types de végétation du parc LB.

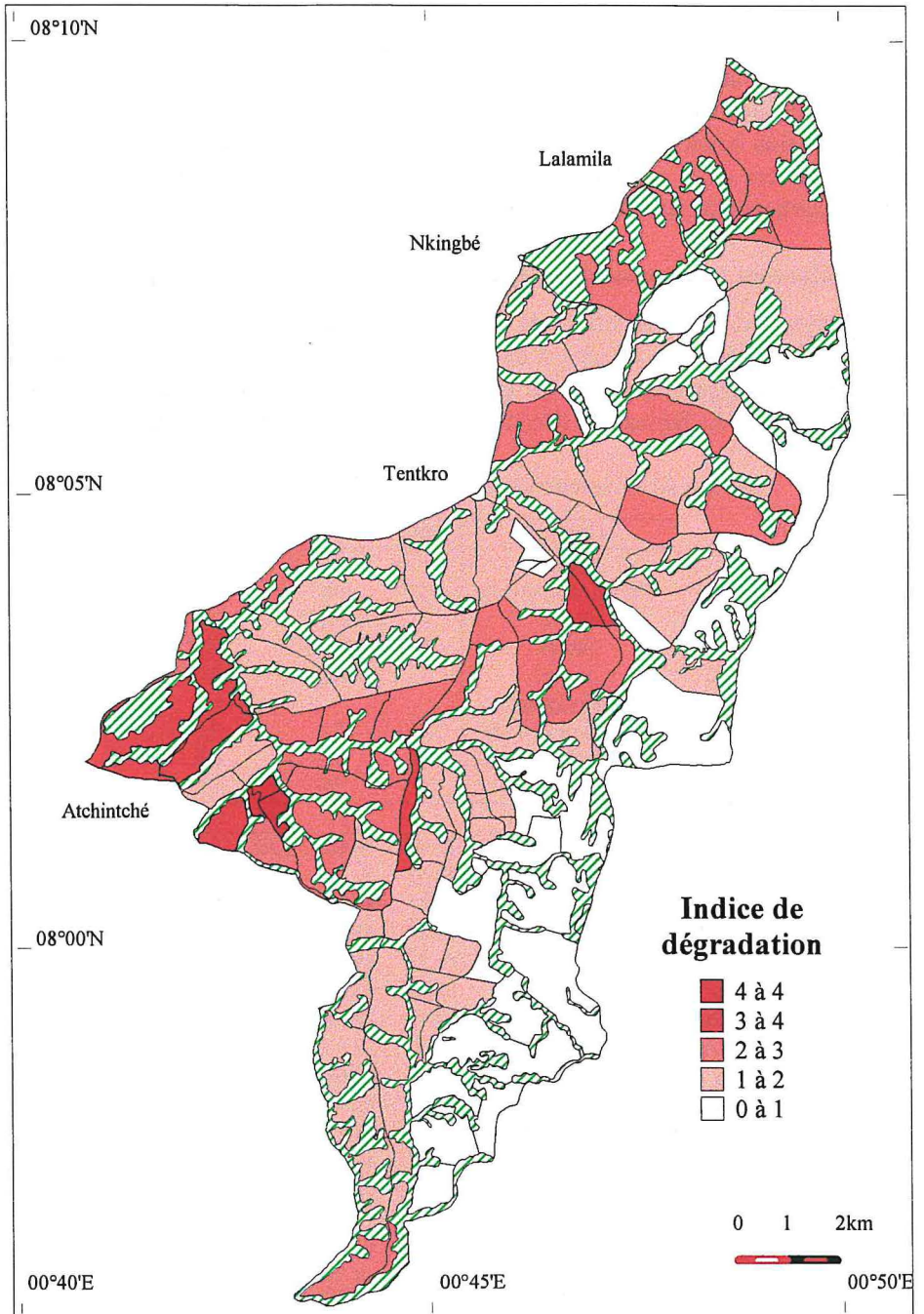


Figure 27 - Dégradation de la végétation des parcelles occupées par le bétail au ranch de l'Adélé.

5. Analyse multivariée des facteurs sol et végétation

Les chapitres suivants analysent la productivité saisonnière et la qualité alimentaire de la végétation du ranch. Pour exploiter au mieux les données collectées dans les 16 stations décrites selon des critères de sols, de structure et de composition botanique de la végétation, il importe de comprendre les relations qui s'établissent entre ces facteurs et les similarités qui unissent les différentes stations étudiées. Ce sera l'objet des analyses présentées ci-après.

5.1. Analyse en composantes principales des données pédologiques

L'analyse ACP a été effectuée en reprenant les données moyennes sur l'ensemble du profil (0 à 60 cm) et en limitant le choix des variables à celles qui étaient les plus représentatives des critères de texture, de physicochimie et de richesse des sols. Le tableau 44 décrit les variables et les valeurs observées.

Tableau 44 - Caractérisation des variables pédologiques.

	Critères	sigle	moyenne	écart-type			
	<u>Texture</u>						
	charge caillouteuse	EG	18,5	20,0			
	argile	A	40,2	13,2			
	limon	L	14,2	12,2			
	sable	S	45,6	9,0			
	<u>Physicochimie</u>						
	matière organique	MO	2,1	0,5			
	acidité d'échange	AE	3,2	0,9			
	CEC à pH 7	T	7,9	1,3			
Stations	EG	A	L	S	AE	MO	T
1 SRAp	1,86	50,81	8,56	40,61	1,82	1,84	6,20
2 SBsup	44,88	22,21	20,53	57,22	1,13	1,81	5,70
3 SBgl	1,97	42,25	12,91	44,82	2,84	1,49	7,43
4 SMB	13,68	35,90	16,44	47,64	5,17	3,25	9,20
5 SBRtr	1,47	49,57	11,33	39,08	3,11	1,70	7,97
6 Ssq	59,10	44,95	10,02	45,02	3,94	2,29	8,17
7 SRAp	1,85	60,91	10,50	28,58	3,54	2,05	8,53
8 SRAp	2,20	53,27	9,40	37,30	3,53	1,98	8,2
9 Ssq	39,22	29,56	9,34	61,08	2,52	1,70	7,93
10 SRAp	1,38	6,03	59,98	33,97	3,57	1,53	7,43
11 Mo	3,32	39,81	7,67	52,51	2,84	2,43	7,35
12 Ssq	46,91	43,59	10,35	46,04	2,87	3,22	10,60
13 SBsup	21,83	30,93	10,74	58,30	2,69	1,56	5,47
14 SRAp	1,32	54,42	8,43	37,12	3,46	1,88	8,20
15 SRAsup	42,53	35,61	9,70	54,68	4,56	2,53	8,83
16 Bv	12,69	43,31	11,68	45,31	3,79	1,94	9,13

La variabilité expliquée par chacun des trois premiers axes et les corrélations entre chacune des variables et les différents axes sont les suivantes (tableau 45):

Tableau 45 - Corrélations aux axes principaux.

Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Variance expliquée	35,8%	27,6%	22,5%
Corrélations aux axes			
EG	0,05	0,89	-0,00
A	0,62	-0,39	0,66
L	-0,44	-0,20	-0,86
S	-0,32	0,85	0,20
AE	0,70	-0,05	-0,49
MO	0,75	0,46	-0,17
T	0,87	0,09	-0,28

Les trois premiers axes expriment 85,9% de la variabilité de l'ensemble; les suivants n'expliquent plus qu'une faible part de la variabilité et sont peu intéressants.

Les diagrammes de la figure 28 présentent les corrélations (r) dans les plans définis selon les axes 1, 2 et 3.

Les corrélations entre variables et axes peuvent être interprétées en observant (figure 27) que, corrélées positivement à l'axe 1, la somme des bases échangeables (T, $r = 0,87$) à laquelle sont associées l'argile (A, $r = 0,62$), l'acidité d'échange (AE, $r = 0,70$), laquelle varie de façon inverse avec le pH ainsi que la teneur en matière organique (MO, $r = 0,75$), s'oppose aux variables texturales limon (L, $r = -0,44$) et sable (S, $r = -0,32$) auxquelles on peut logiquement associer une richesse moins grande du sol. L'axe 1 peut de façon générale être interprété comme un axe de richesse du sol.

L'axe 2 est représentatif de la texture grossière, éléments grossiers (EG, $r = 0,89$) et sable (S, $r = 0,85$) s'opposant aux éléments plus fins argile et limon.

L'axe 3 détaille la texture fine en opposant l'argile (A, $r = 0,66$) aux limons (L, $r = -0,86$).

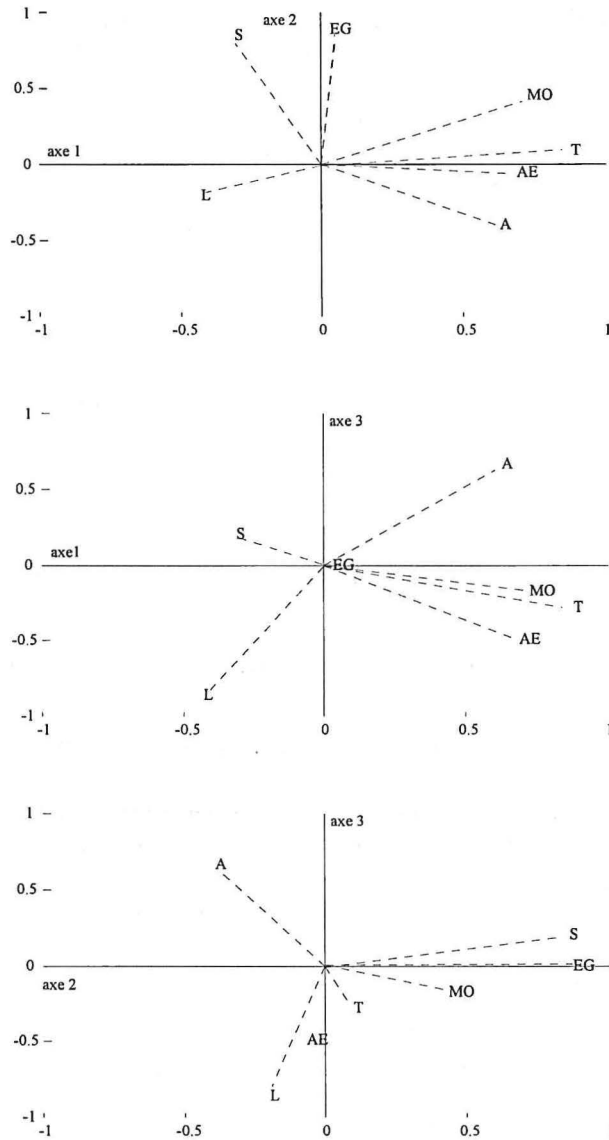


Figure 28 - Corrélations (r) entre les variables et les axes 1-2, 1-3 et 2-3.

Projetés dans les trois premiers axes, les différents profils sont généralement bien représentés. Les valeurs calculées selon les coefficients propres à chacun des axes et les indices \cos^2 sont repris au tableau 46. Les indices \cos^2 , sommés sur les 3 paires d'axes, donnent une appréciation de la représentation du profil dans le plan de ces deux axes. Les stations 6 et 16 sont un peu moins bien représentées. La station 11 est mal représentée.

Tableau 46 - Projections des stations et qualité de leur représentation dans les axes principaux.

Stations	Axe 1	Axe 2	Axe 3	$\Sigma\cos^2 12$	$\Sigma\cos^2 13$	$\Sigma\cos^2 23$
1 SRAp	-1,06	-1,21	1,60	0,44	0,62	0,67
2 SBsup	-3,06	1,74	0,45	0,92	0,71	0,24
3 SBgl	-0,82	-0,98	0,54	0,73	0,42	0,56
4 SMB	2,30	0,78	-1,61	0,56	0,75	0,30
5 SBRtr	0,12	-1,38	0,55	0,82	0,14	0,95
6 Ssq	0,96	1,33	0,00	0,52	0,18	0,34
7 SRAp	1,47	-2,08	0,50	0,90	0,34	0,64
8 SRAp	0,86	-1,36	0,49	0,91	0,34	0,74
9 Ssq	-1,17	1,79	0,50	0,78	0,28	0,59
10 SRAp	-2,34	-1,53	-4,06	0,32	0,90	0,77
11 Mo	-0,13	0,28	0,63	0,04	0,19	0,21
12 Ssq	2,25	1,78	-0,28	0,72	0,45	0,28
13 SBsup	-2,23	0,78	0,83	0,75	0,76	0,17
14 SRAp	0,79	-1,47	0,64	0,86	0,32	0,79
15 SRAsup	1,24	1,82	-0,62	0,81	0,32	0,61
16 Bv	0,83	-0,28	-0,16	0,50	0,46	0,07

Les diagrammes de la figure 29 présentent la répartition des différents profils dans les plans définis selon les trois premiers axes ACP. Ils permettent d'exprimer la variabilité dans les sols échantillonnés et synthétisent l'appréciation qualitative et texturale que l'on peut leur conférer.

Dans le plan des axes 1-2, l'axe 1 traduit la richesse du profil, l'axe 2 est un axe de texture grossière. L'axe 2 permet de distinguer les profils où la texture grossière (EG, S) est prédominante : sols squelettiques, superficiels ou minéraux d'une part et les profils argileux : sols rouges ou bruns d'autre part.

Sur le plan de la richesse, bien qu'ayant une charge caillouteuse plus élevée, des profils tels que le 4 ou le 12 présentent des conditions de richesse élevée. On observe également la variabilité qui peut exister à l'intérieur de même types morphopédologiques selon la répartition qu'ils présentent le long de l'axe 1. C'est le cas pour les sols rouges argileux profonds (8, 14, 7 distants du 1 et 10) ou les sols squelettiques (12 et 6 distants du 9).

Dans le plan 1-3, l'axe 3 distingue les profils selon leur texture argileuse ou limoneuse. Le diagramme met en évidence le caractère particulièrement limoneux de la station 10 qui s'oppose à l'ensemble des autres profils.

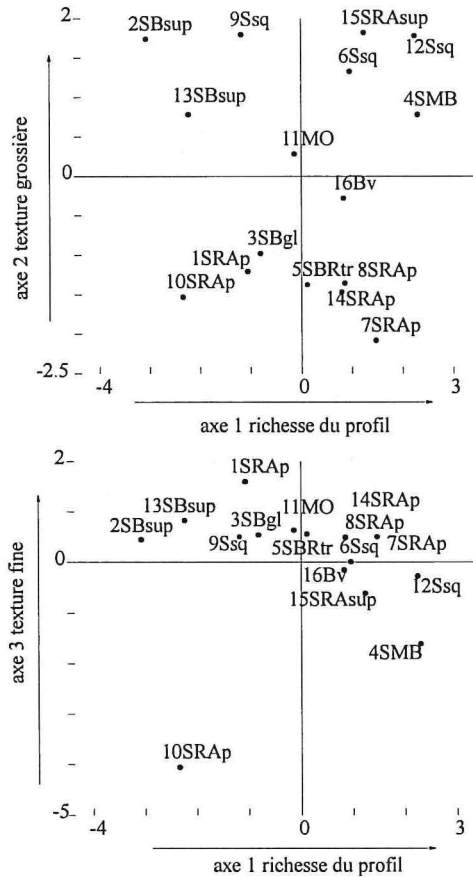


Figure 29 - Répartitions des profils dans les plans axes 1-2 et 1-3.

Limitée ici aux données pédologiques, la technique ACP nuance le côté quelque peu arbitraire de la nomenclature attribuée sur le terrain. Elle permet d'apprécier les proximités et les regroupements possibles entre un certain nombre d'objets. L'information de départ (7 variables) est par ailleurs synthétisée dans 2 à 3 indices qui seront utiles par la suite pour la compréhension des relations entre les caractéristiques de sol et les variables qualifiant la composition botanique et la structure de la végétation.

5.2. Analyse en composantes appliquée aux variables phytosociologiques

La composition botanique de la végétation herbacée des 16 stations peut également être traitée dans une analyse en composantes principales.

L'analyse, a été réalisée sur les indices d'abondance-dominance des graminées vivaces les plus représentatives du couvert végétal apprécié par les animaux. Les graminées prises en compte et les indices sont reprises au tableau 47.

Tableau 47 - Caractérisation des variables phytosociologiques.

Variables	codes	moyenne	écart-type
<i>Hyparrhenia diplandra</i>	Hdi	1,56	0,79
<i>Hyparrhenia smithiana</i>	Hsm	1,00	1,06
<i>Panicum phragmitoides</i>	Pph	1,37	0,69
<i>Loudetia arundinacea</i>	Lar	0,75	1,09
<i>Loudetia simplex</i>	Lsi	0,75	1,35
<i>Andropogon schirensis</i>	Asc	2,31	0,92
<i>Schyzachirium sanguineum</i>	Ssa	2,06	0,75
<i>Setaria restioides</i>	Ser	0,37	0,60
<i>Ctenium elegans</i>	Cte	0,19	0,39

Stations	Hdi	Hsm	Pph	Lar	Lsi	Asc	Ssa	Ser	Cte
1 SRAp	2	0	2	0	0	3	3	1	1
2 SBsup	1	3	1	3	0	3	3	1	1
3 SBgl	1	2	1	0	0	3	2	0	0
4 SMB	2	1	1	1	4	1	2	0	0
5 SBRtr	2	2	1	0	1	3	0	2	0
6 Ssq	1	1	1	2	1	3	2	0	0
7 SRAp	2	2	1	0	0	2	2	0	0
8 SRAp	3	0	2	1	0	3	3	1	0
9 Ssq	2	0	2	0	0	3	2	1	0
10 SRAp	1	0	2	0	0	2	2	0	0
11 Mo	0	0	0	0	4	1	1	0	1
12 Ssq	2	0	3	0	0	0	2	0	0
13 SBsup	1	3	1	3	0	3	3	0	0
14 SRAp	3	0	2	0	0	2	2	0	0
15 SRAsup	1	1	1	2	2	3	2	0	0
16 Bv	1	1	1	0	0	2	2	0	0

La part de variation expliquée par les 4 premiers axes ainsi que les corrélations entre les variables et les axes sont reprises au tableau 48.

Tableau 48 - Variance expliquée et corrélations aux 4 premiers axes de l'ACP.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
% de la variation expliqué par l'axe	29,2 %	25,3 %	15,9 %	12,6 %
corrélations aux axes				
Hdi	0,78	-0,27	0,16	-0,07
Hsm	-0,65	-0,47	0,05	-0,37
Pph	0,89	-0,22	-0,20	0,14
Lar	-0,61	-0,54	-0,32	-0,01
Lsi	-0,46	0,70	0,08	0,10
Asc	-0,24	-0,76	0,35	-0,09
Ssa	0,06	-0,63	-0,62	0,38
Ser	0,13	-0,40	0,85	0,20
Cte	-0,38	0,02	0,16	0,88

Les quatre premiers axes expriment 83% de la variation totale. Les axes suivants n'apportent que très peu d'explication complémentaire.

La figure 30 (a, b, c, d). présente ces corrélations en opposant les axes les plus représentatifs

L'axe 1 oppose les grandes Andropogonées de l'association de base *Hyparrhenia diplandra* ($r = 0,78$) et *Panicum phragmitoides* ($r = 0,89$) aux faciès d'évolution régressive colonisés par *Hyparrhenia smithiana* ($r = -0,65$) et par des Arundinellées telles que *Loudetia arundinacea* et *Loudetia simplex*. L'axe 1 est représentatif de la régression générale de l'association dominante.

L'axe 2 module cette régression en opposant *Loudetia simplex* ($r = 0,70$), graminée de petite taille colonisant généralement des terrains sablo-argileux à *Schyzachirium sanguineum*, ($r = -0,63$), *Loudetia arundinacea* ($r = -0,54$) et *Andropogon schirensis* ($r = -0,76$), selon le degré d'évolution.

De même, l'axe 3 bien que moins représentatif, oppose l'évolution à *Setaria restioides* ($r = 0,84$) et celle à *Schyzachirium sanguineum* ($r = -0,63$).

L'axe 4 également moins représentatif marque principalement la présence de *Ctenium elegans* ($r = 0,88$).

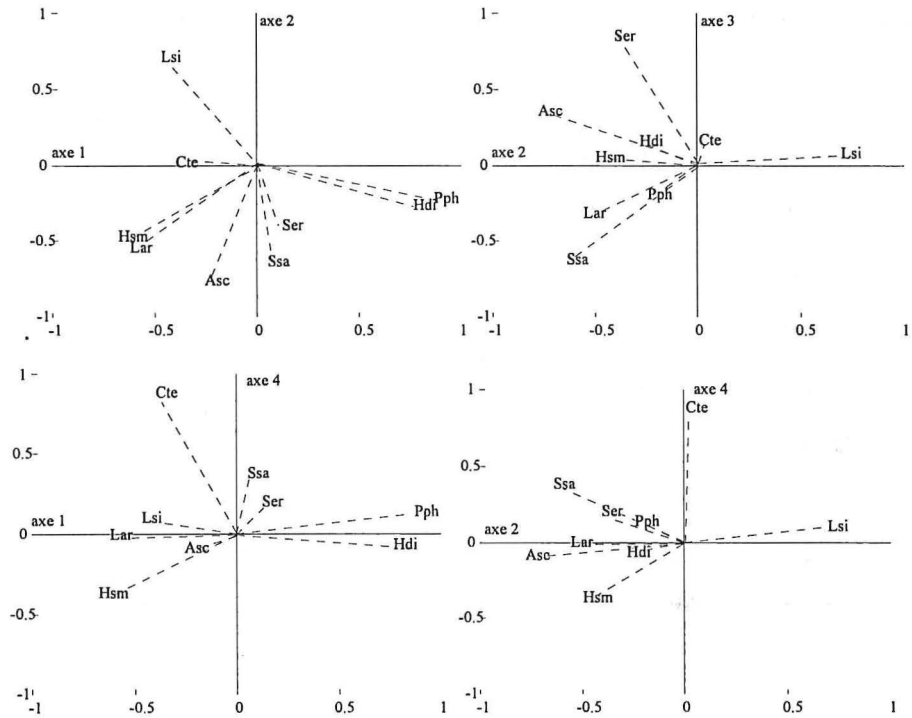


Figure 30 (a, b, c, d) - Corrélations entre les variables phytosociologiques et les axes principaux 1-2, 1-3, 1-4, 2-4.

Le tableau 49 présente les valeurs obtenues pour chaque station ainsi que les indices \cos^2 sommés pour les différentes paires d'axes.

En fixant une limite de 0,40 pour la qualité de représentation ($\Sigma \cos^2$ sur 2 axes), on considère ici que 13 stations sont raisonnablement représentées dans les différents diagrammes. Les stations 3, 7 et 16 sont mal représentées.

Les positions des stations le long de l'axe 1 (figure 31) montrent l'évolution régressive depuis les types morphopédologiques sols rouges argileux et deux stations classées en sols squelettiques colonisés par l'association *H. diplandra-P. phragmitoides* comportant de bonnes proportions de *S. sanguineum* vers les faciès à *Loudetia* spp et *A. schirensis* sur sols superficiels, sols minéraux et sur mosaïque.

Tableau 49 - Projections des stations et qualité de la représentation dans les axes de l'ACP sur les variables phytosociologiques.

Stations	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	$\Sigma\cos^2$ 12	$\Sigma\cos^2$ 13	$\Sigma\cos^2$ 14
1 SRAp	1,08	-1,10	0,62	2,66	0,23	0,15	0,80
2 SBsup	-2,49	-2,54	0,08	1,56	0,77	0,38	0,52
3 SBgl	-0,65	-0,29	-0,06	-1,00	0,14	0,12	0,39
4 SMB	-0,52	1,94	-0,63	-0,31	0,44	0,07	0,04
5 SBRtr	-0,08	0,08	3,91	-1,34	0,00	0,86	0,10
6 Ssq	-1,17	-0,31	-0,55	-0,62	0,44	0,50	0,53
7 SRAp	0,12	0,04	-0,21	-1,00	0,01	0,02	0,33
8 SRAp	1,95	-1,69	0,19	0,45	0,75	0,43	0,45
9 Ssq	1,64	-0,57	0,97	0,07	0,64	0,77	0,57
10 SRAp	1,06	0,64	-0,70	-0,08	0,41	0,43	0,30
11 MO	-2,46	3,83	0,52	1,64	0,87	0,27	0,37
12 Ssq	2,78	1,31	-1,41	0,21	0,65	0,67	0,54
13 SBsup	-2,02	-2,14	-1,45	-0,87	0,74	0,53	0,41
14 SRAp	2,28	0,19	-0,36	-0,24	0,80	0,81	0,80
15 SRAsup	-1,38	0,04	-0,50	-0,55	0,46	0,52	0,53
16 Bf	-0,11	0,56	-0,42	-0,59	0,14	0,08	0,15

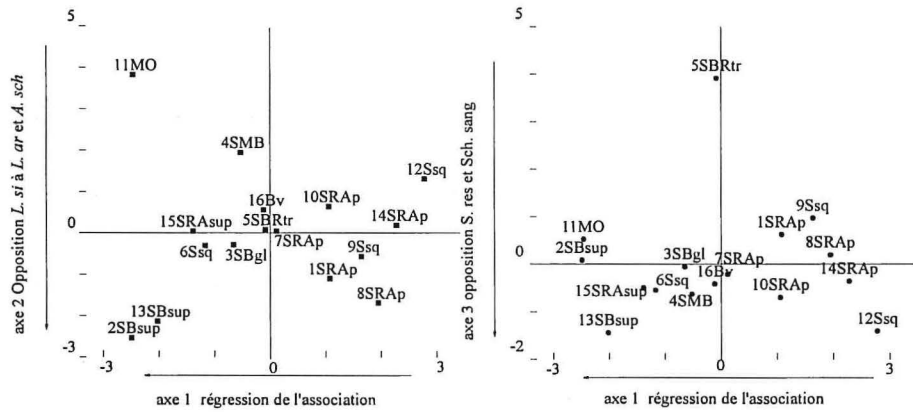


Figure 31 -Représentation des stations dans les plans 1-2, et 1-3.

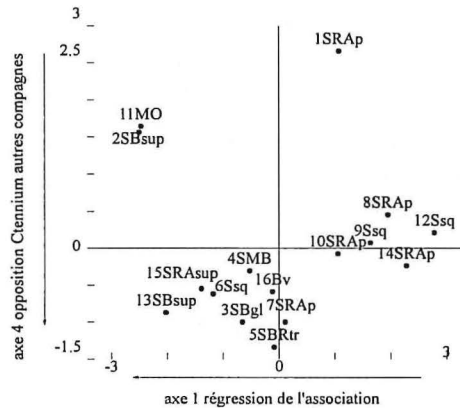


Figure 31 (suite) -Représentation des stations dans le plan 1-4.

Les types morphopédologiques se répartissent le long de l'axe 2 selon qu'ils sont colonisés par *L. arundinacea* et *A. schirensis* ou à l'opposé par *L. simplex*.

La station 5 de type sol brun-rouge de transition apparaît fortement liée à l'axe 3 et partant à la présence de *Setaria restioides*, graminée colonisant généralement des terrains à hydromorphie temporaire. La site est en fait localisé sur une plaine perchée.

L'apparition du *Ctenium* se marque sur l'axe 4 et l'occurrence de cette graminée se marque plus particulièrement dans les stations 2 et 11, de types morpho-pédologiques sol brun superficiel et mosaïque forêt savane marqués par des affleurements fréquents de la dalle latéritique. La station 1, sol rouge argileux profond, apparaît également colonisé par le *Ctenium*; un contrôle à posteriori sur le terrain montre qu'il se situait en fait dans une transition vers le type sol squelettique.

De même que pour l'analyse des variables pédologiques, l'ACP permet de nuancer la composition du couvert qui colonise les différents types morphopédologiques. Des stations telles que 12 et 9 classées originellement en sols squelettiques présentent une composition botanique très proche de celle des sols rouges argileux dont ils dérivent; la station 6 également sol squelettique, est elle par contre nettement plus proche des végétations de sols superficiels.

5.3. Synthèse des facteurs sol et composition botanique

En introduisant les variables phytosociologiques en tant que variables supplémentaires dans l'ACP réalisée sur les caractéristiques pédologiques, on peut observer les relations entre ces deux grandes classes de variables.

Le tableau 49 présente les valeurs de corrélation aux axes ainsi que la somme des carrés des corrélations exprimant l'importance de la liaison de chacune des variables dans l'ensemble des trois axes principaux.

Pour les variables supplémentaires, les sommes de r^2 sont moyennes à faibles et l'on ne peut ici que constater des tendances très générales. L'examen du tableau 50 et de la figure 32 traduit l'évolution des caractéristiques de l'association.

En haut de l'axe 1 on retrouve les caractères argile (A) et richesse (AE, MO, T) auxquels on peut associer *Hyparrhenia diplandra*.

Le *Loudetia simplex* se lie plus particulièrement à la richesse en matière organique dans les terrains à texture grossière plus importante.

En descendant le long de l'axe 1 et dans le sens positif de l'axe 2 lié à des caractères de texture grossière (EG, S), on observe des graminées telles que *Loudetia arundinacea* ou *Andropogon schirensis*.

L'axe 3 module la position des différentes compagnes de l'association selon l'affinité plus ou moins grande pour les terrains limoneux (L) et acides (AE).

Tableau 50 - Corrélations des variables phytosociologiques aux axes ACP définis sur les variables pédologiques.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	$\Sigma r^2_{1,2,3}$
Variables pédologiques	r	r	r	
EG	0,05	0,89	-0,00	0,79
A	0,62	-0,39	0,66	0,98
L	-0,44	-0,20	-0,86	0,97
S	-0,32	0,85	0,20	0,87
AE	0,70	-0,05	-0,49	0,74
MO	0,75	0,46	-0,17	0,80
T	0,87	0,09	-0,28	0,85
Variables phytosociologiques				
Hdi	0,37	-0,36	0,18	0,30
Hsm	-0,34	0,10	0,22	0,17
Pph	0,10	-0,03	-0,14	0,03
Lar	-0,30	0,55	0,07	0,40
Lsi	0,36	0,26	-0,17	0,23
Asc	-0,51	-0,10	0,32	0,37
Ssa	-0,30	0,15	0,18	0,12
Ser	-0,28	-0,13	0,34	0,21
Cte	-0,43	0,09	0,34	0,31

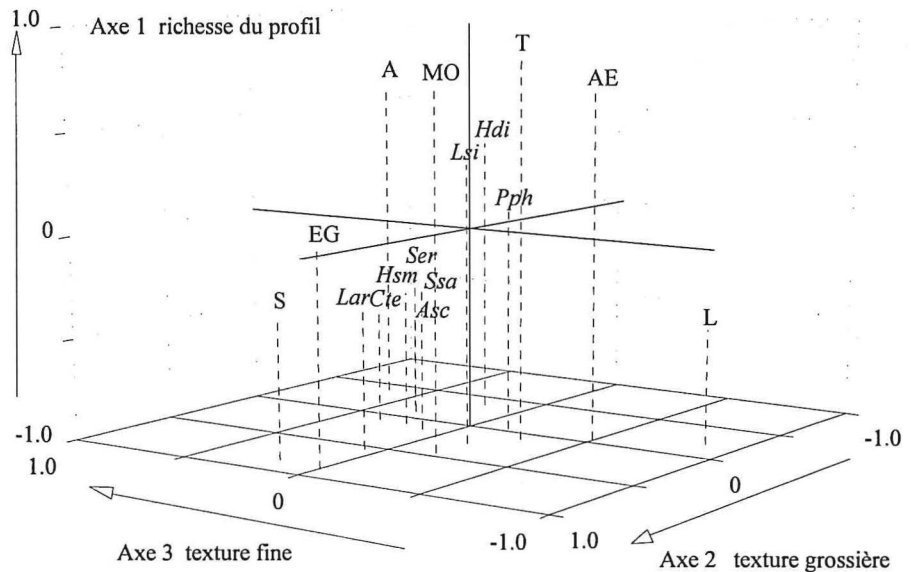


Figure 32 - Corrélations des variables phytosociologiques aux axes de l'ACP réalisée sur les données pédologiques des 16 stations.

Les relations entre les deux ACP peuvent également être explicitées en observant les corrélations entre les projections des 16 stations calculées dans les deux systèmes d'axes principaux (tableau 51).

Tableau 51 - Corrélations entre les axes des deux ACP.

Axes ACP variables pédologiques	A1	A2	A3
Axes ACP variables phytosociologiques			
A1	0,32	-0,32	-0,09
A2	0,50	-0,01	-0,31
A3	-0,11	-0,30	0,30
A4	-0,31	0,11	0,22

Les corrélations les plus intéressantes sont celles qui lient l'axe 1 des variables pédologiques aux axes 1 et 2 des variables phytosociologiques. La corrélation la plus haute ($r = 0.50$) est celle qui s'établit entre l'axe 1 (richesse du profil) et l'axe 2 opposant dans l'évolution régressive les stations où *Loudetia simplex* est présent à celles progressivement marquées par la présence de *Loudetia arundinacea* et *Andropogon schirensis*. Si l'on exclut la station 11, la corrélation passe à 0,68. La figure 33 montre l'évolution de la composition de la végétation selon la richesse du profil, les sols rouges et bruns à *Hyparrhenia* et *Panicum* évoluant en conditions plus riches, sols minéraux (4) et squelettique

(12) vers *Loudetia simplex* ou à l'opposé en conditions plus pauvres vers *Loudetia arundinacea* et *Andropogon schirensis* sur les sols bruns superficiels.

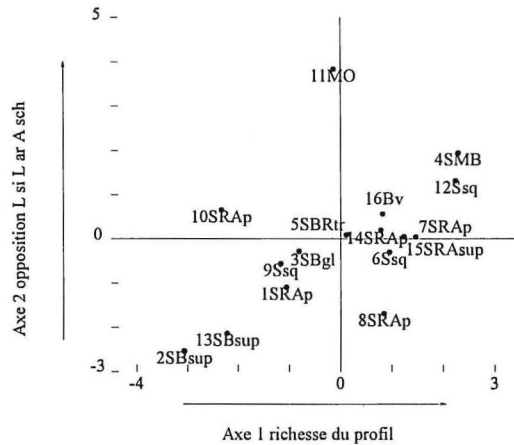


Figure 33 - Projections selon l'axe 1 (variables pédologiques) et l'axe 2 (variables phytosociologiques).

La corrélation entre les projections des stations sur les deux premiers axes expliquant chacun la part de variabilité la plus élevée est moins importante ($r=0.32$). Toutefois, en représentant les projections dans un diagramme x-y (figure 34), il apparaît selon ces deux axes, 3 groupes d'évolution régressive de l'association.

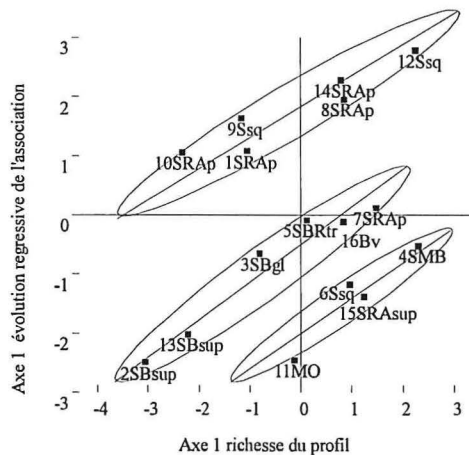


Figure 34 - Projections des stations selon l'axe 1 (variables pédologiques) et l'axe 2 (variables phytosociologiques).

Le premier groupe comprend essentiellement les sols rouges argileux et les sols squelettiques, le second reprend les sols bruns, les bas de versant, évoluant vers les sols superficiels. Le troisième reprend les sols minéraux bruts, riches évoluant vers les sols rouges argileux superficiels et mosaïques.

Les deux ACP permettent ainsi de conforter le schéma général établi à l'issue de la prospection de terrain. Elles font apparaître également le côté quelque peu subjectif d'un classement qui serait lié seulement à des critères morpho-pédologiques qu'il importe de pouvoir nuancer par la composition du couvert végétal qui les occupe si l'on veut effectuer des regroupements. Au terme de ces ACP le choix n'en demeure pas moins complexe selon les systèmes d'axes que l'on choisit d'observer. Les techniques de classification agglomératives développées plus avant (cfr I.7.5.) permettront de cerner le problème en intégrant les variabilités observées selon les critères sol et végétation.

5.4. Analyse en composantes de la structure de la végétation

L'axe 1 de l'ACP réalisée sur le % de recouvrement du sol par les composantes de la végétation : ligneux >5m, ligneux <5m, subligneux adventices, graminées vivaces et dicotylédones (tableau 51), exprime 50,5% de la variabilité observée sur les 16 stations.

Le tableau 52 et la figure 35 présentent les corrélations à l'axe 1 qui est le plus représentatif de la structure. La première composante oppose le caractère arboré ($L > 5m$, $r = -0,66$), associé aux grandes graminées ($GraViv$, $r = -0,68$), au caractère arbustif ($L < 5$, $r = 0,73$), associé à la présence de dicotylées herbacées ($Dicot$, $r = 0,72$) et de subligneux adventices ($SubL$, $r = 0,76$). L'axe est d'une façon générale l'indicateur de l'évolution de la structure du couvert.

Introduite en tant que variable supplémentaire, n'ayant pas participé à l'élaboration des composantes, la position de la variable indice de dégradation attribué sur le terrain (ID , $r = 0,67$), lie la dégradation à l'embuissonnement ($L < 5m$) et à l'apparition de subligneux adventices ($SubL$). Les autres axes n'expriment qu'une part restreinte de la variation restante.

Tableau 52 - Corrélations des variables aux axes principaux.

		Axe 1
% de la variation expliqué par l'axe		50,5%
		corrélations
Ligneux supérieurs à 5 mètres	L >5m	-0,66
Ligneux inférieurs à 5 m	L < 5m	0,73
Subligneux	SubL	0,76
Graminées vivaces	GraViv	-0,68
Dicotylées herbacées	Dicot	0,72
Indice de dégradation	ID	0,67

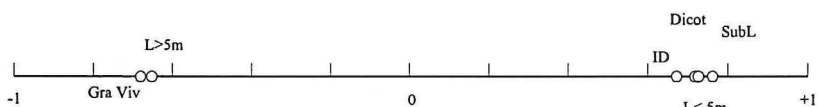


Figure 35 - Diagramme des corrélations à l'axe 1.

La figure 36 présente les projections calculées pour les 16 stations sur l'axe 1. L'ACP traduit l'évolution régressive depuis la savane arborée originelle, comportant de bonnes proportions de graminées vivaces qui subsistent, sur les sols bruns et les sols superficiels ou minéraux, vers des savanes au caractère progressivement plus arbustif, de plus en plus envahies par les subligneux et les dicotylées. Ce type d'évolution apparaît principalement sur les sols argileux profonds, sols généralement plus lourds et riches et qui, de ce fait, seraient plus sensibles à l'envahissement par les adventices.

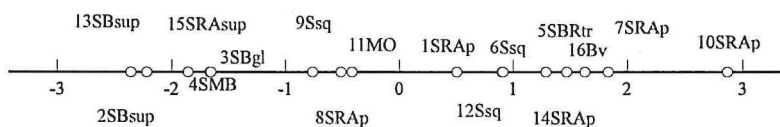


Figure 36 - Projections des stations sur l'axe 1 de l'ACP.

Les corrélations calculées sur les scores obtenus pour les 16 stations sur l'axe 1 de l'ACP recouvrement et les axes des deux autres ACP sont les suivantes : (tableau 53):

Tableau 53 - Corrélations entre les projections des 16 stations selon les différents axes ACP et l'axe 1 de l'ACP recouvrement.

	ACP recouvrement
ACP variables pédologiques	Axe 1
A1	0,21
A2	-0,56
A3	-0,30
ACP variables phytosociologiques	
A1	0,52
A2	0,28
A3	0,16
A4	-0,13

Les corrélations les plus intéressantes sont celles qui apparaissent entre le recouvrement et d'une part l'axe 2 des variables pédologiques ($r = -0,56$) et d'autre part l'axe 1 des variables phytosociologiques ($r = 0,52$).

Les projections selon ces systèmes d'axes sont reprises dans les figures 37 et 38.

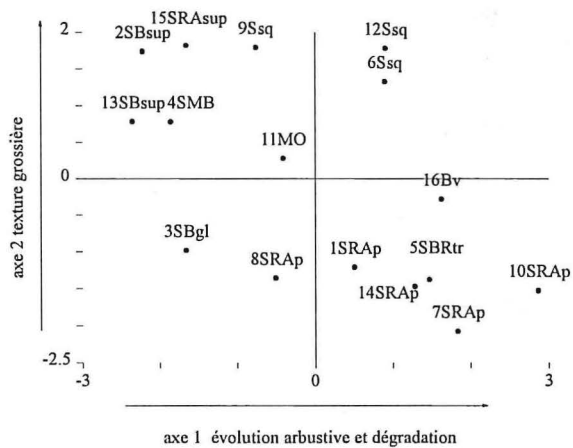


Figure 37 - Projections des stations selon l'axe 1 (recouvrement) et l'axe 2 (pédologie).

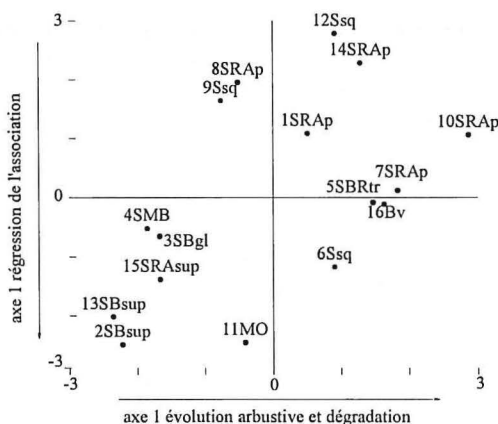


Figure 38 - Projections des stations selon l'axe 1 (recouvrement) et l'axe 1 (phytosociologie).

Les corrélations et la répartition des stations confirment ainsi la régression de la structure et la dégradation de la végétation, plus importante selon le critère texture argileuse opposé à la charge caillouteuse et le caractère mésophile des graminées (*Hyparrhenia diplandra-Panicum phragmitoides*) colonisant la station.

5.5. Classement des stations

Le regroupement en classes des 16 stations a été réalisé en exploitant les caractéristiques pédologiques et botaniques utilisées dans les analyses en composantes principales qui ont été développées précédemment.

L'agrégation progressive des différentes stations obtenue par la méthode de Ward est présentée au tableau 54. La construction d'une arborescence établie selon les pertes d'inertie et la progression des groupements dans une même classe (figure 39) permettent de visualiser les proximités et d'opérer des choix dans les regroupements.

Si l'on se place au niveau 0,1 quatre groupes se distinguent. La station 10 est seule et ne s'apparente que très mal aux sols argileux profonds tant elle diffère sur le plan de la texture limoneuse. Les productions d'herbe enregistrées sur le plateau ont par ailleurs été anormalement basses et n'ont généralement pas été prises en compte. La station ne sera pas reprise dans le classement.

Tableau 54 - Agrégation des stations selon la méthode de Ward.

Nombre de groupes	groupes joints		perte d'inertie
15	6	15	0,0074
14	3	16	0,0115
13	8	14	0,0130
12	cl14	7	0,0207
11	2	13	0,0288
10	1	13	0,0406
9	cl10	9	0,0473
8	4	15	0,0477
7	cl12	5	0,0600
6	cl9	cl7	0,0773
5	cl8	11	0,0826
4	cl5	12	0,0950
3	cl6	10	0,1137
2	cl3	cl4	0,1680
1	cl2	cl1	0,1864

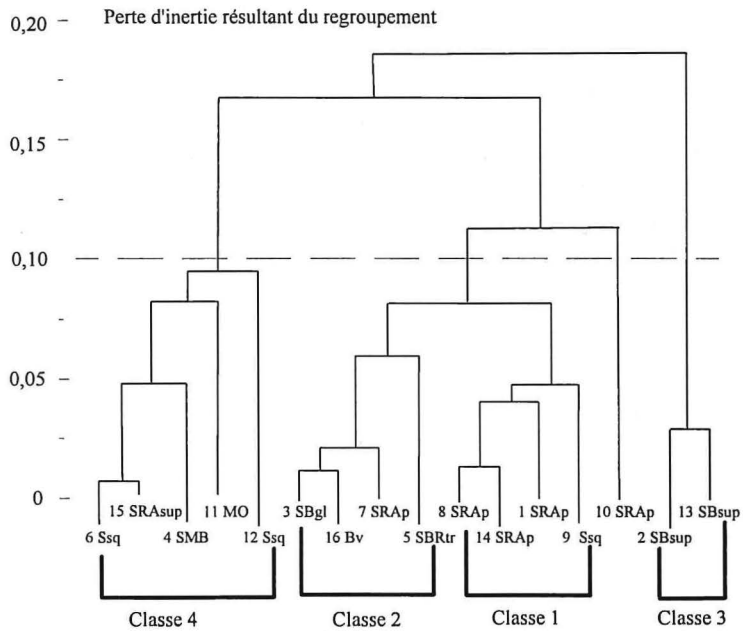


Figure 39 - Progression de l'arborescence selon les niveaux d'agrégation.

Pour les 3 autres groupes quatre classes nous paraissent devoir être définies.

Le tableau 55 résume pour chacune d'entre elles les valeurs moyennes des différentes variables.

Tableau 55 - Caractéristiques pédologiques et phytosociologiques dans chaque classe.

Composition botanique abondance-dominance	Hdi	Hsm	Pph	Lar	Lsi	Asc	Ssa	Ser	Cte
Classe 1	2,2	0,0	2,0	0,2	0,0	2,6	2,4	0,6	0,2
Classe 2	1,5	1,8	1,0	0,0	0,3	2,5	1,5	0,5	0,0
Classe 3	1,0	3,0	1,0	3,0	0,0	3,0	3,0	0,5	0,5
Classe 4	1,2	0,6	1,2	1,0	2,2	1,6	1,8	0,0	0,2

Caractéristiques de sol	EG %	A %	L %	S %	AE méq	MO %	T méq
Classe 1	9,2	38,8	19,1	42,0	3,0	1,8	7,6
Classe 2	4,5	49,0	11,6	39,4	3,3	1,8	8,3
Classe 3	33,4	26,6	15,6	57,8	1,9	1,7	5,6
Classe 4	33,1	40,0	10,8	49,2	3,9	2,7	8,8

Dans l'arborescence, les deux premières classes appartiennent au même groupe. On les distinguera a priori en considérant qu'elles s'agrègent indépendamment et en se rappelant les proximités entre stations exprimées précédemment en projetant les deux axes 1 des ACP (figure 33) où le groupe des sols rouges évoluant vers les sols squelettiques se distingue du groupe des sols bruns évoluant vers les sols superficiels.

La première classe regroupe les stations 8, 14, 1 et 9. Ce sont, à l'exception du 9, des végétations appartenant au type morphopédologique "sols rouges argileux profonds". La végétation est constituée principalement de grandes Andropogonées (*H. diplandra*, *P. phragmitoides*, *A. schirensis*, *S. sanguineum*). Les terrains sont argilo-sableux, à faible charge caillouteuse, moyennement riches en bases et relativement peu acides.

La seconde classe regroupe les stations 16, 3, 7 et 5. Les types de végétation sont représentatifs des faciès de transition où, parallèlement à une régression des grandes graminées de la première classe, *H. smithiana* apparaît plus abondant. Ils concernent plus particulièrement les types morphopédologiques "sols bruns et bas de pente", plus argileux, moins sableux, à faible charge caillouteuse; l'acidité d'échange augmente et la charge cationique est un peu plus élevée.

La troisième classe regroupe les stations 2 et 13 dont on peut considérer qu'ils caractérisent les végétations évoluant vers *L. arundinacea* et *A. schirensis* accompagnés par *H. smithiana* et *S. sanguineum* sur des types morphopédologiques "sols bruns superficiels". Les terrains sont sablo-argileux, à charge caillouteuse élevée. L'acidité d'échange est plus faible et la charge cationique apparaît moins élevée.

La quatrième classe regroupe les sites 6, 15, 4, 11 et 12 représentatifs de végétations où *Loudetia simplex* apparaît plus abondant que dans les autres classes. On retrouve les types morphopédologiques "sols squelettiques, minéraux, ou mosaïques". Les terrains sont également sablo-argileux, à forte charge caillouteuse, relativement plus riches en bases et en matière organique, et ont une acidité d'échange plus élevée.

IV. Productivité des pâturages naturels de l'Adélé

1. Introduction

Dans un élevage extensif en savane, la répartition saisonnière du cheptel sur l'ensemble d'un territoire devrait logiquement être calculée selon les particularités de croissance de l'herbe de chaque type de pâturage et selon les fluctuations de la production primaire. La connaissance de ces données obtenues par des observations de terrain devrait faciliter la mise en place d'un parcellaire équilibré et d'un programme de feux qui associe productivité des animaux et maintien de l'équilibre naturel de la végétation.

L'étude qui suit décrit, à titre d'exemple, la production des principales unités agrostologiques rencontrées à l'intérieur du ranch de l'Adélé et relie les fluctuations de la production aux variations climatiques locales observées au cours de la période des mesures.

2. Production potentielle de fourrage

2.1. Biomasses herbacées vivantes de fin de saison pluvieuse

Les résultats de la mesure des biomasses comprenant les graminées et dicotylées herbacées, exprimées en tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha), sont présentés à la figure 40. Pour chaque végétation associée à un type morphopédologique, le diagramme traduit les moyennes et les valeurs minimales et maximales enregistrées.

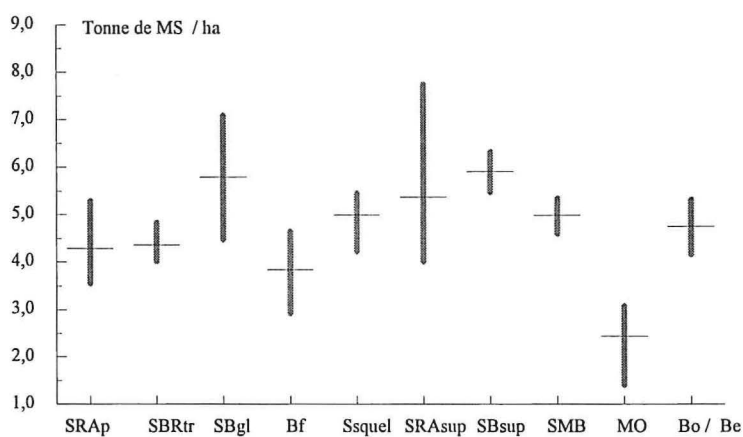


Figure 40 - Biomasses herbacées vivantes, valeurs moyennes, minimales et maximales par type de végétation.

La biomasse herbacée vivante oscille entre des valeurs moyennes de 2,5 et 6,0 tonnes de MS/ha. Elles sont voisines de celles signalées par WIP (1972) pour les plaines basses de la région de l'Adélé, soit de 1,8 à 5,3 tonnes de MS par hectare. Elles sont également du même ordre que celles enregistrées par César (1992) dans les savanes guinéennes de Lamto en Côte d'Ivoire. Le tableau 56 décrit, pour quelques types de végétation similaires, les valeurs extrêmes que César a observées au cours de plusieurs années.

Tableau 56 - Biomasses enregistrées dans des végétations typiques de la zone guinéenne à Lamto en tonnes MS/ha (César, 1992).

Végétations	min.	max.
Savane herbeuse à <i>Loudetia simplex</i>	5,4	7,9
Savane de transition à <i>Choclospermum planchonii</i>	7,7	8,9
Savane herbeuse sur sol gravillonnaire à <i>Andropogon schirensis</i>	5,6	9,7
Savane arbustive sur sol ferrallitique à <i>Crossopteryx febrifuga</i>	3,9	7,6

Les variations interannuelles peuvent être importantes. Dans le cas de l'Adélé, les biomasses n'ont pu être mesurées que pour une seule année, elles sont les plus élevées dans les savanes arborées à *Hyparrhenia diplandra* et *Panicum phragmitoides* (7,7 tonnes de MS/ha), sises sur les sols bruns argileux.

Elles sont les plus basses sur les formations partiellement cuirassées (mosaïque, savane de sommet et bowé) où *Loudetia simplex* et *Ctenium elegans* sont généralement présents. La production potentielle se révèle également élevée sur les sols superficiels; elle est même parfois supérieure à celle mesurée sur les sols rouges profonds.

Au sein d'un même type de végétation, les valeurs minimales et maximales traduisent d'importantes variations de productivité. Celles-ci sont en partie liées à la dégradation, à l'envahissement par les dicotylées et à l'effet de diminution de biomasse graminéenne qu'elles entraînent. Sur l'ensemble des 35 stations mesurées, la part pondérale des graminées est en moyenne de 93%, avec toutefois des minima allant jusqu'à 25%.

La contribution pondérale des dicotylées non appréciées par les bovins paraît dans l'ensemble assez faible (figure 41). Toutefois le taux de recouvrement au sol de ces dicotylées : $25 \pm 21\%$ (v. I.7.4) varie fortement et peut induire à mesure de son augmentation une régression de la productivité des graminées.

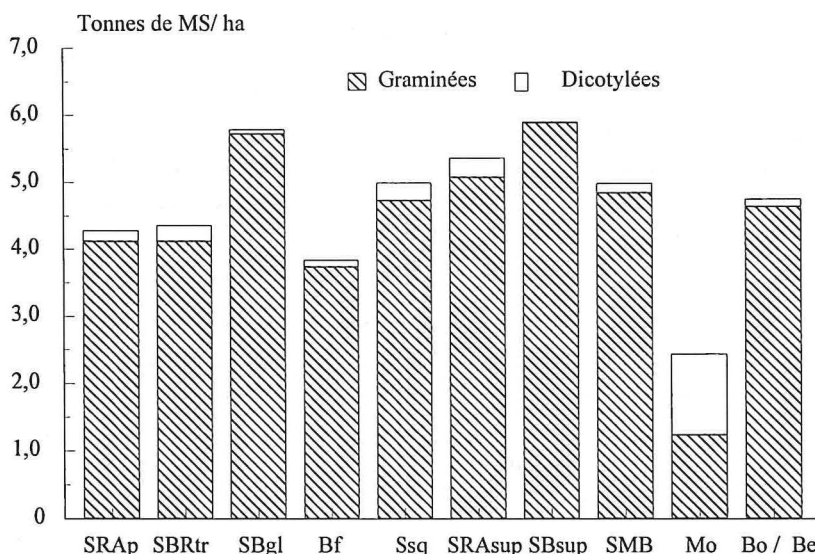


Figure 41 - Contribution moyenne des dicotylées et des graminées dans la biomasse herbacée vivante des différentes unités morphopédologiques.

2.2. Evolution des biomasses en relation avec la dégradation

Les indices de dégradation (ID) estimés lors de chaque mesure de biomasse permettent d'établir une relation (figure 42) qui traduit globalement la diminution de biomasse graminéenne pour l'ensemble des végétations, à savoir:

$$y = -0,9055ID + 6,06 \quad (r^2 = 0,59; s_{y,x} = 0,859),$$

avec y, biomasse présente en tonnes de MS/ha.

Cette relation indique, sur l'ensemble des 35 mesures de biomasse, une diminution de 0,9 tonnes de matière sèche par point de l'échelle de dégradation. L'écart-type résiduel est large, il est attribuable aux différences entre les types de végétation et à la précision de l'estimation visuelle de la dégradation.

Ce premier résultat montre toutefois l'intérêt de l'utilisation d'un indice simple à collecter pour apprécier l'évolution de la productivité d'une zone de pâturage et les réductions de charge qu'il y a lieu d'envisager pour ne pas amplifier le phénomène. La précision de l'indicateur devrait pouvoir être améliorée par des mesures effectuées en plus grand nombre et en s'attachant à distinguer les types de végétation selon qu'elles sont implantées sur des sols superficiels ou sur des sols profonds.

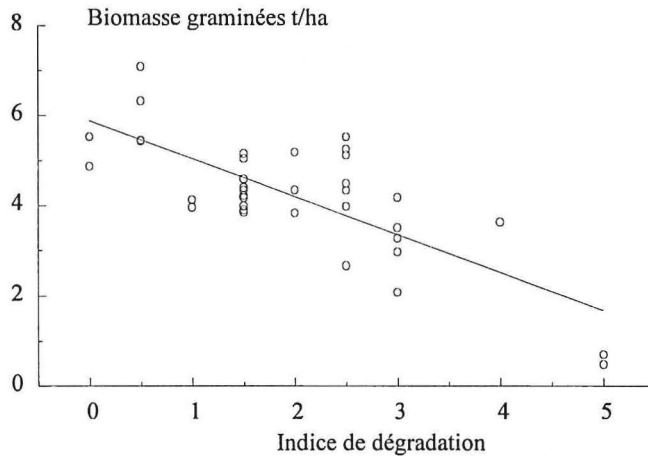


Figure 42 - Relation entre la production herbacée potentielle et l'indice de dégradation du pâturage.

2.3. Croissance normale de la végétation

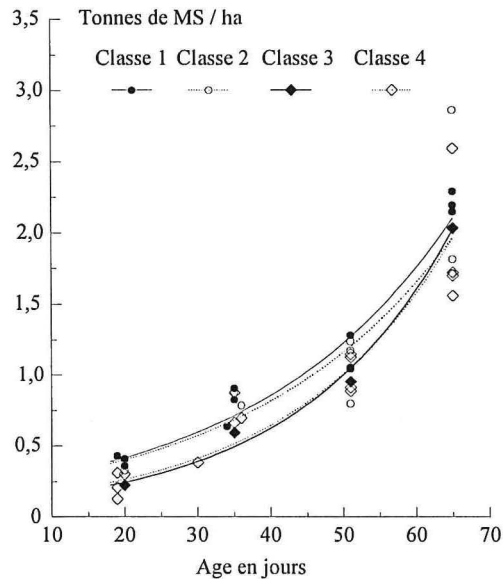
La mesure de la biomasse herbacée vivante présente en fin de saison des pluies fournit une indication générale sur le niveau de production de la savane; elle ne permet toutefois pas de définir les modalités d'exploitation du pâturage.

Au cours de la saison pluvieuse, le développement rapide des graminées induit une chute tout aussi rapide de la valeur alimentaire. L'utilisation optimale des pâturages de savane repose sur une exploitation des graminées à un stade où la valeur alimentaire est élevée et sur une maîtrise de la croissance de l'herbe permettant de fournir en permanence des repousses de qualité.

En saison sèche, la croissance est fortement ralentie et les surfaces à mettre à la disposition des animaux doivent être augmentées dans des proportions qui peuvent varier d'une année à l'autre selon l'aridité de la saison sèche.

Parmi les quatre rythmes de fauche qui ont été expérimentés, ceux de 20 et 35 jours correspondent à une exploitation précoce du couvert herbacé; les coupes à 50 et 65 jours relèvent d'une exploitation tardive à caractère nettement extensif.

Une description de la croissance des différentes classes au cours des 65 premiers jours de repousse peut être établie en se limitant aux premières mesures de saison des pluies, effectuées sur chacune des placettes (A, B, C, D). La figure 43 présente les courbes qui caractérisent les évolutions de poids de matière sèche aux différents âges pendant cette période de pleine saison des pluies que l'on considère ici comme climatiquement homogène.



Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts.

Figure 43 - Croissance normale des 4 classes de végétation en saison pluvieuse.

Au cours de cette première période de la croissance du végétal, l'évolution du poids de matière sèche par ha est exponentielle. Les classes de pâturage sur sols à charge caillouteuse importante se distinguent au départ assez nettement par des croissances inférieures à celles implantées sur les sols argileux. Les végétations des classes 3 et 4 ont un comportement assez similaire et se rapprochent ensuite voire dépassent les valeurs observées sur les sols profonds. On retrouve là une confirmation du fait que les biomasses totales produites à l'intérieur de ces classes peuvent être équivalentes à celles produites sur des sols profonds.

Les courbes auxquelles on ne peut attribuer ici qu'une valeur tout à fait descriptive sont de type:

$$y = ae^{bx}$$

avec y , le tonnage de matière sèche/ha et x , l'âge au moment de la fauche.

Les paramètres caractéristiques de la régression et les tonnages que l'on peut estimer aux différents âges selon ces courbes sont décrits au tableau 57.

Tableau 57 - Caractérisation de la croissance des 4 classes de pâturage en début de saison pluvieuse.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Paramètres				
r ²	0,96	0,90	0,98	0,89
a	204,08	199,80	96,13	108,66
b	0,0359	0,0352	0,0469	0,0446
Ages		Tonnes MS/ha estimées		
20	0,418	0,403	0,245	0,265
35	0,716	0,684	0,495	0,516
50	1,227	1,161	1,001	1,008
65	2,102	1,969	2,022	1,967
vitesse de croissance		kg MS /ha /jour (estimés par la régression)		
20 jours	15,0	14,2	11,5	11,8
moyenne 20 à 35	19,9	18,8	16,7	16,8
moyenne 35 à 50	34,1	31,8	33,8	32,9
moyenne 50 à 65	58,4	53,9	68,3	64,1

Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts.

La dérivée:

$$y' = ab e^{bx}$$

permet d'apprécier la vitesse de croissance (tableau 56) aux différents âges de repousse. Les croissances journalières sont nettement plus importantes entre 50 et 65 jours et l'on pourrait conclure à l'intérêt d'une exploitation tardive de la végétation permettant une charge instantanée plus élevée. On montrera ultérieurement, dans l'analyse de la valeur alimentaire, que l'on a tout intérêt sur le plan qualitatif à exploiter la repousse de façon précoce et répétée entre 20 et 35 jours de repousse. La maîtrise de végétations en pleine flambée de croissance est par ailleurs plus difficile et conduit souvent à de grandes quantités de refus.

Ensuite, les décalages entre les dates de fauche des placeaux n'autorisent plus à traduire les croissances en régressions simplement liées à l'âge.

Influencées également par les variations climatiques, elles évoluent de façon variable selon les classes et les mois de l'année. La description de ces variations saisonnières est envisagée plus loin.

2.4. Indicateurs de la biomasse présente

La biomasse disponible au moment de la mise à la pâture est un indicateur couramment utilisé dans de nombreux systèmes herbagers. Lorsqu'il peut être exprimé selon des paramètres simples, il permet à l'éleveur de moduler ses décisions.

Chaque fauche à un âge déterminé est assortie d'une mesure de hauteur et de recouvrement. L'association de ces deux paramètres traduit en quelque sorte le biovolume présent. Les corrélations entre d'une part, l'âge (jours), la hauteur (cm), le pourcentage de recouvrement(%), le biovolume (biovolume étant égal à hauteur x recouvrement/100) et d'autre part, la matière sèche/hectare récoltée au cours de 316 fauches, réalisées pendant la période 90-91 sont décrites au tableau 58. L'âge seul est parmi les trois prédicteurs celui qui a le plus de poids; toutefois, le caractère généralement non linéaire de la relation et les variations saisonnières font que la prédiction est meilleure lorsque l'on combine des paramètres d'âge et de hauteur - recouvrement. Les hauteurs et recouvrements, pris isolément, sont des prédicteurs assez pauvres. A deux, ils expriment le biovolume et ils expliquent la biomasse présente d'une façon similaire à l'âge.

Tableau 58 - Corrélations entre la matière sèche/ha présente et les paramètres : âge, hauteur et recouvrement .

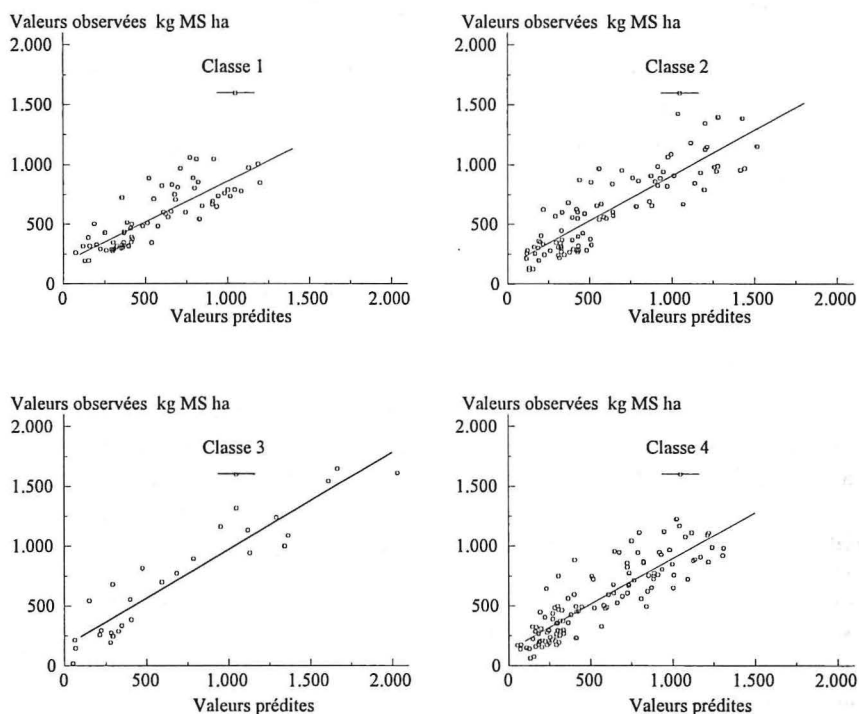
	MS/ha
âge	0,68
hauteur	0,60
recouvrement	0,54
biovolume	0,66

Les régressions (Minitab, 1992) que l'on peut établir pour chacune des classes selon les deux paramètres les mieux corrélés, âge et biovolume, sont caractérisées par les coefficients de détermination (r^2 ,%) et les écarts-types résiduels ($s_{y,x}$, kg MS/ha) repris au tableau 59.

Tableau 59 - Caractéristiques des régressions entre la biomasse présente et les paramètres âge et biovolume (bvol).

Classes	a_1 âge	a_2 bvol	b	r^2	$s_{y,x}$
1	8,04	11,28	31,1	59,8	190
2	11,49	13,43	-81,4	72,5	205
3	11,84	13,13	-69,2	70,7	261
4	8,24	9,50	-12,1	60,1	158
Toutes	10,36	13,12	-76,9	68,8	209

La figure 44 présente les relations pour chaque classe en opposant sur l'axe des abscisses les valeurs prédites par la régression et sur l'axe des ordonnées les valeurs observées.



Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts.

Figure 44 - Appréciation de la biomasse présente, comparaison des valeurs prédites et observées pour les 4 classes de pâturage.

Selon les classes considérées, les valeurs de r^2 montrent que 60 à 72% des variations de quantités de MS sont expliquées par les paramètres d'âge et biovolume. L'erreur résiduelle est de 158 à 261 kg, la classe 4 étant la moins bien prédite. Toutes classes confondues, l'erreur résiduelle est de 209 kg/ha.

Différents auteurs (Castle, 1976; Mathieu et Fiorelli, 1985) ont mis au point des relations entre la disponibilité en matière sèche et la hauteur ou entre la hauteur et le recouvrement de la végétation. Ces recherches ont d'une façon générale conduit à la mise au point d'instruments appelés herbomètres. Le principe de l'appareil consiste à apprécier une hauteur en déposant sur la végétation une plaque de métal d'une surface et d'un poids donnés coulissant le long d'une tige graduée. La hauteur lue sur la tige traduit à la fois la hauteur et la densité de la végétation. Le calibrage de l'appareil pour le type de végétation

étudié permet d'apprécier avec une bonne précision la masse végétale présente. La date du feu de préparation de la pâture étant en général bien connue, l'utilisation d'un appareil de ce type devrait permettre de standardiser la mesure et de développer des relations plus précises, adaptées aux différents types de végétation. Les disponibilités en herbe à l'entrée du bétail dans une parcelle pourraient ainsi être appréciées de façon simple, peu coûteuse et répétée. Des mesures de ce type, bien que individuellement moins précises, auraient l'avantage de pouvoir être effectuées en grand nombre et permettre une évaluation de terrain à une échelle nettement plus importante que celle (fauche et pesée) qui est classiquement pratiquée.

3. Variations de la croissance journalière de la repousse

3.1. Description générale

La croissance quotidienne de la végétation de savane varie au cours du temps. Elle varie également selon les types de végétation et le stade de développement de la plante. Cette évolution est représentée à la figure 45 où, pour chaque âge de fauche (placettes A, B, C, D), les croissances moyennes journalières ont été calculées pour l'ensemble des placeaux aux différentes dates de récolte.

Les courbes présentent une évolution plus ou moins importante selon les mois ou les saisons et les intervalles de fauche pour lesquels elles sont établies. Pour les vitesses de repousses calculées sur 20 et 35 jours, des diminutions apparaissent en petite puis en grande saison sèche. Les vitesses de repousse calculées sur 50 et 65 jours, établies sur un nombre moins grand de données, traduisent principalement l'abaissement lié à la grande saison sèche. Les repousses les plus intéressantes sont celles effectuées tous les 20 jours, d'abord parce qu'elles s'adressent à du matériel jeune qui sera hautement apprécié par les animaux, et surtout parce qu'elles décrivent les variations de façon plus détaillée et permettent d'exploiter les données selon un pas de temps plus court.

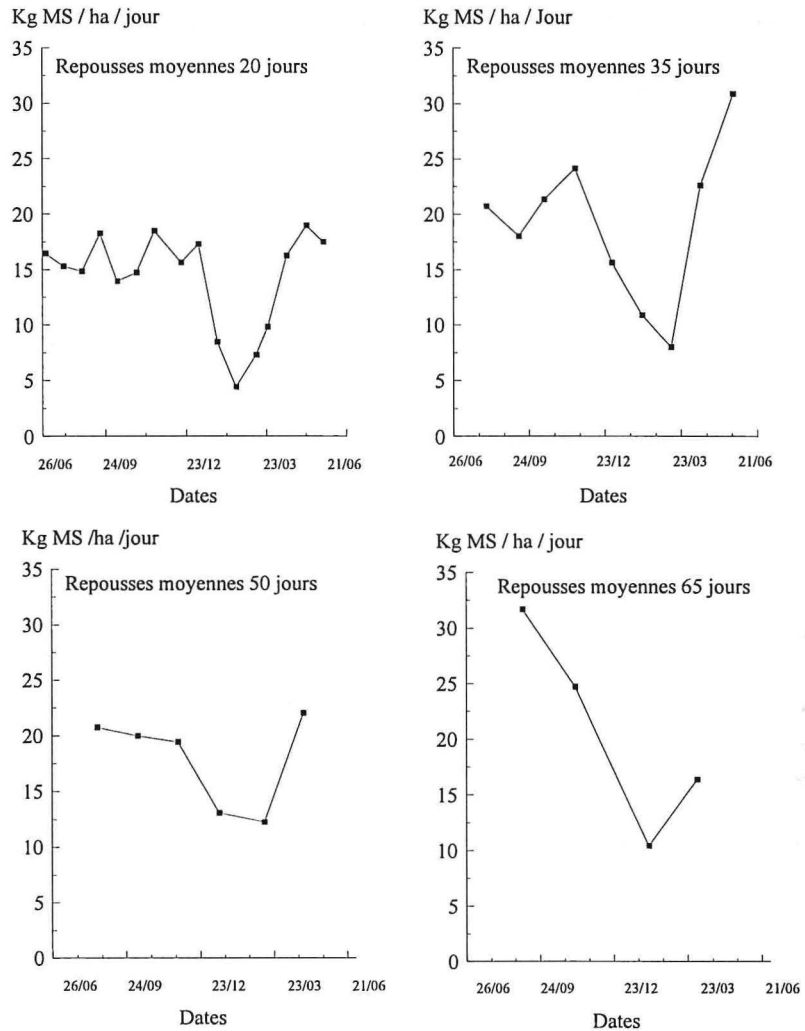


Figure 45 - Evolution annuelle des vitesses de croissance selon les rythmes de fauche.

Les données observées tous les 20 jours, regroupées selon les classes décrites plus haut et traduites en graphiques, montrent les variations en cours d'année selon les classes (figure 46).

On observe que les classes de végétation diffèrent d'une part, par le niveau autour duquel elles évoluent en saison de pluie et d'autre part, par l'évasement plus ou moins prononcé et le niveau minimal atteint au cours de la saison sèche, période caractérisée par un abaissement notable de la productivité journalière.

Les placettes "A" étant systématiquement fauchées tous les vingt jours, les mesures ne sont pas indépendantes. Pour analyser ces données, un modèle linéaire général traité en mesures répétées (SAS, 1985) a été appliqué aux données correspondant à chacune des séries de mesures.

Les critères repris pour chacune des séries (tableau 60) sont : le temps, les classes de pâturage ou à un niveau plus simple, la distinction en deux groupes : celui correspondant aux savanes sur sols argileux et celui correspondant aux savanes sur sols caillouteux.

Tableau 60 - Caractérisation des données pour l'analyse en mesures répétées.

Séries	Dates	Classes	Groupes	
1	mai 90-novembre 90	6	1	
			2	1 sols argileux
			3	2 sols caillouteux
			4	
2	octobre 90- mai 91	6	1	
			2	1 sols argileux
			3	2 sols caillouteux
			4	

La première série correspond à la période de saison des pluies, la seconde comprend la saison sèche et le retour des pluies. L'analyse permet de caractériser les productivités comme suit (tableau 61).

Tableau 61 - Caractérisation des productions journalières selon les groupes et les classes dans les deux séries de mesure.

Analyse	Série 1	Série 2
<i>sur les groupes</i>		
Effet date	F = 3,56 p = 0,0947	F = 37,74 p = 0,0018
Effet groupe	F = 8,74 p = 0,0160	F = 11,76 p = 0,0090
<i>sur les classes</i>		
Effet date	F = 2,22 p = 0,2719	F = 94,68 p = 0,0150
Effet classe	F = 2,80 p = 0,1183	F = 8,91 p = 0,0125

L'analyse montre des différences significatives entre groupes pour chaque série; elles ne diffèrent au niveau des 4 classes que pour la 2^{ème} série incluant la saison sèche. L'effet temps ne se marque qu'au cours de la 2^{ème} série de mesure. En saison de pluies, l'absence d'effet temps amènerait a priori à conclure à l'absence d'effet de la succession des coupes sur la production des repousses.

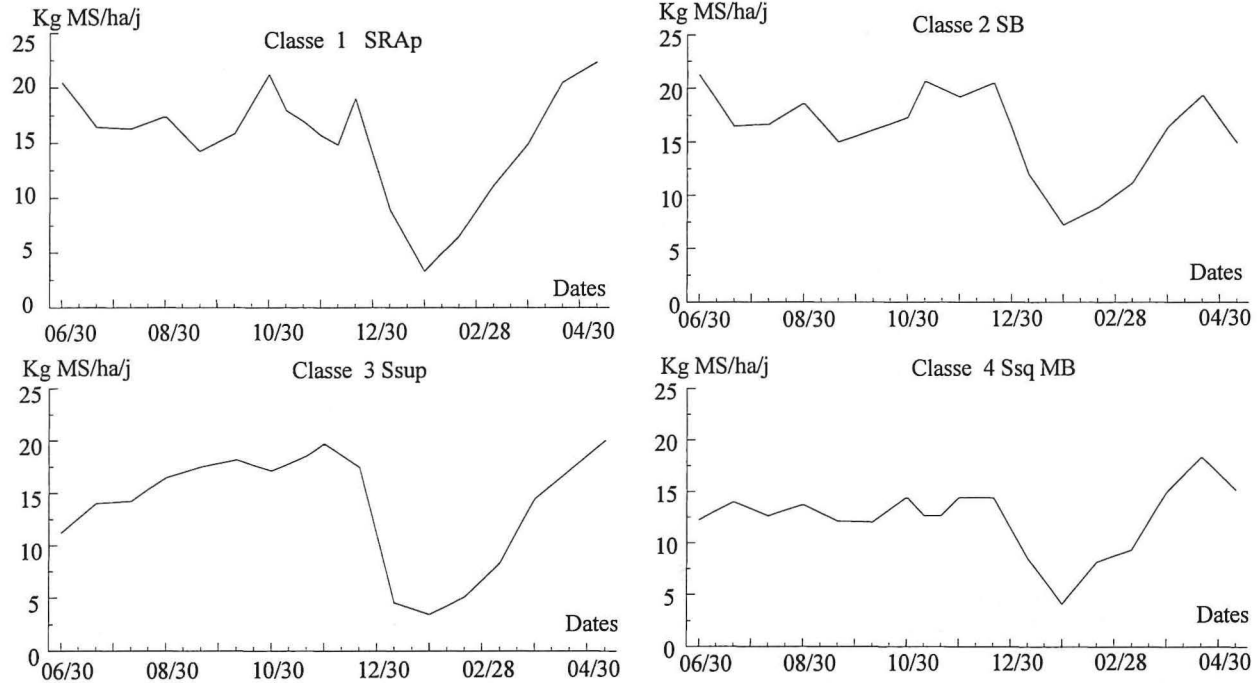


Figure 46 - Evolution, pour les différentes classes de pâturage, de la production journalière de repousses selon le rythme de fauche de 20 jours.

Les moyennes par groupes et classes sont décrites au tableau 62.

Tableau 62 - Moyennes des productions journalières par groupes et classes aux différents temps.

Temps	Série 1		Série 2	
	groupe 1	groupe 2	groupe 1	groupe 2
1	20,17	12,04	17,70	16,16
2	16,39	13,98	20,15	15,40
3	16,45	12,92	10,47	7,15
4	19,73	16,52	5,27	3,90
5	14,63	13,16	7,67	7,11
6	15,98	13,24	11,15	8,98

Temps	Série 1				Série 2			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
1	20,50	19,83	11,20	12,25	16,25	19,15	19,70	14,40
2	16,43	16,43	14,00	13,97	19,80	20,50	17,45	14,37
3	16,26	16,63	14,20	12,60	8,95	12,00	4,55	8,45
4	18,40	21,06	16,50	16,52	3,30	7,25	3,45	4,12
5	14,26	15,00	17,50	12,07	6,50	8,85	5,10	8,12
6	15,86	16,10	18,20	12,00	11,15	11,15	8,35	9,30

L'analyse réalisée ainsi ne permet toutefois qu'une expression très générale des tendances, les effectifs de chaque classe sont fortement inégaux et les mesures individuelles n'ont pas fait l'objet de répétitions. Toute conclusion définitive serait prématurée, il serait opportun de compléter ce genre de mesures en recourant à des protocoles équilibrés. Le tableau 63 reprend pour chacune des classes les valeurs moyennes de production journalière de saison sèche (ss) et de saison de pluies (sp). Pour la période qui s'étend entre novembre et début avril et qui correspond à la saison sèche, le rapport (ss/sp) entre les productivités journalières saisonnières évolue entre 0,56 à 0,74 et traduit les différences de réponse à la sécheresse selon les classes de pâturage.

Tableau 63 - Productions journalières moyennes selon les saisons, rapport entre les saisons (ss/sp).

Classes	saison de pluies (sp)	saison sèche (ss)	ss/sp
	kg de MS /ha /j	kg de MS /ha /j	
Classe 1	17,94	10,49	0,56
Classe 2	17,86	13,15	0,74
Classe 3	17,33	9,77	0,57
Classe 4	14,16	9,80	0,69

Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts.

Les niveaux minimaux au cours de la période sèche sont le principal facteur limitant dans la conduite d'un élevage extensif de savane où l'on ne prévoit généralement ni la constitution de réserves fourragères ni la complémentation systématique de l'alimentation du bétail. Le nombre total d'animaux que l'on pourra entretenir sur la superficie exploitable d'un élevage sera étroitement dépendant d'une productivité potentielle de saison sèche permettant de couvrir les besoins d'entretien des animaux et de limiter les pertes de poids.

La mise au point de systèmes permettant de simuler la production journalière de l'herbe et d'estimer les variations interannuelles que l'on pourrait observer serait à cet égard fort intéressante. Dans cette optique, bien que les mesures effectuées à l'Adélé ne concernent qu'une année climatique, il paraissait utile de confronter les données de repousse aux variations climatiques rencontrées au cours de cette même année. Cela permettra d'apprécier la qualité et l'intérêt des relations prévisionnelles que l'on peut en tirer.

3.2. Relations entre la production de repousses et la pluviosité

En calculant pour chaque plateau les moyennes entre deux coupes successives, on peut établir pour chacun l'évolution décadaire de la production journalière de jeunes repousses.

L'eau apportée par les pluies est le paramètre climatique qui évolue le plus au cours des saisons sous climat tropical.

En sommant les quantités de pluies décadaires sur la période précédant la décade de mesure, on observe graphiquement (figure 47) que les quantités tendent à prendre une allure similaire à la courbe moyenne de production quotidienne de matière sèche (moyennes décadaires sur l'ensemble des plateaux). Les relations que les deux variables prennent entre elles sont caractérisées par des corrélations croissantes (tableau 64).

Tableau 64 - Corrélations entre les pluies et la production journalière de l'herbe.

Critères climatiques	MS/ha/j
	r
pluie décadaire (pld)	0,25
Σ 4 décades (s4d)	0,53
Σ 5 décades (s5d)	0,59
Σ 6 décades (s6d)	0,65
Σ 6 décades décalée de 2 décades, (s6d2)	0,74

En décalant la courbe établie sur des sommations de 6 décades (s6d) (tableau 65) de deux décades (s6d2), la corrélation est encore améliorée. Le paramètre peut ainsi être interprété comme un état de la réserve hydrique au départ de la repousse, dans la mesure où les productions journalières ont été déterminées chaque fois au terme d'une période de 20 jours et où l'on fait ainsi coïncider la courbe de repousse avec la somme des pluies qui présidait au départ de la repousse.

Tableau 65 - Correspondance entre les mesures de production journalière et les sommes de pluviométries décalées de deux décades.

Décades	Croissance kgMS/j	S6d	S6d2
20/06		340,8	
30/06		364,6	
10/07	15,3	347,2	340,8
20/07	14,9	377,1	364,6
30/07	14,5	323,0	347,2
10/08	14,2	341,5	377,1
20/08	14,9	346,6	323,0

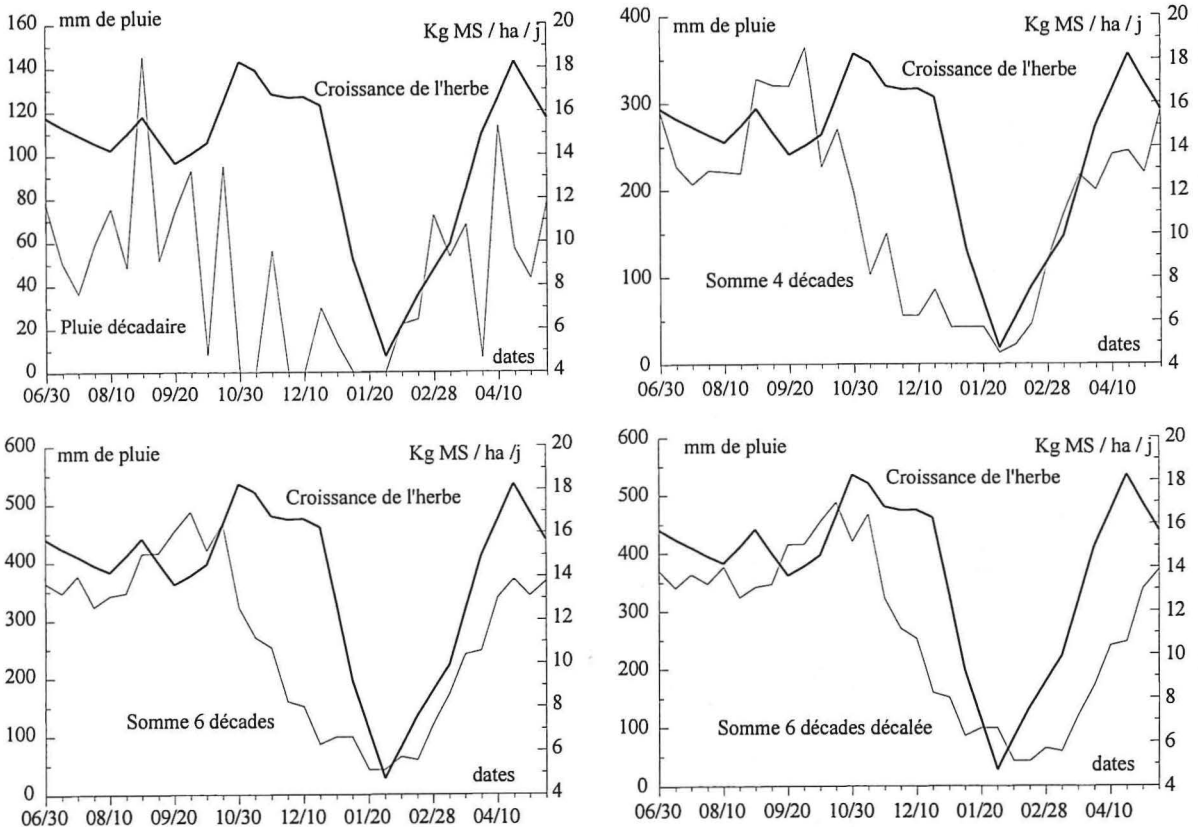


Figure 47 - Evolution décadaire de la production journalière et des différentes sommes de pluies.

En opposant dans un graphique les données de production journalière aux relevés des pluies, on observe que la relation n'est pas linéaire.

Le modèle qui ajuste le mieux la production journalière à la somme des pluies (s6d2) est de type logistique. L'ajustement réalisé à l'aide des procédures de

régression non linéaire du logiciel Stat-Itcf (1992) est caractérisé de la façon suivante (tableau 66 et figure 48)

$$Y = \frac{a}{(1 + be^{-cx})}$$

où y est la production journalière en kg de MS par ha et par jour, a , la production quotidienne maximale; b , un paramètre d'ajustement fixant la valeur de y pour x_0 et c le paramètre d'augmentation de la vitesse quotidienne, x étant égal à $s6d2$.

Tableau 66 - Valeurs et écarts-types des paramètres, caractéristiques (r^2 , $s_{y,x}$) du modèle logistique liant la production journalière moyenne à la pluviosité.

	a	b	c	r^2	$s_{y,x}$
Valeurs	15,98	3,55	0,02	0,98	1,87
écarts-types	0,47	1,50	0,005		

Le coefficient de détermination étant défini: $r^2 = 1 - (\sum (y - \hat{y})^2 / \sum y^2)$

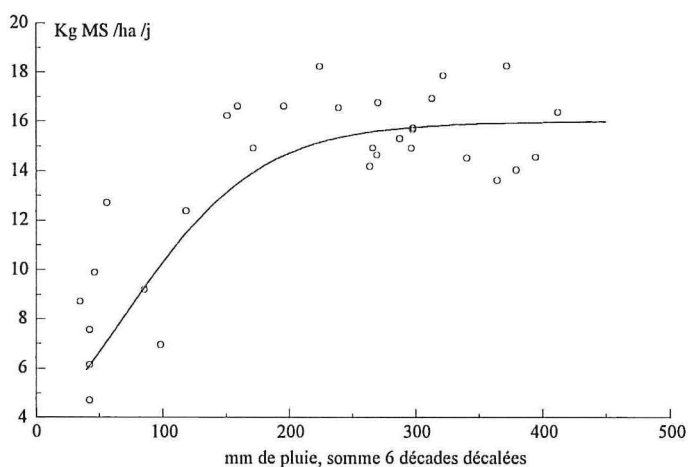


Figure 48 - Ajustement non-linéaire de la production journalière selon les sommes de pluies, pour l'ensemble des données.

Le modèle calculé sur les moyennes de tous les sites permet déjà d'apprécier la tendance générale d'évolution de la production journalière de matière sèche en fonction d'un critère climatique. On doit toutefois remarquer qu'en saison des pluies, la capacité en eau du sol est à saturation et que les variations de production journalière relèvent plus d'autres facteurs tels que la durée de l'ensoleillement ou le taux d'humidité de l'air. Il paraît donc préférable dans ce

type d'approche de se limiter à la période sèche (octobre à avril), période où l'information est la plus précieuse pour la conduite d'un élevage.

Les données disponibles ne permettent pas d'aboutir à une bonne caractérisation de chacune des classes de végétation sur base de relations de ce type. Toutefois, en regroupant les classes et en distinguant deux groupes, l'un représentatif des sols généralement argileux (classe 1 et 2), l'autre représentatif des sols superficiels ou à charge caillouteuse plus importante (classes 3 et 4), on peut établir deux relations décrites au tableau 67 et à la figure 49.

Tableau 67 - Valeurs et écarts-types des paramètres, caractéristiques (r^2 , $s_{y,x}$) des modèles logistiques établis à partir des sommes de pluies selon les groupes de sols.

	a	b	c	r^2	$s_{y,x}$
Sols argileux	20,56	3,52	0,02	0,98	2,29
écarts-types	1,33	1,30	0,004		
Sols à charge caillouteuse	16,69	3,13	0,01	0,98	2,03
écarts-types	1,47	1,10	0,004		

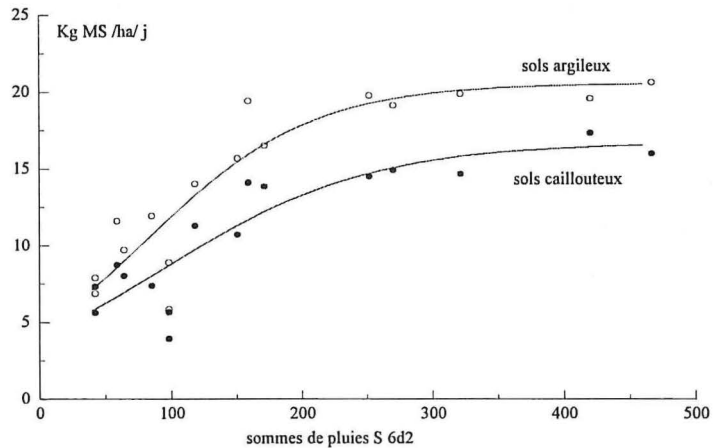


Figure 49 - Ajustement selon des modèles logistiques de la production journalière de repousses sur sols argileux et sur sols caillouteux.

Le modèle logistique est celui qui permet d'obtenir l'écart-type résiduel le plus faible; il ne nous paraît toutefois pas le mieux adapté. Prévu pour la description de courbes sigmoïdes, la production journalière pour une somme de pluies nulle, déterminée par le paramètre b, s'ajuste assez mal. L'écart-type de b est large et le modèle ne passe pas par l'origine, ce qui conduirait à affirmer que la croissance continue quel que soit l'approvisionnement en eau.

Un modèle plus simple, qui dans ces conditions paraît mieux adapté est un modèle à deux paramètres de type Monod (Tomassone et Dervin, 1993) :

$$y = \frac{ax}{(b + x)}$$

Les caractéristiques de l'ajustement en sont les suivantes (tableau 68):

Tableau 68 - Valeurs des paramètres et caractéristiques (r^2 , $s_{y,x}$) des modèles de Monod ajustés pour chacun des groupes de sols.

	a	b	r^2	$s_{y,x}$
Sols argileux	26,85	117,55	0,98	2,42
<i>écart-type</i>	2,96	32,68		
Sols à charge caillouteuse	21,99	138,91	0,97	2,13
<i>écart-type</i>	2,94	43,35		

Le modèle comporte moins de paramètres; a est la position de l'asymptote et b, la valeur de x pour laquelle $y = a/2$. Le coefficient de détermination est équivalent à celui du modèle logistique, l'écart-type résiduel est dans les deux cas légèrement plus élevé qu'auparavant. Les courbes et la position des points sont décrits à la figure 50.

Les relations ne sont établies qu'à partir des données d'une seule période sèche; elles sont assez larges en écart de prédiction. Pour être conforté, l'établissement d'un modèle devrait prendre en compte un nombre plus grand de mesures réparties dans différents lieux sur plusieurs années et surtout des observations liées à des saisons sèches particulièrement marquées.

L'approche n'en reste pas moins intéressante dans la mesure où la variable indépendante est un paramètre aisé à collecter.

L'historique de la pluviosité pour une région donnée peut en général être facilement obtenu auprès de divers organismes. Il permettrait d'apprécier les niveaux et la durée des épisodes de faible productivité journalière que l'on risque d'observer dans un milieu donné et de mieux apprécier la charge totale en bétail qu'un territoire peut supporter.

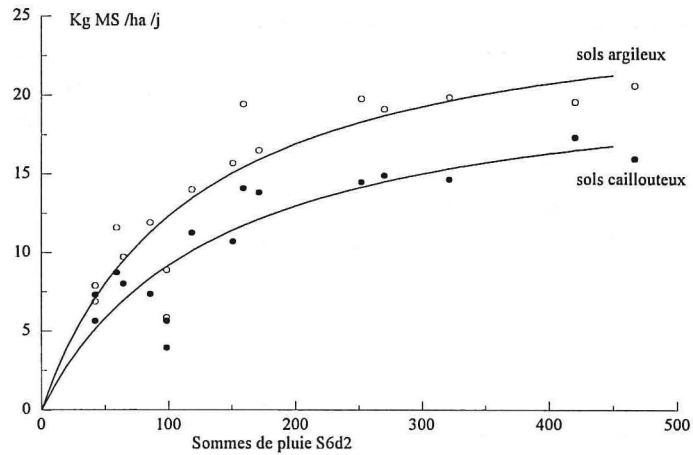


Figure 50 - Relations entre la production journalière de repousses et les sommes de pluies, modèle de Monod pour les deux groupes de végétation.

Un exemple peut être donné en observant les données de pluviosité recueillies à l'Adélé au cours de la période 84-91. Les variations inter-annuelles dans l'amplitude de la saison sèche peuvent être approchées en observant la figure 51.

Le diagramme décrit les périodes sèches de 84 à 91. Les niveaux d'eau pour chaque décade sont exprimés en sommes de pluies sur les 60 jours précédents. D'année en année, les phases descendantes des sommes de pluies sont assez homogènes tandis que l'on observe des décalages fort importants dans les dates de remontée. Pour le retour à un niveau donné, de 200mm par exemple, il y a pratiquement 50 jours de différence entre la période 89-90 et celle de 90-91.

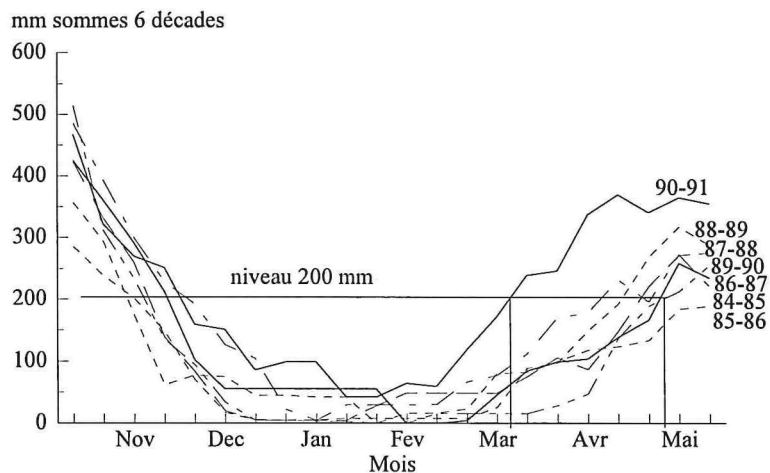


Figure 51 - Sommes des pluies de six décades entre 1984 et 1991 au ranch de l'Adélé.

En postulant que les relations développées plus haut (modèles de Monod) sont valables et en les appliquant aux observations de pluviosité des saisons sèches 89-90 et 90-91, on peut simuler (figure 52) les courbes d'évolution de la quantité de matière sèche journalière pour ces deux mêmes périodes et comparer ainsi deux situations extrêmes.

En moyenne, pour la période d'octobre à avril des deux années, les productions journalières prédites par les relations auraient été les suivantes (tableau 69):

Tableau 69 - Productions journalières moyennes de saison sèche estimées pour les années 89-90 et 90-91.

	Sols argileux	Sols caillouteux
	kg MS/ha/j	kg MS/ha/j
90-91	15,6	12,0
89-90	8,5	6,4

A surface égale, la charge que l'on pourrait admettre varie de près de 45% entre les deux années. On peut ainsi évaluer l'ordre de grandeur des variations que l'on risque d'observer et raisonner de façon plus concrète les surfaces à prévoir pour les animaux au cours de la période sèche. L'analyse de données sur de longues périodes permettrait de calculer des probabilités d'occurrence de durée de la saison sèche et aboutirait à mieux raisonner les schémas de chargement.

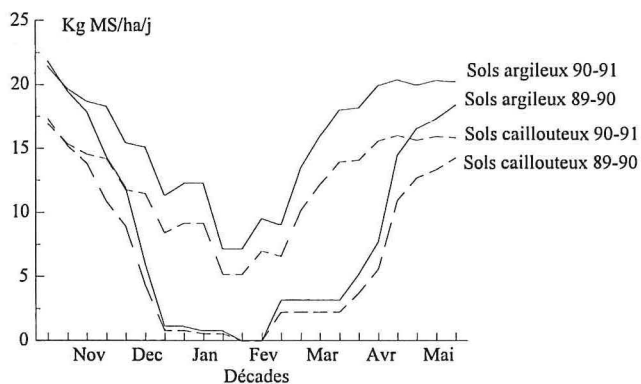


Figure 52 - Productions journalières de repousses simulées selon les sommes de pluies (s6d2) au cours des saisons sèches 89-90 et 90-91.

3.3. Relations entre la production de repousse et l'évapotranspiration

Les productions journalières observées dans la végétation savanicole de l'Adélé ont été confrontées aux différents paramètres que l'on peut dériver de l'évapotranspiration, l'ETR étant évalué selon la méthode décrite précédemment (cfr. II.1.4.).

Les différentes ETR calculées ont porté sur des réserves utiles (RU) de 50 à 200 mm, valeurs entre lesquelles on peut raisonnablement situer les types de sols rencontrés à l'Adélé et qui sont utilisées par Péguy (1970) dans ses comparaisons sur les variations de l'ETR mensuelle dans différentes régions du globe. Le graphique 53 présente les évolutions décadaires des principales ETR que l'on a ainsi calculées selon le modèle proposé par Eagelman (1971), en les comparant à l'ETP au long de la période des mesures de végétation.

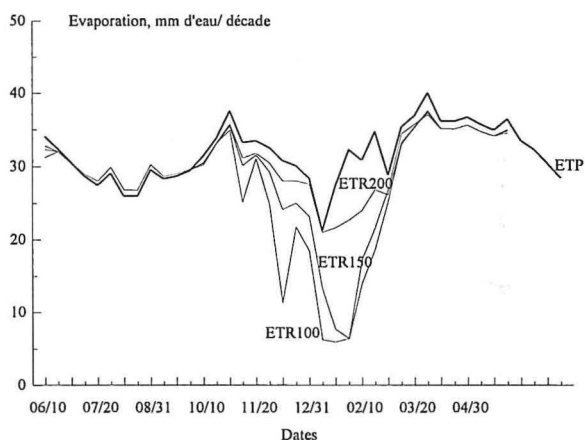


Figure 53 - Variations de l'ETR calculée pour des RU de 100, 150, 200 mm comparées à l'ETP en 90-91.

Les productions quotidiennes, calculées sur les fauches effectuées tous les 20 jours et sur lesquelles on a recalculé les moyennes décadaires pour chaque décennie et chaque classe, ont été confrontées aux valeurs décadaires d'ETR établies selon des réserves utiles de 50, 100, 120, 150, 200 mm.

Les corrélations (tableau 70) entre les productions journalières au cours de la décennie et les différents ETR $f(RU)$ vont en croissant. Elles sont les plus élevées pour des valeurs de réserve utile de 150 mm et décroissent au-delà. Les relations peuvent être considérées ici comme linéaires et sont d'une façon générale meilleures que celles obtenues précédemment en établissant des relations avec les sommes décadaires de pluies (s6d2) (figure 54).

Tableau 70 - Corrélations entre les productions quotidiennes observées dans les différentes classes et les valeurs d'ETR estimées selon des réserves utiles allant de 50 à 200 mm.

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	toutes classes
ETRf(RU) décadaire					
ETR ₅₀	0,515	0,252	0,415	0,537	0,478
ETR ₁₀₀	0,686	0,438	0,590	0,683	0,655
ETR ₁₂₀	0,738	0,535	0,676	0,757	0,734
ETR ₁₅₀	0,794	0,637	0,749	0,830	0,811
ETR ₂₀₀	0,680	0,486	0,636	0,748	0,686

Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts

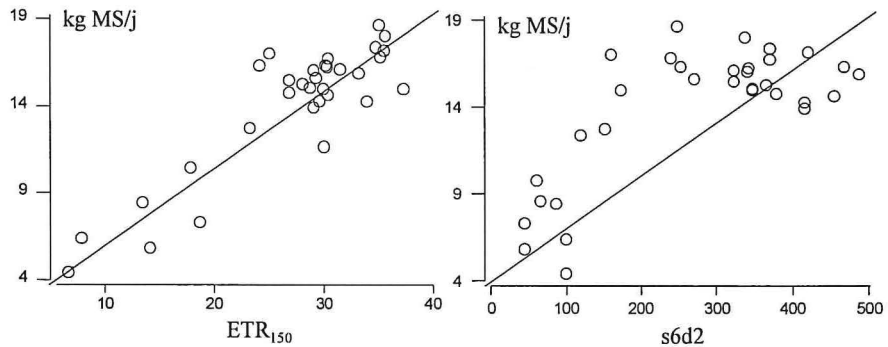


Figure 54 - Relation entre la production journalière moyenne et l'évapotranspiration (ETR₁₅₀) ou les sommes de pluies (s6d2).

Il n'apparaît pas de différences nettes entre les classes de pâturage alors que l'on aurait pu s'attendre à des réponses différentes pour celles couvrant les sols caillouteux ou superficiels liées à des RU plus faibles. Ne disposant d'aucune mesure particulière pour étayer une explication, on ne peut que constater et se dire que l'on compare ici différentes végétations sur différents sols et que, sur base d'une RU fixée, l'adaptation des espèces botaniques composant les différentes classes se traduira par des réponses à l'ETR (pente et ordonnée à l'origine) différentes.

A l'instar de ce qui avait été effectué pour les pluies décadaires, les ETR₁₅₀ ont été progressivement sommées sur les décades précédant celles de la mesure de productivité (tableau 71).

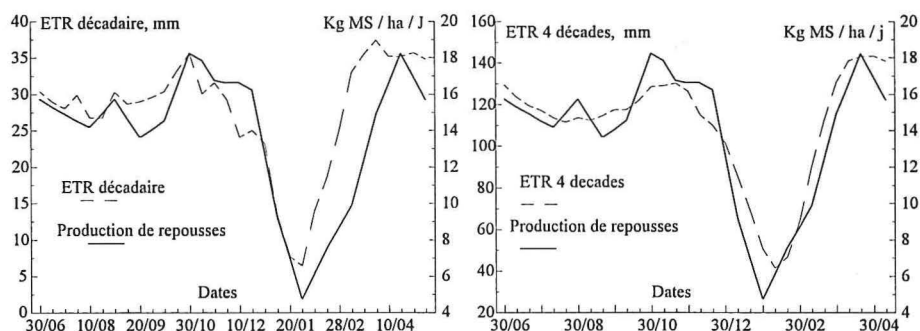
Tableau 71 - Corrélation entre les production journalières et des sommes décadaires d'ETR₁₅₀.

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Moy. 4 classes
Sommes d'ETR					
2DETR ₁₅₀	0,846	0,734	0,800	0,886	0,877
3DETR ₁₅₀	0,885	0,809	0,841	0,914	0,924
4DETR ₁₅₀	0,900	0,856	0,862	0,916	0,946

Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts

L'effet des sommations est présenté dans les graphiques de la figure 55. En période pluvieuse, la sommation induit un lissage de la courbe d'ETR, les variations décadaires apparaissent moins bien liées, la courbe continue cependant de traduire le niveau général de la productivité et notamment l'abaissement lié à la petite saison sèche (passage au solstice, diminution de l'ensoleillement).

En période sèche, la décroissance de l'ETR décadaire s'ajuste bien à l'abaissement général de la vitesse de repousse. Dans la phase de remontée, la réponse est retardée, ce qui tendrait à indiquer que le modèle d'Eagleman devrait différencier les périodes d'assèchement et de réhumectation du sol. La sommation sur 4 décades réduit le décalage entre les courbes, ce qui conduit à une meilleure corrélation.



Figures 55 - Relations entre la production journalière et l'ETR décadaire (a) ou la somme de 4 décades d'ETR (b).

Les régressions linéaires que l'on peut établir pour les différentes classes entre d'une part, la production journalière de repousse au cours de la décade et d'autre part, les sommes d'ETR sur 4 décades sont caractérisées par les paramètres suivants (tableau 72) :

$$y = a \times 4dETR_{150} + b$$

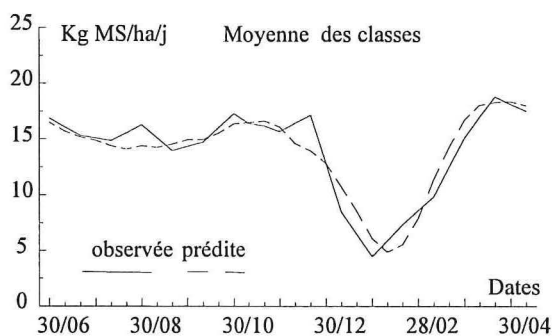
avec y = productivité journalière (kg MS/ha/j)

Tableau 72 - Paramètres des droites reliant la production journalière des différentes classes à la somme sur 4 décades de l'ETR calculée pour une RU de 150 mm.

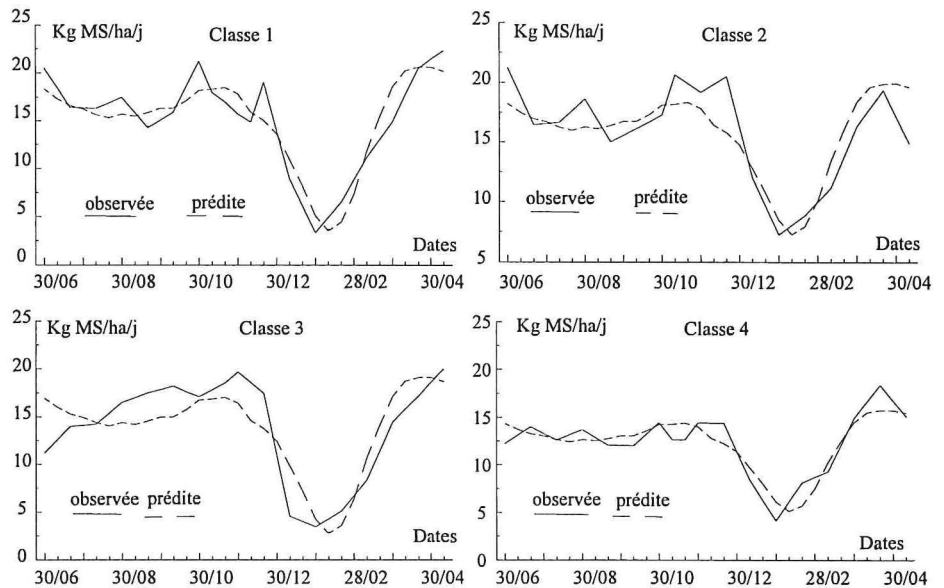
Classes	n	a	b	r ² %	S _{y,x} kg MS/ha/j
Classe1	32	0,165	-3,089	86,5	1,84
Classe2	32	0,118	2,810	73,2	2,02
Classe3	30	0,160	-3,491	79,8	2,31
Classe4	32	0,104	0,825	83,9	1,29
moyenne générale	32	0,132	-0,598	89,6	1,28

Classe 1, végétations sur sols rouges argileux profonds; Classe 2, végétations sur sols bruns ou brun rouge de transition; Classe 3, végétations sur sols bruns superficiels; Classe 4, végétations sur sols squelettiques et sols minéraux bruts.

L'évolution des productions journalières prédites et observées pour la moyenne générale et pour les différentes classes est présentée à la figure 56.



Figures 56 - Production journalière de repousses observée et simulée selon l'ETR pour la moyenne générale.



Figures 56 - Productions journalières de repousses observées et simulées selon l'ETR pour les 4 classes.

On doit également relativiser ici la validité de ces régressions qui n'ont pu être établies que sur une seule année. On constate toutefois que sur un plan général, les variations et les niveaux de productivité journalière des différentes classes sont bien décrits. La classe 3, végétations de sols superficiels, est moins bien prédite. La relation n'est toutefois établie que sur les moyennes de 2 placeaux.

En postulant de même que les relations sont valables et en utilisant les données d'ETR calculées pour des RU_{150} collectées entre janvier 89 et décembre 91 dans ces différentes relations, on peut construire le diagramme repris à la figure 57 qui simule les variations saisonnières de la productivité que l'on aurait dû observer au cours de cette période pour les différentes classes de végétation.

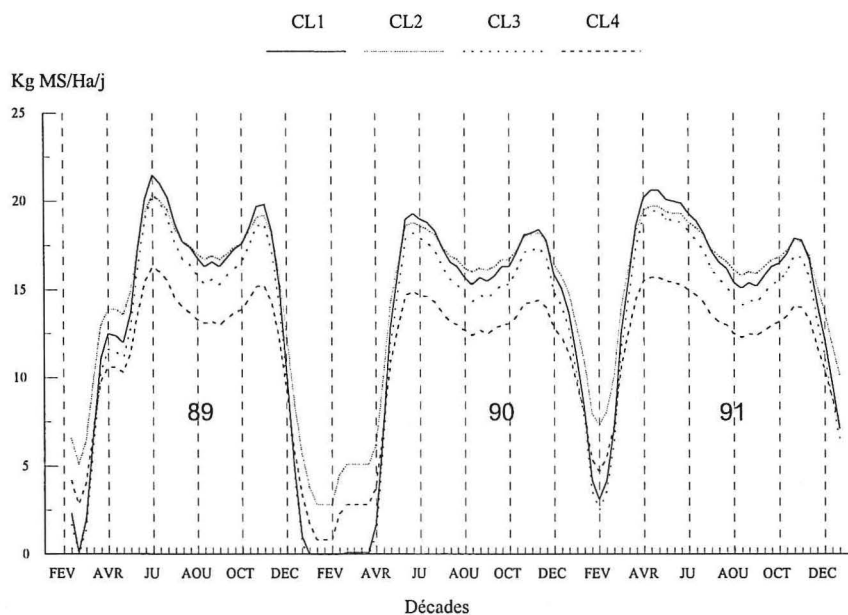


Figure 57 - Simulation de la production journalière de repousse en fonction de l'ETR pour les classes de végétation définies pour l'Adélé au cours de la période 1989-1991.

On peut imaginer l'intérêt de l'intégration de relations de ce genre dans un système d'information géographique qui décrirait pour un territoire d'élevage les potentialités de croissance de divers types de pâturage et pour chaque paddock, l'excès ou le déficit de chargement en bétail. L'outil ainsi créé, utilisé en tant qu'indicateur général, aiderait à percevoir rapidement les problèmes de façon spatiale, à concevoir les modifications de répartition du cheptel ou la nécessité de compléter l'alimentation des animaux.

V. Valeur alimentaire des parcours naturels de l'Adélé

1. Introduction

La productivité des parcours de savane conditionne la charge animale que l'on peut appliquer à la végétation. La transformation de ce potentiel en produits animaux est quant à elle dépendante de la valeur alimentaire du fourrage qui est ingéré par les animaux.

Les échantillons d'herbe collectés à l'Adélé sur les placeaux d'observation décrits précédemment permettent d'évaluer cet aspect qualitatif de la végétation naturelle.

2. Résultats obtenus par les différentes méthodes d'analyse

2.1. Analyses de référence

Les valeurs obtenues sur le lot d'échantillons sélectionnés sont décrites au tableau 73 en termes de valeurs minimale, maximale, moyenne, coefficient de variation (V) de la population d'échantillons et écart-type de répétabilité (s) de la méthode pour ce qui concerne les différents paramètres alimentaires étudiés par les méthodes classiques.

Tableau 73 - Caractérisation des valeurs obtenues par les méthodes de référence.

Critères	Unités	n	Min.	Max.	Moy.	V%	s
CT	%MS	78	4,15	11,68	7,99	21,12	0,12
MAT	%MS	78	2,02	11,22	6,44	37,62	0,09
EB	Mj/kg MS	50	17,03	18,27	17,61	1,84	0,09
C	%MS	50	42,62	46,14	44,52	2,06	0,14
H	%MS	50	2,78	6,44	4,51	28,25	0,23
N	%MS	50	0,46	1,94	1,16	35,63	0,18
NDF	%MS	78	59,30	77,47	66,81	7,03	0,35
ADF	%MS	78	32,91	51,10	40,10	11,88	0,43
ADL	%MS	78	3,61	9,41	5,55	27,78	0,20
CB	%MS	78	27,97	43,28	34,61	11,25	0,29
casedMO	%MO	77	17,82	55,66	38,76	25,50	0,98
ttMS	%MS	50	26,12	57,02	44,90	17,81	1,53

CT = cendres totales, MAT = matières azotées totales, EB = énergie brute de la matière sèche, C, H, N, = teneurs en carbone hydrogène et azote de la matière sèche, NDF = neutral Detergent Fiber, ADF = Acid Detergent Fiber, ADL = Acid Detergent Lignin, CB = cellulose brute, casedMO = digestibilité cellulase de la matière organique, ttMS = digestibilité Tilley et Terry de la matière sèche, V = coefficient de variation en %, s = écart-type de répétabilité en unités du constituant.

2.2. Relations entre l'énergie brute et les teneurs en carbone, hydrogène et azote élémentaires

L'énergie brute est le paramètre de départ dans la détermination de la valeur énergétique de l'aliment. La mesure à la bombe calorimétrique n'étant pas toujours accessible en analyse de routine, diverses équations ont été proposées pour estimer la teneur en EB au départ des constituants chimique de l'aliment :

$$EB = (0,024 \times MAT + 0,020 \times CB + 0,017 \times ENA) \text{ Mj/kg MS (1)}$$

d'après Schieman *et al.* (1971), calcul de l'EB adapté au cas de l'herbe (Tables hollandaises 1993), les constituants étant exprimés en g/kg MS, l'ENA étant l'extractif non azoté.

$$EB = (19,01 + 0,008 \times MAT_o)(1000 - CT)/1000 \text{ Mj/kg MS (2)}$$

d'après Xandé et Garcia-Trujillo (1985), avec MAT_o exprimée en g/kg MO et CT en g /kg MS.

Les régressions entre les valeurs obtenues à la bombe et les valeurs prédites selon ces équations sont caractérisées au tableau 74.

Tableau 74 - Relations entre les mesures à la bombe et les prédictions selon les équations Schieman *et al.*, 1971(1), ou Xandé et Garcia-Trujillo 1985(2).

Equation	r ²	S _{v,x}
1	40,0	0,24
2	55,8	0,21

Les teneurs en C, H, N élémentaires ayant été déterminées pour chacun des 50 échantillons brûlés dans la bombe calorimétrique, la relation que l'on peut établir à l'aide de ces constituants est caractérisée par un coefficient de détermination supérieur, (r² = 82,6) et un écart-type résiduel de prédiction amélioré, (0,13). L'équation s'établit de la façon suivante:

$$EB = 1,138 + 0,352 \times C + 0,096 \times H + 0,331 \times N \text{ Mj/kg MS,}$$

les constituants élémentaires étant exprimés en % de la matière sèche. Bien que la régression n'ait pas été validée sur un lot d'échantillons externes, il apparaît que la technique C-H-N permet d'une part, une estimation de l'EB plus rapide et plus simple que la détermination à la bombe et d'autre part, plus précise que celles établies à partir des principaux constituants du fourrage.

2.3. Relations entre les méthodes d'estimation *in vitro*

Sur les 48 échantillons analysés ici par les méthodes de référence, les corrélations qui s'établissent entre les constituants et l'une ou l'autre méthode *in vitro* sont détaillées au tableau 75.

En matière de digestibilité "*in vitro* jus de rumen" de fourrages naturels de savane, Cilliers et van der Merwe (1993) a comparé 77 échantillons de prairies à *Cymbopogon* et *Themeda* en Afrique du Sud. Il aboutit à des conclusions similaires à celles obtenues ici en ce qui concerne les corrélations entre la digestibilité "jus de rumen" et les teneurs en MAT et ADF.

Tableau 75 - Corrélations sur les échantillons de référence n=48, entre les constituants du fourrage déterminés par les analyses de référence et les valeurs de digestibilité *in vitro* obtenues selon les deux méthodes.

Paramètres	MAT	NDF	ADF	ADL
ttMS	0,81	-0,79	-0,87	-0,91
CasedMO	0,81	-0,86	-0,91	-0,90

corrélations établies par Cilliers et van der Merwe (1993) n=77

ttMS	0,82	-0,86		
------	------	-------	--	--

En ce qui concerne les deux méthodes *in vitro* testées, elles apparaissent dans leurs corrélations aux constituants du fourrage très similaires, voire meilleures (NDF, ADF) pour la technique à la cellulase, ce qui laisserait présager pour les fourrages tropicaux une qualité de prédiction de la digestibilité *in vivo* au moins équivalente pour la technique à la cellulase.

En analyse classique, pour des raisons de rapidité, de facilité et de reproductibilité, les méthodes à la cellulase sont de plus en plus souvent préférées à la technique au jus de rumen. Pour estimer la dMO que l'on aurait mesurée sur l'animal, il faut pouvoir disposer d'une relation établie sur une base suffisamment large liant les valeurs *in vivo* à la détermination *in vitro*. Pour les fourrages tropicaux, les relations actuellement disponibles sont pour la plupart établies selon une détermination "jus de rumen". A défaut de pouvoir établir une relation selon le paramètre mesuré par la méthode cellulase, on a tiré parti des relations qui existent entre ces deux techniques et déterminé les termes d'une équation qui permettraient de passer de la valeur "cellulase" mesurée selon Aufrère à la valeur mesurée selon Tilley et Terry.

Les deux méthodes *in vitro*, jus de rumen (Tilley et Terry, 1963) et pepsine-cellulase (Aufrère, 1982) sont bien corrélées ($r = 0,95$). La régression entre les

valeurs ttMS et casedMO obtenues sur 46 échantillons analysés selon les deux méthodes est hautement significative ($p < 0,001$). Le modèle:

$$ttMS = 11,9 + 0,850 \text{ casedMO}$$

est caractérisé par un coefficient de détermination de 90,5% et permet une estimation de la digestibilité selon Tilley et Terry avec un écart résiduel de 2,58. La figure 58 illustre cette régression.

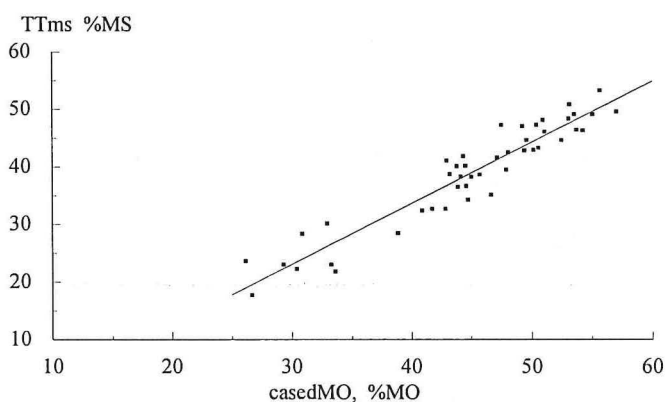


Figure 58 - Relation entre les valeurs de digestibilité estimées selon les deux méthodes : cellulase (case dMO) et digestibilité Tilley et Terry (ttMS).

L'estimation de la digestibilité Tilley et Terry par le biais d'une régression doit être toutefois considérée comme un moindre mal; il serait préférable que des relations directes puissent être établies comme pour les fourrages tempérés. Les travaux menés sur ces derniers (Deboever, 1988; Aufrère et Michalet Doreau, 1988) montrent que l'on obtient généralement par les techniques cellulase un gain de 1,2 point dans l'écart-type résiduel de prédiction.

2.4. Caractérisation des modèles de prédiction en spectrométrie dans le proche infrarouge

Les modèles qui ont été établis sur les valeurs de réflexion dans le proche infrarouge sont caractérisés selon les paramètres définis plus haut de la manière suivante (tableau 76):

Tableau 76 - Caractéristiques des calibrages établis dans la technique de spectrométrie proche infrarouge pour les différents constituants du fourrage.

Critères	n	Moyenne	SE _c	R ² _c	SE _{cv}	R ² _{cv}	Termes PLS
CT	76	7,95	0,80	0,77	0,95	0,69	4
MAT	78	6,44	0,43	0,97	0,48	0,96	3
CB	78	34,61	0,74	0,96	0,87	0,95	5
NDF	78	66,81	1,12	0,94	1,27	0,93	5
ADF	78	40,11	0,99	0,96	1,21	0,94	5
ADL	78	5,55	0,41	0,93	0,59	0,85	7
CasedMO	77	38,76	2,23	0,95	2,64	0,93	5
ttMS	49	45,64	1,41	0,97	2,09	0,94	5
EBms	48	17,60	0,12	0,86	0,16	0,77	7

Les relations entre les valeurs observées et les valeurs prédites sont présentées à la figure 59 par une série de graphiques opposant les valeurs sur les deux axes.

Comparés aux modèles antérieurs sur des fourrages tropicaux plus divers (Hellemans *et al.*, 1990), ils présentent une amélioration sensible des écarts résiduels.

Ces modèles sont d'une façon générale fort précis, atteignant des valeurs tout à fait comparables à celles obtenues par Biston et Dardenne (1985) sur des fourrages tempérés. L'énergie brute apparaît également ici comme un paramètre intéressant à calibrer. La précision (0,16 Mj/kg MS) est équivalente à celle obtenue par la régression des constituants C,H,N et elle représente 2 fois la répétabilité de la mesure de référence à la bombe. Les différents calibrages que l'on a pu établir montrent l'intérêt de la technique SPIR pour la détermination rapide et peu coûteuse d'un ensemble de paramètres de qualité sur des populations importantes, à partir de la sélection d'échantillons les plus représentatifs. La qualité des modèles peut ici être attribuée à une sélection optimale de la variabilité spectrale et à la méthode de régression PLS. Aucott (1990), Shenk et Westerhaus (1991) comparent différentes techniques de régression et démontrent la supériorité de la méthode PLS.

La qualité des mesures de référence importe également beaucoup. Dans un modèle SPIR, la variance résiduelle de prédiction est la somme de la variance propre à la méthode infrarouge et de la variance liée à la méthode de référence.

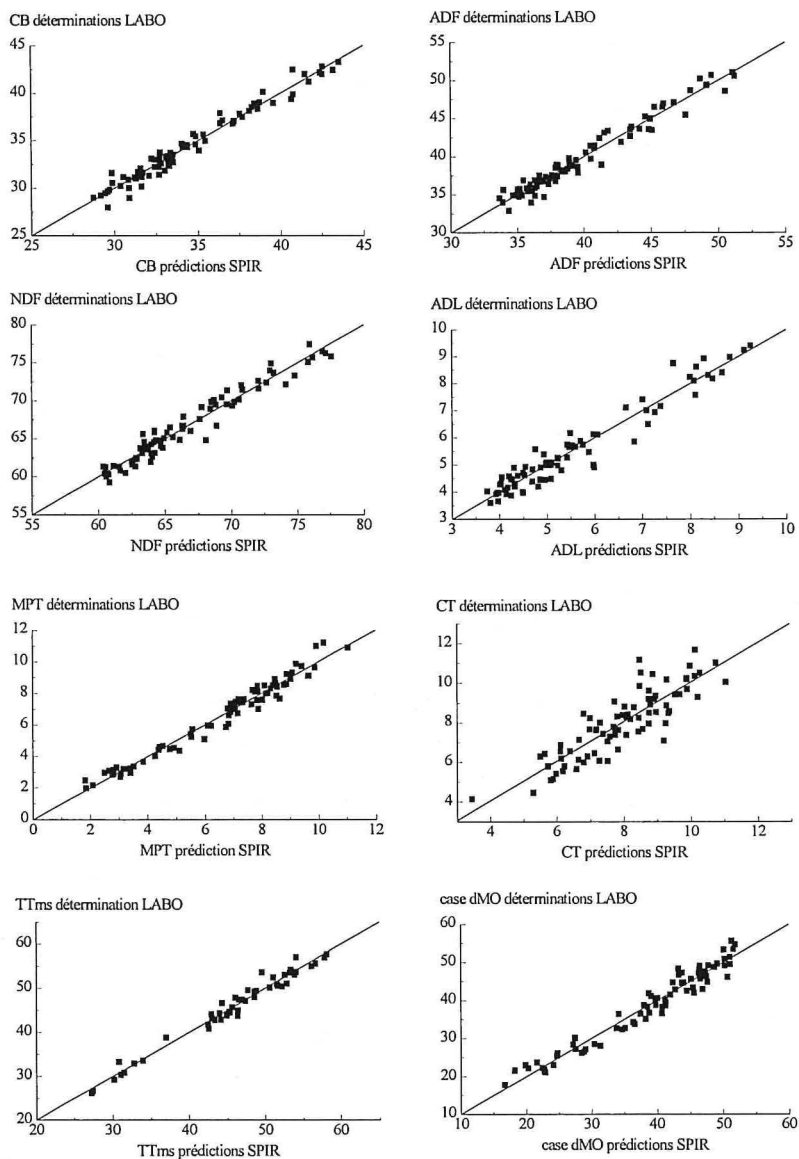


Figure 59 - Relations entre les valeurs observées selon les méthodes analytiques de référence et les valeurs prédites en spectrométrie dans le proche infrarouge.

Une caractéristique complémentaire de la technique SPIR n'apparaissant pas ici mais largement démontrée dans les tests circulaires et les systèmes en réseau (Dardenne, 1991; Westerhaus, 1990), est la très haute reproductibilité qu'elle peut avoir dans le temps ou en différents lieux et l'intérêt que présente ce facteur

lorsque l'on souhaite développer un équipement de routine ou de recherche dans des régions où les intrants nécessaires à l'analyse classique sont difficilement accessibles.

Les modèles ainsi établis ont ensuite permis une prédiction pour chacun des échantillons de tous les paramètres nécessaires à l'établissement de la valeur alimentaire selon les normes définies plus haut.

3. Variations de la valeur alimentaire du fourrage

Les échantillons disponibles couvrent une large plage de variations que l'on peut lier à des critères de classes de pâturage, d'âge de la repousse au moment de la fauche et de saison. Les valeurs prédites par la spectrométrie dans le proche infrarouge et celles obtenues par calcul sont décrites dans leur ensemble puis selon ces différents critères particuliers.

3.1. Caractérisation générale des paramètres de la valeur alimentaire

Les valeurs obtenues pour l'ensemble des échantillons de repousses et biomasses collectés au ranch de l'Adélé au cours de l'année 90-91, sont résumées dans les tableaux 77 et 78.

Elles sont classées selon qu'il s'agit de placettes A, B, C ou D correspondant à des âges de repousse de 20, 35, 50 et 65 jours ou de biomasses de fin de végétation. Elles sont représentées par la moyenne et l'amplitude (min. - max.).

3.1.1. Constituants chimiques, énergie brute, digestibilité *in vitro*

Le tableau 77 concerne les constituants chimiques, l'énergie brute et la digestibilité de la matière sèche. Les cendres totales (CT) donnent une estimation indirecte de la quantité de matière organique présente dans la matière sèche. En valeurs moyennes, elles diminuent selon l'âge des repousses; elles sont encore plus basses pour les biomasses. L'azote exprimé sous forme de matières azotées totales (MAT), (azote \times 6,25) apparaît comme un des principaux facteurs limitant la qualité de l'herbe. Les teneurs sont d'une manière générale faibles, le maximum observé est de 11%. La teneur moyenne diminue avec l'âge des repousses, mais peut également être faible pour des fauches à 20 jours.

Les constituants pariétaux, exprimés par la cellulose de Weende (CB) ou les fractions du schéma analytique de van Soest (NDF, ADF, ADL), permettent de décrire les différentes fractions fibreuses du fourrage. Le paramètre CB est la mesure classiquement pratiquée pour exprimer la teneur en fibres brutes. Elevée, même pour de jeunes pousses, elle n'est jamais inférieure à 28,8 %. Il y a peu d'évolution selon l'âge, les variations à l'intérieur d'une même classe d'âge sont

par ailleurs importantes. Le fractionnement selon la technique de van Soest en NDF, ADF, et ADL permet de distinguer la fraction hémicellulosique (HEMIC), différence entre NDF et ADF et la lignine exprimée par la teneur en ADL. Dans l'ensemble, les fibres totales exprimées par l'NDF représentent une part fort importante (64 à 65%) des constituants chimiques de la matière sèche, l'amplitude la plus grande s'observant dans les fauches à 20 jours soit 58,4 à 73,6%. En moyenne, selon les catégories de fauche l'évolution est faible. Les hémicelluloses représentent à tous les stades une fraction nettement plus importante que les valeurs que l'on observe pour des fourrages tempérés. Elles sont généralement du même ordre, 26%, que celles que l'on observe pour une paille de blé (Jarrige, 1978).

La lignine (ADL), présente à des taux variant entre 3,3 et 7,1%, croît légèrement avec l'âge pour atteindre 8,1% en moyenne des biomasses mesurées en fin de cycle de végétation.

L'énergie brute (EB) oscille entre 16,4 et 18,6 Mjoul/kg MS et ne paraît pas évoluer avec l'âge. La digestibilité de la matière, exprimée par le paramètre prédit digestibilité *in vitro* de la matière sèche selon Tilley et Terry (ttMS), et la valeur calculée du coefficient d'utilisation digestive de la matière organique, (dMO) diminue en valeur moyenne avec l'âge de la repousse. L'amplitude est également fort large dans les classes de repousses jeunes, soit près de 14 points de variation pour des repousses de 20 jours.

Etablies cette fois sur l'ensemble des repousses (n = 347), les corrélations que l'on peut observer entre valeurs prédites pour les différents constituants et la digestibilité *in vitro* sont reprises au tableau 79.

Tableau 79 - Corrélations entre les constituants de la matière sèche des fourrages et la digestibilité *in vitro*.

	CT	CB	ADF	ADL	NDF	MAT
CB	-0,39					
ADF	-0,35	0,92				
ADL	-0,18	0,56	0,75			
NDF	-0,29	0,89	0,90	0,62		
MAT	0,44	-0,21	-0,28	-0,37	-0,02	
ttMS	0,47	-0,52	-0,64	-0,65	-0,39	0,60

Ces coefficients de corrélation sont moins importants que dans le tableau 77. Ils varient néanmoins dans le même sens : la digestibilité *in vitro* au jus de rumen est corrélée négativement à la teneur en lignine (ADL), $r = -0,65$; elle est également corrélée à l'ADF ($r = -0,64$), paramètre incluant la lignine. Le second constituant dans l'importance des corrélations est la MAT ($r = 0,60$). Ensemble,

les deux paramètres traduisent implicitement l'effet positif de la teneur en matières azotées totales sur l'activité des bactéries du rumen (mesurée ici *in vitro*) et l'effet négatif de la lignine sur l'accessibilité et la digestion des fibres. Les corrélations calculées entre les autres constituants expriment de façon générale les relations existant entre les divers modes d'expression de la fraction fibreuse du fourrage.

Pour caractériser les sources de variation affectant les différentes valeurs moyennes exprimées dans les tableaux 77 et 78, une analyse selon la procédure GLM, modèle linéaire général, du logiciel MINITAB (1991) a été effectuée en comparant les valeurs des repousses selon les 4 classes de pâturage décrites précédemment et selon les 4 types de placettes correspondant au rythme de fauche. Avec toutes les réserves qu'il faut apporter pour une telle analyse réalisée sur des effectifs inégaux à l'intérieur de chaque niveau des facteurs, les analyses en GLM ne sont utilisées ici que pour exprimer sur l'ensemble des échantillons l'importance (valeur F) de la part de variation sur chacun des constituants qui peut être liée à chacun des deux facteurs.

Les valeurs reprises au tableau 80 donnent pour chaque constituant de l'herbe la moyenne estimée selon le modèle, les valeurs de F et la probabilité associée au facteur. Avec une valeur F = 96,99, la matière azotée (MAT) apparaît comme le critère le plus influencé par l'âge de la repousse; viennent ensuite selon ce même facteur la digestibilité *in vitro* (ttMS) et la teneur en cendres totales (CT) F = 48,60. Les fibres (NDF, ADF, ADL, CB) évoluent selon l'âge dans des proportions moindres.

Selon le facteur classes de pâturage, les cendres totales et l'énergie brute (EBMS) sont les critères où la variation est la plus grande, la classe 4 comprenant les sols squelettiques et minéraux apparaît comme ayant des teneurs en cendres plus basses et une teneur en énergie brute plus élevée, ce qui va de pair. Pour cette même classe, les fibres (NDF) apparaissent plus élevées et la digestibilité *in vitro* diminue légèrement.

Tableau 77 - Composition chimique, énergie brute et digestibilité des biomasses et des repousses.

Age	Valeurs énergétiques en UF						Valeurs azotées			
	CT %MS	MAT %MS	CB %MS	NDF %MS	ADF %MS	ADL %MS	HEMIC %MS	EB Mj/kg MS	ttMS %MS	dMO %MO
<u>20 jours</u>	(n=166)									
moy.	8,7	8,4	32,1	64,2	36,9	4,6	27,2	17,54	52,1	57,7
min. - max.	5,5 - 12	5,6 - 11,0	28,8 - 38,9	58,4 - 73,6	33,1 - 43,9	3,3 - 7,1	21,9 - 31,4	17,10 - 18,29	41,3 - 60,4	50,1 - 63,6
<u>35 jours</u>	(n=88)									
moy.	8,3	7,2	32,7	64,5	37,7	4,7	26,8	17,64	49,5	55,2
min. - max.	4,2 - 10,9	4,8 - 9,2	28,8 - 39,3	57,5 - 73,2	34,5 - 44,9	3,2 - 6,6	23,0 - 28,3	16,99 - 18,56	39,1 - 56,8	49,3 - 60,6
<u>50 jours</u>	(n=61)									
moy.	8,2	6,9	32,9	64,7	37,9	4,9	26,8	17,69	47,7	54,4
min. - max.	5,3 - 10,8	5,1 - 8,8	29,1 - 39,4	60,6 - 72,1	35,1 - 43,7	3,8 - 6,6	24,1 - 28,4	17,29 - 18,69	40,7 - 54,5	49,3 - 58,7
<u>65 jours</u>	(n=32)									
moy.	8,1	6,2	33,4	65	38,6	5,1	26,4	17,61	46,1	53
min. - max.	5,1 - 10,8	4,4 - 7,8	30,0 - 38,3	60,8 - 70,2	35,1 - 42,8	4,0 - 6,1	25 - 27,4	17,04 - 18,24	39,6 - 52,4	49,5 - 57
<u>biomasses</u>	(n=32)									
moy.	7,7	2,9	38,3	70,6	44,9	8,1	25,7	17,37	32,7	41,7
min. - max.	6,0 - 10,9	1,9 - 4,1	35,7 - 41,5	67,4 - 74,8	41,2 - 48,7	6,6 - 9,3	26,2 - 26,1	16,36 - 17,99	25,0 - 41,4	35,2 - 48,7

Tableau 78 - Valeurs alimentaires calculées selon divers systèmes d'estimation.

Age	Valeurs énergétiques en UF			Valeurs azotées						
	UF (holl) /kg MS	UFL _{Dieng} /kg MS	UFL _{INRA} /kg MS	PDIA g/kg MS	PDIM _N g/kg MS	PDIM _E g/kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	MAD _{Dieng} g/kg MS	MAD _{INRA} g/kg MS
20 jours										
moy.	0,63	0,64	0,68	31	23	47	54	77	43	48
min. - max.	0,45 - 0,73	0,52 - 0,47	0,57 - 0,76	20 - 40	15 - 30	41 - 51	36 - 71	61 - 91	15 - 69	22 - 72
35 jours										
moy.	0,63	0,59	0,66	26	20	46	46	72	31	37
min. - max.	0,46 - 0,72	0,48 - 0,67	0,57 - 0,72	18 - 34	13 - 25	38 - 50	31 - 59	60 - 82	7 - 51	15 - 53
50 jours										
moy.	0,63	0,57	0,64	25	19	44	44	69	28	34
min. - max.	0,47 - 0,72	0,50 - 0,65	0,57 - 0,69	18 - 32	14 - 24	41 - 48	32 - 56	61 - 77	10 - 57	17 - 51
65 jours										
moy.	0,61	0,54	0,62	23	17	43	40	66	21	28
min. - max.	0,47 - 0,69	0,47 - 0,61	0,57 - 0,67	16 - 28	12 - 21	41 - 47	28 - 50	57 - 71	3 - 37	11 - 42

Tableau 80 - Analyse (GLM) des variations de la constitution chimique et de la digestibilité des repousses selon les facteurs classes de végétation et placettes de fauche (âge de la repousse).

Constituants	Facteurs									
	Classes de végétation				Placettes de fauche					
	CI 1	CI 2	CI 3	CI 4	A	B	C	D		
CT	$F = 59,9$ $p = 0,000$	8,83	8,90	9,21	7,35	$F = 48,63$ $p = 0,000$	8,98	8,52	8,42	8,36
CB	$F = 18,5$ $p = 0,000$	32,6	31,9	32,2	33,6	$F = 4,61$ $p = 0,004$	32,1	32,5	32,7	33,2
ADF	$F = 13,52$ $p = 0,000$	7	9	7	7	$F = 8,16$ $p = 0,000$	4		1	5
ADL	$F = 13,52$ $p = 0,000$	37,5	37,1	37,3	38,5	$F = 8,16$ $p = 0,000$	36,9	37,5	37,7	38,4
ADL	$F = 1,41$ ns	8	6	7	9	$F = 12,11$ $p = 0,000$	6	3	7	2
NDF	$F = 1,41$ ns	4,80	4,72	4,74	4,85	$F = 12,11$ $p = 0,000$	4,55	4,66	4,83	5,06
NDF	$F = 19,69$ $p = 0,000$	64,4	63,6	64,0	65,7	$F = 0,63$ ns	64,3	64,2	64,4	64,7
MAT	$F = 1,65$ ns	0	3	1	4	$F = 0,63$ ns		5	5	9
ttMS	$F = 1,65$ ns	7,27	7,13	6,85	7,15	$F = 96,99$ $p = 0,000$	8,38	7,15	6,78	6,11
EBMS	$F = 14,41$ $p = 0,000$	49,1	50,6	49,9	47,6	$F = 48,63$ $p = 0,000$	52,7	50,1	48,1	46,3
EBMS	$F = 60,53$ $p = 0,000$	3	7	1	7	$F = 0,96$ ns	9	4	2	3
		4195	4186	4169	4261		4202	4201	4212	4195

CI 1 végétations des sols rouges profonds, CI 2 végétations des sols bruns, CI 3 végétations des sols superficiels, CI 4 végétations des sols squelettiques et minéraux

A : 20 jours B : 35 jours C : 50 jours D : 65 jours

3.1.2. Valeur énergétique de l'herbe

Le tableau 78 décrit (moyennes-amplitudes) les valeurs alimentaires établies dans le système UFL - PDI ainsi que les valeurs estimées selon les autres modes de calcul.

Les valeurs UFL_{INRA} décroissent en moyenne avec l'âge de 0,68 à 0,62, dans des proportions analogues à celles observées pour la digestibilité; elles sont également très variables pour des repousses de 20 jours, allant de 0,57 à 0,76.

Les valeurs établies selon la digestibilité *in vitro* et la teneur en matières azotées totales (UFL_{INRA}) peuvent être comparées avec celles établies selon l'ancien système UF_(holl) (Rivière, 1985), qui prend en compte les teneurs en cellulose brute et cendres totales ou selon le modèle (Dieng, 1991) lié à la teneur en matière azotée UFL_{Dieng} (figures 60 et 61). La valeur UF ancienne apparaît peu corrélée ($r = 0,33$) avec les valeurs UFL_{INRA}.

Le modèle UF_(holl) a été développé à partir de données concernant les graminées tempérées où les teneurs en cellulose brute évoluent de façon importante au cours de la croissance. Les teneurs élevées et peu variables en cellulose des fourrages tropicaux apparaissent (tableau 77) moins bien corrélées ($r = -0,52$) à la digestibilité *in vitro* que l'ADF qui tient compte de la teneur en

lignine. On peut conclure que, dans le cas des fourrages tropicaux, la cellulose brute et les cendres totales apparaissent de ce fait des prédicteurs mal adaptés à une estimation correcte de la valeur énergétique.

La prédiction établie sur les matières azotées totales seules (UFL_{Dieng}), apparaît mieux corrélée ($r = 0,71$) avec les valeurs UFL_{INRA} ; elle tend cependant de façon générale à sous-estimer la valeur UFL (figure 59). La corrélation $r = -0,57$ entre les différences de valeurs ($UFL_{INRA} - UFL_{Dieng}$) et la teneur en MAT indique que cette sous-estimation croît avec la diminution de la teneur en azote du fourrage. La figure 61 exprime par ailleurs la réduction de variabilité à laquelle on aboutit lorsque les prédictions ne sont établies que sur un seul critère de teneur en matières azotées totales, les points s'alignent sur la régression fonction de la MAT.

Le modèle développé par l'INRA inclut à la fois la teneur en matières azotées totales et un facteur lié aux fibres, tel que la digestibilité *in vitro* au jus de rumen. Il conduit ici à des valeurs qui nous paraissent plus réalistes, si l'on tient compte du fait qu'il est établi sur un nombre élevé d'expériences de digestibilité réalisées sur des fourrages tropicaux.

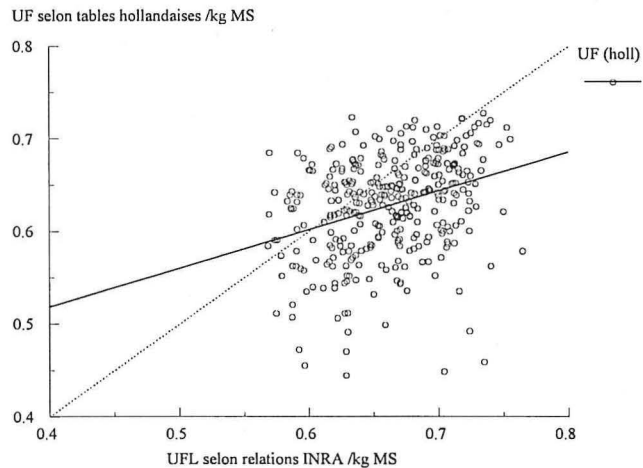


Figure 60 - Relation entre les valeurs énergétiques établies selon le modèle hollandais et les valeurs UFL calculées selon le modèle proposé par l'INRA.

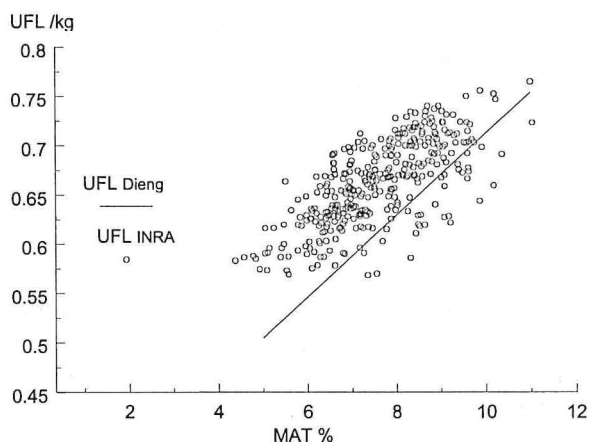


Figure 61 - Relations entre les valeurs énergétiques établies selon deux modes de calcul (UFL_{INRA} et UFL_{Dieng}) et la teneur en MAT.

3.1.3. Valeurs azotées de l'herbe

Les nouvelles estimations de la quantité de protéines digestibles dans l'intestin PDIA, PDIN, PDIE, permettent de caractériser la valeur azotée des fourrages selon les normes des systèmes actuellement utilisés en Europe. Avec toutes les réserves qui s'imposent quant à la validité des coefficients utilisés ici pour les calculer, elles permettent de décrire l'utilisation digestive des matières azotées totales de l'aliment, en relation avec l'énergie disponible au niveau du rumen. Les valeurs peuvent être comparées à l'expression classiquement utilisée auparavant en matières azotées digestibles (MAD) calculées selon des relations telles que celles proposées par Chenost (1975) ou Dieng (1991).

Dans les évaluations MAD, la valeur azotée est dévaluée de 11 à 16 g de matières azotées digestibles par kg de MS. La figure 62 présente l'écart par rapport à l'estimation en PDIN. Dans les deux cas présentés pour des teneurs en matière azotée élevée, les valeurs calculées sont équivalentes à la valeur PDIN; elles divergent par contre nettement pour les teneurs plus basses, ce qui tendrait à confirmer le fait que l'on sous-estime la valeur azotée dans le système MAD. On ne peut toutefois pas conclure à une estimation plus correcte selon le système PDI. Pour établir les valeurs PDI, la dégradabilité de la protéine est ici fixée à 53%; des études telles que celles menées par Ould Bah (1989) et Khamoun (1991) démontrent que d'une part, dans la technique *in sacco* la dégradabilité de l'azote peut être sous-estimée par les résidus de contamination bactérienne qui subsistent après lavage des sachets et ce tout particulièrement pour les fourrages pauvres en azote et que d'autre part, la dégradabilité peut varier selon l'âge du

fourrage ou le stade de développement de la plante. Cet aspect particulier sera envisagé au paragraphe III.5.

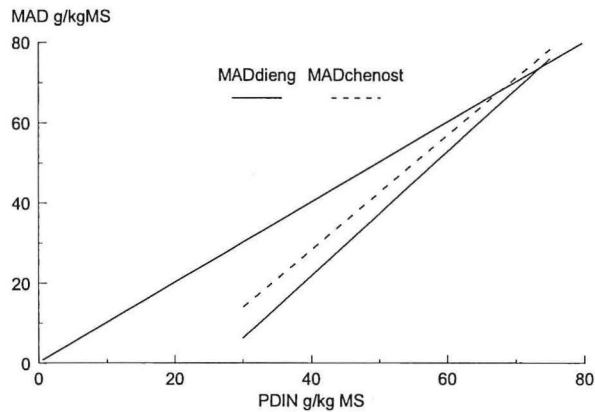


Figure 62 - Comparaison entre les valeurs PDIN et les valeurs MAD établies selon les relations proposées par Dieng (1991) ou Chenost (1975).

Bien qu'il apparaisse encore imparfait à ce stade des recherches, l'intérêt du système PDI réside dans le fait qu'il permet de comparer des valeurs PDIE et PDIN et exprime de façon explicite le déficit en azote des fourrages de savane naturelle en regard de l'énergie apportée au niveau du rumen (figure 63). Selon les valeurs décrites au tableau 78, le déficit évolue en moyenne entre des valeurs qui vont de 23 à 35 g de PDI par kg de MS. Etabli comme tel, le système procure au praticien une base de calcul raisonnable de la complémentation azotée qu'il faudrait apporter aux animaux pour qu'ils tirent un parti optimal de leur ingestion journalière de fourrages naturels. On peut supposer que l'animal adapte son comportement alimentaire et recherche au cours du broutement des fourrages susceptibles d'apporter le complément azoté nécessaire. Les ligneux de savane font à cet égard l'objet de nombreuses recherches (Arbelot, 1993; Fall, 1991; Ahn *et al.*, 1989).

L'urée (Mc Donald, 1989) pourrait par exemple être un complément de choix pour régulariser le besoin en azote dans le rumen. Dans les pays tropicaux, cette forme de complémentation est facilement accessible et peu coûteuse. L'urée est rapidement dégradée en ammoniacque dans le rumen; elle sera utilisée par les microorganismes et apportera l'équivalent de 1,47 g de PDIN par g, ce qui conduirait dans les conditions de déficit décrites plus haut à ajuster la complémentation quotidienne en urée à 40 g par 100 kg de poids vif. Son utilisation est toutefois fort délicate, voire dangereuse; la distribution doit être strictement limitée et complétement en minéraux. Dans un élevage en ranching cette pratique est peu applicable.

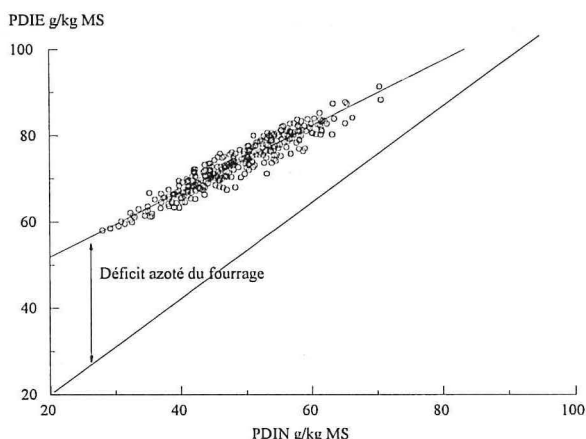


Figure 63.- Expression du déficit en protéines digestibles dans l'intestin par rapport à l'énergie apportée dans le rumen par les fourrages de savane.

3.1.4. Ingestibilité et valorisation potentielle de l'herbe

Les valeurs d'ingestibilité et de valorisation potentielle que l'on peut espérer sont décrites au tableau 81. Les valeurs Q_{ib} , exprimées en g de MS par kg de poids métabolique, des quantités que peut théoriquement ingérer un bovin au pâturage, diminuent relativement peu avec l'âge. L'amplitude la plus large est celle que l'on observe à l'intérieur de l'ensemble des repousses de 20 jours.

Cilliers (1993) propose une relation permettant de calculer les Q_{ib} ($g/kgP^{0,75}$) en tenant compte de la teneur en matières azotées totales et l'ADF:

$$Q_{ib} = 287,9 + 2,02 \times MAT - 4,14 \times ADF \quad (n=40 \text{ cv}=14,5\%).$$

La corrélation entre les valeurs calculées selon cette relation et celles calculées selon les termes proposés par Xandé *et al.* (1992) est bonne : $r = 0,79$. Les valeurs auxquelles on aboutit nous paraissent toutefois fort élevées, ce qui peut s'expliquer dans la mesure où l'expérimentation était conduite sur des vaches laitières à haut potentiel, lesquelles peuvent accroître fortement leur ingestion journalière en cours de lactation (Journet et Rémond, 1976). La relation conduirait ici à estimer l'ingestion d'un bon fourrage à 9,3 kg de MS pour un bovin standard de 250 kg, soit près de 50% plus élevée que la norme moyenne de 6,25 kg (2,5 kg/100 kg poids vif) communément admise (Boudet, 1984; NRC, 1980). On s'en tiendra donc aux estimateurs proposés par Xandé et Chenost.

En prenant ici un animal de référence de 150 kg, poids moyen d'un jeune mâle Ndama en pleine croissance, on a ensuite estimé pour chaque échantillon, compte tenu des valeurs UFL, PDIN et de l'ingestibilité, les quantités journalières d'énergie et de protéines qu'il était susceptible d'ingérer au pâturage.

Les histogrammes (figure 64 a et b) présentent pour les 4 âges de fauche les % de fréquences calculés sur les échantillons collectés à l'Adélé selon des classes de PDIN et UFL que peut ingérer un bovin de 150 kg. Les distributions se décalent vers les valeurs basses à mesure de l'augmentation de l'âge des repousses.

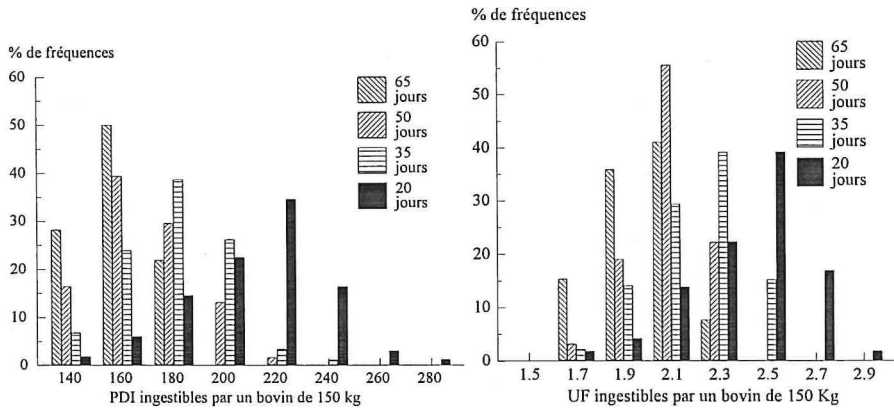
La figure 65 synthétise, pour l'ensemble des 347 échantillons de repousse, cette valorisation potentielle des fourrages de savane en projetant les valeurs dans des axes d'UFL et de PDI ingestibles et en reportant les niveaux de performance que l'on peut théoriquement en espérer.

Les histogrammes et le référentiel ainsi créés font clairement ressortir l'incidence de l'âge de la repousse sur sa valeur alimentaire et le fait que des croûts quotidiens de 200 à 400 g ne peuvent être obtenus que par l'exploitation de jeunes pousses. En saison des pluies, lorsque la croissance de l'herbe est relativement rapide, l'exploitation devra donc autant que possible être conçue pour entretenir cette jeune repousse par des pressions animales suffisantes. Au-delà, le fourrage perd rapidement de sa digestibilité et surtout de sa valeur protéique.

Les jeunes pousses n'ont toutefois pas toujours une valeur élevée ce qui a priori peut paraître paradoxal. On constatera plus loin que pour plusieurs types de pâturages la saison marque la qualité du fourrage.

Tableau 81 - Valorisation potentielle de la végétation naturelle par un bovin de 150 kg.

Ages	Qib	Ing150	UFLing	PDIing
	g/kg P ^{0,75}	kg MS/j	UFL/j	PDI/j
<u>20 jours</u>				
moy.	86	3,7	2,3	199
min. - max.	76 - 91	3,4 - 3,9	1,6 - 2,8	123 - 274
<u>35 jours</u>				
moy.	84	3,6	2,1	166
min. - max.	78 - 88	3,4 - 3,8	1,6 - 2,5	106 - 222
<u>50 jours</u>				
moy.	83	3,6	2	157
min. - max.	79 - 86	3,4 - 3,7	1,6 - 2,3	112 - 204
<u>65 jours</u>				
moy.	82	3,5	1,9	140
min. - max.	79 - 85	3,4 - 3,6	1,6 - 2,2	96 - 177



Figures 64 - Histogrammes représentant la répartition en classes de quantités de PDIN(a) et d'UFL (b) que peut ingérer un bovin de 150 kg.

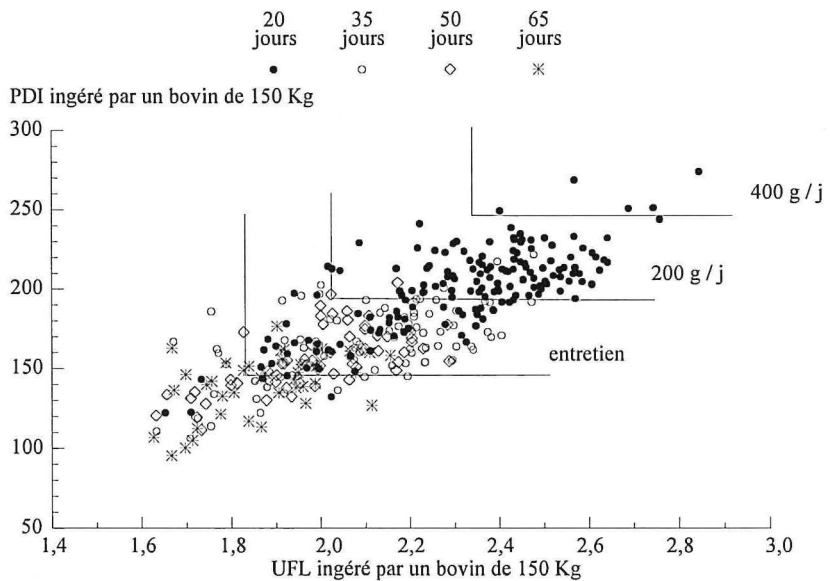


Figure 65 - Répartition des valeurs calculées sur les 347 échantillons collectés à l'Adélé selon les âges de repousse, les valeurs alimentaires et les niveaux de production potentielle d'un bovin de 150 kg.

3.2. Evolution de la valeur alimentaire selon l'âge de la repousse

Dans les précédentes descriptions, les moyennes par type de placette sont établies sur l'ensemble des données acquises au cours de l'année de mesure et

comprennent les effets saisonniers. Une description plus correcte de la façon dont la valeur alimentaire évolue avec l'âge est celle que l'on peut établir sur les premières fauches effectuées dans les placettes A, B, C et D au cours de la saison des pluies, à une époque où la croissance est normale.

Les données de l'analyse de 44 échantillons peuvent ainsi être extraites de l'ensemble et testées selon les facteurs : types de végétation décrits précédemment et âge de repousse. Le tableau 82 donne les valeurs F obtenues selon les deux critères et les moyennes ajustées que l'on peut établir pour chaque âge de fauche.

Pour ces premières repousses de saison des pluies (en moyennes des 4 âges), les différences liées aux classes de pâturage sont très faibles.

L'incidence de l'âge se marque peu sur les teneurs en fibres; elle apparaît importante pour la teneur en matières azotées totales et la digestibilité. La valeur UFL en est le reflet. Le déficit PDIN - PDIE évolue peu : il est de 23 à 24 g par kg MS. La décroissance dans les quantités de protéines et d'énergie ingérées quotidiennement est rapide et ne permettrait plus que des niveaux de production proches de l'entretien (figure 66). Les valeurs alimentaires calculées et le diagramme de valorisation potentielle confirment ce qui a été avancé précédemment concernant l'intérêt d'une exploitation organisée de jeunes repousses (20 à 35 jours) et d'une complémentation azotée permettant de relever l'ingestion azotée à un niveau équivalent à celui permis par l'énergie.

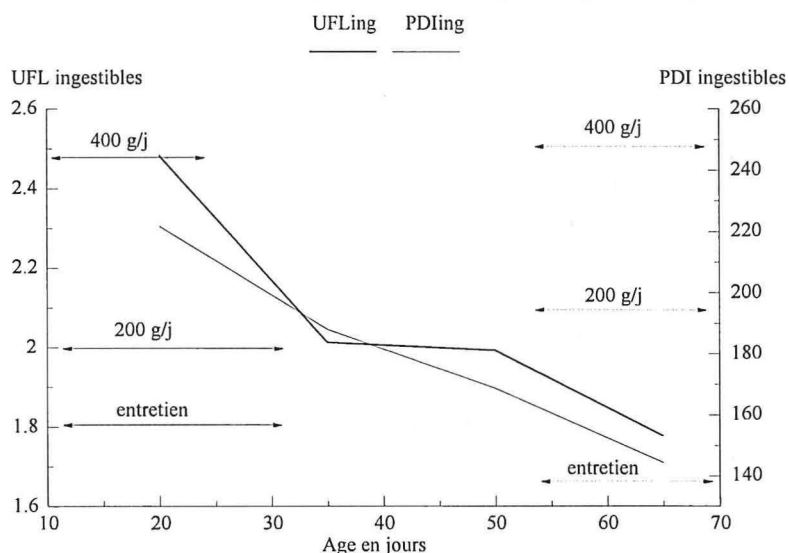


Figure 66 - Evolution des quantités d'UFL et PDI ingestibles par un bovin de 150 kg, selon l'âge de la repousse.

Tableau 82 - Evolution de la composition chimique et de la valeur alimentaire de l'herbe au cours de sa croissance.

Composition	NDF	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO
Valeurs F						
Classes	6,85 p=0,001	3,77 p=0,019	0,85 ns	0,20 ns	1,44 ns	1,25 ns
Age	0,33 ns	4,61 p=0,008	3,44 p=0,027	24,44 p=0,000	17,54 p=0,000	20,45 p=0,000
Moyennes						
20 jours	67,17	35,67	5,18	9,22	55,41	60,12
35 jours	66,87	38,61	5,02	8,16	46,82	54,48
50 jours	66,51	39,76	4,92	7,38	47,71	54,75
65 jours	67,65	39,49	5,64	6,54	43,84	51,65
Valeur alimentaire	UFL	PDIN	PDIE	ING150	UFing	PDling
Classes	1,30 ns	0,20 ns	0,56 ns	0,78 ns	0,96 ns	0,13 ns
Age	25,53 p=0,000	24,44 p=0,000	31,64 p=0,000	24,82 p=0,000	26,77 p=0,000	26,67 p=0,000
Moyennes						
20 jours	0,72	59	82	3,77	2,48	222
35 jours	0,63	52	74	3,60	2,01	188
50 jours	0,64	47	71	3,58	1,99	169
65 jours	0,59	42	66	3,49	1,78	144

3.3. Variations saisonnières de la qualité des repousses

En se limitant aux 131 échantillons de repousses fauchées après 20 jours et en classant en saison sèche ceux récoltés entre les mois de novembre et début mars, l'incidence de la saison se marque de la façon suivante (tableau 83).

La teneur en MAT est le constituant sur lequel la saison a l'effet le plus marqué. Les autres n'évoluent pas significativement. La diminution de la teneur en matières azotées totales se répercute sur la valeur azotée (PDIN, PDling); elle décroît de 10% en saison sèche.

Cette appréciation est très générale; elle peut être précisée en analysant séparément les données propres à chacune des saisons.

Tableau 83 - Evolution de la composition et de la valeur alimentaire selon les saisons (repousses de 20 jours).

Composition	NDF	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO
Valeurs F	2,87	0,01	0,79	27,68	1,28	3,57
	ns	ns	ns	p=0,000	ns	ns
Moyennes						
Saison des pluies	64,75	37,17	4,59	8,77	52,45	58,20
Saison sèche	64,06	37,20	4,68	7,84	51,64	57,29
Valeur alimentaire	UFL	PDIN	PDIE	ING150	UFing	PDIng
Valeurs F	1,85	27,68	16,24	8,58	3,94	24,17
	ns	p=0,000	p=0,000	p=0,004	p=0,049	p=0,000
Moyennes						
Saison des pluies	0,69	56,22	79,03	3,70	2,32	209
Saison sèche	0,68	50,24	75,29	3,66	2,24	185

3.3.1. Saison des pluies

En traitant les données issues des 76 placettes fauchées après 20 jours de repousse en saison des pluies (1ère série de placeaux), l'analyse GLM selon les 4 classes de végétation et les numéros des 7 coupes successives permet de comparer l'importance des variations pour les différents constituants selon ces deux critères. Les valeurs F et les moyennes ajustées pour chacune des classes sont décrites au tableau 84.

Selon les classes de végétation, mis à part les fibres (NDF,ADF) et la digestibilité *in vitro* (ttMS), pour lesquelles les classes 2 et 3 seraient légèrement meilleures, l'azote ne varie pratiquement pas et il n'apparaît pas de différence vraiment marquée entre les classes sur le plan de la valeur alimentaire. Pour chacun des constituants, les variations apparaissent plus importantes selon le critère numéro de coupe. Les valeurs moyennes pour chaque coupe sont décrites au tableau 85.

Tableau 84 - Variations de la composition et de la valeur alimentaire des repousses de 20 jours en saison des pluies.

Composition	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO	
Valeurs F						
Classes	14,25 p=0,000	10,95 p=0,000	2,07 ns	0,15 ns	5,57 p0,002	5,08 p=0,003
Coupe	14,73 p=0,000	14,03 p=0,000	7,89 p=0,000	8,75 p0,000	4,60 p=0,001	4,29 p=0,001
Moyennes						
Classe 1	65,50	37,78	4,74	8,86	51,37	57,58
Classe 2	63,41	36,34	4,59	8,87	54,59	59,55
Classe 3	63,43	35,93	4,26	8,76	52,57	58,27
Classe 4	66,42	38,32	4,71	8,77	51,07	57,34
Valeur alimentaire	UFL	PDIN	PDIE	ING ₁₅₀	UFLing	PDling
Valeurs F						
classes	3,36 p=0,024	0,15 ns	1,09 ns	3,85 p=0,013	3,28 p=0,024	0,38 ns
coupe	5,38 p=0,000	8,75 p=0,000	5,43 p=0,000	4,28 p=0,001	4,86 p=0,000	7,57 p=0,000
Moyennes						
Classe 1	0,67	57	78	3,69	2,26	209
Classe 2	0,70	57	80	3,74	2,41	212
Classe 3	0,68	56	78	3,71	2,31	208
Classe 4	0,68	56	79	3,68	2,29	207

Classe 1 végétations des sols rouges profonds, Classe 2 végétations des sols bruns, Classe 3 végétations des sols superficiels, Classe 4 végétations des sols squelettiques et minéraux

Les fibres NDF, ADF, ADL diminuent entre la 1ère et la dernière coupe, ce qui devrait entraîner un relèvement de la digestibilité ttMS, relation qui n'apparaît pas de façon évidente. En fait, la teneur en fibres augmente d'abord après la première fauche. La plante réagit par l'élaboration d'une quantité accrue de tissus de structure; la digestibilité s'en trouve diminuée. Ensuite la digestibilité ttMS se relève progressivement avec la diminution des fibres puis décroît dans les dernières coupes avec la baisse de la teneur en MAT.

En reprenant les quantités d'UFL et de PDI ingérées dans un graphique (figure 67), on observe une tendance à la baisse de la valeur alimentaire au cours de la saison.

Tableau 85 - Evolution au cours des fauches successives de saison des pluies, des teneurs en constituants de la digestibilité et de la valeur alimentaire.

Fauches	NDF	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO
1	66,65	38,21	5,12	9,22	55,73	60,32
2	68,08	39,83	5,09	9,44	49,74	56,85
3	65,18	37,61	4,36	9,15	51,81	57,96
4	63,00	36,19	4,30	8,59	52,35	58,07
5	63,23	35,81	4,20	9,03	53,17	58,75
6	62,92	35,24	4,17	8,45	53,99	59,02
7	63,76	36,76	4,80	7,48	50,03	56,33
	UFL	PDIN	PDIE	ING ₁₅₀	UFLing	PDling
1	0,72	59,04	82,15	3,77	2,50	222
2	0,66	60,45	79,90	3,69	2,21	223
3	0,68	58,60	80,10	3,71	2,31	217
4	0,68	55,05	78,04	3,70	2,29	203
5	0,69	57,84	80,31	3,73	2,37	215
6	0,70	54,12	78,79	3,72	2,38	201
7	0,66	50,21	74,47	3,64	2,15	182

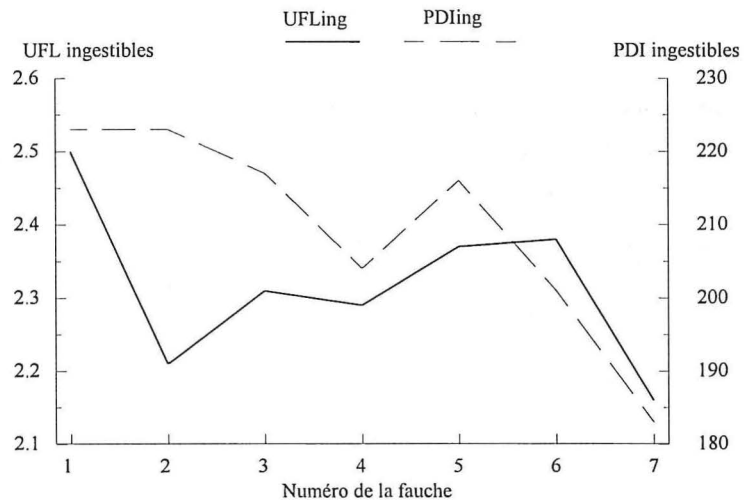


Figure 67 - Evolution des quantités d'UFL et PDI ingestibles au cours de la saison des pluies.

Les valeurs UFL chutent dès la 2^{ème} fauche; elles se relèvent quelque peu par la suite. La diminution de la valeur azotée est progressive, puis plus importante pour les dernières coupes. Les corrélations que l'on peut établir entre les quantités ingérées et les numéros de coupe sont faibles dans le cas des UFL ingestibles ($r = 0,19$), elles sont supérieures pour les PDI ingestibles ($r = 0,55$).

Calculée sur l'ensemble des données (n= 76), la régression:

$PDI \text{ ingérées} = 233 - 5,84 \times N^{\circ} \text{fauche}$, ($F = 31,9$; $p < 0,000$) présente toutefois un écart-type résiduel large (17,3) et un coefficient de détermination assez faible (30,7%). L'exploitation à un rythme constant de la végétation n'explique pas complètement la diminution de la valeur de l'herbe. Les variations pourraient également être dépendantes de facteurs climatiques tels que le ralentissement du régime de pluviosité en petite saison sèche ou l'entrée en grande saison sèche. Cet aspect sera abordé plus loin.

De la tendance générale observée, on peut conclure que l'on débute avec une valeur alimentaire élevée immédiatement après le feu. Elle reste ensuite assez stable pour l'énergie (0,68 UFL), mais diminue progressivement pour la MAT. Il apparaît ainsi préférable d'éviter une exploitation trop longue de la parcelle. Au-delà de 50 jours, la décroissance devient plus importante. Cela confirme également l'intérêt du feu que l'on organise en petite saison sèche (contre-saison, mi-août) pour rendre aux animaux un fourrage de haute valeur alimentaire. L'étalement des feux sur un nombre plus important de parcelles plus petites, progressivement mises à feu, serait en fait la technique idéale. Peu adaptée aux grands élevages, le système est conduit comme tel dans les petits élevages villageois du Gabon et fournit de bons résultats.

3.3.2. Saison sèche

Les 57 échantillons collectés en saison sèche sur les placettes fauchées tous les 20 jours sont traités de façon analogue (tableaux 86 et 87).

Les classes de pâturage ne se distinguent pas selon leur évolution saisonnière. Les valeurs évoluent par contre selon le numéro de la coupe et en particulier pour la MAT qui atteint en milieu de saison une valeur minimale de 6,5%. Les moyennes par coupes sont reprises au tableau 87. Les constituants fibreux (NDF ADF) n'apparaissent pas influencés, l'ADL l'est quelque peu, les digestibilités (ttMS et dMO) varient dans les coupes successives, évolution que l'on liera ici principalement à celle de la teneur en MAT. Les valeurs alimentaires, reflets de l'évolution des constituants, évoluent de manière importante à l'intérieur de la saison sèche; elles diminuent progressivement pour atteindre en pleine saison un niveau qui ne permettrait plus que l'entretien. Elles remontent ensuite dès le retour des premières pluies.

Tableau 86 - Mesures effectuées en saison sèche, variations de la composition et de la valeur alimentaire des repousses de 20 jours.

Composition	NDF	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO
Valeurs F						
Classes	1,69	2,49	1,07	1,43	4,03	3,2
	ns	ns	ns	ns	p=0,013	ns
Coupe	0,66	1,95	2,73	5,66	6,29	6,67
	ns	ns	p=0,030	p=0,000	p=0,000	p=0,000
Moyennes						
CI 1	63,49	36,64	4,67	8,17	53,38	58,45
CI 2	64,15	37,28	4,61	7,71	51,93	57,42
CI 3	63,80	37,38	4,81	7,05	52,08	57,30
CI 4	64,94	38,09	4,84	7,85	49,19	55,73
Valeur alimentaire	UFL	PDIN	PDIE	ING ₁₅₀	UFLing	PDling
Valeurs F						
classes	2,00	1,43	1,35	2,11	2,09	1,35
	ns	ns	ns	ns	ns	ns
coupe	6,69	5,66	6,43	6,89	6,68	5,88
	p=0,000	p=0,000	p=0,000	p=0,000	p=0,000	p=0,000
Moyennes						
CI 1	0,69	52,35	77,54	3,69	2,34	195
CI 2	0,68	49,39	75,02	3,66	2,24	181
CI 3	0,67	45,17	72,37	3,64	2,19	164
CI 4	0,67	50,28	74,33	3,62	2,14	183

CI 1, végétations des sols rouges profonds, CI 2, végétations des sols bruns, CI 3, végétations des sols superficiels, CI 4, végétations des sols squelettiques et minéraux

L'absence de différences entre les classes au cours des deux saisons ne signifie pas pour autant qu'elles n'évolueraient pas de façon différente au cours des saisons. Pour tester l'interaction entre les coupes et les classes ou mettre en évidence les différences à chaque coupe (analyses en mesures répétées), il aurait fallu un dispositif de mesure équilibré, ce qui n'est pas le cas. Le cadre de l'étude et les réalités de terrain font qu'il n'était pas possible de définir à priori ce type de protocole; le milieu n'était pas connu et il importait tout d'abord d'en réaliser une évaluation générale.

Tableau 87 - Evolution au cours des fauches effectuées en saison sèche des teneurs en constituants, de la digestibilité et de la valeur alimentaire.

Coupes	NDF	ADF	ADL	MAT	ttMS	dMO
1	64,67	37,99	4,92	7,16	48,33	54,94
2	64,39	36,94	4,51	8,00	53,28	58,39
3	63,31	37,41	4,66	7,59	52,01	57,44
4	63,75	38,27	5,12	6,50	47,97	54,38
5	64,24	37,13	4,79	7,92	52,49	57,88
6	64,19	36,33	4,45	9,02	55,79	60,33
	UFL	PDIN	PDIE	ING150	UFLing	PDling
1	0,65	45,85	71,13	3,59	2,05	165
2	0,69	51,23	76,99	3,69	2,33	190
3	0,67	48,58	74,40	3,66	2,22	178
4	0,63	41,67	68,31	3,56	1,98	149
5	0,69	50,71	76,37	3,68	2,29	187
6	0,72	57,47	81,68	3,77	2,50	217

L'ensemble des variations détaillées précédemment pour des repousses de 20 jours, peut également être synthétisé en observant l'évolution de la valeur potentielle des différentes classes au cours de la période des mesures (tableau 88) et en la représentant graphiquement (figure 68 a,b,c,d)

Les valeurs correspondent pour chaque date de fauche à la moyenne des placettes appartenant à la classe de pâturage. Les graphiques renseignent également les niveaux de quantité d'énergie et de PDI que l'animal de 150 kg devrait ingérer pour couvrir des besoins théoriques d'entretien ou réaliser un croît de 300 g/j.

La classe 1 caractérisée par la présence de grandes graminées *H. diplandra*, *P. phragmitoides*, *A. schirensis* sur des sols argileux profonds se distinguerait ici des trois autres par le fait qu'elle apparaît conserver un niveau d'apport alimentaire (énergie et PDI) relativement constant tout au long de l'année.

Tableau 88 - Evolution au cours de la période des mesures et au niveau de chaque classe de pâturage des quantités d'UFL et PDI ingérées par un bovin de 150 kg.

Dates	Classe 1		Classe 2		Classe 3		Classe 4	
	UF	PDI	UF	PDI	UF	PDI	UF	PDI
29/06/90	2,39	230	2,55	217	2,11	183	2,63	231
20/07/90	2,15	219	2,34	223	2,40	230	2,12	220
28/08/90	2,28	217	2,38	218	2,45	231	2,26	214
17/09/90	2,27	206	2,40	206	2,24	213	2,24	198
08/10/90	2,29	219	2,42	224	2,37	212	2,39	208
29/10/90	2,32	197	2,47	207	2,47	196	2,33	202
27/11/90	2,12	183	2,32	192	2,13	175	2,04	177
17/12/90	2,16	196	2,13	165	2,03	132	1,91	163
08/01/91	2,42	196	2,27	185	2,36	188	2,30	196
28/01/91	2,34	191	2,29	187	2,17	171	2,10	173
19/02/91	2,35	184	1,95	146	*	*	1,65	121
04/03/91	2,31	188	2,33	194	2,33	167	2,22	192
25/03/91	2,59	224	2,48	212	2,34	199	2,49	228
25/03/91	2,52	202	2,46	194	2,42	202	2,42	202
16/04/91	2,46	204	2,40	197	2,61	203	2,40	205
06/05/91	2,55	209	2,51	207	2,51	203	2,42	202

*données manquantes

La classe 2 correspondant au faciès à *H. smithiana* sur les sols bruns de transition et les bas de versants est équivalente, sur un plan énergétique, à la classe 1 pour ce qui est de la pleine saison des pluies. En fin de saison, l'incidence de l'exploitation et de l'entrée en saison sèche est plus marquée surtout pour l'apport en PDI. En saison sèche, on enregistre un abaissement des valeurs énergétique et surtout azotée qui diminuent jusqu'à des niveaux proches des besoins d'entretien.

La classe 3 représentant la végétation des sols bruns superficiels dominée par *L. arundinacea* et *A. schirensis* a un comportement intermédiaire à ceux décrits pour les classes précédentes : la valeur alimentaire élevée en début de période chute rapidement par la suite. Cette classe serait plus sensible à l'exploitation continue. L'absence de données pour le milieu de la saison sèche (28/01) ne permet malheureusement pas de commenter complètement l'évolution en saison sèche.

La classe 4, typique des sols squelettiques, minéraux ou les mosaïques, dominée par *L. simplex*, est celle où la valeur alimentaire apparaît la plus tributaire de l'exploitation et des saisons et chute en milieu de saison sèche à des niveaux qui ne permettraient plus la couverture des besoins énergétiques et azotés d'entretien.

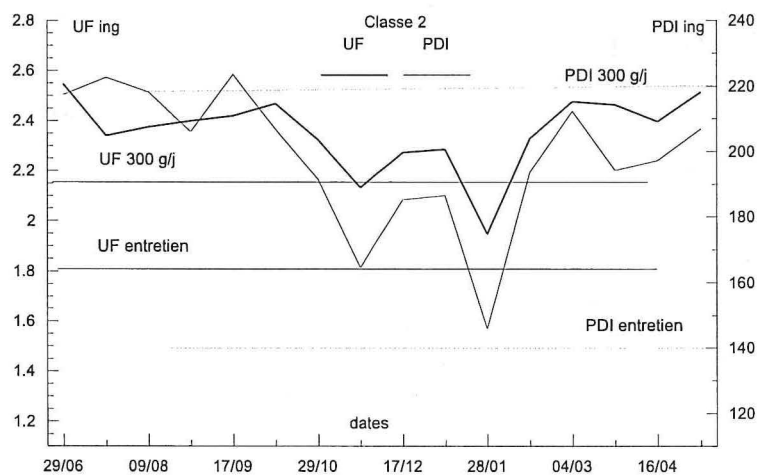
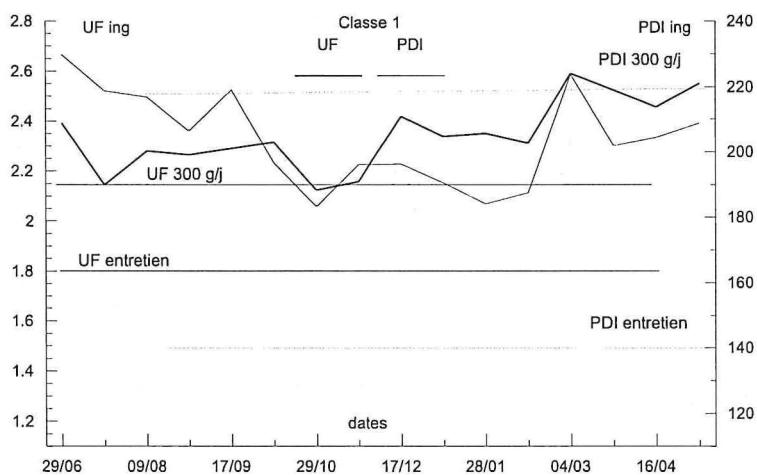


Figure 68 - Evolution au niveau des 4 classes de pâturage des quantités d'UFL et de PDI ingestibles pour un bovin de 150 kg broutant des repousses âgées de 20 jours.

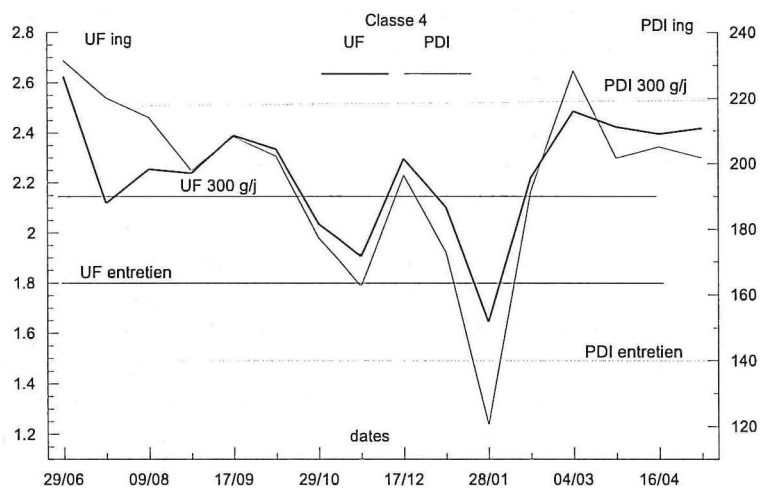
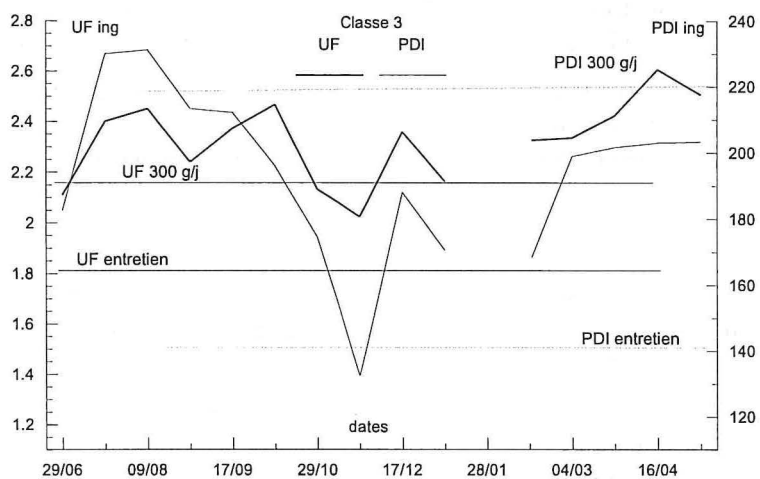


Figure 68 (suite) - Evolution au niveau des 4 classes de pâturage des quantités d'UFL et de PDI ingestibles pour un bovin de 150 kg broutant des repousses âgées de 20 jours.

De façon plus générale, le diagramme 69 reprend, pour les mêmes critères, les moyennes par dates de fauche calculées sur l'ensemble des placettes, ainsi qu'une représentation de la pluviosité au cours de la période des mesures.

En saison des pluies, suite à un feu organisé fin mai, la valeur alimentaire de la repousse permet des croûts de 300 g/j. A mesure de l'exploitation, la valeur décroît, les PDI deviennent le facteur limitant de la croissance des bovins.

En pratiquant un feu de contre-saison (mi-août), on maintient un meilleur potentiel alimentaire pendant la saison pluvieuse. Le feu précoce de début de saison sèche (effectué ici lors du changement de plateau) régénère la végétation et permet un relèvement de la valeur alimentaire avec les dernières pluies (mi-novembre). Il devrait être pratiqué le plus tôt possible sans attendre les dernières pluies. Par la suite, l'effet de la sécheresse se traduit par une diminution des valeurs UF et PDI ingestibles jusqu'à un niveau qui n'assure plus que les besoins d'entretien. Le retour des premières pluies permet aux deux paramètres de retrouver les niveaux de saison des pluies.

En associant la pluviosité enregistrée au cours de la période, le diagramme fait ressortir les relations entre les périodes sèches et la diminution de la quantité de PDI et dans une moindre mesure de la quantité d'UFL pouvant être ingérées. Dans les pâturages et les types de sols que l'on observe ici, l'azote prélevé par la plante est étroitement dépendant d'une fourniture d'ammonium et de nitrates résultant de la minéralisation de la matière organique (humus, débris végétaux, système racinaire nécrosé, microfaune).

La pluie et le disponible en eau du sol ont des effets certains sur la minéralisation de la matière organique. Gégó (1992) en donne une description que l'on peut résumer comme suit : " en période humide, la minéralisation croît jusqu'à ce que le sol atteigne la capacité au champ, et décroît au-delà de cette limite (Stanford et Epstein, 1974), la valeur minimale en deçà de laquelle le processus prend fin reste incertaine. L'alternance de périodes sèche et humide affecte également la minéralisation. A chaque réhumidification correspond une poussée de minéralisation "Flush", proportionnelle à la teneur en matière organique du sol. Elle est due à une brusque augmentation de la quantité de substrat disponible résultant d'une part, de la modification de la structure des agrégats au cours de l'assèchement -les substances dégradables en deviennent plus accessibles- et d'autre part, d'une nécrose massive de cellules microbiennes qui constituent dès le retour de conditions propices un substrat idéal pour les micro-organismes subsistants (Campbell et Biedereck, 1976).

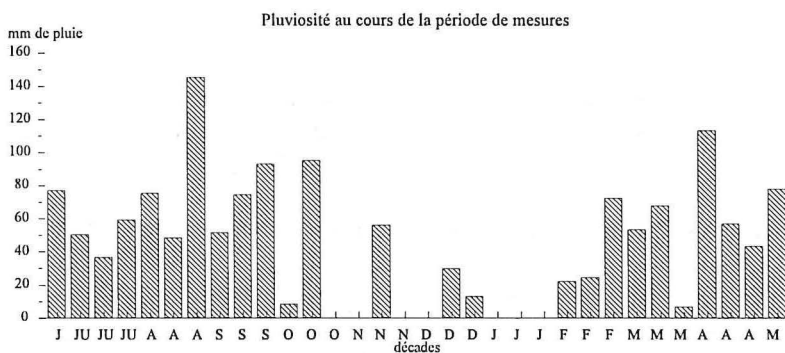
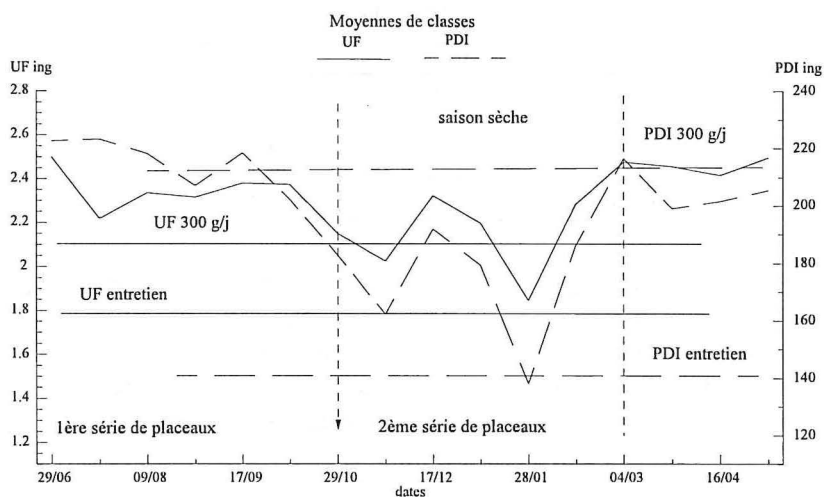


Figure 69 - Evolution pour l'ensemble des repousses de 20 jours des quantités de d'UFL et PDI pouvant être ingérées par un bovin de 150 kg. Relations entre les performances théoriques et la pluviosité.

En reprenant les teneurs MAT et les quantités de PDI ingestibles par date décrites précédemment et en recalculant la moyenne entre deux dates, on obtient une série de valeurs azotées décadales qui peuvent être mises en relation avec les données de pluviosité décadales collectées au cours de la période de mesure (cfr mesures de productivité).

Les corrélations entre la teneur en matière azotée totale des repousses de 20 jours et la pluviosité croissent pour des sommations allant jusqu'aux 4 dernières décades (tableau 89).

Tableau 89 - Corrélations entre la pluviosité et les teneurs moyennes en MAT et PDI ingestibles de la repousse.

Pluies	MAT	PDI ingestibles
décadaire	0,56	0,56
Σ2 décades	0,73	0,74
Σ3 décades	0,79	0,78
Σ4 décades	0,78	0,76
Σ5 décades	0,73	0,71

Tout comme pour les mesures de productivité, les sommations traduisent implicitement un état de réserve en eau ou ici, d'humidité du sol à rapprocher de l'action sur la minéralisation et la nutrition azotée décrite plus haut. Les pluviosités décadaires pourraient ainsi être envisagées comme un indicateur général de l'évolution de la valeur alimentaire des jeunes pousses.

La relation n'est pas linéaire. On obtient un bon ajustement en utilisant un modèle simple de type :

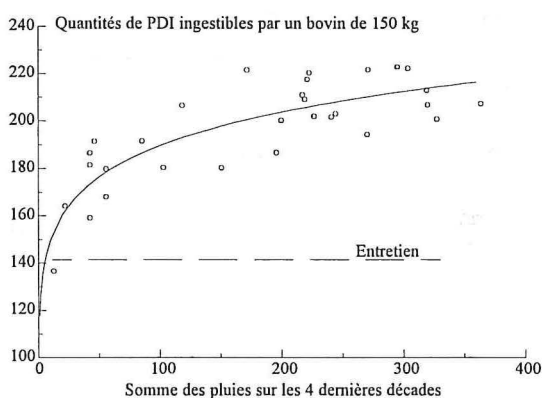
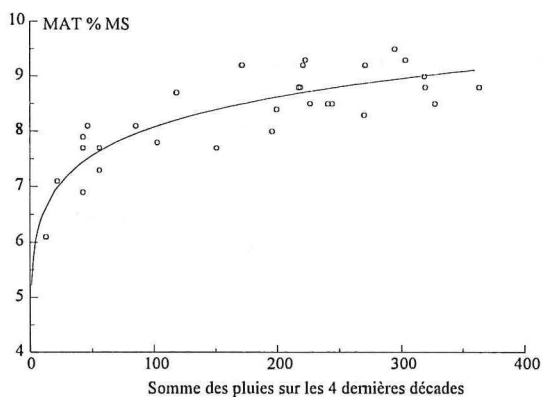
$$y = ax^b$$

En prenant la somme de pluies sur les 4 dernières décades comme variable indépendante, les modèles établis pour la teneur en MAT ou les PDI ingestibles sont caractérisés comme suit (tableau 90 et figures 70 a,b)

Tableau 90 - Caractéristiques des modèles liant les valeurs azotées (MAT, PDI ingestibles) à la pluviosité.

	a	b	r ²	S _{y,x}
MAT	5,22	0,0946	0,71	0,37
<i>écart-type du paramètre</i>	<i>0,32</i>	<i>0,0119</i>		
PDI ingestibles	117,8	0,1033	0,70	9,7
	<i>8,12</i>	<i>0,0135</i>		

En toute logique, les repousses jeunes sont celles qui sont les plus nutritives; elles seront consommées en premier lieu par les animaux. Celles qui sont plus âgées seront de valeur moindre. Vu sous l'angle de la gestion d'un élevage extensif, l'indicateur lié à un paramètre simple, tel que la pluviosité, nous paraît intéressant, il permettrait d'apprécier la période au-delà de laquelle il devient nécessaire de compléter les animaux pour lesquels on souhaite maintenir un niveau de production donné (animaux en gestation, jeunes sevrans).



Figures 70 - Relations entre les sommes de pluies sur 4 décades et la teneur en MAT ou la quantité de PDI ingestible par un bovin de 150 kg établies à l'aide des valeurs moyennes obtenues pour des repousses de 20 jours.

La relation est ici tout à fait générale et l'on doit bien entendu pondérer les conclusions que l'on pourrait tirer, en rappelant que l'on ne dispose que d'une année de mesures et que les valeurs alimentaires que l'on a attribuées à la végétation ne sont qu'un système de référence, à l'intérieur duquel on peut comparer l'évolution de la qualité de l'herbe. On pourrait envisager de la détailler par classes de végétation et cela aboutirait probablement à des paramètres de courbe quelque peu différents. La démarche nous paraît prématurée à ce stade. Il faudrait également disposer de données liées à de plus longues saisons sèches, la période de saison sèche ayant couvert 105 jours, alors qu'elle est normalement de 120 jours.

4. Dégradabilité ruminale des constituants de l'herbe

4.1. Caractérisation des échantillons et des cinétiques de dégradabilité mesurées *in sacco*.

La dégradabilité des principaux constituants : matière sèche (MS), matière organique (MO), fractions fibreuses (NDF et ADF) et plus particulièrement matières azotées totales (MAT) a été mesurée pour 4 stades de croissance sur trois animaux équipés d'une canule ruminale. Les 4 échantillons de repousse correspondent à des âges de repousse après le feu de début de saison pluvieuse de 15 (R15), 25 (R25), 45 (R 45) et 65 jours (R65).

Les compositions chimiques et digestibilités *in vitro*, établies selon les méthodes de référence, ainsi que les paramètres de valeur alimentaire que l'on peut en déduire a priori selon le schéma de calcul utilisé précédemment, font l'objet du tableau 91.

Tableau 91 - Composition chimique et valeur alimentaire des 4 échantillons soumis à l'étude *in sacco*.

Critères	CT	CELL	NDF	ADF	ADL	MAT	TTms
R15	9,29	31,03	68,06	43,21	9,45	11,67	56,95
R25	9,91	29,18	67,05	42,42	8,59	9,18	57,68
R45	8,09	31,68	71,23	45,22	7,73	7,44	53,64
R65	6,32	33,07	68,41	47,62	7,35	5,97	47,46
	cu dMO	UFL	PDIN	PDIE	UFL ing 150	PDI ing 150	
R15	61,78	0,74	74,73	92,50	2,72	289	
R25	61,50	0,73	58,78	82,93	2,58	223	
R45	58,46	0,70	47,64	75,09	2,33	175	
R65	53,85	0,65	38,23	66,73	1,99	135	

(valeurs PDI calculées selon une DT de 53%)

Les paramètres des cinétiques de dégradabilité établies pour chacun des constituants et chaque âge de repousse, selon le modèle de Orskov et Mc Donald (1979), sont décrits au tableau 93 avec pour chacun, la valeur moyenne selon l'âge du fourrage, les valeurs F, ainsi que le classement selon le test Newman-Keuls pour les facteurs âge et animal.

Les différences que l'on peut observer entre les animaux ne sont pas significatives pour les paramètres *a* et *b*. Elles apparaissent dans certains cas légèrement significatives pour le paramètre ajusté *c* caractérisant la vitesse de dégradation. Les différences entre fourrages sont dans tous les cas hautement à très hautement significatives.

Le paramètre ajusté a correspond à la fraction immédiatement solubilisée (% de matière disparue du sachet après lavage au temps 0). Il varie avec l'âge du fourrage. Les valeurs les plus élevées sont toujours celles que l'on observe pour la fauche à 25 jours.

Ces différences de niveau de solubilité, inverses de celles auxquelles on peut s'attendre, pourraient être liées à l'échantillonnage de la végétation, même en se situant dans des faciès de végétation similaires. L'hétérogénéité du couvert fait qu'il est difficilement concevable de collecter un échantillon constitué exactement des mêmes proportions de chaque espèce. Une seconde explication peut être tirée des résultats de l'analyse des constituants (tableau 91). Le fourrage de 15 jours présente la teneur en azote la plus élevée (11,67% MS); de même, les teneurs en fibres sont plus élevées que pour le fourrage de 25 jours et ce particulièrement pour la lignine (ADL 9,45% MS). La teneur en lignine ou en substances isolées comme telles peut être augmentée par la température au cours du séchage (Van Soest, 1967), l'effet de la température se marquant dans un processus de réaction entre les hydrates de carbone solubles (sucres, hémicellulose) et les fractions solubles des protéines (réaction de Maillard). La réaction est susceptible de démarrer lorsque le fourrage atteint 53% de matière sèche et à des températures de l'ordre de 40 à 60°C (Goering et Van Soest, 1970).

Les fourrages ayant été préséchés au soleil intense pourraient avoir subi un tel processus aboutissant à l'immobilisation d'une partie des fractions solubles et à une augmentation relativement importante de la teneur en ADL, ou plus exactement de polymères artefacts de la lignine (Van Soest et Mason, 1991).

Cela peut également se vérifier dans les teneurs en azote liées aux différentes fractions du schéma de Van Soest N-NDF, N-ADF, N-ADL (tableau 92). Exprimées en % de la fraction fibreuse à laquelle elles sont liées, elles sont toujours plus élevées pour les fourrages jeunes traduisant ainsi l'effet "Maillard". Lorsqu'on les exprime par contre en % d'une matière azotée totale (MAT) qui diminue avec l'âge, on observe une augmentation de la fraction azotée intimement liée aux fibres, particulièrement à l'ADL. La matière azotée totale en devient d'autant moins accessible ou dégradable.

Tableau 92 - Part de l'azote lié aux fibres exprimée en % des différentes fractions fibreuses et en % de l'azote total.

Age de la repousse	N % NDF	N % ADF	N % ADL	MAT %MS	N-NDF %MAT	N-ADF %MAT	N-ADL %MAT
R15	1,73	0,55	2,32	11,67	8,93	1,77	1,66
R25	1,36	0,47	1,92	9,18	9,17	1,91	1,67
R45	1,20	0,50	1,76	7,44	10,43	2,58	1,66
R65	0,90	0,33	1,90	5,97	10,39	2,41	2,35

Les valeurs moyennes du paramètre a ont évolué pour la matière azotée totale de 16,42% pour des fourrages de 25 jours à 9,59% pour le fourrage de 65 jours.

Le paramètre b , fraction non soluble potentiellement dégradable dans le rumen, a une valeur toujours plus élevée pour les repousses de 15 jours et décroît avec l'âge de façon plus ou moins importante selon les constituants. Van Soest et Mason (1991) montrent que les polymères générés au cours des réactions de Maillard sont solubilisés au cours des mesures *in vitro* ou *in sacco* et sont partiellement digestibles par l'animal.

La somme $a + b$ caractérise la dégradabilité asymptotique de chacun des constituants, mesurée ici sur une période de 120 heures. La valeur est toujours la plus élevée pour les repousses de 15 jours; elle décroît avec l'âge mais dans une amplitude qui reste cependant assez faible : 3,2 % pour la MO à 6,0% pour l'NDF.

Le paramètre ajusté c représente la vitesse de dégradation. Celle-ci décroît régulièrement avec l'âge pour les constituants MS et MO. Pour les fibres NDF et ADF, elle croît entre 15 et 25 jours puis décroît jusqu'à 65 jours (les différences entre fourrages ne sont cependant pas significatives pour l'NDF). Les variations apparaissent nettement plus importantes pour la matière azotée totale. Avec l'âge, il y a diminution de la teneur en MAT et également de son accessibilité par les bactéries du rumen; ce qui ici se traduirait en première approche par un ralentissement fort important de la vitesse de dégradation. On doit toutefois tenir compte du fait qu'il n'y a pas de correction de la contamination bactérienne des résidus d'incubation. Les bactéries ruminales contiennent 40 à 50% de matière azotée et la technique de décontamination utilisée, 3 lavages successifs de 5 minutes puis trempage pendant 30' en solution saline (NaCl 0,9%), suivi d'un nouveau lavage, pourrait malgré tout ne pas assurer un décollement total des bactéries liées. Ceci peut engendrer une sous-estimation de la dégradabilité de l'azote et tout particulièrement du paramètre c dans le cas de fourrages pauvres en azote. Les valeurs corrigées qui ont été calculées en tenant compte d'une valeur estimée de la contamination sont décrites au paragraphe 4.2.

Tableau 93 - Analyse de la variance selon le facteur âge et valeurs des paramètres *a*, *b*, *a+b*, *c*, de la cinétique de dégradabilité.

		Facteur	âge	R15	R25	R45	R65
		F	p				
a	MS	67,50	0,000	20,42 ^d	25,97 ^a	21,61 ^c	24,07 ^b
	MO	80,10	0,000	17,15 ^d	23,72 ^a	19,47 ^c	22,28 ^b
	NDF	9,19	0,012	3,25 ^b	4,71 ^a	5,87 ^a	5,42 ^a
	ADF	39,47	0,000	2,41 ^b	5,75 ^a	6,87 ^a	2,33 ^b
	MAT	67,54	0,000	14,96 ^b	16,42 ^a	11,27 ^c	9,59 ^d
b	MS	42,00	0,000	62,45 ^a	55,15 ^b	57,35 ^b	55,10 ^b
	MO	59,71	0,000	66,74 ^a	58,72 ^b	60,49 ^b	57,41 ^c
	NDF	37,26	0,000	79,37 ^a	75,37 ^b	73,06 ^c	71,34 ^c
	ADF	36,99	0,000	81,24 ^a	74,75 ^b	73,19 ^b	75,28 ^b
	MAT	5,65	0,035	73,48 ^a	66,40 ^a	67,30 ^a	75,87 ^a
a+b	MS	19,87	0,002	82,88 ^a	81,12 ^{ab}	78,97 ^b	79,17 ^b
	MO	24,67	0,001	83,89 ^a	82,44 ^a	79,96 ^b	79,69 ^b
	NDF	35,61	0,000	82,80 ^a	80,08 ^b	78,94 ^b	76,76 ^c
	ADF	33,39	0,000	83,66 ^a	80,50 ^b	80,07 ^b	77,62 ^c
	MAT	4,92	0,047	88,45 ^a	82,82 ^{ab}	78,58 ^{ab}	85,47 ^c
c	MS	22,13	0,001	0,0402 ^a	0,0399 ^a	0,0340 ^{ab}	0,0279 ^b
	MO	28,5	0,001	0,0406 ^a	0,0403 ^a	0,0341 ^{ab}	0,0281 ^b
	NDF	1,98	0,219	0,0367 ^a	0,0473 ^a	0,0376 ^a	0,0305 ^a
	ADF	47,78	0,000	0,0427 ^b	0,0500 ^a	0,0425 ^b	0,0314 ^c
	MAT	138,84	0,000	0,0342 ^a	0,0296 ^b	0,0222 ^c	0,0123 ^d

a, b, c, d, groupes de moyennes significativement différentes entre elles selon le test Newmann -Keuls.

4.2. Dégradabilité de la matière azotée corrigée de la contamination bactérienne

Les paramètres caractéristiques de la droite de calibrage ayant servi à prédire le taux de contamination bactérienne des échantillons aux différents temps d'incubation sont repris au tableau 94.

Tableau 94 - Prédiction de la contamination bactérienne (Nmi, en % azote total) par analyse en spectrométrie dans le proche infrarouge.

	N	Moyenne	SE _C	R ² _C	SE _{CV}	R ² _{CV}
Nmi	388	51,71	8,62	0,86	9,17	0,84

Le calibrage est établi pour des graminées, sur une population totale de 388 spectres associés à des valeurs de contamination estimées par marquage à l' N^{15} , soit du fourrage, soit de la population microbienne. Les valeurs de contamination exprimées en % d'azote microbien par rapport à l'azote total de la matière résiduelle s'étendaient sur une gamme allant de 3,25 à 97,14%. L'écart-type de validation croisée (SEcv) est relativement large : 9,17 points. Il est en partie attribuable au fait que l'on a eu recours à deux techniques distinctes d'estimation de la contamination à l'intérieur du lot d'échantillons de référence. Kamoun *et al.* (1994) montre que la technique consistant à marquer l'aliment conduit en général à des résultats légèrement plus élevés que celle consistant à marquer la population microbienne par perfusion. Le marquage de l'aliment est toutefois très coûteux et son application à une gamme variée d'échantillons n'est pas réalisable. Dans le cas de la perfusion, le taux de marquage des bactéries, s'il apparaît généralement uniforme à un temps donné, varie au cours du temps (V, 13%), ce qui peut engendrer une erreur résiduelle dans des calculs de contamination effectués sur une valeur moyenne. Pour générer une variabilité spectrale suffisante comprenant des fourrages diversifiés, dont des échantillons issus de la base Togo, on a inclus ici les valeurs obtenues selon les deux techniques pour en tirer en première approche un calibrage permettant d'exprimer avec un coefficient de détermination de 84 % les variations de teneurs en azote microbien des résidus de sachet. A défaut d'une autre technique, dans le cas des fourrages du Togo, l'indicateur SPIR nous paraît raisonnable. La démarche ébauchée ici mériterait d'être poursuivie et précisée. Son intérêt réside principalement dans le fait qu'elle permettrait une estimation rapide et peu coûteuse de la contamination sur une large gamme de fourrages. Une analyse plus détaillée de la réponse SPIR à la contamination bactérienne est décrite au point 5.3.

En utilisant ce calibrage sur les spectres des résidus d'incubation des 4 fourrages regroupés par aliment et temps d'incubation, on obtient les valeurs reprises au tableau 95.

Tableau 95 - Contamination en N bactérien prédite sur les résidus d'incubation des échantillons R15, R25, R45, R65 exprimée en %N microbien par rapport à l'azote total du résidu.

Temps d'incubation	R15	R25	R45	R65
4	7,93	10,90	14,83	12,07
8	17,35	23,36	25,81	20,89
16	35,88	40,46	37,68	30,49
48	61,67	57,67	60,53	46,00
72	62,94	60,41	63,54	51,19
96	65,74	63,83	67,28	55,36
120	62,64	65,88	66,94	61,17

La contamination des résidus en N microbien croît à mesure de la durée de séjour dans le rumen pour se stabiliser à des valeurs de 60 à 67% à 120 heures. On aurait pu s'attendre à des valeurs plus élevées en fin d'incubation, les teneurs en matières azotées totales des fourrages étant faibles. Kamoun *et al.*(1991) cite des valeurs de 74% pour des échantillons de ray-grass italien. Il faut cependant rappeler que l'on prédit cette contamination après plusieurs lavages et un passage dans une solution isotonique ayant pour but de décoller un maximum de bactéries.

En revanche, compte tenu de cette remarque, la prédiction confirme le fait que le lavage est loin de décontaminer complètement le fourrage. Au terme de la prédiction, la contamination apparaît également moins importante pour le fourrage le plus âgé, moins riche en azote, plus fibreux et plus lignifié (lignine vraie). Il serait proportionnellement moins colonisé.

Les spectres étant représentatifs de la moyenne par temps des sachets incubés dans le rumen de trois animaux, les valeurs moyennes de matières azotées disparues observées à chaque temps ont été corrigées en fonction des valeurs de contamination prédites :

$$MAT_{dc} = 100 - (100 - MAT_d)(100 - N_{mi}) / 100$$

avec MAT_{dc}, matière azotée disparue corrigée de la contamination en % de la MAT initiale; MAT_d, matière azotée disparue en % de la MAT initiale; N_{mi}, azote microbien en % de l'azote total du contenu de sachet.

En reprenant ces valeurs dans l'établissement de la cinétique, on obtient pour la dégradabilité de la matière azotée totale les paramètres figurant au tableau 96.

Le regroupement ne permettant plus de distinction entre animaux, on ne peut plus effectuer de comparaison statistique.

Tableau 96 - Paramètres de la cinétique de dégradation de la matière azotée corrigée de la contamination bactérienne.

Fourrage	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	<i>c</i>
R15	16,62	79,23	95,85	0,0523
R25	18,97	73,78	92,75	0,0540
R45	16,74	74,48	91,22	0,0453
R65	16,07	72,50	88,57	0,0285

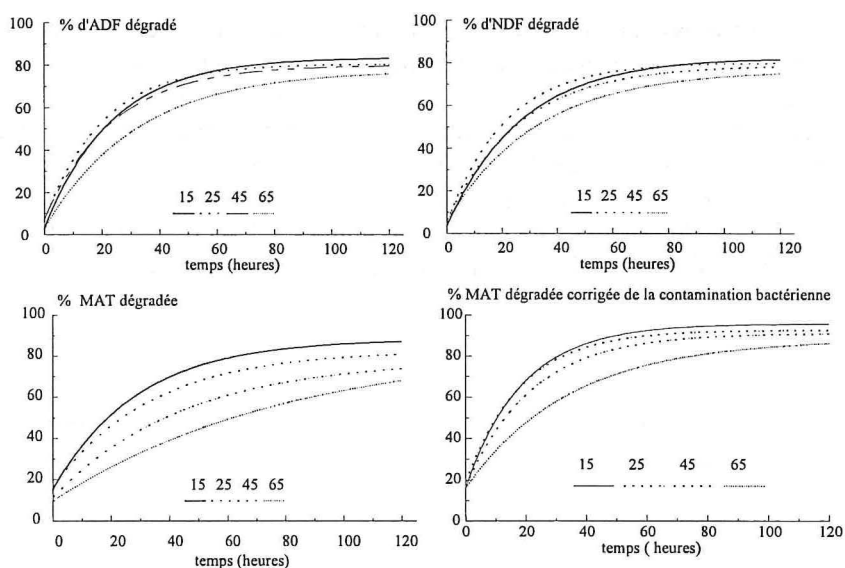
Les paramètres ajustés *a* et *b* présentent logiquement des valeurs plus élevées; la somme montre que l'on atteint une dégradabilité totale de l'ordre de 96% pour l'herbe la plus jeune. La valeur décroît jusqu'à 88% pour le fourrage de 65 jours, résultat de l'inaccessibilité plus grande de la fraction des matières azotées totales liée à l'ADL. Le paramètre *c* décroît avec l'âge, passant de 5,23 %/h à 15 jours à 2,85%/h à 65 jours, diminution que l'on peut lier à la fraction croissante des matières azotées totales liée aux fibres totales NDF et de ce fait moins accessibles.

4.3. Dégradabilité théorique des constituants

Les courbes ajustées de la dégradation au cours du séjour des fourrages dans le rumen sont reprises à la figure 71 pour les fibres NDF et ADF et pour les matières azotées totales (MAT), ainsi que pour les MAT corrigées de la teneur en N microbien.

Pour les fibres NDF et ADF, les courbes font apparaître une dégradabilité un peu plus importante pendant les premières heures pour le fourrage de 25 jours, pour aboutir à 120 heures à une valeur légèrement moins importante que celle observée pour le fourrage de 15 jours. Ces deux formes d'évolution peuvent être mises en relation avec ce qui a été précédemment décrit concernant les liaisons N-NDF et N-ADF plus importantes pour le fourrage de 15 jours, liaisons qui ralentiraient la dégradation. Le fourrage de 45 jours présente une cinétique assez semblable à celle des deux précédents. Le fourrage de 65 jours est plus lentement dégradable, il l'est également dans une proportion moindre.

Pour les matières azotées totales, la comparaison de l'allure des cinétiques corrigées ou non corrigées montre l'incidence que peut avoir la contamination, particulièrement dans le cas de fourrages pauvres en azote.



Figures 71 - Courbes de dégradation des fractions NDF, ADF, MAT et MAT corrigée de la contamination bactérienne.

La dégradabilité théorique non corrigée ($a+bc/(c+k)$) des différents constituants, estimée en tenant compte de taux de sortie du rumen (k) de 4 ou 6 % par heure est décrite au tableau 97.

Tableau 97. Dégradabilités théoriques des constituants selon des taux de sortie ruminale (k) de 4 et 6 % par heure.

			R15	R25	R45	R65
	F	p				
k = 4%						
MS	73,33	0,0001	51,70 ^b	53,57 ^a	47,97 ^c	46,70 ^c
MO	72,12	0,0001	50,73 ^b	53,20 ^a	47,30 ^c	46,00 ^c
NDF	98,95	0,0001	45,57 ^a	45,60 ^a	41,27 ^b	36,30 ^c
ADF	146,97	0,0001	44,37 ^b	47,33 ^a	44,53 ^b	35,43 ^c
MAT	133,61	0,0001	46,73 ^a	44,67 ^a	35,27 ^b	27,33 ^c
k = 6%						
MS	56,67	0,0001	45,47 ^b	48,03 ^a	42,37 ^c	41,57 ^c
MO	59,74	0,0001	44,07 ^b	47,33 ^a	41,40 ^c	40,63 ^c
NDF	74,28	0,0001	37,53 ^a	37,97 ^a	34,00 ^b	29,50 ^c
ADF	127,64	0,0001	36,20 ^b	39,77 ^a	37,20 ^b	28,20 ^c
MAT	216,41	0,0001	40,33 ^a	38,37 ^b	29,40 ^c	22,40 ^d

Les valeurs diffèrent selon l'âge de la repousse de façon très hautement significative. Pour les critères MS et MO, elles sont quelque peu biaisées du fait

que l'on ne tient pas compte de la correction qu'il faudrait apporter en considérant la matière sèche ou organique bactérienne fixée aux résidus. Les bactéries ne contenant pas de fibres, l'NDF et l'ADF sont correctement évalués. Les dégradabilités théoriques calculées à 4 et 6% croissent entre 15 et 25 jours, toujours pour les raisons explicitées plus haut (liaisons importantes entre les fibres et la MAT au stade le plus jeune dues au séchage). Elles décroissent ensuite jusqu'à 65 jours de repousse, traduisant la diminution de la digestibilité liée à la dégradabilité moindre des fibres d'un fourrage plus âgé. (figure 72.)

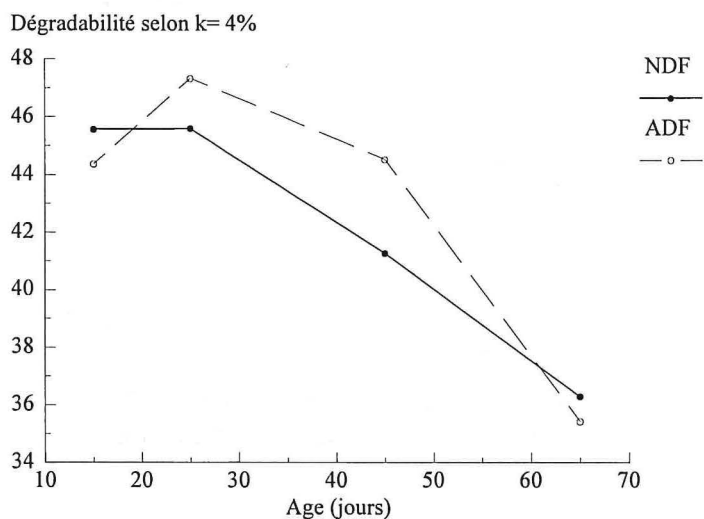


Figure 72 - Evolution des dégradabilités théoriques des fibres selon l'âge de la repousse, calculées avec un taux de sortie ruminale de 4%.

Pour les matières azotées totales, les valeurs de dégradabilité corrigées ainsi que l'écart Δ par rapport à l'estimation non corrigée sont présentés au tableau 98.

Tableau 98 - Dégradabilité des matières azotées corrigées de la contamination bactérienne estimée par SPIR et calculée selon des taux de passage de 4 et 6 % par heure.

Repousses	R15	R25	R45	R65
Constituant			k = 4%	
MAT corrigée	61,51	61,34	56,30	46,25
Δ non corrigé	14,78	16,67	21,03	18,92
			k = 6%	
MAT corrigée	53,51	53,90	48,78	39,43
Δ non corrigé	13,18	15,53	19,38	17,03

Corrigées de la contamination bactérienne, les valeurs de dégradabilité théorique sont réévaluées dans une amplitude de 15 à 20 % selon l'âge du fourrage et les valeurs k choisies pour le calcul (figure 73).

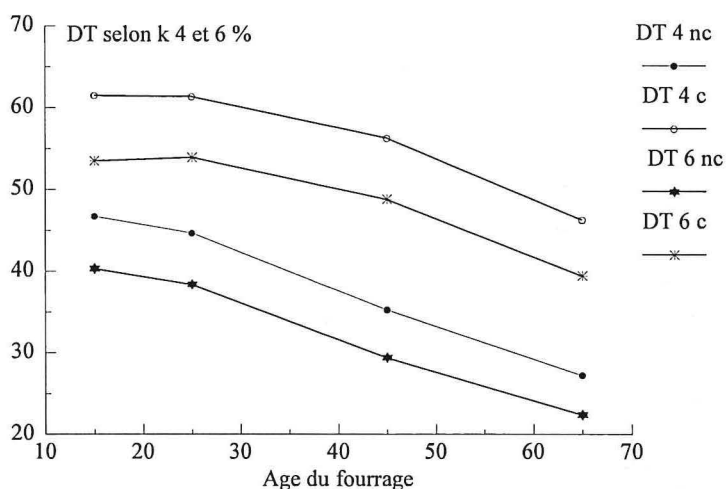


Figure 73 - Evolution des dégradabilités théoriques de la MAT calculées à 4 et 6% selon l'âge de la repousse.

Avec un taux de sortie ruminale de 4%, les DT sont de l'ordre de 61% pour les repousses de 15 et 25 jours; elles décroissent jusqu'à 46% pour les repousses plus âgées (figure 74.).

Avec un taux de sortie plus important, k=6%, valeur standard adoptée dans le système PDI, les valeurs de DT sont de l'ordre de 53% pour les fourrages les plus jeunes; elles n'atteignent plus que 39% pour le fourrage âgé. Le biais lié à la contamination croît à mesure de la diminution du taux de MAT, il décroît

légèrement pour le fourrage de 65 jours du fait d'une contamination apparemment plus lente et de l'accessibilité moins grande de ce fourrage plus âgé. Cette augmentation est en accord avec celle observée par ailleurs (Kamoun, 1994; Ould Bah 1989).

La valeur 53% utilisée précédemment (recommandation INRA) serait ainsi confirmée pour le fourrage jeune (2 à 4 semaines de repousse); elle apparaît surestimée pour des repousses plus âgées ou plus exactement moins riches en azote et à teneur en fibres plus élevée.

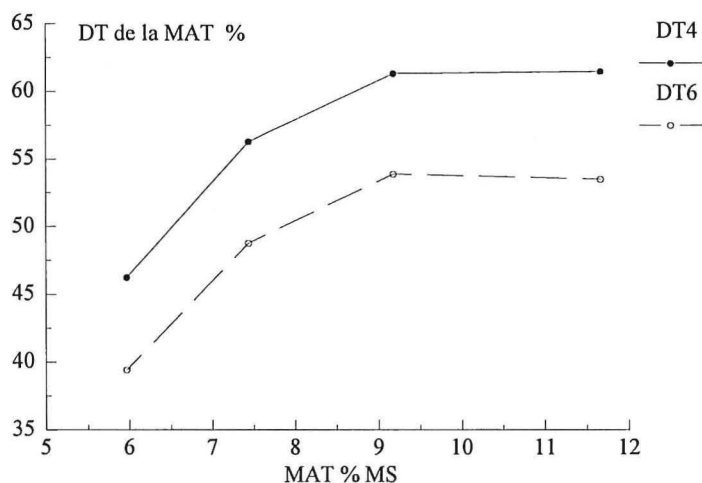


Figure 74 - Evolution de la dégradabilité de la MAT selon les teneurs en MAT du fourrage.

Les valeurs obtenues ici sur des fourrages séchés auraient comme l'ont démontré Peyraud (1992), Ould Bah (1989), ou Kamoun et Théwis (1990), été plus élevées en étant mesurées sur des fourrages frais, sans que le séchage n'entraîne de modifications ou l'effet de réactions de type Maillard. Ce n'était pas l'objet du travail, les mesures ont été réalisées sur des produits séchés pour pouvoir être comparées avec celles effectuées ailleurs.

Dans le calcul PDI, le recours aux valeurs corrigées (DT 6%) se traduira comme suit (tableau 99):

Tableau 99 - Comparaison des valeurs PDIA, PDIM_N et PDIM_E corrigées ou non corrigées.

Age	PDIA		PDIM _N		PDIM _E	
	non corr,	Corr,	non corr,	Corr,	non corr,	Corr,
15	42,62	42,62	32,12	32,12	48,49	48,49
25	33,52	33,52	25,26	25,26	49,41	49,41
45	27,17	29,48	20,47	18,57	47,93	47,93
65	21,80	28,30	16,43	11,08	44,94	44,94

Les valeurs PDIM_E étant calculées selon un coefficient fixe appliqué à la quantité de matière organique fermentescible, restent inchangées. Corrigées de la contamination, les valeurs PDIM_N montrent de façon encore plus évidente le peu de synthèse microbienne qui pourra être réalisé au départ d'un fourrage plus âgé et implicitement le déséquilibre important qui en résultera dans la qualité des acides aminés arrivant dans l'intestin. Les valeurs PDIA se relèvent lorsque la DT diminue, résultant du fait que la proportion de matières azotées totales non dégradées dans le rumen augmente lorsque l'on utilise un coefficient fixe de digestibilité des protéines d'origine alimentaire, ce qui devrait également être revu. Ces mêmes protéines non dégradables sont avec l'âge de plus en plus liées à la fraction lignine et dès lors moins digestibles.

4.4. Intérêt de l'utilisation de la SPIR dans les mesures de la dégradabilité *in sacco*

La technique des sachets est peu adaptée à l'étude de séries importantes d'échantillons. Le nombre de sachets que l'on peut placer dans un rumen est de l'ordre de 40. Avec la durée de séjour, les quantités de matière résiduelle s'amenuisent. Ceci nécessite pour les temps de séjour importants la multiplication du nombre de sachets incubés de façon à obtenir une quantité de matière résiduelle suffisante pour l'analyse des différents constituants selon les méthodes de référence. Le nombre d'aliments que l'on peut ainsi étudier simultanément est fortement limité. Les pertes en matière résultant de facteurs, autres que la porosité normale du sachet, ne peuvent pas toujours être distinguées lorsqu'il s'agit de microdéchirures et peuvent entraîner une surestimation de la quantité de matière sèche disparue.

4.4.1. Calibrages établis sur les constituants et la matière sèche disparue

Les caractéristiques des calibrages que l'on peut établir sur les spectres des échantillons regroupés par temps d'incubation sont résumés au tableau 100. Les paramètres prédits sont les teneurs des résidus de sachets exprimées en % MS et se rapportent aux cendres totales (CT), matières azotées totales (MAT) et fibres

NDF et ADF, ainsi que la quantité de matière disparue au cours de l'incubation (MSD).

Tableau 100 - Caractéristiques des étalonnages établis en spectrométrie dans le proche infra rouge sur les résidus de sachets incubés dans le rumen.

Critères	moyenne	SEc	R ² c	SEcv	R ² cv
CT	8,44	0,49	0,98	0,49	0,98
MAT	10,14	0,31	0,98	0,33	0,98
NDF	72,16	0,95	0,98	1,01	0,98
ADF	38,49	0,86	0,96	0,93	0,96
MSD	49,18	1,82	0,99	2,17	0,99

Etablis à l'intérieur d'une série homogène de produits, les calibrages relatifs aux différents constituants sont excellents, atteignant pratiquement la précision analytique classique. La SPIR pourrait à ce titre avoir un intérêt certain dans les approches *in sacco*. Elle permettrait de réduire le nombre d'analyses à effectuer et partant, les quantités de matière résiduelle à collecter n'étant plus le facteur limitant, le nombre d'aliments étudiés au cours d'une même série d'incubations pourrait être augmenté.

Par ailleurs, le fait que l'on puisse calibrer les quantités de matière disparue (% de la MS initiale), toujours à l'intérieur d'une série de mesures, est également un facteur intéressant. La prédiction donne un moyen de contrôle des valeurs de matière sèche disparue et permet, éventuellement, de valoriser en analyses classiques des quantités de résidus de sachets qui a priori auraient dû être éliminées.

A titre d'exemple, la figure 75 reprend les 63 valeurs obtenues sur les résidus d'incubation, regroupés à chaque temps par groupes homogènes de matière sèche disparue en opposant d'une part, les valeurs prédites selon le calibrage établi plus haut sur 32 échantillons et d'autre part, les valeurs observées. Les biais les plus importants entre les valeurs prédites et les valeurs observées sont tous négatifs. Cela correspond à une surestimation des quantités de matière disparues résultant d'erreurs de pesée ou plus probablement de pertes anormales de matière pour certains sachets. La calibration permettra de corriger les valeurs ou d'effectuer un choix sur les échantillons à éliminer.

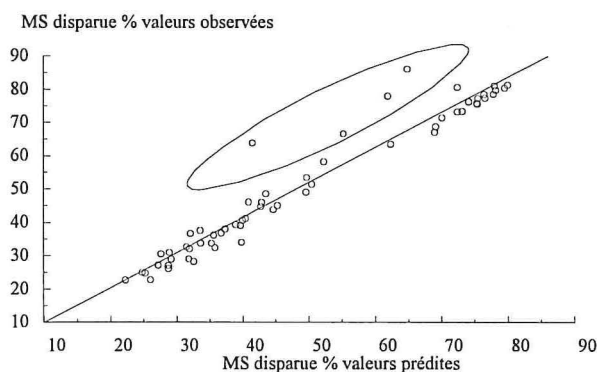


Figure 75 - Pourcentages de MS disparue lors de l'incubation ruminale, relation entre les valeurs prédites SPIR et observées *in sacco*.

L'observation des résultats de prédiction permet d'apprécier la conformité des valeurs obtenues dans la série. Elle permettrait aussi, en prédisant chacun des résidus individuels, d'effectuer des choix mieux raisonnés sur les échantillons à garder ou à éliminer.

Le recours au calibrage permettrait également de multiplier les temps d'incubation. Sans que cela nécessite un surcroît de travail analytique, on obtiendrait ainsi une description plus précise de la cinétique de dégradation.

4.4.2. Evolution des spectres des résidus et contamination bactérienne.

L'examen des spectres conduit également à des observations intéressantes. Les figures 76, 77 et 78 présentent différents traitements de l'information spectrale. La première figure montre les spectres bruts des échantillons incubés à différents temps.

Les spectres évoluent au cours de l'incubation et l'on observe un relèvement général des spectres dû à un effet de granulométrie, paramètre auquel la mesure infrarouge est sensible (Dardenne, 1990). Résultant de la dégradation par les bactéries du rumen, la granulométrie est d'autant plus fine que les temps de séjours sont longs. La figure fait également ressortir un manque d'information entre les temps 16 heures et 48 heures et l'intérêt que pourraient avoir des cinétiques plus détaillées. Ce dernier aspect est plus apparent à la figure 77 où les spectres correspondent aux différences d'absorbance par rapport au temps 0 (sachets lavés).

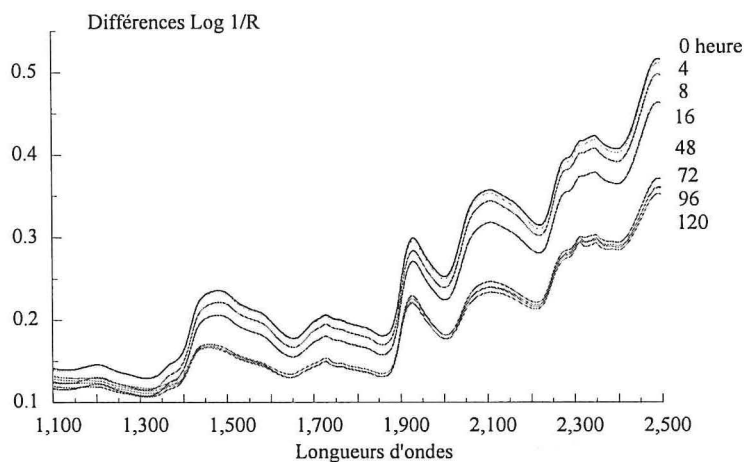


Figure 76 - Spectres bruts des échantillons après des temps d'incubation croissants.

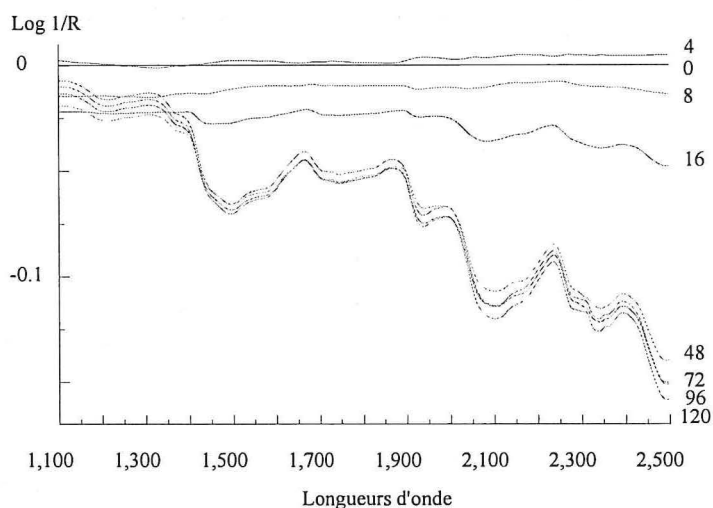


Figure 77 - Différences de spectres par rapport au temps 0 heures.

Les différences de spectres calculées sur les valeurs corrigées de la tendance liée à la granulométrie (traitement "detrnd" du logiciel ISI) sont présentées à la figure 76.

Les spectres corrigés étant déduits du spectre au temps 0 après lavage des sachets et disparition de la fraction rapidement soluble, les valeurs négatives correspondent à des disparitions de constituants. Les valeurs positives correspondent à une augmentation de la concentration en constituants. En se référant aux longueurs d'ondes qui sont généralement les mieux corrélées aux

principaux constituants de la matière organique (Williams et Norris, 1987), on peut observer des disparitions importantes de fractions protéiques (1485, 1570, 2055 nm) et fibreuses (1460, 1585, 1702, 1825 nm).

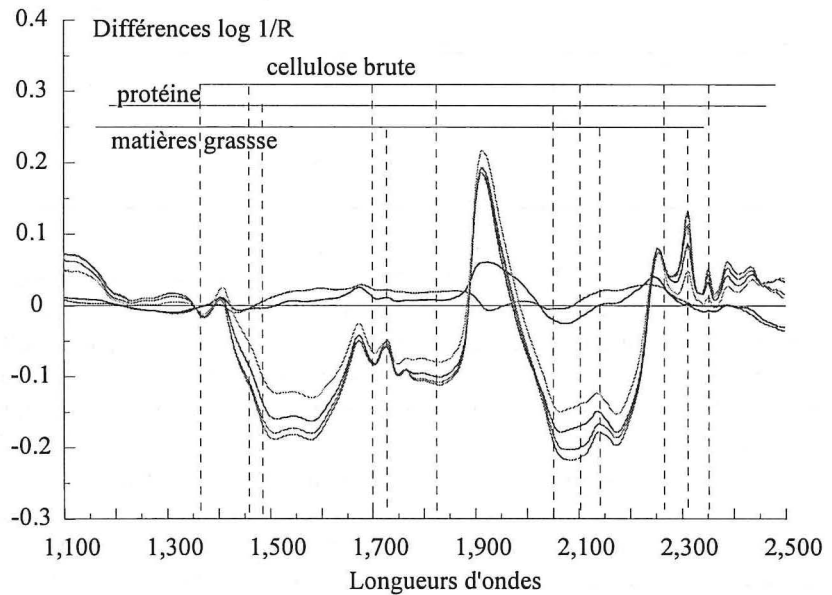


Figure 78 - Différences de spectres après correction de tendance, longueurs d'ondes caractéristiques des principaux constituants.

Dans les longueurs d'ondes élevées (>2200 nm) les valeurs sont positives, la matière se concentre en fibres indigestibles telles que la lignine; il apparaît également des pics (1722, 2306 nm) qui se lient généralement à des liaisons O-H typiques d'acides gras. On pouvait supposer qu'il s'agissait là d'indicateurs de la contamination bactérienne des résidus de sachets. Une analyse chromatographique des résidus de sachets incubés à différents temps réalisée sur un échantillon de fourrage (avoine immature) incubé à des temps de 0, 3, 6, 12, 24, 48 h, confirme cette évolution et la concentration en certains acides gras. (tableau 101). Selon les concentrations déterminées, le tableau présente l'évolution des quantités d'acides présentes à l'intérieur d'un sachet qui contiendrait 100 g de MS.

Tableau 101 - Evolution de la quantité d'acides gras contenue dans un sachet contenant de l'avoine immature et incubé à différents temps.

Temps heures	Matière sèche g	C16:0 palmitique mg	C18:0 stéarique mg	C18:1 oléique mg	C18:2 linoléique mg	C18:3 linoléinique mg
0	100,0	319,5	67,1	176,9	352,3	368,5
3	65,7	244,7	99,4	99,2	50,4	0,0
6	61,1	212,0	99,0	91,5	22,6	0,0
12	52,2	187,1	135,9	95,2	36,6	0,0
24	41,4	134,5	121,7	51,2	5,7	0,0
48	32,2	116,3	110,8	43,1	0,0	0,0

Exprimée en % de la matière grasse, la teneur en acide stéarique augmente, passant de 5,23% au temps 0 à 33,25% après 48 heures. Les autres acides restent stables ou diminuent en concentration. Dans le tableau 101 il apparaît nettement une augmentation importante des quantités absolues d'acide stéarique présent dans le sachet. Le profil en acides gras d'un isolat de bactéries montre une concentration élevée (53,20 %) en ce même acide stéarique. L'approche réalisée en chromatographie justifierait ainsi partiellement le fait qu'une prédiction de contamination puisse être réalisée en SPIR. Il serait intéressant de confirmer ces premiers résultats. La technique SPIR apporterait ainsi une aide précieuse pour la détermination rapide et peu coûteuse de la contamination et des valeurs de dégradabilité des matières azotées totales des fourrages.

3^{ème} partie

Eléments pour une gestion intégrée de l'élevage en savane guinéenne

La troisième partie traite de l'intégration des différents niveaux d'information décrits précédemment en vue de faciliter la gestion de l'élevage extensif en région guinéenne. Préalablement, il convient de compléter l'information apportée en deuxième partie, par une caractérisation des variations saisonnières que l'on peut observer concernant les paramètres zootechniques du bétail Ndama élevé en conditions extensives.

L'établissement d'un modèle statique permettant de simuler les effectifs de bétail d'un ranch, les observations effectuées sur les exemples des ranches de Kolo (Bas-Zaïre) et de l'Adélé, les données issues de la littérature permettent ensuite de décrire et chiffrer les charges animales et les capacités de charge et le bilan alimentaire que l'on peut attribuer aux différentes végétations.

L'étude se clôture par le développement des bases d'un schéma conceptuel allant dans le sens d'une gestion intégrée dans le temps et à l'échelle de l'espace d'un grand élevage.

I. Méthodologies

1. Données collectées au ranch de Kolo

Les données traitées dans ce chapitre proviennent du ranch de Kolo (Zaïre) appartenant à la compagnie J. Van Lancker. Bien qu'elles aient été collectées il y a une dizaine d'années, il nous paraissait utile de les exploiter dans ce travail parce qu'elles reflètent particulièrement bien une situation réelle d'élevage extensif en zone guinéenne. En matière de croissance pondérale du Ndama, les données qui sont exploitées sont peu courantes. La plupart des travaux présentés dans la littérature (Pagot, 1959; Coulomb, 1976; Traoré, 1989) se rapportent à des effectifs nettement moindres, présents dans des stations de recherche ou dans des élevages de petites dimensions. Le cas du ranch de Kolo est tout à fait particulier et exemplaire. Etabli en région guinéenne depuis plus de 70 années, l'effectif total est stabilisé à 24.000 têtes. Le bétail Ndama résultant de la sélection interne menée par le propriétaire est homogène et performant. De nombreux géniteurs ont d'ailleurs été exportés au cours des dernières années pour participer à des programmes de développement dans différents pays de l'Afrique centrale et de l'Ouest.

1.1. Caractérisation de la fécondité

La gestion quotidienne du ranch de Kolo comprend l'établissement d'états de cheptel où sont comptabilisés les effectifs de bétail par catégories et classes d'âge, les naissances, les mortalités et les mouvements enregistrés à chaque passage au centre de soin. Chaque année, dans le secteur reproduction, 2 à 3 troupeaux sont réformés et quittent les pâtures qu'ils occupaient. Un nouveau troupeau est ensuite reconstitué par la mise au mâle d'un lot de génisses d'une même année de naissance. Elles resteront dans la pâture jusqu'à leur mise à la réforme, généralement à l'âge de 10 ans.

Pour calculer les variations de fécondité, nous avons eu recours aux états de cheptel établis mensuellement au cours de la période allant de 1967 à 1978.

Les données dont on dispose portent sur:

- 12 années;
- 21 troupeaux comprenant en moyenne 354 vaches de reproduction (min. 178, max. 583);
- la fécondité du troupeau, calculée pour l'année du calendrier en sommant sur les 12 mois les pourcentages de veaux enregistrés en rapport avec le nombre de reproductrices présentes au cours du mois;
- l'âge moyen des reproductrices lors de l'établissement de la donnée de fécondité, 3 ans à 10 ans;
- le nombre de veaux nés chaque mois, exprimé en % du total de l'année;
- la taille du troupeau en nombre de reproductrices, la taille de la pâture en ha et la charge en ha par unité de bétail.

Les données n'étant pas toujours complètes pour tous les troupeaux (certains n'ont pas été remontés l'année de réforme, pour d'autres les données mensuelles manquaient certaines années), les variations ont été caractérisées sur 192 couples troupeau-année.

1.2. Caractérisation de l'évolution pondérale des animaux

Au ranch de Kolo les animaux ne sont pas répertoriés individuellement. Une marque au feu permet cependant de reconnaître pour chacun d'eux l'année, le trimestre et le mois de naissance et de les classer selon l'âge. Les données utilisées pour caractériser les croissances des animaux ont été collectées entre 1979 et 1981 lors de pesées effectuées à différentes périodes de l'année, au moment du passage des troupeaux aux centres de soins .

Les données de poids moyens de veaux mâles et femelles recueillies à deux périodes, l'une en juin 1981 - fin de saison des pluies - et l'autre en septembre 1981 - fin de saison sèche - permettent de caractériser l'évolution des poids entre la naissance et le sevrage.

Pour décrire la croissance entre le sevrage et l'âge adulte, une première série de pesées a été effectuée en mai et en août de l'année 1979 sur un total de 1860 taureaux et boeufs dont les classes d'âges s'étendaient de 11 à 60 mois maximum.

Afin de pouvoir apprécier les fluctuations de poids que l'on peut observer au cours d'une année, une seconde série de pesées a été effectuée en se limitant à la catégorie des mâles castrés et aux classes d'âge allant de 12 à 42 mois. Les pesées ont été réalisées à quatre périodes différentes de l'année, février, mai, septembre et décembre. Pour chaque période, les mesures ont été effectuées sur au moins 10 animaux pris au hasard dans chaque classe d'âge entre 12 et 42 mois. L'ensemble des pesées a eu lieu, à chaque période, dans un intervalle de 7 jours au milieu du mois considéré. Les pesées permettent ainsi de caractériser les poids aux différentes périodes climatiques de l'année et l'évolution de poids des animaux entre ces périodes.

2. Calcul des effectifs théoriques dans un ranch d'élevage

A l'installation, un ranch d'élevage n'acquiert généralement pas la totalité des reproductrices nécessaires à la constitution des troupeaux. Plusieurs années seront consacrées à l'implantation des infrastructures et au développement des effectifs du cheptel. A l'issue de cette étape, la phase de croisière correspond à un état démographique d'équilibre qui est fonction des paramètres biologiques du troupeau, de paramètres de gestion et d'un objectif de charge animale constante. Tel qu'il a été décrit précédemment (cfr. 1°.III.2), l'organigramme de répartition du cheptel d'un élevage en phase de croisière peut être traduit en un modèle qui permet de répartir les effectifs dans les différentes classes d'animaux. La connaissance prévisionnelle de ces effectifs permettra au planificateur le calcul des charges et l'établissement de schémas de répartition du bétail dans les parcelles.

Les modèles de troupeau peuvent être conçus soit de manière dynamique soit de manière statique (Baptist, 1992).

Dans le cas d'un modèle dynamique il est tenu compte d'un état initial, d'un horizon de temps et de pratiques de gestion. De nombreux modèles de ce type ont été récemment proposés. Ils simulent les transitions entre classes d'âge de façon déterministe ou stochastique et permettent de décrire le développement d'un cheptel ou les variations de productivité et de revenu d'un élevage (Foran *et al.*, 1990; Jalvingh *et al.*, 1990). Appliqués à des cas bien particuliers, ils permettent par exemple d'optimiser les stratégies d'insémination et de réforme en troupeau laitier (van Arendonk, 1988). Développés pour une utilisation simple sur ordinateur, ils présentent toutefois le désavantage de générer une multitude

de situations, selon les choix d'état initial, d'horizon de temps et de pratiques d'exploitation.

Moins nombreux dans la littérature (Baptist, 1988, 1992; Anon, 1986), les modèles statiques sont plus simples. Ils font abstraction de l'état initial et du temps nécessaire pour le retour à l'équilibre après le changement d'un quelconque paramètre d'exploitation. Ils supposent que la population est large et que les variations des paramètres biologiques sont stabilisées. Ils décrivent l'équilibre démographique comme un état stationnaire de la dynamique de population (Upton, 1989).

L'objectif étant ici de décrire les effectifs et charges que l'on aura à répartir dans un système d'élevage autoportant et durable, cette catégorie de modèles dits stationnaires nous semble être la mieux adaptée à la problématique qui nous occupe.

La démarche méthodologique développée ci-après s'applique au cas d'un élevage de race Ndama. Elle présente les éléments qui pourraient être intégrés dans un tableur classique pour établir les effectifs théoriques et les charges saisonnières par catégorie et classe d'âge d'un ranch d'élevage.

2.1. Paramètres du modèle

Les paramètres biologiques qui conditionnent la productivité numérique du troupeau sont d'une part, la fécondité, nombre de veaux mis au monde par vache et par an et d'autre part, le taux de mortalité annuel pour les différentes classes d'animaux. On distingue généralement un taux de mortalité (m) pour les veaux de 0 à 12 mois et un second taux (M) moyen pour l'ensemble des autres catégories d'animaux jeunes et adultes. Les tableaux 7 et 8 en 1^{ère} partie présentaient des exemples de valeurs pour ces deux paramètres dans diverses situations d'élevage de la race Ndama.

Le nombre de taureaux à placer dans les troupeaux de reproduction, l'âge à partir duquel les vaches seront réformées, l'âge auquel les mâles seront commercialisés etc., sont autant de paramètres de gestion du troupeau qui sont fixés par l'éleveur et qui auront une incidence sur le cycle général de production. Avec l'âge, la fécondité des reproductrices a tendance à diminuer, les risques de mortalité augmentent et leur aptitude à être valorisées en boucherie régresse. L'éleveur réforme chaque année une fraction de ses femelles de reproduction et les remplace par des génisses. Lors de la mise au mâle des génisses de remplacement (Gt), l'éleveur mettra dans le troupeau une proportion (t) de taureaux qui resteront dans les troupeaux au cours de l'ensemble de la carrière des reproductrices (c). En ranching, un troupeau de reproductrices est réformé en retirant les taureaux reproducteurs en début d'année. Les femelles à réformer

achèvent de produire leurs veaux au cours de l'année; elles seront commercialisées au cours de l'année qui suit. On distinguera deux taux de fécondité : celui des femelles en pleine reproduction (F) et celui des femelles réformées (f). Le taux de réforme (R) traduit la proportion de femelles qui est mise chaque année à la réforme pour l'ensemble des reproductrices.

Les veaux sont répartis également entre mâles et femelles et les effectifs évoluent dans les classes d'âge successives selon les taux de mortalité (m et M). Pour assurer le maintien d'un potentiel génétique, les jeunes mâles sont triés dès le sevrage et on ne garde entiers (non castrés) qu'une proportion (k) parmi ceux qui sont les plus aptes à la reproduction, de façon à couvrir les besoins en mâles reproducteurs.

Les paramètres utilisés pour établir les effectifs sont résumés au tableau 102.

Tableau 102 - Liste des paramètres utilisés pour le calcul des effectifs d'un troupeau en état stationnaire.

Paramètres	sigle	expression
Taux de mortalité Veaux de 0 à 1 an	m	coefficient
Taux de mortalité autres (jeunes et adultes)	M	coefficient
Taux de fécondité des reproductrices	F	coefficient
Taux de fécondité des reproductrices en année de réforme	f	coefficient
Effectif de taureaux par vache	t	coefficient
Carrière des reproductrices	c	années
Taux de jeunes mâles gardés entiers	k	coefficient
Génisses mises au taureau	Gt	nombre

2.2. Calculs des effectifs

2.2.1. Secteur de reproduction

Lorsque l'élevage aura atteint l'équilibre démographique, si l'on postule que les paramètres de fécondité et mortalité restent stables, le nombre de génisses à mettre au mâle (Gt) chaque année sera constant.

Le nombre total de vaches présentes sera fonction de l'effectif de génisses mises à la monte, de la longueur de leur carrière de reproductrices (c) et du taux moyen de mortalité (M) annuel de ces mêmes animaux.

L'effectif total de femelles reproductrices (V) sera égal à:

$$V = Gt \times \int_0^c (1-M)^{c+1} = Gt \times \left[(1-M)^{c+1} - (1-M) \right] / \ln(1-M)$$

L'effectif de vaches ayant atteint l'âge de réforme (V_r) sera égal à l'effectif de génisses mises au mâle (G_t), pondéré d'un coefficient qui est fonction du taux moyen de mortalité (M) et de longueur de la carrière de ces reproductrices (c):

$$V_r = G_t \times (1 - M)^{c-1}$$

Dans ces conditions le taux annuel de réforme (R) sera égal à :

$$R = \left[(1 - M)^{c-1} \times \ln(1 - M) \right] / \left[(1 - M)^{c+1} - (1 - M) \right]$$

L'effectif total de taureaux (T) sera égal à :

$$T = t \times V \times (1 - R)$$

Les naissances en cours d'année seront fonction des taux de fécondité moyens, pour les femelles en pleine reproduction (F) et de celles mises à la réforme (f) déduction faite des mortalités dans ces deux catégories. Le nombre de naissances au cours de l'année sera égal à :

$$N = V \times \left[F \times (1 - M) \times (1 - R) + f \times (1 - M) \times R \right]$$

Le nombre de veaux (V_{em}) ou de velles (V_{ef}) en fin d'année sera égal à:

$$V_{em} \text{ ou } V_{ef} = (N / 2) \times (1 - m)$$

2.2.2. Secteur d'élevage

Les effectifs présents en début d'année dans les différentes classes d'âge et de sexe du secteur élevage découlent des effectifs de veaux en fin d'année. Les génisses sont gardées en troupeau(x) individuel(s) jusqu'à l'âge de 2 ans (G_{1-2}). L'effectif nécessaire au maintien de l'effectif des reproductrices sera mis à la monte (G_t) entre 2 et 3 ans; l'excédent sera commercialisé (G_{2-3}).

$$G_{1-2} = V_{ef} \times (1 - M)$$

$$G_{2-3} = V_{ef} \times (1 - M)^2 - G_t$$

Après le sevrage les veaux mâles seront castrés dans une proportion $(1-k)$ de façon à ne garder que les meilleurs sujets et l'effectif nécessaire aux besoins de la reproduction. Les effectifs se répartissent entre bouvillons et taurillons de 1 à 2 ans (Bo_{1-2} et Ta_{1-2}), de 2 à 3 ans (Bo_{2-3} et Ta_{2-3}) et dans la catégorie 3 à 4 ans, les boeufs (B_{3-4}) gardés jusqu'à l'âge de 42 mois pour être ensuite commercialisés et

les taureaux ($T_{3,4}$) en excès qui ne sont pas gardés pour la monte et seront vendus.

$$Bo_{1-2} = Vem \times (1 - k) \times (1 - M)$$

$$Bo_{2-3} = Vem \times (1 - k) \times (1 - M)^2$$

$$B_{3-4} = 0,5 \times Vem \times (1 - k) \times (1 - M)^3$$

$$Ta_{1-2} = Vem \times k \times (1 - M)$$

$$Ta_{2-3} = Vem \times k \times (1 - M)^2$$

$$T_{3-4} = Vem \times k \times (1 - M)^3 - t \times Gt - M \times t \times (V - Gt)$$

Les femelles réformées (Vr_{2^o}) seront commercialisées l'année qui suit celle du retrait des taureaux. L'effectif à commercialiser sera égal à :

$$Vr_{2^o} = Gt \times (1 - M)^{c+1}$$

2.2.3. Effectifs d'animaux commercialisés

L'élevage commercialisera les boeufs (Bv) à un âge moyen de 42 mois, l'excédent de génisses de reproduction (Gv), les vaches de réforme vides (Vrv), les taureaux réformés (Trv) et l'excédent de taurillons de 3 à 4 ans (Tav). Les effectifs vendus déduction faite des mortalités seront de :

$$Bv = Vem \times (1 - k) \times (0,5 \times (1 - M)^2 + 0,5 \times (1 - M)^3) \times (1 - M)$$

$$Gv = (Vef \times (1 - M)^2 - Gt) \times (1 - M)$$

$$Vrv = Vr_{2^o} = Gt \times (1 - M)^{c+1} \times (1 - M)$$

$$Trv = T \times R \times (1 - M)$$

$$Tav = Ta_{3-4} \times (1 - M)$$

En affectant ces effectifs du poids moyen de la catégorie à la vente, on pourra estimer la productivité pondérale du troupeau en année de croisière, le taux d'extraction étant égal à la somme des effectifs commercialisés sur l'effectif total initial.

3. Calcul de la charge en bétail et de la capacité d'ingestion des animaux

Une première façon d'exprimer la charge est de la traduire en nombre de têtes par unités de surface. C'est l'unité la plus simple. Elle exprime l'effectif

d'animaux présents sur la superficie mais ne renseigne pas sur la masse biologique présente et sur les relations entre cette masse et la végétation.

On exprime plus fréquemment la charge en terme de poids d'animaux rapportés à la surface utilisée. Les poids variant en fonction des catégories et de l'âge des animaux, ils sont convertis en équivalents d'une unité standard. Dans les régions tropicales, l'Unité de Bétail Tropical (UBT) correspond à un bovin de 250 kg de poids vif (Boudet, 1984). Les charges sont alors exprimées en UBT/ha ou le plus souvent, du fait qu'en élevage extensif il faut généralement plusieurs hectares pour entretenir un seul animal, elles seront exprimées en ha/UBT.

On peut ainsi estimer, pour l'ensemble d'un élevage, un coefficient moyen qui traduit l'effectif en unités de bétail. Cette première approche est utile pour des estimations de charge liées à de petits troupeaux (milieu villageois) où les animaux ne sont pas séparés selon l'âge et le sexe.

Dans des élevages de grandes dimensions, où les animaux sont séparés en classes, il est préférable de calculer selon des coefficients propres à chacune des classes.

A ce stade, la démarche est essentiellement liée au fait que l'on considère proportionnelle la relation entre le poids de l'animal et les quantités de repousses d'herbe qu'il va prélever quotidiennement pour assurer la couverture de ses besoins. La matière sèche volontairement ingérée par l'animal augmente avec son poids vif mais de façon non linéaire. L'augmentation est liée à celle des besoins énergétiques dont une grande part est l'entretien, elle est permise par l'accroissement de la capacité du rumen (Jarrige, 1978). Rapportée au poids vif (PV), la matière sèche volontairement ingérée diminue, il s'agit là d'un phénomène de surface, fonction de la conformation de l'animal. Elle reste à peu près constante si on la rapporte à une puissance du poids vif qui se situe entre 0,60 et 0,75. Internationalement, on admet dans la plupart des systèmes un facteur de 0,75 dans l'expression de ce que l'on qualifie alors de poids métabolique de l'animal ($P^{0,75}$). Ceci permet, pour une espèce animale donnée, l'expression uniforme de l'ingestibilité de l'aliment ou de la capacité d'ingestion journalière de l'animal en g de matière sèche, ou encore, l'expression des besoins énergétiques en terme d'énergie nette par kg de poids métabolique.

Les valeurs de capacité d'ingestion journalière ne sont pas connues pour le bétail tropical, lequel possède une conformation différente de celle du bétail tempéré. Toutefois en l'absence de normes précises pour le bétail tropical, on ne peut que se référer aux données disponibles pour le bétail tempéré.

La norme moyenne couramment utilisée jusqu'à présent est celle citée par Boudet (1984), soit 2,5 kg de MS par 100 kg de poids vif et par jour ou 6,25 kg

/UBT /jour. Cette norme est cependant générale et ne permet pas de tenir compte des différences entre catégories ni de la taille métabolique de l'animal.

Des estimations plus détaillées peuvent être tirées des travaux réalisés par l'INRA (1978) au cours de la mise au point du système alimentaire UFL-PDI. La norme moyenne retenue pour des animaux en croissance est de 110 g MS/kg $P^{0,75}$ et par jour pour des catégories d'animaux allant de la période post sevrage, 60 à 70 kg, à la fin de croissance - début engraissement, 400 à 600 kg, et 90 g MS/kg $P^{0,75}$ et par jour pour les animaux en fin de croissance.

Le tableau 103 présente les capacités d'ingestion à attribuer à différentes classes de poids selon que l'on utilise la norme standard de 2,5 kg/100 kg de poids vif ou 110 g MS/kg $P^{0,75}$ /j.

Tableau 103 - Capacités d'ingestion (CI) en kg de MS/j/animal calculées selon une norme de 2,5 kg/100 kg de poids vif (A) ou selon le poids métabolique (B) - rapport entre les valeurs (A/B).

Poids vif	CI (A)	CI (B)	A/B
100	2,50	3,48	0,72
200	5,00	5,85	0,85
300	7,50	7,93	0,95
400	10,00	9,84	1,02

Les valeurs sont similaires pour les poids les plus élevés (A/B ~1). Le calcul sur la valeur de 2,5 kg /100 kgPV sous-estime la capacité d'ingestion pour les animaux plus légers (A/B~0,7), ce qui dans un calcul de capacité de charge/ha où l'on établit les surfaces selon la production journalière et la capacité d'ingestion des animaux, conduira à sous-estimer les besoins en superficie pour les animaux plus jeunes ou pour ceux (vaches allaitantes ou gestantes) ayant une capacité d'ingestion augmentée du fait de leur besoins particuliers.

Toujours selon ces mêmes travaux de l'INRA, la capacité d'ingestion en kg de MS/j des vaches allaitantes sèches ou gestantes ou de celles en lactation peut être estimée par les relations :

$$\begin{aligned} \text{Vaches allaitantes sèches ou gestantes:} & \quad CI = 0,090 \times P^{0,75} + 1,46 \\ \text{Vaches allaitantes selon niveau de} & \quad CI = 0,086 \times P^{0,75} + 0,244 \times PL + 2,52 \\ \text{production laitière (PL en kg)} & \end{aligned}$$

Ces normes ne pouvaient être vérifiées expérimentalement dans le cadre du travail. Elles permettent simplement ici de tenir compte des différentes catégories et classes d'animaux présents dans un ranch.

4. Etablissement d'un bilan relatif à la situation agrostologique de la parcelle

L'étude des repousses du ranch de l'Adélé a démontré les importantes variations de la valeur alimentaire entre les saisons. Dans la conception d'un parcellaire équilibré, il serait intéressant de pouvoir raisonner le découpage d'un parc, ou la répartition des animaux, en ne tenant pas seulement compte de la production quotidienne, mais en intégrant également l'évolution de la valeur alimentaire et l'aptitude saisonnière des différents types de végétation à couvrir les besoins quotidiens des animaux.

En se référant aux données de la littérature, un bilan peut être établi au départ d'une estimation des besoins minimaux d'entretien des animaux des différentes catégories. La démarche qui a été adoptée est la suivante.

Parmi les différents systèmes alimentaire décrits récemment dans la littérature internationale (ARC, 1980; ;NRC, 1984, 1987; INRA, 1988), celui proposé par les chercheurs australiens du SCA (1990), adaptable aux animaux en pâturage libre extensif, constituent une base de travail raisonnable, en valeur relative, il permet tout au moins de comparer des évolutions saisonnières entre les différents types de végétation.

Dans le système récemment proposé par les chercheurs australiens du SCA (1990), les besoins énergétiques nets (EN), exprimés en mégajoules quotidiens d'énergie nette pour l'entretien et la production d'un ruminant à la pâture, sont estimés en appliquant le modèle:

$$EN = K \times S \times M \times \left(0,26 \times P^{0,75} \times e^{-0,03A}\right) + MEp \times km + Egraze$$

Dans ce modèle généralisé applicable à diverses espèces et conditions d'alimentation, la première composante décrit les besoins métaboliques selon le poids de l'animal; la seconde (MEp) est liée à la part de l'énergie métabolisable utilisée pour la production (lait, croissance); la troisième (Egraze) exprime la dépense énergétique supplémentaire liée à l'activité de pâturage comparée à celle qu'aurait un animal nourri à l'étable.

Les facteurs entrant dans le calcul de la première composante sont établis comme suit:

- K est un coefficient lié à l'espèce animale : 1,0 pour les moutons et chèvres, 1,2 pour les zébus et 1,4 pour les taurins;
- S est un coefficient lié au sexe de l'animal : 1,0 pour les femelles et les mâles castrés et 1,15 pour les mâles entiers;

- M est un coefficient lié au lait apporté au veau sous la mère et est égal à $1+(0,26-Ba)$; B étant égal à 0,01 pour les veaux et a étant l'âge en semaines;
- $P^{0,75}$ est le poids métabolique de l'animal;
- A, l'âge de l'animal en années;

Cette première composante est celle classiquement utilisée pour estimer les besoins d'entretien d'un animal en stabulation. Elle comprend les mouvements effectués par l'animal et tient compte de conditions normales d'alimentation. Placé en conditions de survie ou face à des disponibilités alimentaires faibles, l'animal est susceptible de réduire ses besoins d'entretien de près de 10 à 15% ainsi que l'ont montré Foot et Tulloh (1977). Pour s'en tenir au strict minimum, les besoins sont ici calculés en affectant cette composante d'un coefficient 0,90, les besoins liés aux mouvements et aux déplacements de l'animal étant par ailleurs largement compris dans la composante Egraze.

La seconde composante est liée aux besoins de production. Ils sont nuls pour les différentes catégories, sauf pour les reproductrices allaitantes qui doivent assurer une production de lait ou des besoins de gestation. Ces besoins sont estimés ici selon les normes SCA à une moyenne de 7,0 MJ d'EM en milieu de gestation pour produire un veau de 20 kg et à 4,92 Mj joules d'EM par kg de lait. Le coefficient km est l'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable pour l'entretien, valeur fixée à 0,62 dans le cas de fourrages pauvres.

La composante Egraze exprimée en Mj joules d'énergie nette par jour se calcule selon l'équation:

$$Egraze = \left[(C \times MSi \times (0,9 - D)) + (0,05 \times T / (DF + 3)) \right] \times PV$$

Le premier terme définit l'énergie nette supplémentaire par kg de poids vif liée au pâturage en regard de celle dont aurait besoin un bovin nourri à l'étable. Ce terme est fonction de l'espèce animale, de la quantité ingérée et de la digestibilité de l'herbe ingérée, avec:

- C, coefficient lié à l'espèce, soit 0,05 pour les ovins; 0,006 pour les bovins;
- MSi, quantité de MS ingérée à la pâture. Elle est dans notre cas limitée et estimée comme étant celle nécessaire à la couverture des besoins d'entretien et production, soit la quantité d'énergie nette nécessaire divisée par la valeur énergétique de la végétation à la période considérée;
- D, coefficient de digestibilité de la matière sèche de l'herbe (voir 2° III.2.2.);
- PV, poids vif de l'animal.

Le second terme définit l'énergie dépensée pour les déplacements; il est fonction de la configuration générale du terrain et de la disponibilité en herbe, avec:

- T, coefficient lié à la configuration du terrain : 1,0 plat, 1,5 collines, 2,0 pentes accusées;
- DF, disponibilité en herbe en tonnes de MS par ha; dans la mesure où l'on s'adresse à des repousses de 20 jours on considère a priori DF comme équivalent à la production journalière disponible ($P_i \times F_u \times F_d$) multipliée par 20.

Pour établir la liaison avec les valeurs alimentaires de l'herbe décrites précédemment, les besoins exprimés dans la relation en Mjoules d'énergie nette (EN) seront transformés en standard UFL en appliquant la relation :

$$UFL = \frac{EN}{7,12}$$

En recourant à cet ensemble d'équations, on peut, par exemple, estimer les besoins énergétiques d'une génisse de 250 kg en gestation, pâturant en saison sèche une repousse en terrain collinaire dont la disponibilité journalière (compte tenu de F_u et F_d décrits précédemment) est estimée à 5,5 kg de MS/ha/j soit $DF = 0,110$ t/ha, avec une valeur UFL de 0,68 et une digestibilité de la matière sèche de 0,57 à:

$$UFL_m = 1,4 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,9 \times (0,26 \times 62,9 \times 0,93) / 7,12 = 2,69$$

$$UFL_p = 7 \times 0,62 / 7,12 = 0,61$$

$$UFL_{Egraze} = \left[0,006 \times \left(\frac{UFL_m + UFL_p}{0,68} \right) \times (0,9 - 0,57) \right] \times 250 / 7,12 = 1,18 \\ + (0,05 \times 1,5 / (0,11 + 3))$$

La quantité totale d'énergie (UFL) nécessaire pour l'entretien et la production quotidienne de cette génisse sera égale à :

$$UFL = UFL_m + UFL_p + UFL_{Egraze} = 4,48$$

Dans ce cas de figure l'énergie consacrée au pâturage représente 26% de l'énergie totale que devrait ingérer l'animal pour la couverture de ses besoins minimaux. Le tableau 104 présente quelques exemples de valeurs attribuées à la composante *graze* dans les conditions décrites ci-avant lorsque la disponibilité en herbe et la configuration du terrain varient.

Tableau 104 - Variation de la composante énergétique (UFL_{égraze}) liée à l'activité au pâturage selon la disponibilité en herbe et la configuration du terrain (génisse de 250 kg pâturant une herbe de 0,68 UFL/kgMS).

Pi×Fu×Fd (kg/ha/j)	T	1	1,5	2
	DF t/ha	UFL égraze		
2,0	0,040	0,91	1,20	1,49
5,5	0,110	0,90	1,18	1,47
10,0	0,200	0,89	1,16	1,43
20,0	0,400	0,85	1,11	1,37

Pi×Fu×Fd : production journalière disponible; DF : disponibilité en herbe; T, configuration du terrain.

Une démarche similaire peut être appliquée en ce qui concerne la valeur azotée. Les quantités de protéines nécessaires à l'entretien ont été fixées pour le calcul à une valeur moyenne de 3,5 g de PDI/kgP^{0,75}.

Les besoins de lactation et de gestation des reproductrices ont été fixés respectivement à 48 g PDI /kg de lait produit et 60 g PDI pour la gestation.

La capacité d'ingestion quotidienne est liée à l'animal et découle de valeurs standard fixées selon des données de la littérature pour des bovins recevant un aliment de valeur alimentaire normale. L'ingestibilité du fourrage décrite précédemment traduit pour un fourrage donné la quantité qui peut être ingérée *ad libitum*. Etablie sur un bovin en croissance consommant un aliment de qualité normale, l'ingestibilité de référence (système INRA, 1988) est de 95 g MS/j/kgP^{0,75}. L'ingestibilité des repousses étudiées à l'Adélé (Qib, tableau 81) se situe entre 76 et 91 g MS/kgP^{0,75}/j.

Pour tenir compte de ce paramètre et attribuer une valeur a priori de la quantité d'herbe consommable dans chaque situation agrostologique, on affectera la capacité d'ingestion d'un coefficient d'ingestibilité relative égal à l'ingestibilité divisée par 95.

II. Quelques paramètres zootechniques observés sur le bétail Ndama au ranch de Kolo (Bas-Zaïre)

1. Présentation succincte de la région

1.1. Localisation

L'élevage de Kolo est situé dans la région du Bas Zaïre (figure 79). Il s'étend sur une superficie totale de 57.922 ha entre les longitudes de 14°45' et 15°00' Est et les latitudes de 5°15' et 5°52' Sud.

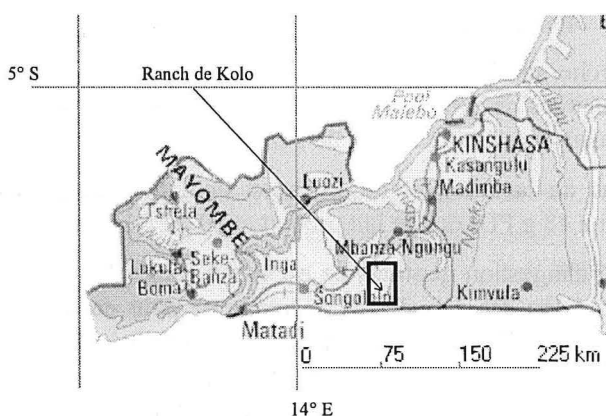


Figure 79 - Situation géographique du ranch de Kolo au Zaïre.

Le domaine est implanté sur les formations schistocalcaires appartenant au synclitorium du Mayombe. Cette vaste formation s'étend entre 2° et 8° de latitude Sud en bordure du golfe de Guinée. Elle traverse successivement le Gabon, le Congo, le Zaïre et le nord de l'Angola et supporte dans tous ces pays une végétation de savane, typique de la zone guinéenne.

Le ranch occupe une partie du bassin de la rivière Kwilu-Madiadia laquelle, avec ses affluents, a creusé dans le massif schistocalcaire un ensemble de vallées. Celles-ci sont larges et recouvertes par des dépôts alluvionnaires dans les parties basses couvrant les calcaires; l'altitude est de 450 m en moyenne. Vers l'amont, les vallées se rétrécissent et les pentes augmentent au fur et à mesure que l'on s'approche de la chaîne schisteuse située sur la bordure est du ranch laquelle s'élève jusqu'à 800 m d'altitude.

Les sols sont issus, soit de l'altération des roches calcaires ou schisteuses sous-jacentes, soit du matériel altéré déposé par l'eau, ou encore de dépôts

sableux en provenance du Kalahari auxquels on attribue généralement une origine éolienne (Devred, 1956).

1.2. Climat

La région du Bas-Zaïre appartient également au type climatique Aw₄ de Köppen. La saison sèche, d'une durée moyenne de 120 jours à la longitude de Kinshasa, augmente du nord-est vers le sud-ouest pour dépasser 160 jours sur la côte atlantique. A Kolo, sa durée est de l'ordre de 120 à 140 jours. Elle débute en moyenne entre le 15 mai et le 5 juin et se termine entre le 20 septembre et le 10 octobre. La petite saison sèche, longue de deux ou trois semaines, interrompt la saison des pluies en février.

La lame d'eau annuelle est voisine de 1300 mm. Le régime des pluies accuse une double périodicité, les maxima se situent en avril et en novembre, le minimum secondaire en février. Un diagramme de répartition de la pluviosité mensuelle à Kolo est présenté à la figure 78 (cfr § 4.2).

1.3. Végétation

Les savanes de la région de Kolo dérivent de l'association à *Hyparrhenia diplandra* et *Panicum phragmitoides*. L'association, typique des végétations savaniques de la zone guinéenne, est présente dans toutes les plaines et terrasses alluviales de la rivière Kwilu et de ses affluents. Sur les sols colluvionnaires et les anciennes terres de forêt, le faciès est enrichi par la présence d'*Andropogon gabonensis* et *Beckeropsis uniseta*. L'évolution régressive se marque par le remplacement des grandes Andropogonées par des espèces de taille plus petite, (1,0 à 1,5m) telles que *A. schirensis* sur les sols argileux de vallée en voie de dégradation, *H. lecomtei* sur les terrains lourds de pente, *A. pseudapricus* sur les reliefs en forte pente et les terrains squelettiques ou *Loudetia arundinacea* sur les sols argilo-sableux occupant les crêtes schisteuses.

2. Fécondité des reproductrices

2.1. Sources de variation

La fécondité calculée sur 12 années (1967-1978) et un effectif de 6.491 reproductrices en moyenne annuelle, a été de 74,6%. L'amplitude des variations que l'on observe au cours de ces 12 années s'étend entre des valeurs extrêmes de 43,7 et 98,3%. L'analyse de variance réalisée en introduisant dans un modèle additif où on n'a retenu que les effets principaux: troupeau, année, âge des reproductrices conduit aux valeurs F et aux probabilités associées reprises au tableau 105.

Tableau 105 - Analyse de variance (GLM) du taux de fécondité des reproductrices de race Ndama élevées au ranch de Kolo.

Sources de variation	dl	valeur F	p
année	11	7,49	0,0001
troupeau	20	2,31	0,0023
âge	7	2,25	0,0328

Les fécondités diffèrent de façon hautement significatives selon le critère année; pour les deux autres critères les valeurs F sont faibles, les probabilités qui sont associées à ces valeurs sont cependant significatives. La variation résiduelle du modèle est de 8,25%.

Classées par groupes homogènes selon le test de Duncan, les moyennes par années sont reprises au tableau 106.

On peut distinguer de cet ensemble une période regroupant les années 1975 à 1978 où la fécondité est moindre; cette diminution étant en fait principalement liée à des difficultés de gestion, elles-mêmes dépendantes de la situation politique du pays. En dehors de cette période, on peut observer que la fécondité d'un troupeau de reproductrices conduites en élevage extensif oscille entre des valeurs de 75 à 80%.

Tableau 106 - Classement des taux de fécondité par groupes d'années.

Classement Duncan	Fécondité moyenne	Années
a	80,34	1968, 1971, 1967, 1972
a b	76,35	1973, 1969, 1970, 1974
b c	71,44	1978
c	67,32	1976, 1977, 1975

Les valeurs moyennes classées par troupeaux sont décrites au tableau 107. Les différences de fécondité annuelles entre troupeaux peuvent être importantes. Ces variations ne peuvent cependant être expliquées par des critères de taille de troupeau, de charge par hectare ou de taille de la pâture. Dans tous les cas, les corrélations entre ces paramètres et la fécondité sont négligeables.

Tableau 107 - Fécondité moyenne établie par troupeaux.

Classement selon Duncan	Fécondité moyenne	Troupeaux
a	80,04	Matente , Luanza
a, b	78,65	Kialundua, Pungu, Bongo, Nkundi
a, b, c	76,24	Nzunzu, Ngundu, Tanga
a, b, c, d	72,40	Binda, Tumba, Kifuani, Vuandu, Intoko, Kitala, Nkazu, Kwilu
b, c, d	69,50	Mukati
c, d	67,48	Sengele, Muindu
d	65,31	Nlanda

Une part importante de la variation résiduelle s'explique par l'intervention d'autres facteurs. Les raisons d'une fécondité moindre peuvent être liées à des facteurs relevant de la gestion, tels que l'éloignement par rapport aux centres de décision. Nlanda et Sengele sont par exemple les deux troupeaux les plus éloignés au sud du ranch. La surveillance du bétail, l'organisation du personnel, la réalisation effective du programme de feux, la distribution de la complémentation minérale etc., sont autant de facteurs qui peuvent indirectement influencer la fécondité. Faute d'éléments suffisamment détaillés, on ne peut analyser ici ce type d'incidence.

Les données illustrent cependant de manière implicite la complexité du contrôle d'un grand nombre d'animaux répartis en de nombreux troupeaux sur un grand espace et l'intérêt qu'il y aurait pour le gestionnaire de pouvoir collecter et analyser une information continue et diversifiée permettant d'identifier rapidement les problèmes.

2.2. Evolution du taux de fécondité et de la répartition des naissances selon l'âge des reproductrices

En matière de reproduction, un paramètre important quant à la gestion de l'élevage est celui de la répartition des naissances au cours de l'année. Cette répartition naturelle est liée aux périodes climatiques. Le tableau 108 présente l'évolution de la fécondité et de la répartition des naissances au cours des différents mois de l'année selon l'âge des reproductrices.

Tableau 108 - Evolution de la fécondité (F) et de la répartition mensuelle des naissances.

Age (ans)	n	F %	Répartition mensuelle des naissances (%) du total de veaux nés.											
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3	31	75,46	0,59	0,69	0,60	0,57	0,46	0,29	0,63	0,57	6,15	41,23	36,79	11,39
4	32	71,07	6,45	3,78	2,24	1,81	1,21	1,16	0,80	3,18	16,40	28,81	21,10	13,01
5	32	71,68	4,16	3,74	3,91	3,60	3,36	2,76	3,98	8,81	13,83	23,78	13,08	14,97
6	32	77,41	5,67	5,03	4,67	4,39	4,39	4,74	7,05	8,49	11,50	19,65	12,42	11,94
7	31	75,17	5,04	3,95	4,09	6,04	7,40	6,92	6,94	6,29	9,07	18,15	14,14	11,93
8	25	76,82	5,84	4,25	4,57	7,60	9,08	8,10	6,46	5,34	7,56	16,77	13,02	11,39
9	8	76,30	8,35	4,88	5,44	8,78	9,63	7,95	5,16	5,54	6,01	14,71	15,25	8,27
10	1	69,30	9,70	9,70	4,30	13,80	6,00	10,5	7,50	4,40	8,90	10,60	11,00	3,5
moy.			4,78	3,65	3,41	4,13	4,38	4,05	4,29	5,47	10,70	24,49	18,38	12,27

La fécondité évolue quelque peu selon l'âge des reproductrices; on observe un léger abaissement en années 4 et 5. Les troupeaux étant généralement réformés au cours de l'année où les reproductrices atteignent l'âge de 9 ans, la fécondité observée pour ces deux classes d'âge (9 et 10) est peu représentative, car elle ne porte que sur quelques troupeaux.

La figure 80 présente les courbes de répartition mensuelle des naissances selon 3 âges (1^o, 2^o, 6^o année de reproduction) ainsi que la moyenne générale et l'histogramme de répartition des pluies en année moyenne.

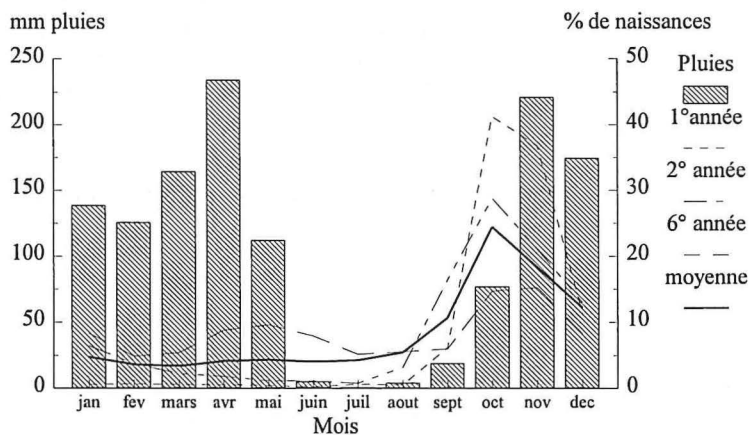


Figure 80 - Répartition de la pluviosité et des naissances selon l'année de reproduction, comparaison avec la répartition mensuelle moyenne des pluies.

Pour ce qui est de la répartition des naissances au cours de l'année, le tableau 108 fait apparaître l'évolution suivante. Au premier vêlage, les naissances se concentrent sur les premiers mois de la saison des pluies (octobre-décembre);

ensuite, on assiste à un étalement progressif des naissances avec une augmentation au cours des mois de la saison sèche. En 6^{ème} année de reproduction, lorsque les reproductrices ont 9 ans, la distribution des naissances prend une tendance bimodale à deux périodes, l'une centrée sur la 2^{ème} partie de la saison de pluies, l'autre centrée sur la fin de la saison sèche - début des pluies. Landais (1984) décrit ce type de distribution pour des taurins élevés en milieu villageois en Afrique de l'Ouest où les carrières des reproductrices sont généralement plus longues. L'analyse des données détaillées ici par âge des reproductrices montre que la tendance bimodale est progressive. Après la mise au mâle qui s'effectue sur des génisses de 24 à 35 mois, les naissances se répartissent entre octobre et février, étalement lié au fait que toutes les génisses ne sont pas cyclées en même temps. Frère *et al.* (1984) montrent en suivant 12 lots de 10 génisses, âgées de 2 à 3 ans lors de la monte, que la fécondité est liée à l'âge ($r = 0,65$), ou plus exactement au poids à la mise au mâle ($r = 0,77$); l'optimum étant situé entre 31 à 35 mois pour un poids de plus de 200 kg. De façon tout à fait analogue, Gauthier *et al.* (1982) observent sur du bétail Criollo de la Guadeloupe une corrélation très étroite entre le poids vif des génisses et le fait qu'elles soient cyclées.

Des décalages s'opèrent ainsi dans la distribution des naissances pour aboutir au cours des années à cette distribution bimodale où les périodes de fécondation se lient aux deux saisons sèches et placent naturellement les naissances en périodes de repousse abondante de l'herbe.

Les effectifs d'animaux dans les troupeaux de reproduction varient ainsi au cours de l'année au rythme des naissances et des sevrages qui s'effectuent normalement 9 mois plus tard. La répartition mensuelle moyenne que l'on observe dans un ranch tel que celui de Kolo sera utilisée plus loin pour établir un exemple de calcul d'effectifs en pâture et de charge en saison sèche.

3. Croissance pondérale des animaux

3.1. Croissance des veaux

Les données de poids moyens des veaux et des velles présents dans les troupeaux de reproduction permettent de chiffrer le croît des jeunes animaux en fin de saison de pluies (juin) ou en saison sèche (septembre). Le tableau 109 rassemble les poids moyens de 0 à 12 mois pour ces deux périodes. Le poids à la naissance est moindre lorsque les veaux sont nés en septembre. La différence est de l'ordre de 6 kg. Par ailleurs, le poids à la naissance des velles est légèrement inférieur (+/- 2 kg) à celui des mâles.

Tableau 109 - Poids moyens (kg) des veaux mâles et des velles en fin de saison pluvieuse (juin) et en fin de saison sèche (septembre) selon l'âge.

Age mois	Mâles			Femelles		
	Juin	Septembre	Moyenne	Juin	Septembre	Moyenne
0	28,5	22,1	24,5	26,3	20,6	23,5
1	38,9	44,6	42,1	35,8	38,3	36,9
2	46,6	56,4	50,8	46,0	47,8	47,0
3	58,0	64,4	61,5	59,3	59,7	59,5
4	71,6	72,2	71,8	64,9	71,7	67,8
5	85,9	79,2	81,9	78,1	79,4	78,9
6	95,3	93,3	94,0	84,3	86,0	85,5
7	112,9	104,4	110,1	94,7	96,3	95,2
8	124,0	110,6	119,9	109,7	105,8	108,5
9	119,0	118,9	118,9	122,8	111,5	115,3
10	139,6	137,9	138,1	119,8	127,2	125,8
11	137,0	137,1	137,1	141,2	126,1	129,5
12	151,5	164,0	158,4	176,3	132,8	149,1

L'analyse de variance réalisée sur l'ensemble des valeurs dans un modèle additif reprenant en variables principales les effets catégorie et période de mesure, l'âge étant utilisé en covariable, indique (tableau 110) des différences hautement significatives entre catégories. Dans les conditions de l'année, il n'apparaît toutefois pas d'influence significative de la saison (période) sur la croissance des jeunes.

Tableau 110 - Analyse de la variance du poids des veaux selon la catégorie et la période.

Sources de variation	dl	Valeur F	p
Catégorie	1	9,52	0,002
Période	1	1,44	0,220

Jusqu'à 12 mois, les relations entre l'âge et le poids peuvent être considérées comme linéaires; les paramètres des régressions sont repris au tableau 111. La figure 81 présente les régressions ($y = ax + b$) calculées sur l'ensemble des données des deux périodes entre les âges et les poids moyens mensuels pour chacune des deux catégories.

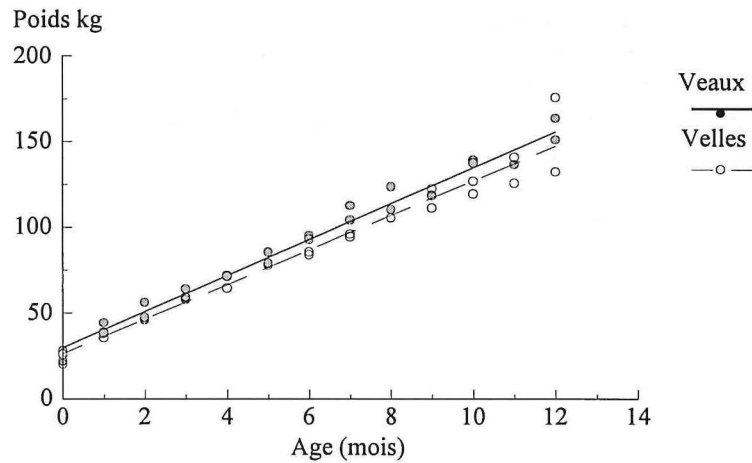


Figure 81 - Relations linéaires entre l'âge et le poids pour les veaux et les velles.

Tableau 111 - Régressions entre l'âge et le poids pour les veaux et les velles.

Catégorie	b	a	r ²	s _{y,x}	Croît quotidien g/jour
Veaux	29,9	10,5	98,3	5,4	344
Velles	26,2	10,1	96,3	7,7	331

Selon ces régressions, on peut estimer le gain de poids quotidien moyen de la naissance à 12 mois à 344g/j pour les veaux et 331 g/j pour les velles.

3.2. Evolution comparée des poids des taureaux et boeufs

Au total, 1860 pesées ont été effectuées au cours de l'année 1979 réparties selon les catégories et périodes figurant au tableau 112.

Tableau 112 - Effectifs et classes d'âges lors des pesées de taureaux et boeufs en 1979.

	Boeufs	Taureaux
Mai 79	272 (11 à 48 mois)	476 (11 à 60 mois)
Aout 79	834 (10 à 55 mois)	378 (10 à 52 mois)

Les effectifs à l'intérieur de chaque classe d'âge variaient de 2 à 30 têtes selon les présences le jour du rassemblement au couloir de soins.

Etablies depuis l'âge de 10 mois jusqu'au stade adulte, les courbes caractérisant le poids aux différents âges à une période donnée ne sont plus

linéaires. Elles présentent une allure de type sigmoïde non symétrique. Il est bien évident que ce ne sont pas des courbes de croissance d'individus tout au long de leur vie mais des mesures instantanées de poids. Pour établir une fonction continue du poids selon l'âge, le modèle qui a été adopté pour décrire l'ensemble des données de chaque catégorie et période est celui proposé par Nelder (1962). Debouche (1977) présente ce modèle comme étant le plus général et le mieux adapté à la description de croissances sigmoïdes non symétriques et le décrit de la façon suivante:

$$y = M \left[1 + ne^{\left(\frac{-(x-a)}{b} \right)} \right]^{-1/n}$$

avec y, poids (kg); x, âge de l'animal (mois); M, poids maximal; n, paramètre de dissymétrie de la courbe; a, abscisse de la croissance la plus élevée et b, vitesse de croissance.

Ce choix de modèle est également similaire à celui effectué récemment par Ahunu *et al.* (1994) pour décrire la croissance de femelles Ndama à Kumasi au Ghana.

Les paramètres ajustés pour chaque catégorie et période de mesure sur les données individuelles sont repris au tableau 113.

Tableau 113. -Paramètres des régressions calculées sur l'ensemble des données selon le modèle de Nelder pour les deux catégories d'animaux et les deux périodes de mesure.

Périodes	Catégories	M	a	b	n	r ²	S _{v,x}
Mai	Taureaux	408,9	30,26	7,77	4,45	0,86	24,53
Mai	Boeufs	332,1	23,85	6,58	4,04	0,78	25,35
Août	Boeufs	314,6	22,20	10,15	2,17	0,82	21,71
Aout	Taureaux	334,9	28,66	4,80	6,85	0,81	21,32

La figure 82 présente les ajustements en regard des poids moyens à chaque âge et compare l'évolution du poids des taureaux et des boeufs lors de la pesée effectuée en mai - fin de saison pluvieuse.

De même, la figure 83 présente la comparaison des poids des boeufs selon que l'on est en saison pluvieuse ou en saison sèche.

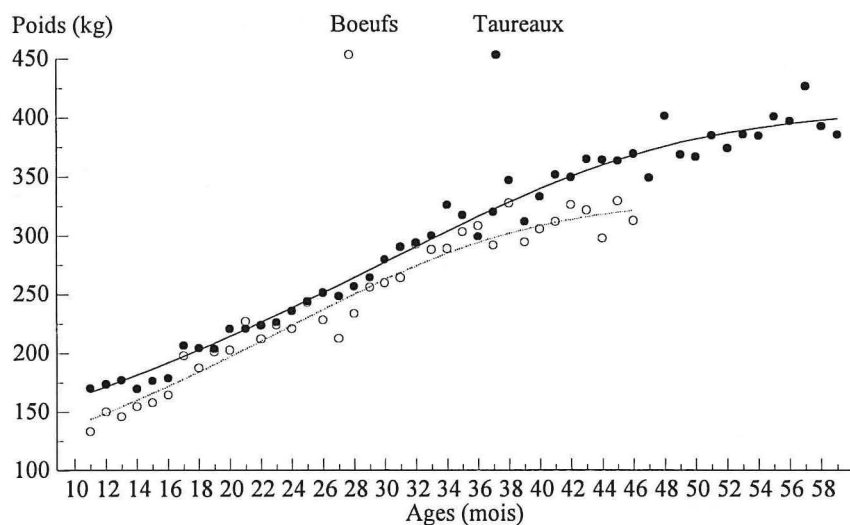


Figure 82 - Evolution comparée des poids des taureaux et boeufs en fin de saison pluvieuse.

Les paramètres de vitesse de croissance que l'on peut extraire du modèle de croissance sont donnés par les relations :

$$v_{\max} = \frac{M}{b} \frac{1}{(1+n) \frac{n+1}{n}}$$

$$v_{\text{moy}} = \frac{M}{b} \left(\frac{1}{2(n+2)} \right)$$

Le tableau 114 présente les valeurs de ces paramètres aux deux périodes de mesure.

Tableau 114 - Vitesse moyenne et maximale de croissance en g/jour aux deux périodes de mesure pour les taureaux(T) et les mâles castrés(B).

	T mai	B mai	T août	B août
v_{\max} g/jour	216	220	215	188
v_{moy} g/jour	133	136	129	121

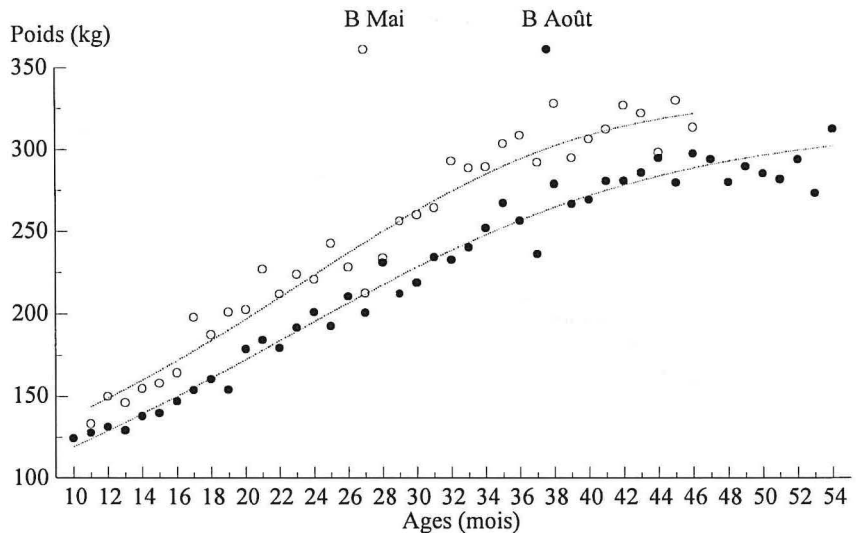


Figure 83 - Courbes comparées des poids moyens de boeufs Ndama en fin de saison de pluies (mai) et en milieu de saison sèche (août) au ranch de Kolo.

Cette première approche permet de caractériser les poids et la croissance des mâles jusqu'à l'âge adulte. Les taureaux ont des poids plus élevés que les boeufs, ce qui découle de la sélection effectuée lors des opérations de castration. On ne garde que les sujets présentant la meilleure conformation lors de cette opération; ils auront de ce fait un meilleur potentiel de croît. Leur poids maximal (M) à la période la plus favorable est plus élevé, de l'ordre de 410 kg, que celui des boeufs n'atteignant que 330 kg. Les boeufs ont leur période de croissance maximale (a) à l'âge de 22 - 23 mois, les taureaux plus tardifs ont leur croissance maximale à l'âge de 28 - 30 mois. Les vitesses de croissance maximales sont selon les catégories et périodes de 190 à 220 g/j. En vitesse de croissance moyenne calculée sur l'ensemble de la courbe, elles sont de 120 à 135 g/j. Ces valeurs ne donnent cependant que la tendance générale à une période donnée. On observe entre les deux périodes une chute de poids importante liée à la saison sèche. Pour les boeufs, la perte de poids n'est pas homogène; elle apparaît proportionnelle au poids de l'animal et serait de l'ordre de 10 à 15% du poids vif.

La croissance apparaît ainsi entrecoupée de périodes de pertes de poids. Cette variation cyclique du poids des animaux est analysée par la suite.

3.3. Evolution du poids des boeufs âgés de 12 à 42 mois - Incidence de la période de mesure

Afin de caractériser les variations saisonnières du poids des boeufs, ceux-ci ont été soumis à la pesée à 4 époques:

- février, fin de la première période de pluies - petite saison sèche. Les animaux ont bénéficié depuis octobre de la repousse faisant suite au feu de fin de saison sèche - début de saison des pluies, repousse entretenue par le broutage;

- mai, fin de la deuxième période de pluies - début de la saison sèche. Les animaux disposent d'une part, des dernières repousses de la première période dont la valeur alimentaire est en nette régression suite à la montaison des graminées et d'autre part, de la repousse faisant suite aux feux de contre-saison, (20% de la surface de la pâture ont été brûlés en petite saison sèche);

- septembre, fin de la saison sèche - début de la saison des pluies. Les animaux bénéficient de la repousse des feux de contre-saison et de début de saison sèche, repousse qui diminue en quantité et qualité au fur et à mesure de l'avancement dans la saison sèche;

- novembre, pleine saison des pluies, les animaux bénéficient des premières repousses faisant suite aux feux de saison sèche et au retour des pluies.

Les résultats de l'analyse de la variance réalisée sur l'ensemble des données individuelles dans un modèle avec pour effet principal la période, l'âge étant utilisé comme covariable sont repris au tableau 115. Les différences apparaissent très hautement significatives entre les périodes. La période de l'année influence d'une manière générale le poids des boeufs. Lorsqu'on teste l'interaction entre ces facteurs bien que la valeur F soit peu élevée, il apparaît également une interaction qui indique une incidence de l'âge sur l'amplitude des variations de poids.

Tableau 115 - Analyse de la variance du poids des boeufs selon l'âge et la période de mesure.

Sources de variation	dl	valeur F	p
Age	1	5866,4	0,0000
Période	3	10,7	0,0001
Age x période	3	4,5	0,0041

De 12 à 42 mois, la croissance peut être considérée comme quasi linéaire. Les régressions calculées sur l'ensemble des poids observés pour chaque classe d'âge, ainsi que les paramètres statistiques qui s'y rapportent, sont présentées au tableau 116 et illustrées à la figure 84.

Tableau 116 - Régression linéaire entre le poids (y) en kg et l'âge (x) en mois pour les boeufs de 12 à 42 mois à 4 périodes de l'année.

Période de mesure	a	b	r ²	s _{y,x}	Gain quotidien g/jour
Février (petite saison sèche)	5,08	95,9	81,7	22,18	166
Mai (grande saison de pluies)	4,95	91,7	86,7	18,03	162
Septembre (fin de saison sèche)	4,45	70,4	76,8	21,17	146
Novembre(saison de pluies)	4,98	78,4	84,3	19,68	163

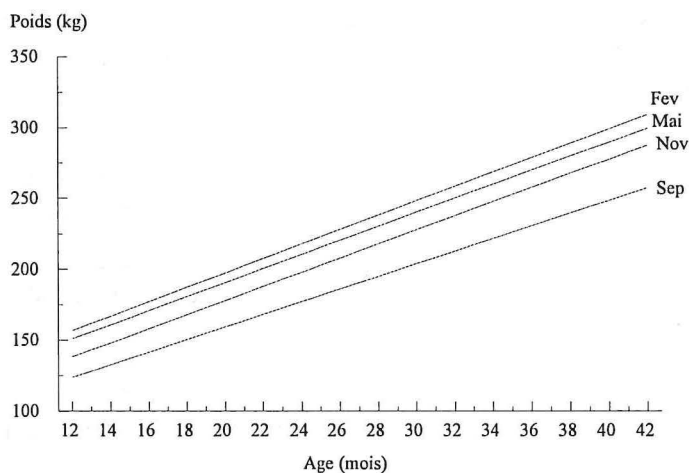


Figure 84 - Régressions établies à différentes périodes de l'année liant le poids des boeufs à leur âge.

Le modèle linéaire de croissance traduit des accroissements de poids journaliers constants. Pour les animaux nés en janvier, avril, août et octobre, ils oscillent entre des valeurs de 146 et 166 g par jour.

En se référant à ces quatre étalonnages de poids établis à quatre périodes également réparties sur l'année et en postulant que les droites sont typiques de la situation moyenne et se reproduisent d'année en année, on peut établir la croissance théorique d'un animal selon son mois de naissance. Le tableau 117 présente de cette façon les évolutions de poids de boeufs nés en février, mai, septembre et novembre au cours du temps, ainsi que les gains de poids quotidiens moyens que l'on peut estimer entre périodes de mesure. La figure 85 illustre de même la croissance entre l'âge de 12 et 42 mois d'un boeuf né en février et place cette courbe en regard des pluviosités mensuelles moyennes que l'animal connaîtra au cours de sa croissance.

Les accroissements journaliers entre périodes de mesure sont les plus importants entre septembre(09) et novembre(11).

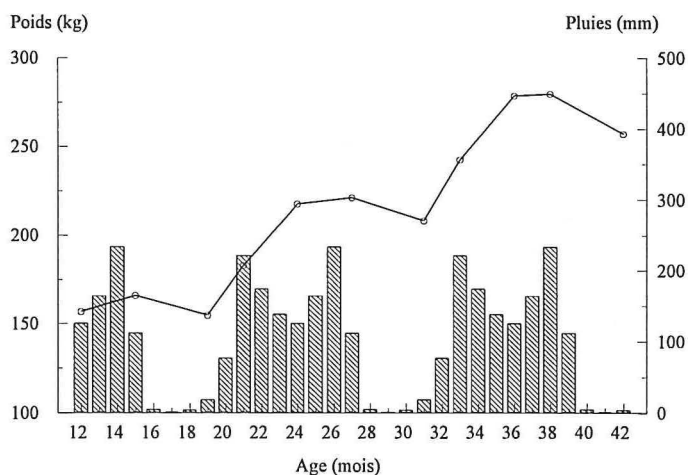


Figure 85 - Croissance simulée selon les régressions dans le cas d'un jeune boeuf né en février, répartition de la pluviosité moyenne à Kolo.

Avant cette période, les animaux ont subi cinq mois de saison sèche qui ont entraîné une perte de poids.

A la reprise des pluies, la repousse est abondante et de qualité, elle permet une ingestion optimale et des accroissements de poids fort importants. Selon l'âge de l'animal les gains de poids quotidiens sont de l'ordre de 400 à 600 g/j, ce qui est particulièrement élevé si l'on considère le potentiel de croissance normal de la race Ndama. La qualité de l'herbe intervient en ordre principal, mais il s'agit surtout d'un phénomène de croissance compensatoire, mécanisme connu chez les bovins, au terme duquel l'animal privé sur un plan alimentaire pendant une période donnée compense par la suite le retard de croît par une ingestion accrue et une valorisation meilleure du fourrage ingéré.

L'accroissement journalier se maintient à un niveau élevé (370 à 400 g/j) selon l'âge jusqu'en février, puis on observe un net ralentissement de février à mai.

A cette époque de l'année, les animaux ont à leur disposition une repousse qui entre en phase de montaison et de floraison dont la valeur alimentaire suffit à peine pour couvrir les besoins d'entretien. Toutefois, dans le mode d'exploitation des pâturages pratiqué à Kolo (brûlis de 20% de la superficie en petite saison sèche janvier-février), les animaux bénéficient de la repousse après feu de contre-saison. C'est principalement de cette repousse qu'ils tirent les éléments nutritifs nécessaires pour assurer les gains de poids que l'on observe encore à cette période. L'importance de la pratique de ce feu de contre-saison est ainsi mise en évidence.

Tableau 117 - Influence du mois de naissance sur l'évolution du poids des animaux et des gains quotidiens moyens en fonction du temps

Naissance: Janvier				Naissance: Avril				Naissance: Août				Naissance: Octobre			
Période mesure	Age (mois)	Poids (kg)	Croît (g/j)	Période mesure	Age (mois)	Poids (kg)	Croît (g/j)	Période mesure	Age (mois)	Poids (kg)	Croît (g/j)	Période mesure	Age (mois)	Poids (kg)	Croît (g/j)
2	12	157	102	5	12	151	-77	9	12	124	399	11	12	138	369
5	15	166	-89	9	16	142	433	11	14	148	371	2	15	172	98
9	19	155	460	11	18	168	375	2	17	182	95	5	18	181	-102
11	21	183	379	2	21	203	89	5	20	191	-110	9	22	168	486
2	24	218	85	5	24	211	-126	9	24	177	503	11	24	198	382
5	27	225	-138	9	28	195	538	11	26	208	384	2	27	233	80
9	31	208	564	11	30	228	388	2	29	243	77	5	30	240	-150
11	33	243	392	2	33	264	71	5	32	250	-159	9	34	222	590
2	36	279	11	5	36	270	-175	9	36	231	607	11	36	258	395
5	39	280		9	40	248		11	38	268	452	2	39	294	
								2	41	309					

De mai à septembre, on enregistre une diminution très nette des croûts quotidiens, voire des pertes de poids pouvant aller jusqu'à 170 g/j. La repousse est peu abondante et la teneur en matières azotées devient insuffisante. Elle ne permet plus l'accroissement de poids. Les besoins d'entretien sont par ailleurs augmentés du fait des déplacements plus importants que l'animal doit effectuer pour collecter sa ration quotidienne. Cette situation incontournable fait de la période sèche un moment critique dans la vie de l'exploitation. C'est à cette période que les excès de charge auront un impact sur les performances des animaux et l'intégrité de la végétation.

Pour caractériser ces cycles de croissance de manière continue et établir une relation permettant de décrire l'évolution théorique du poids d'un animal né à une période donnée et croissant au cours du temps, l'ensemble des données couvrant les 4 périodes de mesure a été traité dans un seul et même modèle.

L'établissement du modèle est basé sur deux hypothèses. Entre 10 et 42 mois d'une part, la courbe de poids à une période donnée peut être décrite par une régression linéaire $y = ax + b$ où y est le poids, x , l'âge à la croissance moyenne et b , l'ordonnée à l'origine. D'autre part, la variation saisonnière de poids peut être décrite par une fonction trigonométrique de type $K \sin(W_i + \varphi)$ où l'amplitude K varie en fonction du poids de l'animal. W_i est la composante cyclique annuelle et φ un facteur de déphasage de la fonction trigonométrique qui traduit le décalage du cycle par rapport aux solstices.

L'ensemble des données a été traité en recourant à la procédure de régression non-linéaire du logiciel SAS avec pour modèle:

$$y = (ax + b) + K(ax + b) \times \sin(W_i + \varphi)$$

avec y , poids (kg) de l'animal à un âge et une période donnés; x , l'âge de l'animal (mois); K , facteur de variation de l'amplitude selon l'âge; $W_i = 2\pi i/12$, i étant le mois de l'année; et φ le paramètre de déphasage.

Les paramètres ajustés sur l'ensemble des 1248 données sont repris au tableau 118.

Tableau 118 - Paramètres du modèle décrivant les poids de boeufs selon l'âge et le mois de l'année.

Paramètres	a	b	K	φ	r^2	$s_{y,x}$
valeurs	4,88	84,03	0,0996	0,1921	0,84	18,8
écart-type	0,06	1,80	0,0398	0,0390		

Si on admet que tous les mâles castrés âgés de 12 à 42 mois seront soumis pendant les différentes périodes inter-mesures aux mêmes conditions alimentaires au cours de leur croissance, on peut établir pour cette gamme d'âges les courbes de croissance en fonction du mois de naissance.

La figure 86 présente les évolutions de poids simulées selon le modèle pour des animaux nés respectivement en février, mai, août et novembre. Un même dessin peut être répété pour les autres mois de naissance. Avec un r^2 de 0,84 et un écart-type résiduel de 18 kg, l'ajustement réalisé sur l'ensemble des données est intéressant. La croissance n'est pas constante au cours du temps et présente plusieurs points d'inflexion correspondant aux périodes critiques, tant au point de vue climatique qu'alimentaire. Le modèle est cependant théorique et lié à une seule année, il est possible que ces points critiques oscillent légèrement dans le temps en fonction des conditions climatiques et de la vitesse de réponse de la végétation. Si l'on projette les valeurs moyennes observées pour chacune des classes d'âge aux différentes périodes sur la droite de régression entre valeurs observées et valeurs prédites ($r^2 = 0,95$; $s_{y,x} = 10,42$), on constate que le modèle ne prend pas en compte la tendance sigmoïdale de la courbe de poids des animaux (figure 87).

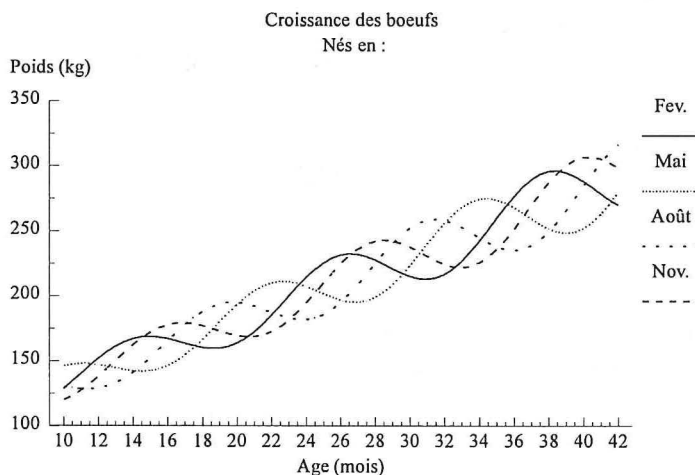


Figure 86 - Croissance continue des boeufs selon l'âge établie pour des animaux nés en février, mai, août et novembre.

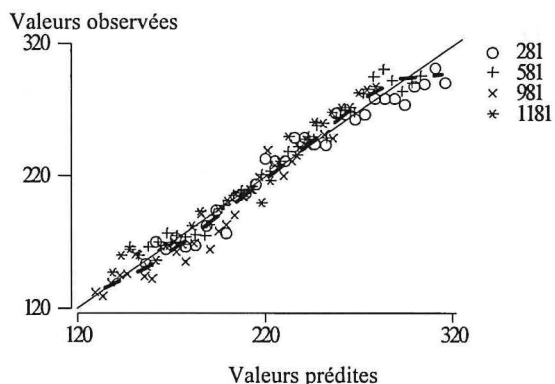


Figure 87 - Valeurs prédites selon le modèle et moyennes observées sur les 4 périodes de pesée.

Pour tenter d'éviter ce biais, la même démarche a été effectuée en intégrant également les données individuelles de poids de boeufs collectées en mai et septembre 1979 (2329 données au total allant de 12 à 54 mois) et en remplaçant la composante linéaire par le modèle de Nelder présenté plus haut, soit un modèle de forme:

$$y = \left[M / \left(1 + ne^{\left(\frac{-(x-a)}{b} \right)^{1/n}} \right) \right] \times (1 + k \sin(Wi + \varphi))$$

Les paramètres de l'ajustement sont décrits au tableau 119.

Tableau 119 - Paramètres de l'ajustement réalisé sur l'ensemble des données de poids collectées en 1979 et 1981 sur les troupeaux de boeufs (6 séries de mesures).

Paramètres	M	b	a	n	k	φ	r^2	$s_{y,x}$
Valeur	332	8,07	27,26	3,96	0,0822	-0,1624	0,82	21,2
écart-type	12,6	1,93	1,41	1,21	0,003	0,044		

La figure 88 présente l'évolution simulée du poids d'un boeuf né en février établie selon ce modèle.

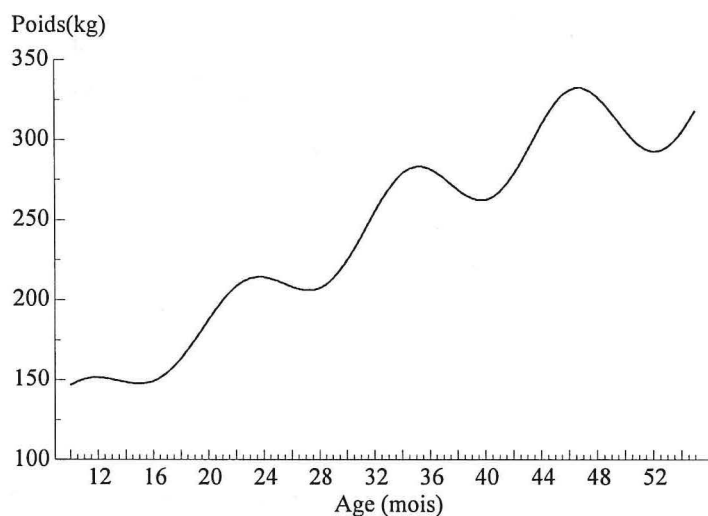


Figure 88 - Simulation de l'évolution de poids pour un boeuf Ndamà né en février selon le modèle de Nelder assorti d'une composante cyclique (entre 10 et 54 mois).

Tel qu'il est établi, le modèle permet une prédiction du poids moyen d'une classe d'âge donnée à une période donnée avec un coefficient de détermination r^2 de 0,95 et un écart résiduel de 12,1 kg. Il décrit dans son ensemble la tendance générale en sigmoïde et l'allure cyclique de l'évolution du poids. Il n'en reste pas moins théorique, car il ne peut prendre en compte les importantes variations interannuelles de durée de la saison sèche, variations que l'on peut observer à la figure 89, dans l'allure et l'écartement par rapport à la droite de certaines séries de mesures. Sous d'autres latitudes, la position et l'amplitude de la saison sèche seront également différentes et le modèle devra être adapté en conséquence.

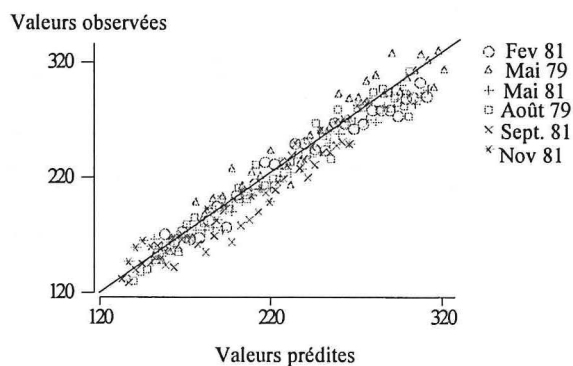


Figure 89 - Valeurs prédites selon le modèle et valeurs moyennes observées au cours des 6 séries de mesures.

Un tel modèle peut cependant constituer une référence pour estimer des productivités annuelles selon les mois de naissance ou l'âge d'abattage ou encore pour comparer à une référence les poids à l'intérieur d'un lot d'animaux occupant une pâture à une période donnée. Il peut aider le gestionnaire dans sa réflexion sur le niveau de performance ou la charge théorique d'une pâture. Il permet par ailleurs une appréciation des pertes de poids et une estimation des niveaux de complémentation à pourvoir pour éviter ou limiter les pertes de poids en saison sèche.

III Effectifs et charges en bétail dans un ranch

1. Répartition des effectifs

Le modèle décrit précédemment permet de produire l'exemple présenté au tableau 120; deux situations, A et B, sont simulées selon deux ensembles de paramètres. Dans le cas de figure B, l'augmentation des taux de mortalité et la baisse de la fécondité modifient la structure du troupeau et entraînent une diminution du taux d'extraction annuel ainsi que de la productivité pondérale par tête. Elle est estimée ici à 50,2 kg par tête et par an dans la situation A où la mortalité et la fécondité présentent un niveau normal pour un ranch d'élevage en conditions de savane guinéenne.

Les effectifs de bétail théoriquement présents au cours des différents mois de l'année peuvent être décrits de façon détaillée en recourant au modèle de calcul décrit plus haut. En tenant compte des paramètres utilisés dans la situation A (tableau 120), de la répartition des naissances décrite au tableau 105, d'une répartition des mortalités calculée selon le coefficient présenté en 2.2.1. et de ventes réparties de manière continue et constante sur l'année, les effectifs mensuels théoriques dans les catégories et classes d'âge d'un élevage de 10.000 têtes se répartissent selon la présentation effectuée au tableau 121.

Ces effectifs seront utilisés par la suite pour établir des exemples de charges animales dans un ranch d'élevage en savane guinéenne. Le modèle stationnaire permet ainsi de simuler des productivités sous différentes hypothèses, et plus particulièrement dans le cas qui nous occupe, des prévisions de nombres d'animaux à répartir sur les surfaces de pâturage d'un élevage.

Tableau 120 - Répartition des effectifs de bétail en début d'année et productivité de l'élevage selon deux séries de paramètres (A et B).

Paramètres		A		B	
Mortalité jeunes	m	0,05		0,08	
Mortalité adultes	M	0,03		0,05	
Fécondité reproductrices	F	0,75		0,65	
Fécondité année réforme	f	0,65		0,55	
Taureaux /vache	t	0,05		0,05	
Non castrés	k	0,20		0,20	
Carrière des reproductrices	c	8		10	
Génisses au taureau	Gt	1		1	
Effectifs			% du total		% du total
Reproductrices (gd total)	V	(6,89)	(0,32)	(7,43)	(0,38)
Génisses mises au mâle	Gt	1,00	0,05	1,00	0,05
Vaches en pleine reproduction		5,08	0,24	5,80	0,30
Vaches année de réforme	Vr	0,81	0,04	0,63	0,03
Naissances mâles					
Naissances femelles					
Veaux 0 à 1 an	Vem	2,27	0,11	1,98	0,10
Velles 0 à 1 an	Vef	2,27	0,11	1,98	0,10
Taurillons 1 à 2 ans	Ta ₁₋₂	0,44	0,02	0,38	0,02
Bouvillons 1 à 2 ans	Bo ₁₋₂	1,76	0,08	1,50	0,08
Génisses 1 à 2 ans	G ₁₋₂	2,20	0,10	1,88	0,10
Génisses 2 à 3 ans (vente)	G ₂₋₃	1,13	0,05	0,79	0,04
Bouvillon 2 à 3 ans	Bo ₂₋₃	1,71	0,08	1,43	0,07
Taurillons 2 à 3 ans	Ta ₂₋₃	0,43	0,02	0,36	0,02
Taurillons 3 à 4 ans (vente)	T ₃₋₄	0,36	0,02	0,27	0,01
Boeufs 3 à 4 ans(vente)	B ₃₋₄	0,84	0,04	0,70	0,04
Taureaux	T	0,30	0,01	0,34	0,02
Réformes 2 ^o année (vente)	Vr _{2^o}	0,78	0,04	0,60	0,03
Effectif total		21,38	1,00	19,63	1,00
Reproductrices / effectif total		32,21		37,87	
%					
Naissances %		72		61	
Réforme %		13		09	
Ventes annuelles					
Boeufs 42 mois (310 kg)		1,64	0,08	1,34	0,07
Génisses de monte (210 kg)		1,10	0,05	0,75	0,04
Vaches de réforme (280 kg)		0,76	0,04	0,57	0,03
Taureaux (330 kg)		0,04	0,00	0,03	0,00
Taurillons 3à4 (310 kg)		0,34	0,02	0,26	0,01
Productivité					
% d'extraction			18,2		15,0
kg par tête/an			50,2		41,8

Tableau 121 - Répartition théorique des effectifs selon les catégories animales en cours d'année pour un cheptel de 10.000 têtes

BASE	10000												
Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D	
Génisses mises au mâle	468	467	465	464	463	462	461	459	458	457	456	455	454
Vaches en pleine reproduction	2375	2369	2363	2357	2351	2346	2340	2334	2328	2322	2316	2310	2300
Vaches année de réforme	378	377	376	375	374	373	372	371	370	369	368	368	367
Naissances mâles		55	96	134	179	227	270	315	373	486	746	937	1060
Naissances femelles		55	96	134	179	227	270	315	373	486	746	937	1060
Veaux 0 à 1 an	1061	1059	1056	1053	1051	1048	1045	1043	1040	1037	1035	1032	1029
Velles 0 à 1 an	1061	1059	1056	1053	1051	1048	1045	1043	1040	1037	1035	1032	1029
Taurillons 1 à 2 ans	206	205	205	204	204	203	203	202	202	201	201	200	200
Bouvillons 1 à 2 ans	824	821	819	817	815	813	811	809	807	805	803	801	799
Génisses 1 à 2 ans	1029	1027	1024	1022	1019	1016	1014	1011	1009	1006	1004	1001	999
Génisses 2 à 3 (vente)	531	487	442	398	354	310	265	221	177	133	88	44	0
Bouvillon 2 à 3 ans	799	797	795	793	791	789	787	724	658	591	525	459	393
Taurillons 2 à 3 ans	200	199	199	198	198	197	197	196	196	195	195	194	194
Taurillons 3 à 4 ans (vente)	166	152	138	125	111	97	83	69	55	42	28	14	0
Bouvillons 3 à 4 ans	393	328	263	198	133	68	3						
Taureaux	142	142	141	140	139	137	135	132	130	127	124	120	117
Reformes 2 ^e année(vente)	367	336	305	275	244	214	183	153	122	92	61	31	0
TOTAL	10000												
Total mensuel		9934	9840	9740	9655	9573	9483	9397	9336	9386	9730	9936	10000

2. Charges et capacités d'ingestion par catégories et classes d'âge d'un troupeau Ndama

En se référant aux données relevées au ranch de Kolo, ainsi qu'aux données de la littérature, les tableaux ci-après présentent une estimation des coefficients de conversion en UBT et en poids métabolique /tête ainsi que les capacités que l'on peut attribuer à chacune des catégories de la race Ndama.

Les estimations ont été effectuées sur base des effectifs de chaque classe d'âge théoriquement présents au cours de la saison sèche et du poids moyen des animaux par classe.

Les charges moyennes sont estimées pour les troupeaux de reproduction ainsi que pour les troupeaux de mâles ou de femelles en croissance. Pour tous les calculs, l'estimation de la charge moyenne de chaque catégorie est basée sur les effectifs du mois de septembre (période correspondant au creux de la saison sèche à Kolo).

2.1. Troupeaux de reproduction

Pour établir la répartition théorique des effectifs dans un troupeau de reproduction, les hypothèses de départ portent sur un effectif de 100 reproductrices et 7 taureaux. Les reproductrices survivantes mois par mois mettant bas avec un taux annuel de fécondité de 0,75 et selon le calendrier décrit au chapitre I.4.2. et repris au tableau 122.

Tableau 122 - Répartition des naissances en % du total annuel.

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
% mensuel des naissances	4,8	3,6	3,4	4,1	4,4	4,0	4,3	5,5	10,7	24,5	18,4	12,3

Les taux annuels de mortalité des adultes et des veaux ont été fixés respectivement à 0,03 et 0,05. Les effectifs survivants chaque mois sont établis en affectant l'effectif de début d'année d'un coefficient égal à :

$$(1 - M)^{i / 12}$$

où i est le numéro du mois dans l'année et M , le taux de mortalité annuelle de la catégorie.

Chaque mois, les veaux ayant atteint l'âge de 9 mois sont sevrés et placés dans d'autres troupeaux. Cette opération n'est toutefois pas effectuée en saison

sèche, période au cours de laquelle on attend le retour des pluies pour reprendre les sevrages.

La valeur moyenne de charge et de capacité d'ingestion de MS que l'on peut attribuer, compte tenu de ces éléments, des effectifs et des poids moyens des animaux théoriquement présents en milieu de saison sèche dans un troupeau de reproduction est décrite au tableau 123.

Tableau 123 - Charge moyenne et consommation potentielle de matière sèche d'herbe d'un troupeau de reproduction.

Catégories	Eff.	Poids	kg P ^{0,75}	Poids vif total kg	Poids métabolique total kg	Capacité d'ingestion kg MS/j
Vaches	98	280	68	27368	6690	784*
Taureaux	7	350	81	2395	554	53
Veaux (mois)						
0	8	30	13	235	100	11
1	4	40	16	162	64	7
2	3	51	19	161	60	6
3	3	61	22	184	66	7
4	3	72	25	233	80	8
5	3	82	27	253	84	9
6	3	93	30	236	76	10
7	3	103	32	282	88	11
8	4	114	35	407	125	15
9	9	124	37	1110	333	37
10	13	135	40	1808	531	57
11	18	145	42	2604	750	83
total	178			37.437	9600	1100
<u>Charge moyenne</u>			UBT/tête	kg P ^{0,75} /tête		
			0,84	54		
<u>Capacité d'ingestion</u>						
kg MS			5,3	6,2		
moyenne / tête						

(*pour les reproductrices, le calcul est effectué en tablant sur un demi effectif en gestation, l'autre produisant 2,5 litres de lait/ jour)

Dans un troupeau de reproduction, on peut ainsi considérer les coefficients de charge suivants : 1 tête = 0,84 UBT ou 54 kg de poids métabolique.

La capacité d'ingestion est estimée à 5,3 kg de MS/tête/j lorsque l'on calcule par UBT; elle se trouve majorée de 15% (6,2 kg MS/tête/j) lorsque le calcul est établi sur le poids métabolique et les capacités d'ingestion des différentes catégories d'animaux présents dans le troupeau.

2.2. Charges par classe d'âge pour les animaux en croissance

Pour les différentes classes d'âge des mâles et femelles en croissance, en tenant compte des effectifs sevrés chaque mois, des mortalités et des poids que l'on peut affecter à chaque âge (voir 3.I.5), on aboutit aux valeurs moyennes de charge et de capacité d'ingestion par classe d'âge reprises au tableau 124.

Tableau 124 - Répartition des valeurs moyennes de charge et de capacité d'ingestion par classes d'âge pour les mâles et femelles en croissance selon que l'on calcule en UBT ou en poids métabolique.

Classe d'âge Charges	Mâles		Femelles	
	UBT/tête	P ^{0,75} /tête	UBT/tête	P ^{0,75} /tête
12-24 mois	0,63	49	0,62	43
24-36 mois	0,85	61		
36-42 mois	1,07	72		
Capacités d'ingestion kg MS / tête				
12-24 mois	3,94	5,39	3,9	4,7
24-36 mois	5,31	6,71		
36-42 mois	6,69	7,92		

Ces valeurs sont des propositions pour une situation d'élevage normale; elles peuvent être adaptées dans le cas de situations plus particulières.

3. Capacité de charge d'un pâturage

Les variations de la capacité d'accueil d'une formation agrostologique donnée au cours des différentes saisons peuvent être approchées en adaptant le modèle proposé par Compère *et al.* (1993) et en intégrant les différents éléments développés précédemment comme suit :

$$CC_i = CI_j / (P_i \times Fu \times Fd)$$

avec:

CC_i : capacité de charge de la formation agrostologique *i* exprimée en ha par tête pour la catégorie d'animaux *j* ;

CI_j : capacité d'ingestion de la catégorie *j* en kg de matière sèche /tête/jour;

P_i : production journalière du pâturage en kg de matière sèche par hectare;

Fu : facteur d'utilisation de la biomasse herbacée;

Fd : coefficient de dégradation de la parcelle comprenant la formation *i*, en %.

Pour obtenir une charge moyenne selon les saisons, P_i correspond à une valeur moyenne de production journalière observée sur des repousses de 20 à 35

jours, stade auquel la végétation a la valeur alimentaire la plus élevée. La charge instantanée peut être estimée en remplaçant ces valeurs moyennes par des valeurs prédites selon les paramètres du climat : pluies ou évapotranspiration.

Les animaux ne consommeront pas la totalité de la biomasse susceptible d'être produite et le facteur d'utilisation (Fu) permet d'en tenir compte. Les graminées cespiteuses de savane sont cependant exploitées à un stade de développement peu avancé et sont donc en grande partie consommées par les animaux. De façon à garder une marge de sécurité, Fu est fixé arbitrairement selon l'appréciation du gestionnaire à une valeur située entre 0,6 et 0,8 (Compère, 1993).

Pour tenir compte de l'état de dégradation éventuelle du pâturage et de son évolution dans le temps, Fd est calculé selon un indice de dégradation déterminé au moyen de relevés réguliers de la situation agrostologique des parcelles. Les développements effectués précédemment aboutissaient à l'ébauche d'une relation linéaire liant cet indice de dégradation à la diminution de biomasse herbacée des unités pastorales. Fd peut être calculé en exprimant la production réelle de chaque parcelle en pourcentage de sa production potentielle.

Dans le cas de l'Adélé par exemple, selon la relation établie en 2^{ème} partie au paragraphe II.2.2., les valeurs de Fd que l'on peut attribuer aux indices de dégradation (ID) sont reprises au tableau 125.

Tableau 125 - Exemple de valeurs attribuables au facteur de dégradation Fd selon l'indice de dégradation de la parcelle (Ranch de l'Adélé).

ID	Fd
0	1,00
1	0,85
2	0,70
3	0,55
4	0,40
5	0,25

La charge globale de la parcelle sera ensuite établie en tenant compte des superficies de chaque type de végétation présents dans la parcelle.

$$CC_{\text{parc}} = \sum_{i=1}^n S_i / CC_i$$

avec S_i = surface correspondant au type de végétation i et CC_i capacité de charge en ha /tête de la végétation i .

Cette approche est plus analytique que celle consistant à rapporter la surface totale du parc au nombre de têtes présentes. Elle est basée sur la détermination d'une capacité de charge instantanée et limitante, en tenant compte des types de végétation présents, de la catégorie d'animaux que l'on compte placer dans la parcelle et de l'état de dégradation. La démarche sera tout à fait utile pour l'aménagement d'un schéma de parcellement équilibré et une répartition optimale des effectifs d'animaux. Par ailleurs elle a un caractère dynamique dans le temps et dans l'espace. La formule utilisée pour évaluer la capacité de charge peut également être soumise à de nombreux facteurs de variation et d'ajustement.

La production journalière (P_i) est essentiellement fonction du bilan hydrique déterminé par la pluviosité et l'évapotranspiration. Pour un type de sol donné, elle est également tributaire de l'exposition, de la pente, de l'altitude, des interventions à caractère pastoral et du rythme d'exploitation. Le facteur d'utilisation du pâturage (F_u) a été fixé en fonction d'un rythme d'exploitation précoce. Il est évident que certaines difficultés de gestion peuvent retarder le chargement d'une parcelle et dès lors modifier ce paramètre. Pour une exploitation plus tardive, Boudet (1978) rapporte que les spécialistes américains considèrent que le bétail peut consommer entre 40 et 60 % de la production fourragère potentielle des savanes. Enfin, le facteur de dégradation des parcours (F_d) varie quant à lui, dans l'espace et dans le temps, en fonction du degré d'envahissement du pâturage par les adventices et des efforts de régénération de la végétation climacique qui sont déployés.

Tout ceci souligne que la capacité de charge n'est pas statique et unique mais subit des évolutions spatio-temporelles. Un parcellaire établi sur la base d'une estimation ponctuelle devra nécessairement évoluer à plus ou moins brève échéance.

4. Exemple de superficies à mettre en oeuvre

Les charges et les besoins en surfaces de pâturage au cours des saisons sèche et humide peuvent être estimés en se basant sur les capacités d'ingestion décrites ci-avant. Le tableau 126 fournit un exemple des superficies que l'on devra théoriquement attribuer au cours de l'année pour un troupeau de taurillons, selon les effectifs et les poids des animaux. Les calculs sont effectués pour une situation inspirée de celles que l'on peut observer dans un ranch selon la formule décrite en 1.2.1, en tenant compte des productions journalières instantanées de deux formations agrostologiques couvrant la surface du parc en proportion égales, de l'état de dégradation de la parcelle et d'un facteur d'utilisation de la biomasse de 0,75.

Dans cet exemple, les capacités de charge (CCi) varient au cours de l'année et également selon le type de végétation. Les surfaces à pourvoir oscillent entre 110 ha en saison de pluies et 430 ha au creux de la saison sèche.

Dans l'établissement des superficies nécessaires en saison sèche, on ne peut raisonnablement introduire que des valeurs de production moyenne au cours de cette saison. Des productions instantanées nulles conduiraient en effet à développer des surfaces quasi infinies. On doit dans un tel système admettre un disponible minimal et admettre également qu'en dessous d'une certaine disponibilité en herbe, le bétail assure une partie de son entretien en utilisant ses réserves corporelles et en perdant du poids tel que cela a été décrit en I.5.3.

Pour un troupeau de 200 jeunes taurillons en croissance, le calcul fait apparaître des besoins en superficie de l'ordre de 120 ha en saison de pluies et de 340 ha en moyenne au coeur de la saison sèche. Dans un système d'exploitation où le parc est divisé en 4 parcelles de même capacité, deux parcelles brûlées sont utilisées en saison sèche. On devra donc attribuer dans un tel schéma un parc d'une surface totale de 700 ha pour ce troupeau de 200 têtes soit 3,5 ha/tête. Des développements analogues peuvent être effectués pour chaque catégorie ou, quand il s'agit de troupeaux en milieu villageois sans séparation des catégories, en tablant sur des capacités d'ingestion représentatives de la moyenne de l'ensemble du troupeau.

Tableau 126 - Superficies à prévoir pour un troupeau de taurillons occupant un parc où deux formations sont représentées

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Taurillons 1à2												
Effectifs	205	205	204	204	203	203	202	202	201	201	200	200
Pmoy	160	168	173	177	181	185	189	193	198	202	206	210
P 0,75	45,0	46,7	47,6	48,5	49,3	50,2	51,0	51,8	52,7	53,5	54,3	55,2
CI 110 g /kgP0,75	4,9	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1
Croissance journalière des formations agrostologiques												
P1 kg MS/ha/j	15	15	15,5	15,8	16	16,5	14,5	8,5	4,5	5,5	12	14,5
P2 kg MS/ha/j	13	13	13,2	13,5	12,8	12	10	7,5	3,5	4,5	9,5	13
Utilisation et dégradation de la parcelle												
Fu	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Fd	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Capacités de charge instantanées												
CC1 ha/tête	0,55	0,57	0,56	0,56	0,57	0,56	0,64	1,12	2,15	1,78	0,83	0,70
CC2 ha/tête	0,63	0,66	0,66	0,66	0,71	0,77	0,94	1,27	2,76	2,18	1,05	0,78
Surface totale de repousses à prévoir	113	117	115	115	115	113	130	226	432	358	166	139

5. Bilan appliqué à la situation agrostologique de la parcelle

En s'inspirant des normes présentées en I. 3. et de situations telles que celles observées à l'Adélé où, pour la saison de pluies et la saison sèche, les disponibilités en herbe, la qualité alimentaire de l'herbe et la configuration de terrain se distinguent, l'ensemble des éléments présentés jusqu'ici permet d'établir le bilan repris au tableau 127. Trois situations sont comparées en partant d'une situation optimale (I) pour des repousses de savane à productivité élevée, bonne valeur alimentaire, dégradation faible en terrain plat, pour aller vers une situation (III) où à l'inverse, les productions journalières et la valeur alimentaire sont moindres, le terrain en forte pente et la dégradation plus importante. Dans cet exemple, la tête de bétail représentative de l'ensemble du troupeau (calcul établi selon les paramètres utilisés au tableau 124) a un poids moyen de 210 kg et une capacité d'ingestion de 6,2 kg de MS /j. Ses besoins protéiques minimaux (entretien + production pour les reproductrices) sont de 220 g PDI/j, les besoins énergétiques évoluant selon la situation agrostologique considérée.

Selon que l'on se place en saison de pluies ou en saison sèche, les valeurs de surfaces à attribuer (CC) et le bilan alimentaire d'entretien évoluent fortement. En saison de pluies, les apports élevés d'énergie et de protéines permettront de bons gains de croît. En saison sèche, selon le type de végétation, les surfaces à pourvoir augmentent; le bilan alimentaire est à peine équilibré voire négatif; l'animal devra puiser dans ses réserves corporelles pour assurer son entretien.

De façon plus pratique, les valeurs peuvent, par exemple, être ramenées à un indicateur exprimant le rapport à une situation optimale:

	SP I	SS	SP II	SS	SP III	SS
Capacité de charge (CC)	1,0	0,3	0,8	0,2	0,5	0,1
Energie (UFL)	1,0	0,0	0,6	-0,4	0,1	-0,8
Protéine (PDI)	1,0	0,3	0,9	-0,1	0,8	-0,3

L'objectif recherché dans cette approche n'est certes pas de faire du rationnement alimentaire en pâturage extensif, démarche qui aurait peu de sens, mais plutôt d'élaborer un outil permettant de comparer des situations agrostologiques très diverses.

La démarche proposée reste bien entendu théorique; aucune mesure de terrain ne permet de la valider. Elle est également restrictive; en pâturage libre extensif, le bétail sélectionne sa ration quotidienne en quantité et en qualité selon des critères que l'on est encore bien loin d'appréhender correctement. Il ne consommera pas uniquement des repousses de 20 à 35 jours. On se limite ici à considérer raisonnablement que l'animal consommera en priorité les repousses les plus jeunes dans la mesure de leur disponibilité et de leur ingestibilité.

Elle s'avère cependant utile à l'échelle du temps et d'un grand territoire où la morphologie du terrain, la qualité et la production journalière de la végétation diffèrent. La démarche aboutit à créer une échelle intégrant d'une part, une valeur d'utilisation plus ou moins grande et d'autre part, les besoins alimentaires du cheptel détaillés par catégories.

Des échelles de ce type seront particulièrement utiles dans la conception d'un équilibre entre la végétation et les animaux, dans la recherche d'une production optimale et dans l'établissement d'un parcellement équilibré.

Tableau 127 - Caractérisation des surfaces et du bilan alimentaire en saison des pluies (SP) et en saison sèche (SS), dans trois situations agrostologiques.

Situations agrostologiques	Période	I		II		III	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS
<u>Productivité de la végétation</u>							
Production potentielle journalière kg/ha/j		16	5,5	14	3,5	12	2,5
Facteur d'utilisation (Fu)		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Facteur de dégradation (Fd)		0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6
Production utilisable kg/ha/j		10,8	3,7	8,4	2,1	5,4	1,1
<u>Configuration du terrain</u>							
Coefficient T		1	1	1,5	1,5	2	2
<u>Valeur alimentaire de la repousse</u>							
Energie UFL/kg MS		0,76	0,68	0,74	0,66	0,72	0,65
Digestibilité de la MS		0,65	0,58	0,63	0,55	0,61	0,55
Protéine g PDIN/kg MS		61	49	60	40	58	35
Ingestibilité relative		0,96	0,85	0,94	0,82	0,92	0,8
<u>Besoins de l'animal moyen</u> (210 kg, capacité 6,2 kg MS/j)							
Surface (CC,ha/tête/j)		0,6	1,7	0,7	2,9	1,1	5,5
Energie (UFL/tête/j)		3,45	3,54	3,70	3,82	3,97	4,07
Protéine (PDI/tête/j)		220	220	220	220	220	220
<u>Bilan alimentaire</u> (consommation UFL et PDI -besoins d'entretien)							
UFL		+1,06	+0,03	+0,59	-0,47	+0,12	-0,85
PDI		+145	+40	+132	-15	113	-44

IV. Intégration des données en vue de la gestion d'un élevage extensif

Ce dernier chapitre envisage plus particulièrement l'utilisation intégrée des données que l'on est susceptible de collecter dans un ranch d'élevage. La démarche est présentée de manière conceptuelle et ensuite illustrée par quelques exemples appliqués à la situation du ranch de l'Adélé.

1. Etablissement d'un parcellaire équilibré

Les éléments qui peuvent être raisonnablement pris en compte pour être intégrés à une base de données et exploités par le système d'information géographique sont : le sol et la végétation, l'infrastructure, la morphologie du terrain, le climat, les animaux, le système d'exploitation. La figure 90 synthétise ces éléments.

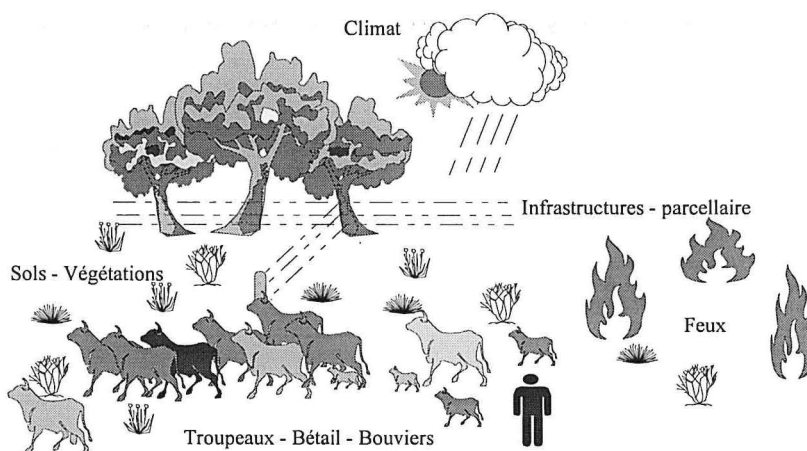


Figure 90 - Eléments à prendre en compte dans le système d'information géographique.

La première démarche que l'on peut concevoir en relation avec le SIG est à caractère statique. Elle consiste à créer les bases de données décrivant le territoire et à rechercher un équilibre entre les valeurs d'utilisation des parcelles situées à l'intérieur de chacun des parcs.

L'étude des formations végétales et des types morphopédologiques auxquels elles peuvent être associées, peut être traduite en une couche géographique indiquant l'emplacement et la nature de chaque unité sur le territoire (figure 91).

A ces éléments peuvent être associés des attributs décrivant le potentiel pastoral (valeurs moyennes saison de pluie - saison sèche) de chacune des unités présentes.

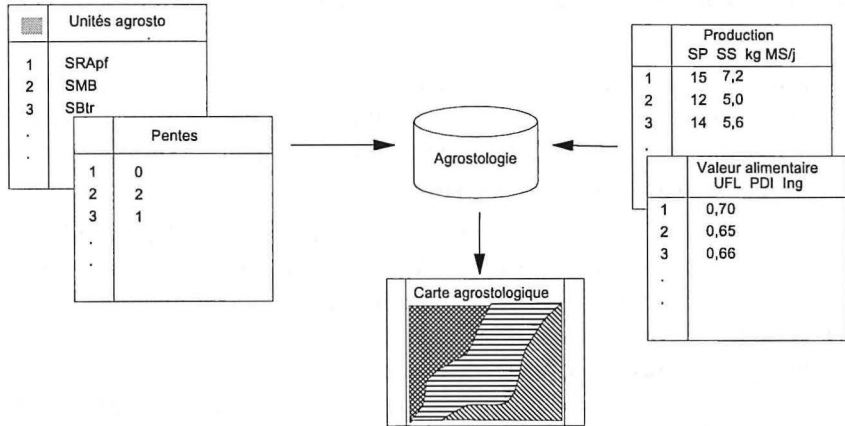


Figure 91 - Création d'une base de données géographique des terrains et des végétations.

La numérisation des données d'infrastructure aboutit à une couche géographique décrivant la nature et l'emplacement de chacune d'entre d'elle et le découpage du territoire en parcs eux-mêmes divisés en parcelles (figure 92).

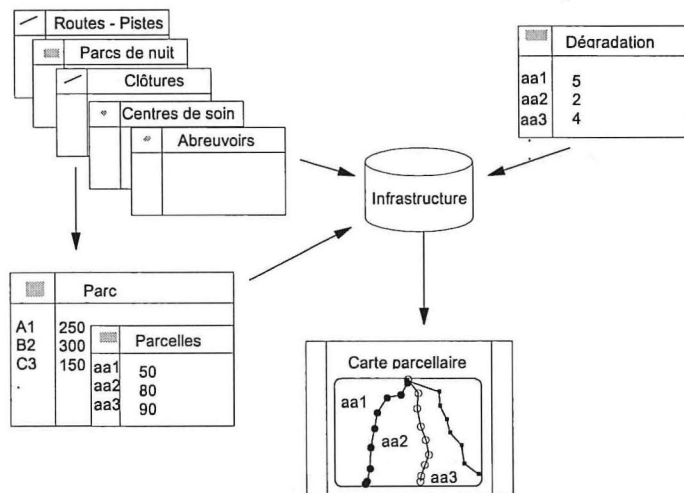


Figure 92 - Création d'une base de données géographique concernant l'infrastructure d'élevage et la situation des parcs.

Utilisées conjointement avec l'information concernant les zones de dégradation du couvert herbacé et en se référant à un animal moyen, ces deux sources d'information permettent, après généralisation des résultats, une description des végétations occupant chacune des parcelles et de la valeur potentielle de celles-ci.

A partir de l'ensemble de ces informations, la conception ou la vérification d'un équilibre parcellaire (figure 93) permettra d'exploiter l'espace de manière rationnelle et optimale, avec le souci de maintenir l'équilibre du milieu et des niveaux de performances animales acceptables.

Cette opération utilise plusieurs aptitudes particulières des SIG. Parmi celles-ci on peut citer particulièrement l'affectation d'attributs aux divers documents de base, l'utilisation de formules arithmétiques, le filtrage de l'information, le calcul de distances, le croisement de l'information géographique, etc. La seule véritable limite du système réside actuellement dans la réalisation automatique d'un équilibre des charges entre les différentes parcelles. En effet, pour arriver à une solution satisfaisante plusieurs approches successives et intuitives sont indispensables.

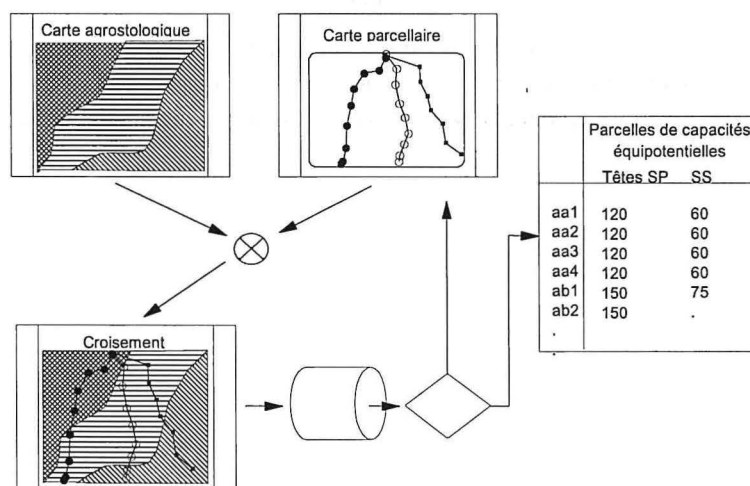


Figure 93 - Schéma d'optimisation du parcellaire.

Cette procédure est contraignante et elle absorbe énormément de temps. A l'heure actuelle, certains logiciels offrent la possibilité de diviser un territoire de manière pratiquement automatique en prenant en considération une valeur numérique donnée (ici, la capacité de charge de la parcelle) qui est la somme des valeurs attribuées aux pixels d'une autre couche d'information (dans notre cas, la capacité de charge résultant de la productivité du pâturage et de son facteur de

dégradation). Le logiciel ILWIS et bon nombre de logiciels disponibles sont capables d'effectuer cette opération avec une assistance limitée de la part de l'opérateur. Cependant, ceci n'est possible que lorsque les parcelles ont des formes très simples et lorsque les orientations des limites du parcellaire sont relativement régulières dans l'espace. Au niveau de l'étude de l'Adélé par exemple, la présence de nombreuses galeries forestières utilisées comme limites naturelles des parcelles ne permettait pas l'automatisation de ces opérations. A ce propos, la mise au point de procédures spécifiques constitue une voie d'investigation capable de rendre des services appréciables dans ce sens.

Enfin, l'utilisation d'un modèle statique, tel que celui présenté précédemment, permettra de simuler les effectifs d'animaux et la répartition optimale des troupeaux à l'intérieur du périmètre d'élevage (figure 94).

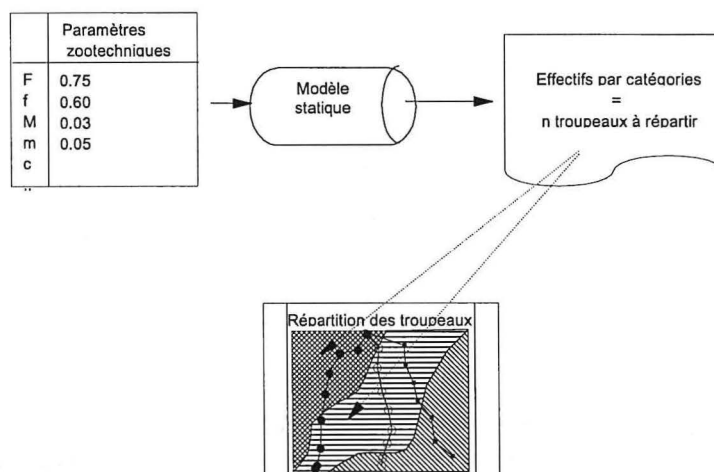


Figure 94 - Création d'une base de données géographique décrivant le cheptel à placer sur le territoire.

2. Schéma d'une gestion intégrée de l'espace et des animaux

Une seconde démarche, à caractère dynamique cette fois, consiste à intégrer les composantes ayant une évolution dans le temps. Ces dernières peuvent être schématisées comme suit :

Le cheptel réellement présent, décrit selon les effectifs dans chaque catégorie et classe d'âge, est réparti en troupeaux affectés à des parcs, faisant partie de sections équipées d'infrastructures de traitement et triage; les parcs sont divisés

en parcelles qui sont occupées en rotation selon le schéma de feux mis en place par le gestionnaire.

Chaque ensemble parc-troupeau est géré par un ensemble de personnes. Aux catégories d'animaux ou de troupeaux sont affectés des attributs de capacités d'ingestion et de besoins alimentaires. L'ensemble constitue une base de données cheptel mise régulièrement à jour (figure 95).

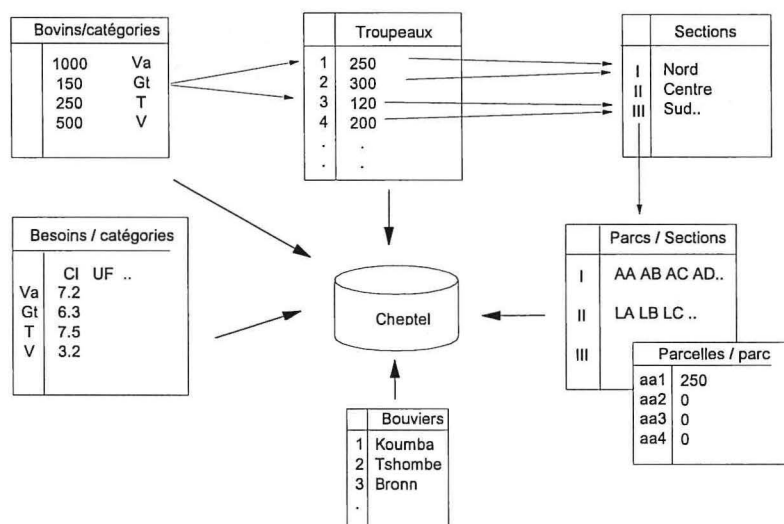


Figure 95 - Eléments de la base de données relative au cheptel actuel.

Le climat est un élément essentiel de la productivité des repousses. Régulièrement collectées et intégrées à des modèles spécifiques, les données du climat permettront de simuler la production potentielle des principales classes de végétation reconnues sur le terrain (figure 96).

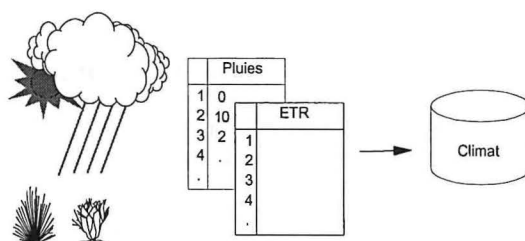


Figure 96 - Intégration des données climatiques décennales.

Le programme de feux, l'état de réalisation effective de ces feux, les relevés de dégradation des parcelles régulièrement mis à jour et d'autres appréciations subjectives (utilisation de la parcelle, note d'état corporel, appréciation de l'état sanitaire du troupeau, % de présences au couloir de soin etc..) forment un ensemble de données et d'indicateurs en constante évolution. Ils peuvent être régulièrement mis à jour et seront utiles pour le suivi de l'exploitation (figure 97).

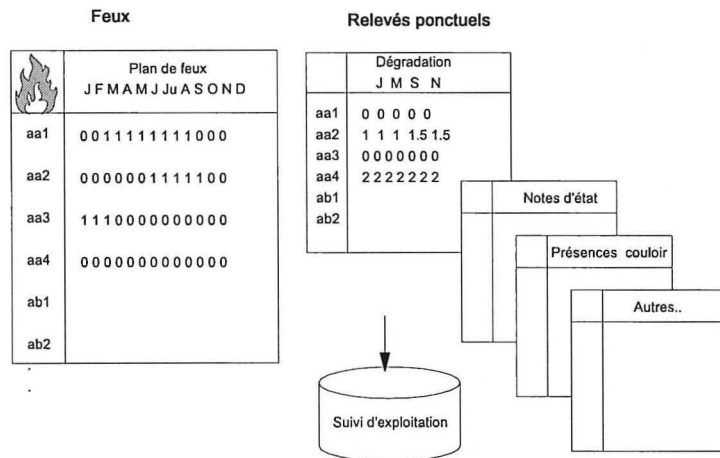


Figure 97 - Eléments relatifs au suivi de l'exploitation.

L'intégration des éléments réunis dans les différentes bases de données et le recours à des modèles tels que ceux qui ont été présentés permet en finalité de traduire l'information en tableaux détaillés liés à des cartes de synthèse et la répartition spatiale de l'équilibre entre la végétation et le cheptel présent dans chaque unité élémentaire du territoire (figure 98). Cet ensemble permet ainsi au gestionnaire de percevoir l'ensemble des problèmes actuels et constitue une aide précieuse quant aux décisions à prendre et aux interventions à effectuer.

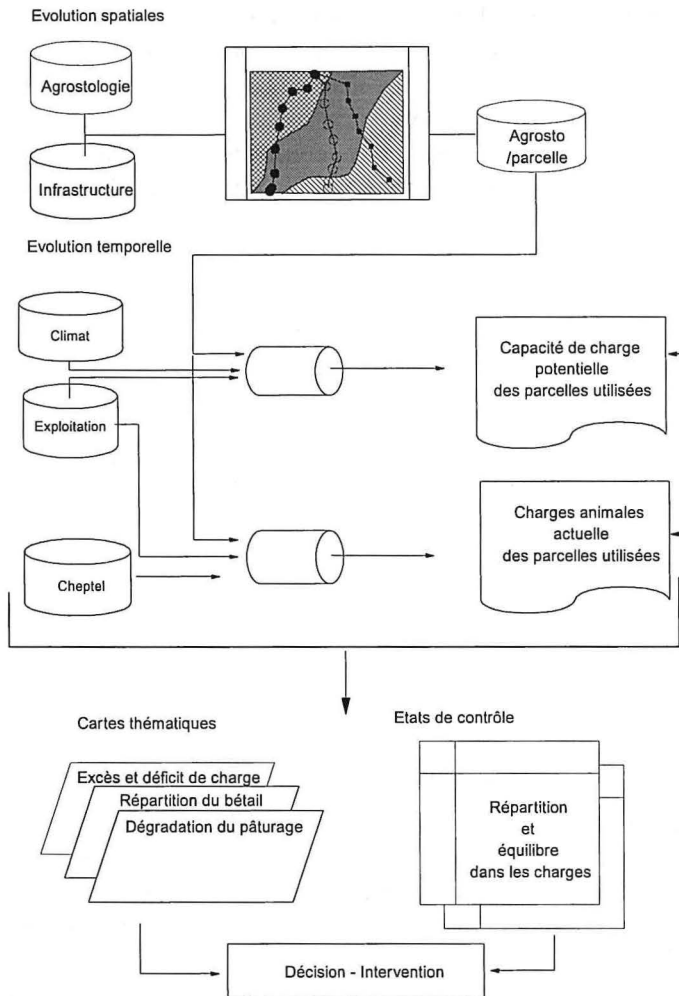


Figure 98 - Schéma conceptuel de l'intégration de l'ensemble des éléments utiles pour la gestion d'un périmètre d'élevage.

4. Exemples appliqués au ranch de l'Adélé

Le premier exemple décrit la situation du ranch lors de l'étude. En décembre de l'année 1989, 4.307 têtes (2.326 UBT) étaient présentes sur le ranch. Elles étaient réparties sur les parcelles de 21 parcs pour chacun desquels une charge optimale a été définie selon les unités agrostologiques présentes, l'état de dégradation et les productions moyennes de repousses en saison de pluies ou en saison sèche enregistrées au cours de l'étude (Compère *et al.* 1993). La figure 99

illustre sous forme cartographique, selon les effectifs régulièrement attribués à chaque parc au cours des dernières années et pour chacune des parcelles occupées : la situation des charges pour les deux saisons. Établies selon le rapport entre la charge actuelle et l'optimum souhaitable, les couleurs reprises dans la légende traduisent l'excès ou le déficit de chargement de la parcelle. L'absence de perception correcte du territoire amenait à cette époque à concentrer le cheptel sur un nombre limité de parcs, dont bon nombre sont en surcharge alors que d'autres sont sous-chargés voire inexploités. Cette situation qui s'est progressivement installée depuis le début de l'exploitation du ranch a conduit à la dégradation de bon nombre de parcelles. La relation que l'on peut établir entre ces cartes de charges actuelles (figure 99) et l'état de dégradation des parcelles (figure 27) est évidente. Au terme de l'étude effectuée au ranch par l'UER de zootechnie, un nouveau schéma de parcellement a été proposé; le nombre total d'ensembles parc-troupeau a été ramené de 21 à 13 parcs de dimensions plus grandes et pour chacun de ceux-ci la division en 4 parcelles a été effectuée en veillant à ce que chacune soit de capacité équivalente. La figure 100 illustre ce nouveau schéma de parcellement.

Le second exemple présente le diagnostic de capacité saisonnière de charge et le calcul du bilan alimentaire que l'on peut établir pour les parcs LE et TB selon les développements effectués précédemment.

Compte tenu de la surface totale des parcs, dans un calcul établi selon une norme classique de 3,5 ha/UBT, la charge animale que l'on placerait dans le parc LE serait de 120 têtes pour 360 ha et 160 têtes pour le parc TB totalisant 500 ha.

Chacun de ces parcs comprend 4 parcelles colonisées chacune par différents types de végétation appartenant aux classes définies dans l'étude. Les productions journalières d'herbe ont été recalculées selon les valeurs moyennes d'ETR observées en 90-91 au cours des 2 saisons et les régressions établies en 2^{ème} partie. Le tableau 128 détaille les données relatives à ces deux parcs. En tenant compte des végétations présentes, de l'état de dégradation observé sur le terrain, d'un facteur d'utilisation fixé à 0,75 et d'une consommation quotidienne par l'animal moyen de 6,2 kgMS/j, les capacités de charge de chaque type de végétation ont été établies selon les développements présentés au point III.3. Le tableau 128 reprend également le facteur de configuration de terrain que l'on peut attribuer à chaque unité ainsi que les valeurs énergétique et protéique moyennes des repousses selon les saisons.

Utilisation des parcelles en saison de pluies

Situation de la charge animale

- excès important
- excès moyen
- excès léger
- équilibre
- déficit léger
- déficit moyen
- déficit important
- parc inutilisé

Utilisation des parcelles en saison sèche

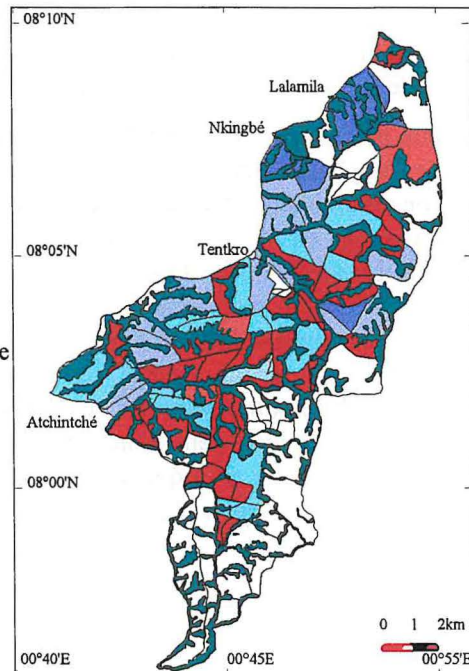
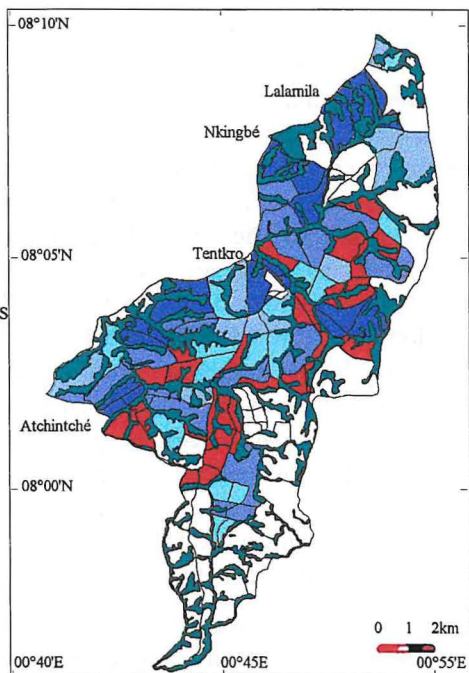


Figure 99 - Représentation cartographique des charges en saison de pluies et en saison sèche pour les parcelles occupées par le bétail au ranch de l'Adélé en 1989

Tableau 128. - Données concernant la végétation et les surfaces unitaires dans les 4 parcelles des parcs LE et TB.

	Végétations	Cl	Ha	Fu	Fd	Pente	Pp		CCi		UFL		PDI	
							ss	sp	ss	sp	ss	sp	ss	sp
LE	LE1 SRAsup	3	30	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	12	51	0,65	0,66	36	58
	LE1 Ssq	4	36	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	17	48	0,61	0,63	39	59
	LE2 Bv	2	1	0,75	0,90	1,0	8,3	17,6	1	1	0,63	0,67	41	56
	LE2 Bo	4	10	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	5	13	0,61	0,63	39	59
	LE2 SRAp	1	23	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	12	46	0,69	0,73	45	61
	LE2 SRAsup	3	62	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	25	105	0,65	0,66	36	58
	LE2 Ssq	4	6	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	3	8	0,61	0,63	39	59
	LE3 Bv	2	7	0,75	0,90	1,0	8,3	17,6	7	14	0,63	0,67	41	56
	LE3 Bo	4	19	0,75	0,70	1,5	5,6	15,9	9	26	0,61	0,63	39	59
	LE3 SRAp	1	60	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	31	119	0,69	0,73	45	61
	LE3 SRAsup	3	42	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	17	71	0,65	0,66	36	58
	LE3 Ssq	4	0	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	0	0	0,61	0,63	39	59
	LE4 Be	4	7	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	3	10	0,61	0,63	39	59
	LE4 Bv	2	12	0,75	0,90	1,0	8,3	17,6	11	23	0,63	0,67	41	56
	LE4 Bo	4	3	0,75	0,70	1,5	5,6	15,9	1	4	0,61	0,63	39	59
	LE4 SRAsup	3	43	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	18	72	0,65	0,66	36	58
LE4 Ssq	4	1	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	0	1	0,61	0,63	39	59	
TB	TB1 Bo	4	5	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	2	7	0,61	0,63	39	59
	TB1 SRAp	1	69	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	36	137	0,69	0,73	45	61
	TB2 Bo	4	9	0,75	0,70	1,5	5,6	15,9	4	12	0,61	0,63	39	59
	TB2 SRAp	1	54	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	28	107	0,69	0,73	45	61
	TB2 SRAsup	3	44	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	18	74	0,65	0,66	36	58
	TB3 Bo	4	25	0,75	0,70	1,5	5,6	15,9	12	34	0,61	0,63	39	59
	TB3 SRAp	1	128	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	66	253	0,69	0,73	45	61
	TB3 Ssq	4	51	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	24	69	0,61	0,63	39	59
	TB4 Bv	4	9	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	4	12	0,61	0,63	39	59
	TB4 Bo	4	30	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	14	40	0,61	0,63	39	59
	TB4 SRAp	1	23	0,75	0,93	1,0	4,6	17,6	12	46	0,69	0,73	45	61
	TB4 SRAsup	3	26	0,75	0,85	1,5	4,0	16,5	11	45	0,65	0,66	36	58
TB4 Ssq	4	27	0,75	0,70	2,0	5,6	15,9	13	37	0,61	0,63	39	59	

Cl = classe de végétation; Ha = surface de la formation; Fu = facteur d'utilisation; Fd = facteur de dégradation; Pp = production primaire de saison de pluies ou saison sèche en kg MS/ ha/ j selon l'ETR; CCi = capacité de charge de la formation en nombre de têtes pour la surface occupée.

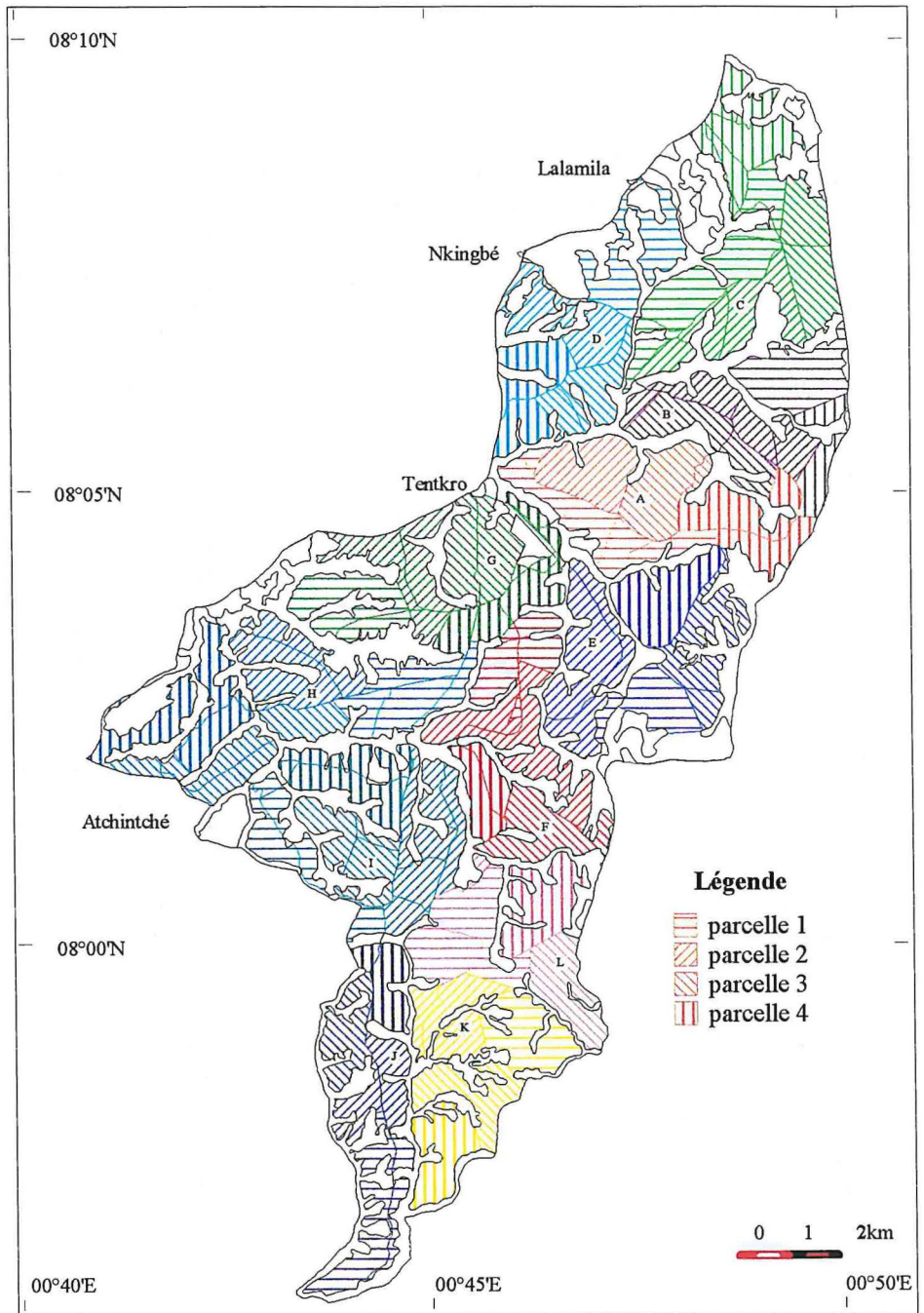


Figure 100 - Schéma de répartition des parcs et parcellaire équilibré proposé pour le ranch de l'Adélé.

Le programme annuel de feux et d'utilisation des parcelles est repris au tableau 129.

Tableau 129. Plan de feux applicable dans les parcs LE et TB.

	Années	D	Fc	Fp	Ft
LE	1	LE1	LE4	LE2	LE3
	2	LE3	LE1	LE2	LE4
	3	LE4	LE3	LE1	LE2
	4	LE2	LE4	LE3	LE1
TB	1	TB1	TB4	TB2	TB3
	2	TB3	TB1	TB2	TB4
	3	TB4	TB3	TB1	TB2
	4	TB2	TB4	TB3	TB1

D = parcelle en défens; Fc = feu de contresaison; Fp = feu précoce; Ft = feu tardif.

En saison de pluies, une première parcelle sera utilisée après le feu tardif de mars jusqu'en août, période où sera effectué un feu de contre-saison.

Cette parcelle sera utilisée pendant la seconde partie de la saison de pluies ainsi que pendant la saison sèche, une seconde parcelle étant préparée par un feu précoce en novembre et également utilisée en saison sèche. Le diagnostic de charge et le bilan alimentaire établi en considérant une charge continue de 120 têtes dans le parc LE et 160 têtes dans le parc TB sont détaillés au tableau 130 pour chaque parcelle et selon l'occupation en saison sèche ou en saison de pluies. Le bilan exprime le rapport entre la charge animale et la capacité de charge, ainsi que le taux de couverture des besoins énergétiques et protéiques d'entretien. La figure 101 illustre ces données en traduisant les déficits ou excédents de charge que l'on observe dans les différentes parcelles.

Pour chaque parcelle une charge optimale a été recalculée de manière à tenir compte d'un équilibre à la fois dans la charge et dans la couverture des besoins d'entretien des animaux. L'exemple repris au tableau 130 et illustré à la figure 101 montre la disparité qui existait dans la taille et la valeur d'utilisation des parcelles de ces deux parcs du ranch et illustrent la difficulté de maintenir une charge constante dans un même parc. Elle varie selon les parcelles utilisées et selon les périodes de l'année. En permanence le gestionnaire aura intérêt à vérifier l'état de chaque parcelle et dans la mesure du possible à revoir le parcellaire de façon à rendre les parcelles équipotentielles, tel que cela était présenté à la figure 100 pour l'ensemble du ranch.

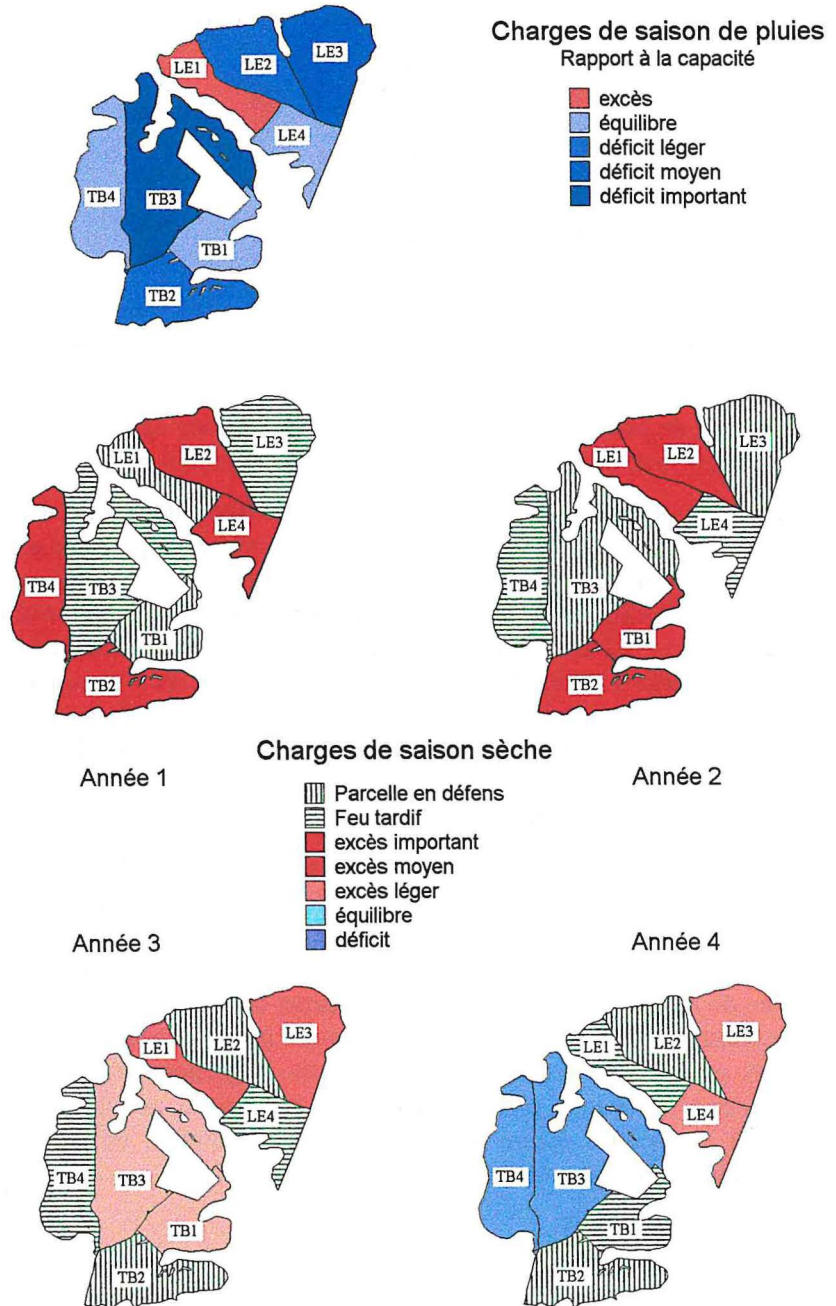


Figure 101 - Bilan de charge pour les 4 parcelles des parcs LE (120 têtes) et TB (160 têtes) en saison de pluies et en saison sèche.

Tableau 130. - Diagnostic de charge et bilan alimentaire dans l'utilisation des parcelles des parcs LE et TB au ranch de l'Adélé.

Utilisation d'une parcelle en saison de pluies après feu tardif ou feu de contre-saison

	<i>Bilan</i>						Charge optimale	<i>Bilan</i>		
	Têtes	Ha	CCsp	Charge	UFL	PDI		Charge	UFL	PDI
LE1	120	66	99	1,2	0,8	1,3	90	0,9	1,1	1,7
LE2	120	102	174	0,7	1,6	2,3	160	0,9	1,2	1,7
LE3	120	129	231	0,5	2,2	3,1	200	0,9	1,3	1,8
LE4	120	66	110	1,1	1,0	1,4	100	0,9	1,2	1,7
TB1	160	74	144	1,1	1,1	1,5	130	0,9	1,3	1,8
TB2	160	107	193	0,8	1,4	1,9	170	0,9	1,3	1,8
TB3	160	204	356	0,4	2,5	3,6	310	0,9	1,3	1,9
TB4	160	116	180	0,9	1,2	1,8	160	0,9	1,2	1,8

Utilisation de deux parcelles en saison sèche

	<i>Bilan</i>						Charge optimale	<i>Bilan</i>		
	Têtes	Ha	CCss	Charge	UFL	PDI		Charge	UFL	PDI
LE4-LE2	120	167	79	1,5	0,6	0,6	70	1,0	0,9	1,0
LE1-LE2	120	167	75	1,6	0,6	0,6	65	1,0	0,9	1,1
LE3-LE1	120	194	93	1,3	0,7	0,7	85	1,0	0,9	1,1
LE4-LE3	120	194	98	1,2	0,7	0,8	90	1,0	0,9	1,0
TB4-TB2	160	223	105	1,5	0,6	0,6	100	1,0	1,0	1,0
TB1-TB2	160	181	88	1,9	0,5	0,5	90	1,0	1,0	1,0
TB3-TB1	160	279	141	1,2	0,8	0,9	135	1,0	1,0	1,1
TB4-TB3	160	321	157	1,0	0,9	1,0	145	1,0	0,9	1,1

En définitive, la démarche présentée de manière schématique et illustrée par quelques exemples aboutit à la conception d'une utilisation rationnelle de mise en valeur du territoire. Dans la mesure des connaissances, elle tient compte à la fois des caractéristiques du couvert herbacé, du climat, du parcellaire, de l'état de la parcelle et des besoins spécifiques des animaux. Ce schéma de travail permet une estimation analytique et détaillée de la capacité d'accueil en cheptel d'un territoire. Elle procure aux utilisateurs de terrain les bases indispensables au suivi actualisé de la gestion pastorale d'un élevage extensif dans lequel on se soucie autant de la productivité que du maintien de l'équilibre naturel du milieu.

Synthèse et Conclusions

Les savanes périforestières de la zone guinéenne de basse altitude constituent une ressource fourragère importante utilisable pour l'élevage des taurins tropicaux. Cet écosystème naturel, maintenu depuis de nombreux millénaires dans un état d'équilibre sub-climacique régi par le passage régulier des feux, est fragile. Il est susceptible d'évoluer sous l'incidence de divers facteurs biotiques, le plus important étant celui qui découle d'une exploitation irrationnelle de l'espace par le bétail.

Dans les pays appartenant en partie ou en totalité à la zone guinéenne, la croissance démographique est importante. L'intérêt que la population marque pour l'élevage et l'introduction récente de races trypanotolérantes entraînent une augmentation rapide des effectifs de bovins. Le contexte économique actuel dans lequel ces pays se situent rend l'élevage des ruminants attractif pour les populations rurales. Il constitue un facteur de capitalisation peu sensible à l'érosion monétaire, il procure d'importantes ressources financières aux nouveaux détenteurs de cheptel et contribue également à la couverture des besoins en protéines des populations. Par ailleurs, les phénomènes de sécheresse qui sévissent dans les régions situées au nord de la zone engendrent des migrations d'éleveurs et une colonisation croissante des savanes de la zone guinéenne, davantage humides et qui bénéficient de ressources fourragères abondantes pendant une grande partie de l'année.

Les systèmes d'exploitation mis en oeuvre sont principalement basés sur une utilisation extensive de grands espaces. La production de repousses après feux et la valeur alimentaire de celles-ci conditionnent le niveau des performances animales. Ces deux éléments sont soumis à de nombreux facteurs de variations spatio-temporelles. La production des repousses varie sous l'influence du type de sol, de la topographie, de l'encombrement ligneux, des exploitations successives du pâturage et de l'avancée de la saison sèche. La valeur alimentaire des parcours, quant à elle, est fonction du type de pâturage et subit l'influence du rythme d'exploitation et du climat.

Le travail qui a été réalisé s'est adressé plus particulièrement aux vastes périmètres qui sont mis en valeur par la technique de ranching. Ce mode d'exploitation industriel, implanté au cours des dernières décennies, a permis l'introduction de géniteurs et le développement de l'élevage dans la zone. En nombre total de têtes de bétail, il cède progressivement le pas à l'exploitation villageoise. Le bétail y est généralement concentré sur une grande multiplicité de

agrostologiques distinctes. La répartition spatiale des formations, les données d'infrastructures, de parcellaire du ranch et l'état de dégradation du couvert herbacé, peuvent être digitalisés et traduits en couches d'information géographique. Réunies dans une base de données, ces différentes couches sont exploitables pour localiser chaque élément et évaluer les surfaces de façon rapide et suffisamment précise. Pour le gestionnaire d'un grand espace, l'intérêt de ce système résidera dans l'accessibilité rapide à une information détaillée et dans la possibilité de croiser différentes couches d'information géographique.

L'approche descriptive classique a été complétée par une analyse des variables caractéristiques du sol et de la végétation réalisée au moyen de méthodes statistiques d'analyse multivariée. Connues de longue date, ces techniques sont devenues plus accessibles grâce au développement récent des logiciels et matériels de calcul informatique. L'étude des composantes principales aboutit à simplifier la complexité de tableaux comportant de nombreux objets décrits selon de multiples variables. Cette démarche, basée sur la recherche d'indices synthétiques englobant dans notre cas les caractéristiques du substrat et/ou la nature des végétaux et leur comportement, permet de mieux cerner les relations entre les facteurs du milieu. Par ailleurs, les techniques de classification sont un outil logique permettant de synthétiser sur de multiples variables et objets l'information collectée sur le terrain. Elles guident l'expérimentateur dans sa réflexion et dans le choix des objets à distinguer.

Les données disponibles pour traiter les aspects de productivité et valeur alimentaire de la végétation du ranch de l'Adélé ayant été collectées sur 16 stations réparties sur le terrain, il nous paraissait opportun d'apprécier les proximités entre chacune d'entre elles afin d'envisager les regroupements qu'il était possible de concevoir avant de procéder à l'analyse de ces deux aspects. Le recours à l'analyse multivariée aboutit à l'identification de 4 classes de pâturages, sur la base des caractéristiques de sol et de la composition botanique des différentes stations.

L'exemple traité dans cette étude illustre ainsi le profit que l'on peut tirer d'une telle approche pour pallier une moindre connaissance du terrain et ouvre des perspectives quant à l'effectif de données pouvant être étudiées simultanément.

Les études de terrain comportent généralement l'analyse détaillée d'un nombre limité de stations. Cette approche certes utile pour caractériser un milieu devrait à l'avenir être complétée par la recherche préalable des variables les plus discriminantes, suivie de la collecte de ces seules variables sur un grand nombre de stations géoréférencées et réparties selon un maillage suffisamment fin sur l'ensemble de l'espace que l'on souhaite décrire. L'utilisation d'appareils de positionnement géographique pourrait être envisagée, le coût de ces technologies

étant devenu tout à fait abordable. Les possibilités de calcul de contour par interpolation, associées à bon nombre de logiciels de traitement de l'information géographique permettraient de ce fait une description spatiale plus adaptée de l'élément à cartographier par exemple, dans notre cas, le "type de pâturage et sa valeur d'utilisation" notion intégrant des caractéristiques de sols, de composition botanique, de pente etc...

En matière de production herbacée primaire, les biomasses aériennes présentes en fin de saison de pluies au ranch de l'Adélé varient entre 2,5 à 6,0 tonnes de MS/ha selon les types de végétation et la situation morphopédologique. L'envahissement du pâturage par les adventices, suite à des excès de charge ou des défauts techniques dans la planification des feux, est parfois fort important et induit une diminution de la production primaire de graminées. Le recours à un indicateur simple, l'indice de dégradation, permet d'apprécier le degré de dégradation. Introduit dans une régression, cet indicateur permet d'estimer la réduction de production potentielle et, partant, les diminutions de charge qu'il y aura lieu de consentir. Le recours à cet indice, simple à collecter, permet de compléter la description de la répartition spatiale du potentiel de production en tenant compte de l'évolution régulièrement actualisée du pâturage. En détaillant cette collecte d'indice selon un maillage plus précis que la parcelle entière, l'information aurait encore plus de valeur.

Du point de vue de l'évaluation de terrain, les régressions que l'on peut établir entre d'une part, l'âge, la hauteur, le recouvrement de la repousse et d'autre part, la quantité de biomasse aérienne présente sont intéressantes. Elles fournissent un estimateur fiable des productions pour les différentes classes avec un écart-type résiduel de 210 kg/ha en moyenne. La mise au point et l'utilisation conjointe d'un "herbomètre" intégrant les paramètres de hauteur et recouvrement de la repousse pourraient utilement compléter les mesures de référence effectuées sur les placeaux. Quoique moins précis, ce type de mesure est nettement moins lourd à réaliser. Il peut être répété en grand nombre et selon un pas de temps plus court. N'étant pas destructif, il offre également l'intérêt de permettre un suivi de la végétation en place.

D'un point de vue dynamique, le principal facteur influençant la croissance et le développement de la repousse est le bilan hydrique. Les relations qui ont été établies entre la production journalière de repousses et les données de pluviosité ou d'évapotranspiration réelle décennales constituent des outils particulièrement intéressants pour la prévision du disponible fourrager au cours de l'année.

Au cours de la saison sèche, la somme des pluies enregistrée au cours des 60 derniers jours, établie à partir du 20^{ème} jour avant la période considérée, traduit implicitement l'évolution de la réserve hydrique dans le sol. Les corrélations que l'on peut établir entre ce paramètre et la production journalière de repousse sont

fort intéressantes. Limitées à la saison sèche et intégrées dans un modèle non linéaire, les sommes de pluies permettent de prédire la production instantanée d'herbe, selon qu'il s'agit de sols argileux ou caillouteux, avec un écart résiduel de 2,1 à 2,4 kg MS/ha/j.

L'évapotranspiration réelle calculée pour une réserve utile de 150 mm et sommée sur 4 décades présente également des corrélations intéressantes avec la production journalière d'herbe. Les régressions linéaires établies de manière distincte pour chacune des 4 classes permettent d'estimer les productions journalières avec des écarts résiduels allant de 1,3 à 2,3 kg MS/ha/j selon les classes de pâturage.

Les relations proposées dans l'étude sont une première ébauche établie sur une année de mesure. Elles doivent être confortées ou adaptées en reproduisant les mesures dans différents lieux et dans les situations climatiques les plus diverses. Les mesures effectuées en placeaux de fauche devraient comporter 3 à 4 répétitions et se limiter aux stades 20 à 30 jours de repousse; à un stade plus avancé la valeur alimentaire du fourrage étant trop basse.

La production journalière de la repousse ne constitue toutefois pas la seule contrainte limitant les productions animales.

L'étude effectuée sur les échantillons collectés au ranch de l'Adélé (Togo) constitue un progrès certain dans l'évaluation et la prévision de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux. Elle a permis de préciser dans un système d'alimentation récent la valeur alimentaire des repousses et les fluctuations que l'on observe selon les classes de végétation, l'âge et les saisons.

La technique de la spectrométrie infrarouge proche a été largement mise à contribution au cours de cette partie du travail. Face à un nombre important d'échantillons dont l'analyse par les voies classiques aurait été très coûteuse, l'intérêt de la SPIR a été largement démontré. Cette technique permet d'une part, une sélection optimale d'échantillons les plus représentatifs de la variabilité observée d'autre part, l'établissement de calibrages précis permettant de prédire les teneurs en constituants et la digestibilité de l'herbe de savane sur la totalité des échantillons.

Les analyses effectuées selon les méthodes classiques ont permis de mettre en évidence l'intérêt de l'analyse élémentaire CHN pour l'établissement de l'énergie brute de l'aliment. En matière de digestibilité, les relations que l'on peut établir entre méthodes *in vitro* et enzymatique ont été précisées.

Les prédictions obtenues selon les calibrages établis en SPIR ont abouti à caractériser sur une large population la variabilité dans les teneurs en constituants et dans les différentes expressions de la valeur alimentaire qui en découlent.

En matière de valeur énergétique, les valeurs UFL que l'on peut observer ont été comparées selon diverses techniques de calcul. Dans le cas des fourrages tropicaux, la cellulose et les cendres paraissent être des prédicteurs peu adaptés à une estimation correcte de la valeur UFL. La prédiction établie sur la MAT seule tend de façon générale à sous-estimer les valeurs UFL surtout dans le cas de fourrages moins riches en azote. Le modèle établi par Aumont *et al.* (1992) nous paraît être actuellement le plus réaliste. Ce modèle est établi sur un nombre important de mesures de digestibilité de fourrages tropicaux et tient compte à la fois de la teneur en protéines et de la digestibilité *in vitro*. Dans le cas de l'Adélé et pour des repousses de 20 jours, les valeurs UFL/kg de MS vont de 0,52 à 0,76 selon l'époque et les végétations échantillonnées.

En termes de valeurs azotées, comparé à l'expression en Matières Azotées Digestibles, le système PDI permet une expression plus réaliste du devenir de l'azote ingéré par l'animal. L'intérêt du système PDI réside dans le fait qu'il permet de comparer des valeurs PDIE et PDIN et exprime de façon explicite le déficit en azote des fourrages de savane naturelle en regard de l'énergie apportée au niveau du rumen. Selon les valeurs décrites pour l'Adélé, le déficit évolue en moyenne entre des valeurs qui vont de 23 à 35 g de PDI par kg de MS. Etabli comme tel, le système procure au praticien une base de calcul raisonnable de la complémentation azotée qu'il faudrait apporter aux animaux, pour que ces derniers tirent un parti optimal de leur ingestion journalière de fourrages naturels.

L'ingestibilité est également une caractéristique limitante de la valeur alimentaire. Pour des repousses jeunes (20 jours) et pour un animal de 150 kg les valeurs s'étendent entre 3,4 et 3,9 kg de MS/j.

En intégrant l'ensemble des éléments énergie, protéines et ingestibilité, l'incidence de l'âge sur la valeur alimentaire et le fait que des croûts de 200 à 400 g quotidiens ne peuvent être obtenus que par l'exploitation de jeunes pousses ont été clairement mis en évidence. En saison des pluies, lorsque la croissance de l'herbe est relativement rapide, l'exploitation devra donc, autant que possible, être conçue pour entretenir cette jeune repousse par des pressions animales suffisantes. Au-delà, le fourrage diminue rapidement en digestibilité et surtout en valeur protéique. L'étude confirme également le fait que les pousses jeunes n'ont pas toujours une valeur alimentaire élevée. La saison influence nettement la qualité du fourrage.

L'évolution de la valeur alimentaire des repousses de 20 jours, au cours de la saison de pluies, montre que l'on débute avec une valeur alimentaire élevée immédiatement après le feu. Cette valeur reste assez stable pour l'énergie mais diminue rapidement pour la teneur en PDI. Au-delà de 50 jours, la décroissance devient plus importante. Ceci confirme également l'intérêt du feu que l'on organise en petite saison sèche (contre-saison, mi-août) pour relever le niveau de

qualité et fournir aux animaux un fourrage de plus haute valeur alimentaire. L'étalement des feux sur un nombre plus important de parcelles plus petites, progressivement mises à feu, serait le système d'exploitation le mieux approprié. Il est toutefois difficilement applicable dans un grand ranch.

L'observation de l'évolution de la valeur alimentaire des 4 classes de végétation définies pour l'Adélé montre des comportements différents pour chacune d'entre elles. Dans le cadre de cette étude, on ne peut cependant conclure sur l'importance de ces différences. Compte tenu des variations de composition botanique et de sol, on peut toutefois raisonnablement penser que ces différences ont un sens; ce point mériterait d'être précisé à l'avenir.

Les corrélations entre la teneur en matière azotée totale des repousses de 20 jours et la pluviosité croissent pour des sommations allant jusqu'aux 4 dernières décades. Tout comme pour les mesures de productivité, les sommations traduisent implicitement un état de réserve en eau ou, ici, d'humidité du sol à rapprocher de l'action sur la minéralisation et la nutrition azotée. Les pluviométries décadaires pourraient ainsi être également envisagées comme un indicateur général de l'évolution de la valeur alimentaire des jeunes pousses.

Le facteur alimentaire le plus limitant est la teneur en matières azotées qui a été plus particulièrement étudiée par la technique de dégradabilité "*in sacco*". Cette technique a permis de compléter les études effectuées par ailleurs. En tenant compte d'une contamination azotée bactérienne des résidus d'incubation prédite en SPIR, elle précise les valeurs de dégradabilité théorique de l'azote des graminées de savanes naturelles et l'évolution de ce paramètre selon les différents stades de repousse. Pour des repousses jeunes et pour un taux de sortie ruminale de 6%, la valeur 53% proposée par Xandé *et al.* (1991) a été confirmée. Elle apparaît toutefois surestimée pour les repousses plus âgées. A 65 jours, du fait de quantités de MAT plus faibles et d'une accessibilité moins grande de celles-ci par la flore microbienne, la DT n'est plus que de 39%.

La technique SPIR présente un intérêt certain dans les approches de dégradabilité *in sacco*. Les calibrages que l'on peut développer sur des séries d'échantillons incubés sont excellents. Dans la mesure où l'amélioration des techniques de présentation d'échantillons permet de mesurer des quantités inférieures au gramme, on peut concevoir des protocoles dans lesquels les spectres des résidus de chaque sachet individuel seraient mesurés; les teneurs en constituants étant par la suite prédites selon un calibrage établi en effectuant les analyses de référence sur un nombre limité d'échantillons moyens. Dans un tel schéma, on pourrait limiter les répétitions nécessaires à l'obtention de quantités suffisantes pour l'analyse par les voies classiques et augmenter le nombre de temps d'incubation ou le nombre d'aliments étudiés.

Les traitements que l'on peut effectuer au départ des spectres bruts, sont également fort intéressants. Par différence avec le spectre au temps 0, ils décrivent l'évolution de la teneur en constituants aux différents stades d'incubation. En traitant le cas d'une avoine incubée à différents temps, une explication partielle de la réponse infrarouge à la contamination bactérienne a été apportée. Il serait également intéressant de confirmer ces premiers résultats; la technique SPIR apporterait ainsi une aide précieuse pour la détermination rapide et peu coûteuse de la contamination bactérienne et des valeurs de dégradabilité des matières azotées totales des fourrages.

La description du système d'élevage et l'étude des paramètres zootechniques de la race Ndama ont été réalisées selon les observations effectuées au ranch de Kolo (Zaïre). Etabli en zone guinéenne depuis plus de 70 ans, cet élevage représente une situation typique de l'élevage extensif en savane, les effectifs sont stabilisés, le bétail Ndama est homogène et pur, ce qui n'était pas le cas pour celui de l'Adélé.

L'analyse des données zootechniques recueillies dans ce ranch met en évidence l'importance des fluctuations au cours de la croissance des animaux Ndama dans un élevage extensif. La croissance des jeunes animaux jusqu'au sevrage peut être considérée comme linéaire. Les gains de poids vifs des veaux sous la mère sont de 330 à 340 g/j selon qu'il s'agit de mâles ou de femelles. Ils n'apparaissent pas influencés par les saisons. Il aurait cependant fallu disposer de plus de périodes de mesure pour conclure sur cet aspect.

Les croissances d'animaux mâles ont ensuite été présentées en comparant à deux périodes de l'année les poids des boeufs et des taureaux. Les données s'ajustent dans un modèle non-linéaire de type "Nelder" avec une bonne précision. Les différences de poids découlent des différences physiologiques entre catégories mais surtout, dans ce cas, de la sélection effectuée lors de la castration, au terme de laquelle l'éleveur ne garde que les sujets les mieux conformés, ou du moins ceux qui extériorisent le meilleur potentiel de croissance.

Les différences entre saisons sont plus importantes. Les pertes de poids sont de l'ordre de 10 à 15% et apparaissent proportionnelles au poids de l'animal.

Une étude plus détaillée de l'influence des saisons sur le poids des animaux a été effectuée en traitant les données de poids de boeufs enregistrées entre 12 et 42 mois à 4 périodes de l'année. L'analyse montre des gains quotidiens qui varient selon l'âge de l'animal et les saisons entre des valeurs négatives de -170 g/j en saison sèche à 600 g/j au retour des pluies, période où la repousse est abondante et de qualité et où la croissance compensatoire est manifeste.

En reprenant l'ensemble des données des deux années de mesure, l'étude aboutit à établir un modèle non-linéaire assorti d'une composante cyclique qui décrit en continu le poids ainsi que les phases de croissance et de pertes de poids au cours des saisons humide et sèche. Tel qu'il est établi, le modèle situe le poids moyen d'un boeuf Ndama selon son âge et la période considérée avec un écart-type résiduel de 12,1 kg.

Ce modèle de croissance pluriannuelle constitue un référentiel technique utilisable dans le cadre d'études visant à planifier ou simuler des productions, ou sur le terrain, pour apprécier les données réelles, déceler les écarts engendrés par un système d'exploitation inadapté et opter pour des choix plus judicieux.

En matière de capacités théoriques d'ingestion journalière, les données de poids d'animaux Ndama et de répartition des naissances ont permis d'établir des références adaptées aux différentes catégories.

Le modèle statique de calcul des effectifs et de la productivité, adaptable à différentes situations d'élevage extensif de la race Ndama, permet d'établir des prévisions d'effectifs de bovins répartis entre catégories et classes.

La notion de capacité de charge du pâturage a été améliorée en ajoutant dans le calcul les productions journalières, l'état de dégradation de la parcelle, une appréciation de l'utilisation par l'animal et la capacité théorique d'ingestion journalière de la catégorie animale concernée.

L'utilisation de l'ensemble des caractéristiques que l'on peut mesurer dans un milieu donné permet de simuler un bilan alimentaire à l'échelle de la parcelle. L'approche est théorique mais elle fournit un ensemble de renseignements utiles pour atteindre l'équilibre du parcellement et de la répartition des charges dans un périmètre d'élevage.

L'ensemble des points d'étude abordés au cours du travail conduit à une conception d'approche intégrée à l'échelle de grands territoires. Elle a été décrite en vue du suivi détaillé d'un ranch industriel et illustrée par les exemples tirés de la situation observée au ranch de l'Adélé. Une telle approche n'envisage certainement pas de dresser un rationnement alimentaire en pâturage extensif ou l'ajustement à la tête près du nombre d'animaux présents dans un parc, ni encore moins l'élaboration d'un quelconque système-expérimental automatisé, au centre duquel un outil informatique gèrera l'ensemble de l'espace et des animaux et décidera des mesures journalières à prendre.

La mise en oeuvre de tous les systèmes de production agricole repose d'abord et avant tout sur des individus qui, chacun à leur niveau, participent à la gestion et décident des actions à entreprendre. Ils doivent être à même de percevoir

l'ensemble des éléments constitutifs de leur système de production. Cette perception, simple lorsqu'elle doit être réalisée sur une superficie réduite, relève d'une très longue expérience lorsque elle concerne de vastes territoires morcellés en une grande multiplicité de parcelles. Abordée sous l'angle d'un référentiel auquel le praticien peut confronter ses propres observations et réflexions, la démarche proposée peut devenir une aide précieuse et indispensable qui permet de visualiser l'ensemble d'une situation et confirme l'opportunité des décisions qu'il y a lieu de prendre.

Les modèles développés au long de ce travail ont des limites de validité bien évidentes. Il devront être complétés, adaptés, voire améliorés selon chaque situation. L'étude pose avant tout les bases d'une méthodologie générale adaptée au suivi de l'utilisation de territoires d'élevage qui permettent d'assurer une politique d'exploitation cohérente en combinant la rentabilité et la sauvegarde du milieu.

Dans le prolongement de ce travail, les éléments qui nous paraissent devoir faire l'objet de travaux complémentaires sont les suivants.

- En matière de relations entre le climat et la productivité des végétations naturelles de savane, la collecte de données de productions journalières de repousses en situations pédoclimatiques variées devrait préciser les limites de validité des modèles proposés et devrait également proposer de nouveaux modèles adaptés à la diversité des situations que l'on est susceptible de rencontrer;

- Dans un objectif d'application pratique il faudrait nécessairement améliorer les indicateurs synthétiques traduisant: les relations entre les sols et les types de végétation, l'état de dégradation, les disponibilités en herbe, et l'utilisation actuelle du pâturage. Ces indicateurs doivent être conçus de manière simple et aisément utilisable par les praticiens.

- Dans le domaine de l'information géographique, la mise au point de procédures simples et éventuellement automatisées permettant de concevoir un équilibre de charge entre les parcelles d'un même parc serait particulièrement utile. De même, il importe d'envisager la mise au point de protocoles de collecte de données de terrain permettant d'utiliser au mieux les possibilités de traitement géostatistique de l'information.

- En régions tropicales, la valeur alimentaire des parcours limite les productions animales. Les recherches concernant l'utilisation ruminale de l'azote et des fibres chez les bovins tropicaux sont encore trop peu nombreuses. Il en va de même de l'utilisation que les bovins font du pâturage lorsqu'ils sont en systèmes libres extensifs. Mettre au point les outils nécessaires à l'étude et à la compréhension des mécanismes de comportement alimentaire, adapter des

techniques simples de complémentation en azote et en minéraux, étudier l'intérêt de l'introduction d'espèces végétales susceptibles de libérer dans le rumen une quantité d'azote suffisante, sont autant de voies dans lesquelles les recherches doivent être intensifiées.

- La mise au point de programmes de routine permettant la collecte aisée de données et l'utilisation pratique des Systèmes d'Information Géographiques en vue de la gestion de territoires d'élevage est un thème de première importance. La démarche développée ici pour des entreprises d'élevage fermées, bien délimitées dans l'espace et à l'intérieur desquelles l'information peut être fortement détaillée, doit également être adaptée au suivi de vastes régions où la colonisation rapide par les troupeaux villageois engendre des phénomènes de dégradation fortement dommageables pour la productivité du bétail et le revenu des éleveurs. Lorsqu'ils s'installent, ces phénomènes sont difficilement réversibles; il importe dès lors de concevoir et développer des moyens et des techniques permettant le suivi des effectifs et des charges et la traduction de l'information en éléments utiles pour le contrôle.

Bibliographie

- Adjanohoun E. (1962). Etude phytosociologique des savanes de basse Côte-d'Ivoire. *Vegetatio* **11** (1-2), 1-38.
- AFNOR, Association Française de Normalisation. (1985). *Aliments des animaux: méthodes d'analyses françaises et communautaires*. Paris, AFNOR, 399 p.
- ARC, Agricultural Research Council. (1980). *The nutrient requirements of ruminant livestock*, Commonwealth Agric. Bur., Farnham Royal, 351 p.
- Ahn J. H., Robertson B. M., Elliott R., Gutteridge R. C. et Ford C.W. (1989). Quality assessment of tropical browse legumes : tannin content and protein degradation. *An. Feed Sci. and Technol.* **27**, 147-156.
- Ahunu B.K., Kabuga J. D., Gwayu P., Teyeayam G. (1994). A comparison of non linear models for describing growth in Ndama cattle. *Discovery and Innovation* **6**(1), 78-83.
- Aii T. et Strobbs T.H. (1980). Solubility of the protein of tropical pasture species and the rate of its digestion in the rumen. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **5**, 183-192.
- Andrieu J. et Demarquilly C. (1989). Prediction of the digestible and metabolisable energy content of forages from their chemical composition and organic matter digestibility. *Proc. XVI Int. Grassl. Congr.*, Nice, France, 875-876.
- Anon, (1986). Livestock development planning system - A microcomputer based planning and training tool for livestock development planners. Rome, FAO, 108 p.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1984). *Official methods of Analysis*, Washington DC, AOAC, 162.
- Arbelot B. (1993). Prévion de la valeur nutritive des feuilles de fourrages ligneux tropicaux. Mémoire de DEA, Université d'Aix-Marseille II et III, 36p.
- Aubréville A. (1949). *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Soc. Ed. Geogr. Marit. Colon., 351 p.
- Aucott, L.S. (1990). Statistical analysis of near infrared reflectance data. Ph. D. thesis, University of Aberdeen, 235 p.
- Audru J. (1977). Les ligneux et subligneux des parcours naturels soudano-guinéens en Côte d'Ivoire: leur importance et les principes d'aménagement et de restauration des pâturages. Note de synthèse **8**, Paris, IEMVT, France, 267 p.
- Aufrère J. (1982). Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Ann. Zootech.* **31**, 111-130.
- Aufrère J. et Michalet Doreau B. (1988). Comparison of methods for predicting digestibility of feeds. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **20**, 203-218.
- Aumont G., Caudron I., Saminadin G. et Xandé A. (1995). Sources of variation in nutritive values of tropical forages from the caribbean. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **51**, 1-13.

- Aumont G., Saminadin G., Cerneau P. et Xandé A. (1994). Effects of sample preparation on the nitrogen degradability of pangola grass and tropical tree legumes. *J. Agric. Sci.* **123**, 47-54.
- Aumont G., Xandé A. et Saminadin G. (1994). Prediction of dry matter digestibility, organic matter digestibility and voluntary dry matter intake of tropical forage from Guadeloupe (French West Indies) in sheep. *J. Agric. Sci.* (submitted).
- Baptist R. (1988). Herd and flock productivity assessment using the standard offtake and the demogram. *Agric. Syst.* **28**, 67-78.
- Baptist R. (1992). Derivation of steady state herd productivity. *Agric. Syst.* **39**, 253-272.
- Bartlett H.H. (1956). Fire primitive agriculture and grazing in the tropics. In: WL Thomas, *Man's role in changing the face of the earth*, Chicago, Univ. Chicago Press, 697-721.
- Berbigier P. (1988). *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. Versailles, INRA publications, France, 237 p.
- Biston R. et Dardenne P. (1985). Application de la spectrométrie de réflexion dans le proche infrarouge. Prévion de la qualité des fourrages en vue de leur exploitation rationnelle. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **20**(1/2), 23-41.
- Bobin C. (1993). *L'éloignement du monde*. Paris, Lettres vives, 59 p.
- Boudet G. (1984). *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. Paris, Ministère des Relations Extérieures, Coopération et Développement. 4^o éd., 266 p.
- Braun - Blanquet J. (1932/1951). *Plant sociology: the study of plant communities*. New York, Mc Graw Hill.
- Buldgen A., Compère R., Hellemans Ph. et Lecomte Ph., (1994). Planning sustainable land use of woodland savannas using a Geographical Information System (Adélé ranch, Togo), *Int. J. Sustain. Dév. World Ecol.* **1**, 178-188.
- Bultot J. (1949). In: Descoing B.M (1976), *Approche des formations herbeuses tropicales par la structure de la végétation*. Montpellier, Mémoire, Acad. de Montpellier.
- Bureau National des Recherches Minières du Togo (1986). Carte géologique 1/200.000, feuille Sokodé, mémoire n°3.
- Campbell C. A. et Biederbeck V.O. (1976). Soil bacterial changes as affected by growing season and weather conditions: a field and laboratory study. *Camb. J. Soil Sci.* **56**, 293-310.
- Castle M.E. (1976). A simple disc instrument for estimating herbage yield. *J. Brit. Grassl. Soc.* **31**, 37-40.
- César J. (1991). Typologie, diagnostic et évaluation de la production fourragère des formations pastorales en Afrique tropicale. *Fourrages* **128**, 423-442.

- César J. (1992). Etude de la production biologique des savanes de Côte-d'Ivoire et de son utilisation par l'homme, biomasse, valeur pastorale et production fourragère. Thèse de doctorat de l'Université de Paris VI, 642 p.
- César J. et Havet A. (1986). Influence du climat et du sol sur la production herbacée des savanes en Côte d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.* **39**(3/4), 453-461.
- Charter J.R. et Keay R.W.J. (1960). Assessment of the Olokomedji fire control experiment (investigation 254) 28 years after institution. *Niger. For. Inf. Bull.* **3**.
- Chenost M. (1975). La valeur alimentaire du pangola (*Digitaria decumbens* Stent) et ses facteurs de variation en zone tropicale humide. *Ann. Zootech.* **24**, 327-349.
- Cilliers J.W. et van Der Merwe H.J. (1993). Relationships between chemical components of veld herbage and *in vitro* digestibility and estimated intakes of dry matter and digestible dry matter by sheep and cattle. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **43**, 151-163.
- CIPEA, Centre International des Productions d'Elevage en Afrique. (1979). Le bétail trypanotolérant d'Afrique occidentale et centrale. 1. Situation générale. Addis-Abeba, CIPEA, 155 p.
- Cocklin C., Parker S. et Hay J. (1992). Notes on the cumulative environmental change II : a contribution to methodology. *J. Environ. Manag.* **35**, 51-67.
- Compère R. (1978) Ranch d'élevage bovin de la Lékabi (Gabon). Dossier préliminaire d'exécution. 2a, Aspects techniques. Bruxelles, Cie J. van Lancker, 123 p.
- Compère R., Hellemans P., Lecomte Ph. et Gernez F. (1992). Les savanes guinéennes du ranch de l'Adélé (Togo) 1. Les facteurs du milieu et la composition floristique des formations végétales pâturées. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **27**(4), 445-471.
- Compère R., Hellemans P., Lecomte Ph., Lachapelle A. et Messan F. (1993). Les savanes du ranch de l'Adélé (Togo) 2. La production et la valeur alimentaire des pâturages naturels. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **28**(1), 5-28.
- Compère R., Hellemans P., Tommassini M. et Buldgen A. (1993). Les savanes du ranch de l'Adélé (Togo). 3. L'exploitation actuelle des ressources fourragères et proposition pour une gestion plus rationnelle. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **28**(1), 29-50.
- Cooper J.P. et Tainton N.M. (1969). Light et temperature requirements for the growth of tropical grasses, *Herb. Abst.* **38**, 167-176.
- Cortier B., Potchier G. et Imbernon J. (1988). Le Maïs au Sénégal. Effet des techniques culturales et des conditions hydriques en conditions pluviales. *Agron. Trop.* **43**, 85-90.
- Coulomb J. (1976). La race Ndama. Quelques caractéristiques zootechniques. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.* **29**(4), 367-380.
- Crowder L.V. et Chheda H.R. (1982). *Tropical Grassland Husbandry*. Harlow, Longman, Tropical Agriculture Series, 295 p.

- CSA, Conseil Scientifique pour l'Afrique. (1956). Phytogéographie (Yangambi 1956). London, CCTA (22), 35p.
- Dabin B. (1979). Les principaux sols de l'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités. In: Paris, ORSTOM, *Sér. Pédol.* 17(4), 235-257.
- Dagg M. et Mc. Queen M. (1967). Rooting habits of East African grasses. *Rep. E. Afr. Agric. For. Res. Org.* 1966, 21-24.
- Dagnelie P. (1975). *Analyse statistique à plusieurs variables*, Gembloux, Presses Agronomiques, 362 p.
- Dardenne P. (1990). Contribution à l'utilisation de la spectrométrie dans le proche infrarouge pour l'étude de critères de qualité des céréales et des fourrages. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques. 173 p.
- Dardenne P., Sinnaeve G., Biston R. et Lecomte Ph. (1991). Fresh grass analysis by NIR spectroscopy. In: *Proc. 4th. Int. NIRS conf.* Aberdeen, 19-23 August, 277-283.
- Davidson D. A. (1992). *The evaluation of land resources*. Harlow, Essex, Longman Scientific & Technical, 126-166.
- de Boever J.L., Cottyn B.G., Andries J.I., Buysse F.X. et Vanacker J.M. (1988). The use of a cellulase technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of forages. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 19, 247-260.
- de Leenher L., Van Home J. et Van Ruymbeke P. (1957). Pédologie VII. Gand, *Bull. Soc. Belg. Pédolog.* 324-347.
- de Ridder N., Strootsnijder L. et Cissé A. M. (1982). La productivité des pâturages sahéliens. Textes du cours PPS, T1. Wageningen, Université Agronomique, 237 p.
- de Wispelaere G. (1987). Rôle de la télédétection spatiale dans le diagnostic de l'embroussaillage par *Chromolaena odorata* dans la région de Bossembélé (Centrafrique). Séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, N'Gaoundéré (Cameroun), 16-20 novembre, 12 p.
- Debouche C. (1977). Application de la régression non-linéaire à l'étude et à la comparaison de courbes de croissance longitudinales. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques, 304 p.
- Demarquilly C. (1978). Prévion de la valeur énergétique In: R. Jarrige, *Alimentation des ruminants*. Versailles, 1978, INRA publications, p 481.
- Denmead O.T. et Shaw R.H. (1962). Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54, 385-390.
- Dereix C. et Amani N'Guessan (1976). Etude de l'action des feux de brousse sur la végétation. Les parcelles feux de Konondekro. Bouaké, CTFT, 32 p.
- Dervin C. (1988) *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances ?* Paris, ITCF, 75p.

- Descoing B.M. (1974). Etude agrostologique des formations pastorales des vallées de Nyanga et de la Ngounié (Gabon). Libreville, ORSTOM, 52p.
- Descoing B.M. (1976). Approche des formations herbeuses tropicales par la structure de la végétation. Montpellier, Mémoire, Acad. de Montpellier, 258 p.
- Devred R. (1956). Les savanes herbeuses de la région de Mvuazi (Bas-Congo). Bruxelles, Publications de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge, série scientifique 65, 115 p.
- Dieng A. (1991). Introduction de la culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* (Kunth) dans la ferme intensifiée du bassin arachidier sénégalais. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques, 229 p.
- Dijkstra N.D. (1957). Research on the digestibility and feeding value of some grass species and grass of leys. *Versl. Landb. Ondz.* 63 (1).
- Doorenbos J. et Kassam A.H. (1980). Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage, 20-41.
- Duchaufour P. (1960). *Précis de pédologie*. Paris, Masson, 431p.
- Dulphy J.P., Faverdin Ph., Micol D. et Bocquier F. (1987). Révision du système des unités encombrement (UE). *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix*, INRA 70, 35-48.
- Dunglas J. (1989). Présentation des Systèmes d'Information Géographique. *Bull. Tech. d'Information* 445, 443-446.
- Eagleman J.R. (1971). An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agr. Meteorol.* 8, 385-394.
- Emberger L., Daget P., Godron M., Long G., Le Floch E., Poissonet J., Sauvage G. et Wacquant J.P. (1968). *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et transcription*. Paris, CNRS, 289 p.
- Everitt B. (1980). *Cluster analysis*. Aldershot, England, Gower, 136 p.
- Fall S.T. (1991). Digestibilité, *in vitro* et dégradabilité, *in situ* dans le rumen de ligneux fourragers disponibles sur pâturages naturels au Sénégal : Premiers résultats, *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.* 44(3), 245-354.
- Fall S.T. et Michalet -Doreau B. (1995). Nitrogen partition in cell structures of tropical browse plants compared with temperate forages: influence on their *in situ* degradation pattern. *Anim. Feed Sci. And Technol.* 51, 65-72.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1993). *Annuaire FAO Production*. Rome, coll. FAO statistiques, 47, 254 p.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1991). *Climwat for Cropwat*. Rome, Land and Water Development Division.
- Faulkner D.H. et Epstein H. (1957). *The indigenous cattle of the british dependent territories in Africa*. London, Colonial Advisory Council on Agriculture, Animal Health and Forestry, publication n°5, HMSO, 216p.

- Foot J.Z. et Tulloh N.M. (1977). In : SCA 1990, *Ruminants Feeding standards for Australian Livestock*. Melbourne, CSIRO, 20-21.
- Foran B.D., Stafford Smith D.M., Niethe G., Stockwell T., et Michell V. (1990). A comparison of development options on a northern Australian beef property. *Agric. syst.* **34**, 77-102.
- Forest F. et Kalms J.M. (1984). Influence du régime d'alimentation en eau sur la production du riz pluvial, simulation du bilan hydrique. *Agron. Trop.* **39**-1.
- Forest F., Clopes A. et Baron C. (1993). *Développement d'un système d'évaluation de la faisabilité et de la performance des activités de production agricole en régions à fort risque climatique*. Montpellier, CIRAD, p.
- François J. (1990). Les besoins en eau des cultures et leur détermination. *Le fruit belge*, **431**.
- Franquin P. (1969). Analyse agroclimatique en régions tropicales. Saison pluvieuse et saison humide. Applications. ORSTOM, *Sér. Biol.* **9**, 65-95.
- Frère P., Lecomte Ph. et Renard J.F. (1984). L'élevage du bovin Ndama au Bas Zaïre, Milieu Agrostologie Zootechnie. Monographie, Kinshasa, Compagnie J. Van Lancker, 180 p.
- Fréteaud J.P., Poss R. et Saragoni H. (1987). Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensionneutroniques *in situ* sous culture de maïs. *Agron. Trop.* **42**(2), - .
- Gauthier D., Coulaud G., Varo H. et Thimonier J. (1984). Durée de l'anoestrus post-partum et fertilité de la vache créole en climat tropical; Influence de la saison de mise bas et de la variation de poids vif. *Ann. Zootech.* **33**, 235-244.
- Gbaka T. H. (1983). Contribution à l'étude de la fertilité des sols du ranch de la vallée de la DOLA (Gabon). Mémoire, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques, 142 p.
- Geay Y., Robelin J., Beranger C., et Micol D. (1978). Bovins en croissance et à l'engrais. In: INRA, *Alimentation des ruminants*. Versailles, 1978, INRA publications, 297-343.
- Geerling C. et de Bies S. (1986). The concept of carrying capacity and land-use. *Netherl. J. Agric. Sci.* **34**, 339-347.
- Gego E. (1992). Développement d'un modèle de simulation pour l'étude de l'évolution de l'azote minéral du sol sous un culture de froment d'hiver. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques, p.
- Gernez F. (1991). Les relations sol-plantes dans les savanes naturelles de l'Adélé (Togo) exploitées par les bovins. Mémoire, Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques, 96 p.
- Gillon D. (1970). Recherches écologiques dans la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire): Les effets du feu sur les arthropodes de la savane. *La terre et la vie* **24**(1), 80-93.

- Glover P.E., Glover J. et Gwyne M.D. (1962). Light rainfall and plant survival in East Africa. II Dry grassland vegetation. *J. Ecol.* **50**, 199-206.
- Godonou K.S., Aregba A. et Assih-Edeou P. (1986). *Carte géologique au 1/200 000 et notice explicative, feuille Sokodé (Togo)*. Lomé, Direction Générale des Mines, de la Géologie et du Bureau National de Recherches Minières, 42 p.
- Godron M., Daget Ph., Emberger L., Long G., Lefloc'h E., Poissonet J., Sauvage Ch. et Wacquart J.P. (1968). *Code pour le relevé méthodologique de la végétation et du milieu*. Paris, CNRS, 292p.
- Goering H.K. et Van Soest P.J. (1970). *Forage fiber analysis*. Agric. Handbook n°. 379, US Dept. of Agriculture, p.
- Grenet E. (1970) In: R. Jarrige, *Alimentation des ruminants*. Versailles, 1978, INRA publications, 29-30.
- Gu Konu Y. et Laclavère G. (1985). *Atlas du Togo*. Paris, Jeune Afrique, 54 p.
- Guillaumet J.L. et Koechlin J. (1971). Contribution à la définition des types de végétation dans les régions tropicales. *Candollea* **26**, 263-277.
- Hatch M.D. et Boardman N.K. (1973). Biochemistry of photosynthesis, in: Butler et Bailey *Chemistry and biochemistry of herbage* vol. 2. London, Academic Press, , 25-55.
- Hellemans Ph. (1991). Missions d'appui au ranch de l'Adélé (Togo). Rapport final de première phase. Gembloux, Faculté des Sciences Agronomiques. 64 p.
- Hellemans Ph., Compère R., Dardenne P., Biston R., Dieng A. et Rivas A. (1990). Use of NIR Spectrometry for a better management of forage resources in tropical countries, first results and future prospects. In: *Proc. IIIrd Int. NIRS Conf.*, 25-29 June Brussels, Agricultural Research Centre Publishing, 496-500.
- Henning P.H., Steyn D.G. et Meissner H.H. (1993). Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. *J. of An. Sci.* **71**, 2516-2528.
- Hoaglin D.C. et Welsh R.E. (1978). The hat matrix in regression and ANOVA. *The Amer. Statist.* **32**, 17-22.
- Hopkins B. (1965). Observations on savanna burning in the Olokomedji forest reserve, Nigeria. *J. appl. Ecol.* **2**, 367-381.
- Hopkins B. (1974). *Forest and savanna*, London, Heineman, 154 p.
- Hutchinson J., Dalziel J.M. (1972). *Flora of West tropical Africa*, vol III, part 2. London, Millbank, Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, 574 p.
- ILWIS 1.3., The Integrated Land and Water Information System, User's Manual (1992). ITC, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique (1978). *Alimentation des ruminants*. Versailles, INRA publications, Jarrige R. (Ed.), 597 p.

- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique (1988). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Versailles, INRA publications, Jarrige R. (Ed.), 471 p.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique (1989). *Pâturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide*. Versailles, INRA publications, Xandé A., Alexandre G. (Ed.), 535 p.
- INRA, Institut National de la Recherche Agronomique. (1989). *Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables*. Versailles, INRA publications, Jarrige R. (Ed.), 389 p.
- Jalvingh A.W., Dijkhuizen A.A. et Van Arendonk J.A.M. (1990). Dynamic livestock modelling of reproduction for on farm decision support focused on reproduction and replacement in swine. *41st Ann. meet. EAAP*, Toulouse France.
- Jarrige R. (1978). In: R. Jarrige, *Alimentation des ruminants*. Versailles, 1978, INRA publications, 177-198.
- Johnston C., Detenbeck N., Bonde J. et Niemi G. (1988). Geographic information systems for cumulative impact assessment. *Photogr. Eng. and Rem. Sens.* **54**, 1609-1615.
- Journet M. et Rémond B. (1976). in : *Alimentation des ruminants*, Versailles, 1978, INRA publications, p. 193.
- Kabuga J.D. et Darko C.A. (1993). *In sacco* degradation of dry matter and nitrogen in oven dried and fresh tropical grasses and some relationships to *in vitro* dry matter digestibility. *Anim. Feed Sci. And Technol.* **40**, 191-205.
- Kahn H.E. et Spedding C.R.W. (1984). A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems. Part 2: An investigation of various factors influencing the voluntary intake of dry matter and the use of the model in their validation. *Agric. Syst.* **13**, 63-82.
- Kamatalit P., Teller E., Vanbelle M., Collignon G. et Foulon M. (1992). *In situ* degradability of organic matter, crude protein and cell wall f various tree forages. *Anim. Feed. Sci. and Technol.* **55**, 29-34.
- Kamoun M. et Thewis A. (1990). Influence du mode de conditionnement d'un fourrage vert sur sa composition chimique, la digestibilité *in vitro* de la matière organique et la dégradabilité *in sacco* de l'azote dans le rumen. *Rep. Nutr. Devel.* **2** (Suppl), 159-160.
- Kamoun M., (1995). Utilisation de l'azote -15 et de la spectrométrie dans le proche infrarouge pour la détermination de la dégradabilité réelle *in situ* et *in vitro* des matières azotées des fourrages. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 225 p.
- Kamoun M., Beckers Y., Thewis A., François E. et Lecomte Ph. (1994). Comparison of 15N incorporation into rumen microbes for microbial nitrogen estimation in nylon bag residues: influence on the effective degradability. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **3**, 45.

- Kamoun M., Thewis A., Couvreur L. et Francois E. (1993). Etude de la contamination microbienne et de la dégradabilité ruminale *in sacco* des matières azotées de 2 variétés de ray-grass italien marquées au moyen de ^{15}N et récoltées à 2 stades végétatifs. *Ann. Zootech.* **42**, 122-123.
- Kellner (1905). In: INRA, *Alimentation des ruminants*. Versailles, 1978, INRA Publications, p. 64.
- Kenman T.C.D. (1971). The effect of fire on two vegetation types at Matapos (Rhodesia). In: *Proc. Tall Timbers Fire Ecol. Conf.* **11**, 53-98.
- Kennedy P.M., Hazelwood G.P. et Milligan L.P. (1984). A comparison of methods for the estimation of the proportion of microbial nitrogen in duodenal digesta and of correction for microbial contamination in nylon bags incubated in the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* **52**, 403-417.
- Kessel (1990). An Australian geographical information and modelling system for natural area management. *Intern. Geogr. Inf. syst.* **4**, 333-362.
- Kiwak C. et Duvigneaud P. (1953). Etude sur l'écomorphologie des graminées des formations herbeuses du Bas Congo. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **86**, 91-104.
- Knapp R. (1973). Die Vegetation von Afrika unter Berücksichtigung von Umwelt, Entwicklung, Wirtschaft, Agrar und Forstgeographie. In: Band III. Walter H. (Ed.), *Vegetationsmonographien der einzelnen Grossräume*. Gustav Fisher, Stuttgart, Deutschland, 626 p.
- Koechlin J. (1961). La végétation des savanes dans le sud de la République du Congo-Brazzaville. Paris, ORSTOM, Mémoires Inst. Etud. Centrafricaines, (10).
- Köppen F. (1936). *Das geographische System der Klimate*. Berlin, Handb. Klimatologie, I, c.
- Landais A. (1984). in: Berbigier P. (1988). *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. Versailles, INRA publications, France, 154.
- Lecomte Ph. (1992). Suivi technique du ranch de l'Adélé (Togo). Rapport de mission. Bonn, AFC, 25p., 1 carte.
- Lecomte Ph. et Buldgen A. (1994). Ranching systems in woodland savannah of the guinean zone of Africa - Monitoring of grass regrowth and potential stocking rate through climatic models and GIS (Adélé Ranch, TOGO). In: *Proc. IV symp. Livst. Farming Syst.* Aberdeen, Ecosse, (in press).
- Lecomte Ph. et Dehoux J.-P. (1988). Premiers aspects de la création d'un élevage bovin villageois par métayage au Gabon. *Tropicultura*, **6**, 2.
- Lecomte Ph., Decruyenaere V., Agneessens R. (1994). Evolution comparée au cours du premier cycle de végétation de la digestibilité et de la valeur énergétique de fourrages verts sur des lots de moutons nourris *ad libitum* ou à l'entretien. 9^e Journées herbivores, 16-17 mars. *Ann. Zootech.* (sous presse).

- Lecomte Ph., Kamoun M., Agneessens R., Beckers Y., Dardenne P. et François E. (1994). Approach on the use of near infrared spectrometry for the estimation of microbial nitrogen contamination of forages incubated in nylon bag. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **3**, 44.
- Lecomte Ph., Ledroit P. et Dehoux J.-P. (1990). Projet d'introduction de l'élevage bovin dans le sud Gabon. *CIPEA actualités* **9** (1), p.2.
- Ledieu J., Xanthoulis D. et Dautrebande S. (1991). Modélisation mathématique de la consommation d'eau des prairies. *Rev. de l'Agric.*, **44**, 461-470.
- Lemaire G. et Denoix A. (1987). Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans l'Ouest de la France. I. Etude en conditions de nutrition azotée et d'alimentation hydrique non limitantes. *Agronomie* **7**(6), 373-380.
- Lemaire G. et Denoix A. (1987). Croissance estivale en matière sèche de peuplements de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans l'Ouest de la France. II. Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée. *Agronomie* **7** (6), 381-389.
- Levêque A. (1975). Pédogenèse sur le socle granitogneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels. Thèse de doctorat en sciences naturelles, Strasbourg, Université Louis Pasteur.
- Makkar H.P.S., Singh B. et Negi S.S. (1989). Relationship of rumen degradability with microbial colonization, cell wall constituents and tannin levels in some tree leaves. *An. Prod.* **49**, 299-303.
- Martens H. et Jensen S.A. (1982). Partial least squares regression: a new two stage NIR calibration method. In: Holas et Kratchovil éd., *proc. World Cereal Bread Congr.*, 7th., Elsevier, Amsterdam, 607-647.
- Mason I.L. (1951). The classification of West African livestock. Edinburgh, Technol. comm., **7**, Bureau of Animal Breeding and Genetics, 45 p.
- Mathers J.C. et Aitchison E.M. (1981). Direct estimation of the extend of contamination of food residues by microbial matter after incubation within synthetic fiber bags in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* **96**, 691-693.
- Mathieu A. et Fiorelli J.L. (1985). Utilisation d'un herbomètre pour l'interprétation du déroulement d'un pâturage - Possibilités d'estimation de la production de matière sèche ou de caractérisation de l'état de l'herbe. *Fourrages*, **101**, 3-29.
- Mc Donald P., Edwards R.A. et Greenhalgh J.F.D. (1989). *Animal nutrition*. Harlow, Longman, 543 p.
- Merlier H. et Montegut J. (1982). *Adventices tropicales*. Paris, Ministère des Relations extérieures, Coopération et Développement, 490 p.
- Michalet Doreau B. et Ould Bah M.Y. (1992). *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. *Anim. Feed Sci and Technol.* **40**, 57-86.

- Michalet-Doreau B. et Cerneau P. (1991). Influence of foodstuff particle size on *in situ* degradation of nitrogen in the rumen. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **35**, 69-81.
- Minitab. (1991). Reference manual, release 8, PC version. State College, Minitab Inc., USA.
- Minson D.J. et McLeod M.N. (1973). The digestibility of temperate and tropical grasses. *Proc. 11th Int. Grassl. Congr.*, Surfers Paradise, Australia, University Press, Brisbane 719-732.
- Moffat, I. (1990). The potentialities and problems associated with applying information technology to environmental management. *J. environ. manag.* **30**, 209-220.
- Mooney H.A. et Godron M. (1983). Research on the characteristics of energy flows within natural and manaltered ecosystems. Disturbance and ecosystems. *Berlin, Springer Verlag, Ecological studies*, **44**, 48-70.
- Mortelmans J. et Kageruka P. (1976) Trypanotolerant cattle breeds in Zaïre. *World An. Rev.* **5**, 14-17.
- Negi S.S., Singh B. et Makkar H.P.S. (1988). Rumen degradability of Nitrogen in typical cultivated grasses and leguminous fodders. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **22**, 79-89.
- Nelder J.A. (1962). An alternative form of generalized logistic equation. *Biometrics*, **18**, 614-616.
- NRC (1984). Nutrient requirements of beef cattle, National Research Council (NRC), National Academy Press, Washington, DC, 90 p.
- NRC (1987). Prediction feed intake of food producing animals, National Research Council (NRC), National Academy Press, Washington, DC, 42 p.
- Nye P.H., (1954) Some soil processes in the humid tropics. I. A field study of a catena in the West African forest. *J. Soil Sci.*, **5**, 7-21.
- Old S. M. (1969). Microclimate, fire and plant production in an Illinois prairie. *Ecol.monogr.* **39**, 355-384.
- Orskov E.R. et Mc Donald I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* **115**, 409-420.
- Ould-Bah M.Y. (1989). Adaptation de la technique *in sacco* à l'étude de la dégradation de l'azote des fourrages et application à l'étude des fourrages verts et conservés. Thèse de doctorat, Montpellier, Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, 186 p.
- Ould-Bah M.Y. et Michalet-Doreau B. (1989). Effect of forage conservation methods on *in sacco* nitrogen degradability in the rumen. *Proc. XVI Int. Grassl. Cong.* Nice, France, 907-908.

- Pagot J. (1959). Etude biométrique de la croissance des taurins Ndama. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.* **12**(4), 405-416.
- Pagot J., Coulomb J. et Petit J.P. (1972). Revue et situation actuelle de l'emploi des races trypanotolérantes. Séminaire interrégional mixte FAO/OMS sur la trypanosomiase africaine, Kinshasa, 23 oct. - 3 nov., 42p.
- Palm R. (1994). Les méthodes d'analyse factorielle: principes et applications. *Biom. Praxim.* **34**, 35-80.
- Payne W.J.A. (1990). *An introduction to animal Husbandry in the tropics*, Harlow, Longman, Tropical Agriculture Series, Wrigley G.(Ed.), 881p.
- Péguy Ch. P. (1970). *Précis de climatologie*. 2è édition revue et remaniée, Paris, Masson (Ed), 468 p.
- Penman H.L. (1948). Natural evaporation from open water bare soil and grass. *Proc. Roy. London Soc.* **193**, 120-140.
- Penning De Vries F.W.T. et van Laar H.H. (1982). *Simulation of growth and crop production*. Pudocs, Wageningen, 308 p.
- Peyraud J.L. (1990). Influence du mode de séchage et de la finesse de broyage des échantillons de fourrages sur l'estimation de la dégradabilité de l'azote dans le rumen. *Repr. Nutr. Dev.* **2**(suppl), 153-154.
- Philippeau G. (1986). *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?* Boigneville, Service des études statistiques ITCF, 63p.
- Phillips P.J. et Mc Williams, J.R. (1971)., In :, M.D. Hatch, C.B. Osmond et R.O. Slayter, *Photosynthesis et photorespiration*, New York, Interscience, 472 -482.
- Pierce L.T. (1958). Estimating seasonal and short term fluctuation in evapotranspiration from meadows crops. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **39**, 73-78.
- Pierre C. (1906). *L'élevage dans l'Afrique occidentale française*. Paris, Publication du Gouvernement général de l'AOF.
- Poss R., Saragoni H. et Imbernon J. (1988). Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *Agron. Trop.* **43**(1), 18 - 29.
- Pratt D.J. et Gwyne M.D. (1978). *Rangeland management and ecology in East Africa*. London, Hodder and Stoughton, 310 p.
- Pratt D.J. et Knight J. (1977). Bush control studies in the drier areas of Kenya. V. Effect of controlled burning and grazing management in *Tarchonanthus/Acacia* thicket. *J. Appl. Ecol.* **8**, 217-237.
- Ramsay R. et Rose Innes J.H. (1963). Quelques observations quantitatives sur les effets des feux sur la végétation de savane guinéenne au nord du Ghana durant onze années. *Afr. Soils* **8** (3) 73-120.
- Raphalen J. L. et Le Bris X. (1985). Production de prairies et climat. *Fourrages*, **102**, 19-25.
- Renard J.F. (1981) Rapport de mission technique dans les ranches de la Nyanga et de la Lékabi (Gabon), Libreville, Société Agrogabon, 15 p.

- Renard J.F. (1991). La gestion pastorale en zone soudano-guinéenne. Séminaire sur la problématique de la transposition de bovins trypanotolérants et du transfert de techniques d'élevage d'un milieu contrôlé à un milieu traditionnel, Madina Diassa, Mali, 1-13 nov., 9p.
- Renard J.F. et Compère R. (1980). Le potentiel pastoral des savanes guinéennes au Togo. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **15**(3), 249-256.
- Renard J.F., Compère R. et Mathieu L. (1979). Etude des savanes de la zone soudanienne du Togo. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **14**(3-4), 253-266.
- Rivière R. (1977). *Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical*. Paris, Ministère de la Coopération- IEMVT, 525 p.
- Rose Innes, (1971) in Crowder L.V. et Chheda H.R. (1982). *Tropical Grassland Husbandry*. Harlow, Longman Tropical Agriculture Series, 263 p.
- Rosevaere G.M. (1948). The grasslands of Latin America, *Imp. Bur. Past. and Field. Crops* **36**, William Lewis, Cardiff.
- Ryckmans A. et Mwelanzambi Bakwa C. (1992). *Droit coutumier africain- Proverbes judiciaires Kongo (Zaire)*. Paris, L'harmattan, 400 p.
- Saporta G. (1990). *Probabilités et analyse de données et statistiques*. Paris, Technip, 493 p.
- SAS, Statistical Analysis System (1985). Users guide, release 6.04. Cary, NC, SAS Institute inc.
- Schiemann R., Nehring K., Hoffmann L., Jentsch W. et Chudy A. (1971). *Energetische Futterbewertung und Energienormen*. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 344 p.
- Shenk J.S. et Westerhaus M.O. (1991). Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Sci.* **31**, 469-474.
- Skerman P.J. et Riveros F. (1989). *Tropical grasses*. Rome, FAO Plant production and protection, **23**, 832 p.
- Sorensen J.T., Kristensen E.S. et Thysen Y. (1991). A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. *Agric. Syst.* **39**, 177-200.
- Stachurski F. (1987). Etude bibliographique sur *Chromolaena odorata*. Maisons Alfort, IEMVT, 30 p.
- SCA, Standing Committee on Agriculture. (1990). *Ruminants Feeding standards for Australian livestock*. Melbourne, CSIRO, 266 p.
- Stanford G. et Epstein E. (1974). Nitrogen mineralisation - Water relations in soils. *Soil Sci. Am. Proc.*, **38**, 103-107.
- Stat-Itcf. (1992). Guide de l'utilisateur, logiciel d'analyses statistiques version 5. Boigneville, ITCF.
- Taerum R. (1970) A study of root and shoot growth on three grass species in Kenya. *East. Afr. For. J.* **36**, 155-170.

- Talinear J.C. (1970). Action des facteurs climatiques sur la production fourragère en Côte d'Ivoire. *Ser. Biol. ORSTOM* **14**, 51-70.
- Thomas D.B. et Pratt D.J. (1967). Bush control studies in the drier areas of Kenya. IV, Effects of controlled burning on secondary thicket in upland Acacia woodland. *J. Appl. Ecol.* **4**, 325-335.
- Tilley J.M.A. et Terry R.A. (1963). A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Brit. Grassl. Soc.* **18**, 104-111.
- Tomassone R. et Dervin C. (1993). *Comment interpréter les résultats d'une régression non linéaire*. Paris, ITCF 110 p.
- Traoré M. (1989). Etude de la productivité du bétail N'Dama élevé en ranching et dans les troupeaux traditionnels du cercle de Yanfolila (MALI), Perspectives d'amélioration. Thèse de doctorat d'Etat en Sciences naturelles, Paris XII, 255 p.
- Trewartha G.T. (1968). *An introduction to climate*. New York, McGraw-Hill.
- Trochain J.L. (1957). Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. *Bull. Inst. Etud. Centrafr. Brazzaville* **13-14**, 55-93.
- Unité de zootechnie de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. (1991). Mission d'appui au ranch de l'Adélé. Rapport final. Bonn, AFC, 124 p., 3 annexes et 3 cartes.
- Unité de zootechnie de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. (1992). Suivi du ranch de l'Adélé. Rapport de mission. Bonn, AFC, 41p., 2 annexes.
- Upton M. (1989). Livestock productivity assessment and herd growth models. *Agric. Syst.* **29**, 79-90.
- van Arendonk J.M.A. (1988). Management guides for insemination and replacement decisions. *J. of Dairy Sci.* **71**, 1050-1057
- Van Bavel C.H.M. (1967) Changes in canopy resistance to water loss from alfalfa induced by water depletion. *Agron. J.* **45**, 167-172.
- Van Der Zon A.P.M. (1992). *Graminées du Cameroun, Volume 1. Phytogéographie et pâturages*. Wageningen, Agricultural University Papers, 92-1.
- Van Der Zon A.P.M. (1992). *Graminées du Cameroun, Volume 2, Flore*. Wageningen Agricultural University, Papers, 92-1.
- Van Es A.J.H. (1975). Feed evaluation for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* **2**, 95-107.
- van Kleef H.A. et Linthorst Th. I. (1986). Geographic information for land-use management. *Neth. J. Agric. Sci.* **34**, 329-338.
- Van Rensburg H.J. (1952) Grass burning experiments on the Msima river stock farm, Southern Highlands, Tanganyika. *East Afr. Agric. J.* **17** 119-129.
- Van Soest P.J. et Mason V.C. (1991). The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **32**, 45-53.
- Van Soest P.J. et Wine R. (1967). Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. *J. Ass. off Agric. Chem.* **50**, 50-55.

- Vanderwaeren J. et Wissocq G. (1976). *Principes et méthodes d'exploitation d'organisation et de gestion d'un élevage industriel de bovidés de race Ndama en Afrique Centrale*. Kinshasa, Zaïre, Cie J Van Lancker, 126 p.
- Vérité R. et Geay Y. (1987). Testing and implementing the PDI system in France. In : Jarrige R. et Alderman G. (Edit.), *Feed evaluation and protein requirements systems for ruminants*. Proc. of CEC seminar, Brussels, 25-27 june 1986, 249-261.
- Vermorel M., Coulomb J.B. et Journet M. (1987). Revision du système des Unités Fourragères. *Bull. Tech. CRZV Theix*, INRA **70**, 9-18.
- Vincente - Chandler J., Silva S. et Figarella J. (1969). The effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of three tropical grasses. *Agron. J.* **51**, 202-206.
- Vuattoux R. (1970). Observations sur l'évolution des strates arborées et arbustives dans la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire). *Ann. Univ. Abidjan*, Sér. E, Ecologie **III**(1) 285-315.
- Wallace G., Chesson A., Lomax J.A. et Jarvis M.C. (1992). Lignin carbohydrate complexes in graminaceous cell walls in relation to digestibility. *Anim. Feed Sci. and Technol.* **32**, 193-199.
- Ward J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Statist.* **58**, 236-244.
- Westerhaus M.O. (1990) Improving repeatability of NIR calibrations across instruments, *Proc IIIrd Int. NIRS Conf.*, 25-29 june Brussels, Agricultural Research Centre publishing. 671-674.
- Williams P.C. et Norris K. (1987). *Near infrared technology in the agricultural and food industries*. Ithaca, American association of cereal chemists Inc., 330 p.
- WIP (1972). Etudes et avant-projets du ranch de l'Adélé et du centre zootechnique de Kouniohou. Tome 3 : Ranch de l'Adélé. München, Wirtschaft Infrastruktur und Planung, 193 p.
- Xandé A. et Garcia Trujillo R. (1985). Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux de la zone Caraïbe, INRA Publications, Paris, 51p.
- Xandé A., Aumont G. et Caudron I. (1991). *Tables des valeurs alimentaires des fourrages tropicaux de la zone Caraïbes et de la Réunion*. Pointe à Pitre, CRZ, Guadeloupe, 129 p.

Annexe I

Relevé de situation agrostologique

Date: _____ Observateur: _____
 Bloc: _____ Parcelle: _____

1. Situation actuelle de l'exploitation du pâturage:

date du dernier feu: _____

- pâturé:

- non pâturé:

présence de paille: - nulle
 - faible
 - moyenne
 - abondante

2. Dégradation du pâturage:

Position topographique	Dégradation*	Espèces concernées (herbacées ou ligneuses)	% surface
- Sommet - Versant pente faible - Versant pente forte - Bas-fond			

*: Dégradation:

0: Pâturage intact

1: Régression des graminées vivaces, apparition de plages de *Paspalum*, de graminées stolonifères et annuelles, de dicotylées et de sol nu2: Apparition des adventices (*Chromolaena*, Thé de Gambie, Sauge, *Afromomum*), début d'apparition des recrus ligneux

3: Développement des adventices (>25% rec.), recru arbustif

4: Envahissement par adventices et ligneux (>30%), érosion localisée

5: Formation dense à *Chromoalaena odorata* ou dénudation du sol, embroussaillage intense.

Annexe II

Méthode *in sacco* utilisée pour tester la dégradabilité théorique des fourrages collectés au TOGO.**1. Confection des sachets.**

Les échantillons d'aliments à incuber dans le rumen sont introduits dans des sachets fabriqués en toile de nylon Monodur de porosité 42.5 μm soudés à l'aide d'une thermosoudeuse. Les sachets sont confectionnés à partir de carrés de toile de nylon de 22 cm de côté, chaque carré est plié en deux et deux des côtés libres du rectangle ainsi obtenu (une largeur et la longueur) sont fermés par une double thermosoudure.

Des bordures en biais sont prévues dans le bas du sachet pour faciliter la récupération de la matière après incubation et pour éviter toute perte de poids due à l'effilochage du nylon pendant les manipulations. Les deux côtés soudés et l'ouverture du sachet sont coupés en dents de scie au moyen de ciseaux à cranter.

Les dimensions internes des sachets ainsi obtenus sont de 10 x 20 cm.

2. Tarage des sachets.

Les sachets vides sont pesés deux fois au moins après séchage à l'étuve à 60°C à 24 heures d'intervalle, jusqu'à ce que la différence entre deux pesées n'excède pas 0.5% de la moyenne.

3. Remplissage et fixation des sachets.

La prise d'essai est de 5 g de matière séchée et broyée avec une grille de 1 mm. Une fois le remplissage effectué, les sachets sont fermés par des colliers de serrage en plastique et fixés sur des tiges en plastique souple lestées par un poids de 120 g.

Ces tiges sont attachées par des fils en nylon et placées dans le rumen pour incubation des échantillons.

4. Incubation et lavage des sachets.

Les tiges portant les sachets sont introduites dans le rumen juste avant les repas. L'expérimentation comprend 3 périodes d'incubation; l'introduction et le retrait des sachets se faisant à heures fixes. Le protocole d'incubation est établi de façon à ce qu'il n'y ait pas plus de 40 sachets présents à la fois dans le rumen. Une fois retirés aléatoirement après les temps d'incubation envisagés, les sachets sont rincés en premier lieu sous un jet d'eau de conduite et ensuite soumis à un lavage avec de l'eau de conduite dans une machine à pulsateur pendant trois fois cinq minutes, en changeant l'eau à chaque reprise. Après essorage, les sachets sont séchés dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à poids constant; après double pesée le contenu est récupéré pour analyse ultérieure.

5. Estimation de la dégradabilité théorique *in sacco*.

Les taux de disparition de la matière sèche et de l'azote observés à différents temps d'incubation dans le rumen permettent de définir une cinétique de dégradation; le taux de disparition au temps $T = 0$ est obtenu par simple lavage, comme décrit précédemment, de sachets non incubés dans le rumen.

La cinétique observée est ensuite ajustée à l'aide de la procédure nlin du logiciel SAS (1985) suivant le modèle proposé par Orskov et McDonald (1979).

Annexe IIIa.- Répartition décadaire de la pluviosité (1984 1991), déclinaison (d) hauteur solaire (h) et durée d'ensoleillement (N)

Mois	décades	d(°,')	h(°,')	N h, min	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	Moy.	tot.
JAN	1	-22,41	59,19	11,34	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	
	2	-21,14	60,46	11,35	0,0	8,2	0,0	25,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	
	3	-19,06	62,54	11,36	0,0	0,0	0,0	0,0	23,7	0,0	0,0	0,0	3,0	7,7
FEV	4	-16,06	65,54	11,39	0,0	0,0	16,2	0,0	24,9	0,0	0,0	22,0	7,9	
	5	-12,53	69,07	11,43	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	15,5	24,4	5,1	
	6	-9,19	72,41	11,47	0,0	0,0	6,5	36,3	0,0	5,0	0,0	72,2	15,0	28,0
MAR	7	-6,17	75,43	11,51	31,9	17,4	57,2	14,8	0,0	40,8	0,0	53,2	26,9	
	8	-2,22	79,38	11,56	55,4	71,0	1,6	59,8	26,5	38,6	0,0	67,8	40,1	
	9	1,35	83,35	12,01	71,0	8,0	17,6	58,4	53,8	14,5	12,5	6,8	30,3	97,3
AVR	10	5,51	87,51	12,06	88,3	52,1	34,6	8,2	6,0	4,9	19,1	113,2	40,8	
	11	9,33	88,27	12,10	4,2	43,8	5,6	54,5	61,8	35,0	105,5	56,8	45,9	
	12	13,00	85,00	12,14	41,6	76,9	16,9	0,0	73,5	33,0	52,1	43,2	42,2	128,9
MAI	13	16,05	81,55	12,18	79,3	65,8	108,1	92,1	50,5	133,8	24,1	77,9	79,0	
	14	18,43	79,17	12,22	66,9	41,4	6,6	8,0	30,5	14,3	42,9	58,0	33,6	
	15	20,50	77,10	12,24	83,0	31,9	37,0	79,8	59,9	31,9	18,0	8,9	43,8	156,3
JUN	16	22,29	75,31	12,26	64,0	63,0	54,7	69,5	68,9	48,6	45,0	35,5	56,2	
	17	23,17	74,43	12,27	50,2	63,1	100,0	116,0	88,6	44,3	131,3	97,6	86,4	
	18	23,24	74,36	12,28	143,1	38,2	30,2	62,6	59,4	141,6	77,0	119,5	84,0	226,5

Annexe IIIa. (suite) - Répartition décadaire de la pluviosité (1984 1991), déclinaison (d) hauteur solaire (h) et ensoleillement (N).

Mois	décades	d(°,')	h(°,')	N h, min	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	Moy.	tot.
JUL	19	22,51	75,09	12,27	69,1	134,9	53,4	16,0	118,5	75,2	50,4	52,7	71,3	188,7
	20	21,37	76,23	12,25	28,4	54,2	23,4	149,5	43,4	62,4	36,5	47,2	55,6	
	21	19,47	78,13	12,24	70,5	94,0	58,9	56,6	12,8	76,9	59,1	65,4	61,8	
AOU	22	17,08	80,52	12,20	37,5	169,4	20,0	70,7	105,0	18,8	75,3	17,7	64,3	254,4
	23	14,15	83,45	12,16	38,9	77,5	79,2	54,2	100,7	91,9	48,3	105,7	74,6	
SEP	24	10,58	87,02	12,12	47,2	63,0	174,3	93,7	64,2	203,1	145,2	133,9	115,6	236,4
	25	7,02	89,02	12,08	36,9	121,7	115,9	71,4	68,9	78,9	51,5	156,4	87,7	
OCT	26	3,15	85,15	12,04	59,0	112,7	71,6	120,6	78,7	98,9	74,4	94,9	88,9	108,5
	27	-0,37	81,23	11,59	78,0	26,5	35,8	55,9	110,9	44,0	92,8	35,2	59,9	
	28	-4,30	77,30	11,55	52,8	2,7	66,3	68,0	102,3	60,6	8,2	197,8	69,8	
NOV	29	-8,17	73,43	11,50	11,7	30,4	21,4	13,7	0,0	28,7	95,0	18,3	27,4	16,7
	30	-11,53	70,07	11,46	0,0	0,0	82,4	1,5	0,0	0,0	0,0	6,4	11,3	
	31	-15,30	66,30	11,42	0,0	2,1	22,3	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	3,3	
DEC	32	-18,20	63,40	11,38	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,1	0,0	7,7	16,9
	33	-20,38	61,22	11,36	0,0	42,2	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	5,7	
	34	-22,17	59,43	11,34	0,0	0,2	0,0	4,5	55,3	0,0	0,0	32,4	11,6	
	35	-23,14	58,46	11,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6	0,0	3,7	
Tot. année	36	-23,24	58,36	11,32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	0,0	1,6	1466,3
					1314,4	1512,3	1317,7	1466,6	1488,7	1430,8	1378,3	1821,0	1466,3	1466,3

Annexe IIIb.: Répartition mensuelle des lames d'eau tombées exprimée en jours par mois

mm	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	TOTAL x
Mois													
J	0,250	0,125	0,250	0,125	0,125								0,750
F	1,375	0,375	0,875	0,250	0,125								3,000
M	2,000	2,000	1,625	0,500	0,250	0,250	0,125	0,125	0,125				7,000
A	2,500	1,000	1,625	2,000	0,375	0,375	0,125				0,125		8,125
M	3,250	3,000	2,625	1,375	1,125	0,375	0,125	0,125	0,125	0,125			11,250
J	4,000	2,500	3,125	1,875	1,000	0,625	0,625			0,125			13,875
J	5,250	2,125	3,000	1,625	1,250		0,375			0,125			13,875
A	5,000	2,125	3,625	2,125	1,250	1,125	0,250			0,125	0,125		15,750
S	3,625	2,375	3,250	2,750	1,625	0,500	0,250			0,125			14,500
O	1,750	1,125	2,125	0,750	0,375	0,250	0,250					0,125	6,750
N	1,000	0,375	0,125	0,250	0,125								1,875
D	0,750	0,125	0,250	0,125	0,250								1,500
Totaux	30,750	17,250	22,500	13,750	6,750	3,500	2,125	0,250	0,250	0,625	0,250	0,125	98,125

Annexe IVa - Textures des 16 profils détaillées par horizon

Profils	Horizons	EG	A		LF		LG		SF		SG	
			0-20 µm	2-20 µm	20-50 µm	50-200 µm	200-2000 µm					
1 SRAp	0-20	1,88	27,23	4,42	4,68	43,68	19,97					
	20-40	1,99	59,05	1,73	3,55	23,20	12,44					
	40-60	1,70	66,14	2,20	9,12	15,70	6,82					
2 SBsup	0-20	8,30	10,30	1,66	38,14	28,05	21,82					
	20-40	57,05	23,67	2,69	7,00	36,88	29,72					
	40-60	69,28	32,66	3,80	8,30	24,36	30,84					
3 SBgl	0-20	3,01	22,36	5,65	9,28	47,45	15,24					
	20-40	1,20	47,25	5,18	7,84	30,08	9,62					
	40-60	1,70	57,13	3,83	6,94	24,21	7,86					
4 SMB	0-20	13,68	35,9	0,27	16,17	29,78	17,86					
5 SBRtr	0-20	1,60	29,97	10,71	1,53	34,71	23,06					
	20-40	1,60	58,32	9,44	0,07	20,58	11,57					
	40-60	1,20	60,41	4,88	7,38	17,72	9,59					
6 Ssquel	0-20	80,20	39,27	8,09	0,48	26,71	25,43					
	20-40	69,50	46,51	9,15	0,69	19,76	23,87					
	40-60	27,60	49,08	10,89	0,74	15,53	23,74					
7 SRAp	0-20	1,86	47,60	8,83	0,83	31,82	10,90					
	20-40	1,60	66,41	1,91	7,80	16,47	7,40					
	40-60	2,10	68,71	0,39	11,74	13,62	5,51					
8 SRAp	0-20	1,90	30,17	10,55	0,86	42,60	15,80					
	20-40	2,80	60,81	0,07	4,23	25,16	9,70					
	40-60	1,90	68,84	0,00	12,50	13,47	5,17					

Annexe Iva (suite) - Textures des 16 profils détaillées par horizon

Profils	Horizons	EG	A	LF	LG	SF	SG
			0-20 µm	2-20 µm	20-50 µm	50-200 µm	200-2000 µm
9 Ssquel	0-20	42,40	32,35	7,80	0,41	34,74	24,68
	20-40	73,60	45,63	9,11	4,16	27,36	13,73
	40-60	1,65	10,7	6,31	0,23	69,55	13,19
10 SRAp	0-20	1,84	4,16	44,53	2,34	32,83	16,12
	20-40	1,29	7,23	59,51	1,60	21,48	10,15
	40-60	1,00	6,69	60,23	11,72	14,66	6,68
11 Mo	0-20	1,29	34,0	3,78	2,69	37,42	22,08
	20-40	5,35	45,62	8,51	0,34	26,65	18,85
12 Ssquel	0-20	3,32	42,66	7,19	4,17	27,1	18,85
	20-40	74,8	47,36	6,20	2,98	19,24	24,2
	40-60	62,6	40,76	6,98	3,52	19,21	29,51
13 SBsup	0-20	0,1	18,04	8,54	1,81	45,79	25,79
	20-40	2,85	27,56	7,53	2,18	39,33	23,37
	40-60	62,53	47,2	6,52	5,63	23,99	16,64
14 SRAp	0-20	2,97	35,52	4,15	4,01	34,80	21,51
	20-40	0,80	60,83	5,07	1,62	20,09	12,36
	40-60	0,20	66,91	1,40	9,04	14,51	8,11
15 SRAsup	0-20	31,17	31,70	6,55	2,99	33,05	25,69
	20-40	60,84	48,92	6,54	4,11	21,13	19,28
	40-60	35,58	26,2	6,53	2,37	22,15	42,74
16 Bv	0-20	36,06	30,26	4,40	4,36	39,74	21,22
	20-40	1,10	48,23	8,07	5,62	26,64	11,41
	40-60	0,90	51,45	7,25	5,36	27,18	9,74

EG éléments grossiers, A argile , LF limon fins , LG limon grossier, SF, sablefin, SG sable grossier

Annexe IVb- Caractéristiques physicochimiques des 16 profils détaillées par horizon.

Profils	Horizons	Matière organique								
		AE	Acidité pH	pH	C	MO	N	C/N	T	CEC argile
		meq/100g	H2O	Kcl	%					
1 SRApfd	0-20	0,42	5,40	4,50	1,50	2,53	0,07	21,40	6,40	5,00
	20-40	3,94	4,90	4,00	1,10	1,81	0,06	18,30	7,40	6,00
	40-60	1,11	4,90	4,00	0,70	1,18			4,80	4,00
2 SBsup	0-20	0,00	5,40	4,50	1,20	2,01	0,07	17,10	5,40	12,00
	20-40	0,79	4,90	4,10	1,10	1,81	0,06	18,30	5,10	6,00
	40-60	2,6	4,60	4,10	0,90	1,60	0,07	12,90	6,60	11,00
3 SBgl	0-20	0,32	5,00	4,10	1,20	2,01	0,08	15,00	6,00	8,00
	20-40	3,22	4,80	4,00	0,90	1,49	0,08	11,25	7,70	10,00
	40-60	4,97	4,80	3,90	0,60	0,98			8,60	11,00
4 SMB	0-20	5,17	4,70	3,90	1,90	3,25	0,13	14,60	9,20	7,00
5 SBRtr	0-20	0,00	5,00	4,20	1,40	2,32	0,07	20,00	6,30	5,00
	20-40	4,54	4,80	3,90	0,90	1,49	0,06	15,00	8,60	9,00
	40-60	4,78	4,90	3,90	0,80	1,29	0,06	13,30	9,00	10,00
6 Ssquel	0-20	3,07	4,90	4,00	1,90	3,25	0,11	17,30	9,00	6,00
	20-40	4,71	4,70	3,90	1,40	2,32	0,09	15,56	8,5	8,00
	40-60	4,05	4,80	4,00	0,80	1,29	0,05	16,00	7,00	9,00
7 SRApfd	0-20	0,95	5,50	4,5	1,80	3,05	0,1	18,00	9,4	7,00
	20-40	5,17	4,70	3,9	1,00	1,70	0,07	14,3	8,2	7,00
	40-60	4,49	5,10	4,00	0,80	1,39	0,06	13,30	8,00	8,00
8 SRApfd	0-20	1,54	5,40	4,50	1,50	2,63	0,09	16,70	8,10	10,00
	20-40	3,45	4,80	3,90	1,10	1,91	0,08	13,80	7,80	7,00
	40-60	5,61	5,00	4,00	0,80	1,39	0,06	13,30	8,70	9,00

Annexe IVb (suite)- Caractéristiques physicochimiques des 16 profils détaillées par horizon.

Profils	Horizons	Matière organique								
		AE	Acidité pH	pH	C	MO	N	C/N	T	CEC argile
		meq/100g	H2O	Kcl	%					
9 Ssquel	0-20	2,07	5,20	4,20	1,00	1,70	0,12	8,30	9,00	17,00
	20-40	4,90	4,50	3,80	1,40	2,43	0,10	14,00	10,60	13,00
	40-60	0,58	5,20	3,90	0,60	0,98			4,20	20,00
10 SRApfd	0-20	2,52	4,70	3,80	1,10	1,91	0,07	15,70	6,90	75,00
	20-40	3,81	4,80	3,90	0,90	1,49	0,07	12,86	7,20	57,00
	40-60	4,39	4,90	4,00	0,70	1,18			8,20	87,00
11 Mo	0-20	2,01	5,10	4,20	1,80	3,15	0,10	18,00	7,80	5,00
	20-40	3,66	4,90	4,00	1,00	1,70	0,07	14,30	6,90	8,00
12 Ssquel	0-20	2,87	5,00	4,00	2,20	3,77	0,11	20,00	10,60	7,00
	20-40		4,80	3,90	2,10	3,56				
	40-60		4,80	4,00	1,40	2,32				
13 SBsup	0-20		5,80	4,50	1,10	1,81	0,06	18,30	5,00	7,00
	20-40	1,17	4,80	3,90	0,80	1,39	0,05	16,00	4,20	5,00
	40-60	4,21	4,70	3,90	0,90	1,49	0,07	12,90	7,20	9,00
14 SRApfd	0-20	1,97	4,80	4,00	1,40	2,43	0,07	20,00	6,50	5,00
	20-40	4,07	4,70	4,10	1,10	1,81	0,07	15,70	8,10	7,00
	40-60	4,33	4,80	4,20	0,80	1,39	0,05	16,00	10,00	11,00
15 SRAsup	0-20	3,43	5,30	4,60	2,00	3,46	0,10	20,00	9,30	8,00
	20-40	5,02	4,70	4,00	1,70	2,94	0,10	17,00	9,40	7,00
	40-60	5,23	4,80	4,50	0,70	1,18			7,80	21,00
16 Bf	0-20	1,03	5,30	4,60	1,70	2,94	0,11	15,50	9,00	10,00
	20-40	5,45	4,80	4,00	1,00	1,70	0,07	14,30	9,40	12,00
	40-60	4,90	4,80	4,00	0,70	1,18			9,00	13,00

Annexe V - Tableau synoptique de l'abondance-dominance des espèces rencontrées à l'Adélé en moyenne générale et selon les types de végétation

Type de paturage	Général	Bo - Sa	SMB -Fc	SMB -SA	Sbsup - SA	SBgl - SA	SBRtr - SA	SRAp - SA	SRASup - SA	Be - Sa	Mo	Ssq - Sa	Bv - SA
ESPECES LIGNEUSES													
<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	2!	1.2!	2.3!	2	1	2.3!	2!	!	2!		R	2!	
<i>Lophira lanceolata</i> Van Thieg. ex Keay	!		1.2!	1	1	1	!	R	R	1!		!	R
<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Taub.	R		1.3!		R		x	R	R		!	!	R
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	R		1!		R		R			1!		!	
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	R					R		R		R			
<i>Borassus aethiopium</i> Mart.	R			R			R	R	R			R	1
<i>Vitex doniana</i> Sweet	R				+	R	R	R	1!		!	R	
<i>Ficus sur</i> Forsk.	1!	!	R			R	1	1!	1!	x		1!	
<i>Ficus</i> sp.	R					R	R	R	R			R	
<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. et Perr.	2	2!	1	1	1	2	1.2!	2!	2	2!	2.3!	1.2!	2
<i>Terminalia laxiflora</i> Engl.	R	R					R	R	R			!	
<i>Cussonia kirkii</i> Seeman	1		R	R	R	!	1!	1	1	1!	1.2!	1!	
<i>Bridelia ferruginea</i> Benth.	R		!	R		R	1!	x	1!		1!	R	
<i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth.	!	1!	!	2	1	!	!	R	!			!	
<i>Piliostigma thomingii</i> Schum.	R		R	R		R	R	x	x	x	R	!	1
<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Azel. ex G. Don) Benth.	!	2!	2.3!		R	R	!	!	2!	1.2!	1!	2!	x
<i>Psorospermum glaberrimum</i> Hochr.	x		R			R	x	x	x	R	R	x	
<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	1!		R	!		1!	1	R	1!	1!	R	1.2!	x
<i>Nauclea latifolia</i> Sm.	1!	+	x	x	+	1!	1	1!	!		1!	1!	
<i>Anona senegalensis</i> Pers.	R						R	R	R		R	R	R
<i>Pseudocedrella kotschy</i> (Schweinf.) Harms.	2			R	+	1!	1.2!	2.3!	2.3!	x	1.3!	1.2!	
<i>Morinda lucida</i> Benth.	R				R	R	R	R	R			R	
<i>Grewia carpinifolia</i> Juss.	!						x	1!	R	R	1	R	
<i>Gardenia ternifolia</i> Schum. et Thon.	R						R		R			R	
<i>Vitex chrysocarpa</i> Oliv.	R						R	R	R		R	R	
<i>Ostryderris chevalieri</i> Dunn.	R						R	!	R			R	!
<i>Albizzia coriaria</i> Welv. ex Oliv.	R			R			R	R		R	R	R	R

Annexe V - Tableau synoptique de l'abondance-dominance des espèces rencontrées à l'Adélé en moyenne générale et selon les types de végétation

	Type de paturage Général	Bo	SMB	SMB	Sbsup	SBgl	SBRtr	SRAp	SRAsup	Be	Mo	Ssq	Bv
		- Sa	-Fc	-SA	- SA	- SA	- SA	- SA	- SA	- SA	- Sa	- Sa	- SA
<i>Albizzia</i> sp	R					R	R	R	R	!	1,2!	R	
<i>Combretum demeusei</i> G. Don	R			R									
<i>Allophylus cobbe</i> Linn.	R						R		R			R	
<i>Lannea velutina</i> A. Rich.	!	x		R		R	R	!	R	!		!	
<i>Milettia excelsa</i> Wight et Arn.	R						R						
<i>Cassia sieberiana</i> DC.	R					R		R	R			R	
<i>Albizzia zygia</i> Durazz.	!	!					R	!	2!	!		!	
<i>Rhus insignis</i> (Del.) Oliv.	R								R				
<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	R						!		R	R		R	
<i>Harungana madascariensis</i> Lam.	R					!	R	R	R				
<i>Afelia a ficana</i> Sm. ex Pres.	R			!									
<i>Burkea a ficana</i> Hook.	R		2	!		R						R	
<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC.	R		!	!					R				
<i>Sterculia setigera</i> Del.	R	R							R	R		R	
<i>Parkia a ficana</i> R. Br.	R		R			R	R	R	R	R		R	
<i>Hannoa undulata</i> Planch.	R					R	R	R				R	
<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn. f.	R						R					R	
<i>Aformosa laxi fora</i> (Benth. ex Bak.) Harms	R					R	R						
<i>Phyllanthus discoideus</i> (Baill.) Mull. Arg.	R						R	R				R	
HERBACES SUBLIGNEUX													
<i>Cochlospermum lancheoni</i> Hook. f.	1!	!	1	1!	+	1	1!	1!	1!	R	!	1	
<i>Solanum</i> sp.	R			R				R	R				
<i>Lippia multi fora</i> Moldenke	!	1!		R	!	R	!	2!	!	!	1!	!	2!
<i>Afomomum lati folium</i> (Afzel.) K. Schum.	x	R	1	R		R	x	2!	2!	!	1!	!	1!
<i>Chromolaena odorata</i> (L.) King et Robinson	2!	1!		!		1,2!	2!	2	1,2!	3!	2!	1,3!	3!
<i>Grewia barteri</i> Linn.	1!		+	R	x	x	R	1!	1	!	R	x	
<i>Hyptis suaveolens</i> Poit	1!	1!	R				!	!	2!	2!	R	2!	

Annexe V - Tableau synoptique de l'abondance-dominance des espèces rencontrées à l'Adélé en moyenne générale et selon les types de végétation

Type de pâturage	Général	Bo - Sa	SMB -Fc	SMB -SA	Sbsup - SA	SBgl - SA	SBRtr - SA	SRAp - SA	SRAsup - SA	Be - Sa	Mo	Ssq - Sa	Bv - SA
<u>GRAMINEES</u>													
<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Hack.) Stapf	2.3!		1.2!	1.2!	1	1	2	2.3!	1.2!		1!	1.2!	1
<i>Hyparrhenia smithiana</i> (Hook. f.) Stapf	2!		2	1!	3	1.2!	1.2!	R	!	R		!	1
<i>Hyparrhenia bracteata</i> (H. et B. ex Wiid.) Stapf	R								R			!	
<i>Panicum phragmitoides</i> Stapf.	1.2!		1	1	1	1	1.2!	2	1	x	1!	1	+
<i>Panicum pubiglume</i> Stapf.	R	1!						R	x	R	R	R	
<i>Loudetia arundinacea</i> (Hochst ex A. Rich.) Steud.	2!		2.3!	2	3	2	2!	R	2	2!	R	2!	
<i>Loudetia simplex</i> (Nees) C.E. Hubbard	!	2.4!	1.2!	2		1	!		3!	2.3!	4!	!	
<i>Andropogon schirensis</i> Hochst ex A. Rich	2.3!	1!	2.3!	2	3	2.3!	3	2	2.3!	2	2!	2.3!	2
<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	2	1!	2.3!	2.3!	3	2	2.3!	2	2.3!	2.3!	2!	2	2.3!
<i>Schizachyrium platiphylum</i> (Franch.) Stapf	R						R		R				
<i>Setaria longiseta</i> P. de Beauv.	R		R	R	R	R	R	x	R			R	
<i>Brachiaria brachylopha</i> Stapf	R			R	R								
<i>Paspalum scrobiculatum</i> (R. Br.) Stapf	!		R	R		R	1!	!	!			R	
<i>Imperata cylindrica</i> (Linn.) P. de Beauv.	R					R		R					!
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	!	x				!	R	1!	!		!	!	
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P. de B.	R	1!				!	R	R	!		!	R	
<i>Ctenium elegans</i> Kunth	R	1	R		R		R	R	!	1!	1!	!	
<i>Sporobolus</i> sp	R						R	R				R	
<i>Schizachyrium brevifolium</i> Nees ex Büse	R	1!		R					!		!		
<i>Eragrostis</i> sp.	R	1!							R	R	R		
<i>Microchloa indica</i> (Linn.) P. de Beauv.	R	+							R	R	R	R	
<i>Andropogon fastigiatus</i> Sw.	R	1									R		
<i>Loudetiopsis ambiens</i> (K. Schum.) Conert	R					R	R						1!
<i>Digitaria diagonalis</i> (Nees) Stapf	!										R		1.3!
<i>Setaria longiseta</i> P. Beauv.	R						R						1
<i>Schizachyrium rupestre</i> (K. Schum.) Stapf	!	!	R	!		!	!	R	!		R	2!	R
<i>Rynchelytrum repens</i> (Willd.) C.E. Hubbard	R								R				R
<i>Schizachyrium exile</i> (Hochst) Pilger		R									R	R	
<i>Rottbaellia exaltata</i> Linn. f.	!		R		R	R	R	R	R		!	R	

Annexe V - Tableau synoptique de l'abondance-dominance des espèces rencontrées à l'Adélé en moyenne générale et selon les types de végétation

Type de pâturage	Général	Bo - Sa	SMB -Fc	SMB -SA	Sbsup - SA	SBgl - SA	SBRtr - SA	SRAp - SA	SRAsup - SA	Be - Sa	Mo	Ssq - Sa	Bv - SA
<i>Hyparrhenia barteri</i> (Hack) Stapf	R			R	R	R		R					
<i>Pennisetum polystachion</i> (Linn.) Schult	R						R						
<i>Monocybium ceresiforme</i> (Nees) Stapf	R	1							!		R		
DICOTYLEES HERBACEES													
Papilionaceae indé.	x	R	R	x	!	x	x	1	1		R	1,2!	R
Caesalpinaceae indé.													
Mimosaceae indé.													
<i>Borreria</i> sp	1	1	x	+	1	1	1	1	1	x	x	1	x
Cyperaceae indé.	R	+	x	R	R		x	R		R	x	R	1