



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 2854

To cite this document :

Renoux, Julie (2009) [Contribution à l'étude du rationnement des bovins en système extensif : exemple d'un élevage de la Pampa Argentine](#)
Thesis

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr

Contribution à l'étude du rationnement des bovins en système extensif : *Exemple d'un élevage de la Pampa Argentine*

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2009
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Julie Anne Camille RENOUX
25 Novembre 1981 à VERSAILLES (78)

Directeur de thèse : **Mme le Professeur Nathalie PRIYMENKO**

JURY

PRESIDENT :

M. Jean-Louis MONTASTRUC

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

DIRECTRICE :

Mme Nathalie PRIYMENKO

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEUR :

Mme Annabelle TROGELER-MEYNADIER

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : M. A. MILON

Directeurs honoraires M. G. VAN HAVERBEKE.
M. P. DESNOYERS

Professeurs honoraires :

M. L. FALIU	M. J. CHANTAL	M. BODIN ROZAT DE MENDRES NEGRE
M. C. LABIE	M. JF. GUELFY	
M. C. PAVAUX	M. EECKHOUTTE	
M. F. LESCURE	M. D.GRIESS	
M. A. RICO	M. CABANIE	
M. A. CAZIEUX	M. DARRE	
Mme V. BURGAT	M. HENROTEAUX	

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

PROFESSEURS 1° CLASSE

M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les Industries agro-alimentaires*
M **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*
M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 2° CLASSE

Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistique, Modélisation*
M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Réproduction, Endocrinologie*
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
Mme **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

INGENIEUR DE RECHERCHE

M. **TAMZALI Youssef**, *Responsable Clinique Equine*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*

M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*

M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*

Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*

Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*

Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*

Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*

M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*

Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*

M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*

Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*

M. **DOSSIN Olivier**, (DISPONIBILITE) *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*

M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*

M. **GUERIN Jean-Luc**, *Elevage et Santé avicoles et cunicoles*

M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*

M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*

Mlle **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*

M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*

M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*

M **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants.*

Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*

M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*

M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*

Mlle **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*

Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*

Mme **TROEGELER-MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*

M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUEL

Mlle **BUCK-ROUCH**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie du bétail*

M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie*

M. **SEGUELA Jérôme**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

M **VERSET Michaël**, *Chirurgie des animaux de compagnie*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mlle **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*

M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*

M. **GIN Thomas**, *Production et pathologie porcine*

M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*

M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*

M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales*

Mlle **TREVENNEC Karen**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*

Table des matières

TABLES DES ILLUSTRATIONS	3
INTRODUCTION.....	6
PREMIERE PARTIE : L'ELEVAGE EXTENSIF DES BOVINS ET LA GESTION DE LEUR ALIMENTATION.....	8
I. DEFINITION ET IMPORTANCE DE L'ELEVAGE EXTENSIF	8
I.1. Définition et diversité de l'élevage extensif.....	8
I.2. Importance.....	11
I.3. Avantages de l'élevage extensif	15
II. PRATIQUE DE L'ELEVAGE EXTENSIF	18
II.1. Spécificités du fonctionnement des élevages extensifs.....	18
II.2. Les pratiques en élevage extensif.....	21
II.3. Exemples d'élevage extensifs	25
III . L'ALIMENTATION EN ELEVAGE EXTENSIF	31
III.1. Technicité et savoir-faire	32
III.2. Etude de l'alimentation.....	35
III.3. Intérêts de l'analyse du rationnement.....	39
DEUXIEME PARTIE : METHODES D'ETUDE DU RATIONNEMENT DES BOVINS EN SYSTEME EXTENSIF	42
I. ANALYSE DE L'ALIMENT.....	42
I.1. Nature de l'aliment.....	42
I.2. Qualité de l'aliment.....	43
I.3. Quantités d'aliment disponibles.....	45
II. ANALYSE DE LA COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES	47
II.1. Analyse de la couverture du besoin énergétique à partir du rendement	48
II.2. Analyse de la couverture du besoin énergétique à partir de l'évaluation de l'état corporel.....	48

III. ANALYSE DU RAPPORT BESOIN/APPORT	50
III.1. Détermination du besoin.....	50
III.2. Détermination des apports	57
III.3. Rapport Besoin/ Apport	59
IV. INTERET D'UNE APPROCHE GLOBALE DU RATIONNEMENT	60
IV.1. Relation entre le contexte environnemental et le	
rationnement	60
IV.2. Relation entre le rationnement et le rendement	62
IV.3. Relation entre le contexte environnemental et le rendement	63
TROISIEME PARTIE : EXEMPLE D'ANALYSE DU RATIONNEMENT DES	
BOVINS DANS UN ELEVAGE EXTENSIF DE LA PAMPA ARGENTINE.....	64
I. DESCRIPTION DE L'ELEVAGE.....	64
I.1. Localisation et contexte environnemental.....	64
I.2. Production et fonctionnement	76
I.3. Résultats	85
II. MATERIEL ET METHODES.....	87
II.1. Populations étudiées et contexte alimentaire	87
II.2. Méthode de détermination des besoins énergétiques des	
animaux.....	88
II.3. Méthode de détermination des apports énergétiques.....	92
III. RESULTATS.....	100
III.1. Résultats concernant les besoins énergétiques des animaux	100
III.2. Résultats concernant les apports énergétiques.....	102
IV. DISCUSSION	112
IV.1. Discussion sur le matériel et les méthodes.....	112
IV.2. Discussion sur les résultats	115
CONCLUSION.....	119

TABLES DES ILLUSTRATIONS

CARTES

CARTE 1 : PROPORTION DE PATURES (NATURELLES OU CULTIVEES) PAR PAYS (EN % DE LA SUPERFICIE TOTALE DU PAYS) [AAAS, 1998].....	11
CARTE 2: DENSITE DE BOVINS PAR PAYS (EN NOMBRE DE TETES/KM ²) [FAO, 2004].....	12
CARTE 3 : PROPORTION DE SURFACE FOURRAGERES PAR RAPPORT AUX SURFACES AGRICOLES, PAR DEPARTEMENT FRANÇAIS [AGRESTE, 2005]	14
CARTE 4 : SURFACE DE SAU MOYENNE PAR EXPLOITATION DE TYPE BOVIN VIANDE, PAR REGIONS FRANÇAISE [AGRESTE, 2005].....	14
CARTE 5: ARGENTINE ET PAMPA (DELIMITEE EN ROUGE)	66
CARTE 6 : LOCALISATION DE CORONEL PRINGLES (ENCADRE EN ROUGE) AU SEIN DE LA PAMPA	66
CARTE 7 : FORCE MOYENNE ANNUELLE DU VENT EN FONCTION DE LA ZONE [CZAJKOWSKI ET ROSENFELD,1992]	68
CARTE 8 : CARTE DES RADIATIONS (EN KW/M ²) ENREGISTREES DANS LA PAMPA EN JANVIER 1999 [RIGHINI ET GROSSI GALLEGOS, 2000].....	69
CARTE 9 : CARTE DES RADIATIONS (EN KW/M ²) ENREGISTREES DANS LA PAMPA EN JUIN 1999 [RIGHINI ET GROSSI GALLEGOS, 2000].....	69
CARTE 10 : NATURE DES SOLS DE LA PAMPA SELON LA CLASSIFICATION FAO [MOSCATELLI ET PAZOS, 2000].....	70
CARTE 11 : RESERVE EN EAU UTILE DU SOL (% DE LA CAPACITE EN EAU UTILE TOTALE) DE LA PAMPA EN JUIN 2003 [COMA ET SIPOWICZ, 2003].....	72
CARTE 12 : RESERVE EN EAU UTILE DU SOL (% DE LA CAPACITE EN EAU UTILE TOTALE) DE LA PAMPA EN JUIN 2004 [METEOFILA, 2004].....	72

TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES SURFACES DES EXPLOITATIONS ENQUETEES SELON LEUR SYSTEME DE PRODUCTION, EN ELEVAGE LIMOUSIN [INSTITUT DE L'ELEVAGE, 1999].....	26
TABLEAU 2 : ORGANISATION DE L'ELEVAGE DE NEOUX APPARTENANT A M. ET MME MARTINOT	28
TABLEAU 3 : PERFORMANCES DE L'ELEVAGE DE NEOUX	28
TABLEAU 4 : ORGANISATION DES FERMES COMMERCIALES ET DES FERMES DE DEMONSTRATION DE LA PAMPA ARGENTINE [CARILLO ET SCHIERSMANN, 1992]	30
TABLEAU 5 : PERFORMANCES DES FERMES COMMERCIALES ET DES FERMES DE DEMONSTRATION DE LA PAMPA ARGENTINE [CARILLO ET SCHIERSMANN, 1992]	31
TABLEAU 6: RADIATIONS GLOBALES MENSUELLES EXPRIMEES EN KWH/M ² /J ET EN CAL/CM ² /J, MESUREES DANS LA VILLE DE PIGUE (37,62°S, 62,42°W) [SEE, 2000].....	69
TABLEAU 7 : TENEUR EN PHOSPHATES, NITRATES ET MATIERE ORGANIQUE DES SOLS DES PRAIRIES ARTIFICIELLES 4A ET 9B.....	75
TABLEAU 8 : ROTATION DE CULTURE ET ALTERNANCE ELEVAGE (E) - AGRICULTURE (A) SUR LA PARCELLE 9B ENTRE 1997 ET 2005.....	77

TABLEAU 9 : ROTATION DE CULTURE ET ALTERNANCE ELEVAGE (E) - AGRICULTURE (A) SUR LA PARCELLE 23 ENTRE 1993 ET 2005.	77
TABLEAU 10 : EFFECTIFS SELON LES CATEGORIES D'ANIMAUX EN JUIN 2002 ET EN JUIN 2003	81
TABLEAU 11 : TAUX DE GESTATION DES VACHES DE L'ESTANCIA EN FONCTION DE LEUR AGE, DE 2002 A 2004.....	86
TABLEAU 12 : CHARGEMENT ET PRODUCTION DE L'ESTANCIA EN 2002 ET 2003	86
TABLEAU 13 : RECAPITULATIF DES DIFFERENTS BESOINS ENERGETIQUES ET DU BESOIN TOTAL DES VEAUX ET GENISSES DURANT LA PERIODE D'ETUDE	102
TABLEAU 14: COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS CONCERNANT LA CONSOMMATION DES FOURRAGES SELON DIVERSES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES (CF. ANNEXE 18)	111

PHOTOS

PHOTO 1 : VUE DE LA PAMPA	67
PHOTO 2 : VACHES DE RACE ABERDEEN ANGUS (31-32 MOIS).....	79
PHOTO 3 : BŒUFS DE RACE ABERDEEN ANGUS (18-19 MOIS)	80
PHOTO 4 : DEPLACEMENT D'UN GROUPE D'ANIMAUX, GUIDE PAR LES GAUCHOS A CHEVAL	84
PHOTO 5 : VUE D'UNE « MANGA » (STRUCTURE DE CONTENTION ET DE MANIPULATION)	85
PHOTO 6 : ZONE DELIMITEE DANS LA PARCELLE 9B POUR L'EVALUATION DE LA COUVERTURE VEGETALE	95
PHOTO 7 : ZONE DELIMITEE DANS LA PARCELLE 4A POUR L'EVALUATION DE LA COUVERTURE VEGETALE	95

GRAPHIQUES

GRAPHIQUE 1 : PRECIPITATIONS (EN MM) ET TEMPERATURES (EN °C) MENSUELLES MOYENNES DE LA PAMPA (BUENOS AIRES) D'APRES DES RELEVES REALISES ENTRE 1992 ET 2002 [NCDC ET CDIAC, 2002].	67
GRAPHIQUE 2 : FORCE MOYENNE (EN M/S) MENSUELLE DU VENT DE LA PAMPA (BUENOS AIRES) D'APRES DES RELEVES REALISES ENTRE 2000 ET 2005 [SAULO, 2006]	68
GRAPHIQUE 3 : EXCES ET DEFICITS MOYENS DE LA STATION TRES ARROYOS (38,2°S 60,15°W) D'APRES DES RELEVES REALISES ENTRE 1965 ET 2000 [GONZALES ET PENALBA, 2006].	71
GRAPHIQUE 4 : EXCES ET DEFICITS MOYENS DE LA STATION DE COLONEL SUAREZ (37,26°S 61,53°W) D'APRES DES RELEVES REALISES ENTRE 1965 ET 2000 [GONZALES ET PENALBA, 2006].....	71
GRAPHIQUE 5 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES MINIMALES ET MAXIMALES DE 2002 A AVRIL 2004, A PARTIR DES RELEVES DE L'ESTANCIA.....	74
GRAPHIQUE 6 : PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE ENTRE 2002 ET AVRIL 2004, A PARTIR DES RELEVES DE L'ESTANCIA	75
GRAPHIQUE 7 : TYPE DE PATURE EN FONCTION DE L'AGE DES ANIMAUX, DE LEUR SEXE ET DE LEUR STADE PHYSIOLOGIQUE.....	83

SCHEMAS

SCHEMA 1 : REPRESENTATION DES MESURES UTILISEES POUR DETERMINER LA SURFACE FOLIAIRE DES LEGUMINEUSES (LUZERNE).....	96
SCHEMA 2 : REPRESENTATION DES MESURES UTILISEES POUR DETERMINER LA SURFACE FOLIAIRE DES PETITES GRAMINEES (DACTYLE, BROME, RAY-GRASS)	97
SCHEMA 3 : REPRESENTATION DES MESURES UTILISEES POUR DETERMINER LA SURFACE FOLIAIRE DES GRANDES GRAMINEES (AVOINE,...)	98

INTRODUCTION

Bien que l'élevage intensif des bovins soit largement pratiqué dans les pays développés, on assiste depuis quelques années à un regain d'intérêt pour un élevage plus extensif, plus durable et plus respectueux de l'environnement et des animaux.

En effet, l'élevage extensif se caractérise par la faible utilisation d'intrants, par l'utilisation des ressources disponibles et donc par une plus grande autonomie de l'élevage. Ce sont d'ailleurs ces caractéristiques qui expliquent que ce type d'élevage reste très pratiqué dans des pays en développement où l'accès aux intrants reste économiquement difficile.

Cependant, pour qu'un élevage extensif reste rentable, cela nécessite un grand savoir-faire de la part de l'éleveur. A la différence de l'élevage intensif, il est ici impossible de maîtriser tous les paramètres de production, notamment en raison de l'influence du contexte environnemental et de ses aléas. L'éleveur doit donc être capable de repenser et d'adapter sans cesse sa stratégie et son itinéraire de production. Cette capacité repose généralement bien plus sur des connaissances empiriques que théoriques. Il serait pourtant utile de pouvoir quantifier l'effet de tel ou tel phénomène sur le rationnement.

De plus, l'analyse des besoins et des apports, qui constitue la base de l'étude du rationnement, est relativement aisée en élevage intensif, dans la mesure où ce qui est apporté aux animaux est précisément connu et où les besoins d'animaux élevés en bâtiments se limitent à ceux d'entretien et de production. L'utilisation des tables est donc possible, et ceci quel que soit l'élevage considéré (tant l'élevage intensif est homogène). En revanche, l'étude du rationnement devient beaucoup plus complexe en élevage extensif, non seulement car les apports sont mal connus mais aussi car les besoins des animaux sont complexes. Les tables ne sont donc plus vraiment applicables, et ceci d'autant plus que les besoins et les apports des animaux élevés de manière extensive dépendent largement du contexte environnemental et des interactions complexes environnement – végétation - animal. Dans ces systèmes, l'analyse du rationnement doit donc se faire au cas par cas ; l'idéal étant de suivre la même méthode d'étude dans chaque élevage afin de pouvoir réaliser des comparaisons.

Après avoir, dans une première partie, redéfini l'élevage extensif et ses spécificités, une deuxième partie présentera des méthodes classiques ou plus empiriques pour analyser les besoins et les apports énergétiques des animaux. La troisième partie constitue l'application de quelques unes méthodes présentées dans la deuxième partie sur un exemple d'élevage extensif de la pampa Argentine.

PREMIERE PARTIE : L'ELEVAGE EXTENSIF DES BOVINS ET LA GESTION DE LEUR ALIMENTATION.

La définition de l'élevage extensif et les caractéristiques d'un élevage considéré comme extensif peuvent être assez variables d'un pays à l'autre en fonction de leurs habitudes d'élevage. Il en va de même pour les raisons qui vont orienter un éleveur vers ce type de pratique. Il est cependant possible de dégager des pratiques communes, bien spécifiques à ce type d'élevage, aussi bien en ce qui concerne la gestion globale que la gestion de l'alimentation, à laquelle on s'intéressera plus particulièrement ici.

I. DEFINITION ET IMPORTANCE DE L'ELEVAGE EXTENSIF

I.1. Définition et diversité de l'élevage extensif

I.1.1. Définition

Les systèmes extensifs de production de bovins peuvent être définis comme des méthodes d'élevage sur de vastes surfaces, de faibles investissements, une faible densité du cheptel et une faible productivité par hectare. Cette définition est relativement floue et ne définit l'élevage extensif que par comparaison avec un type d'élevage plus intensif. Cependant, cette définition représente la difficulté de définir l'élevage extensif de manière absolue (surface, chargement, productivité,...) et est en ce sens assez juste.

Dans les pays développés, où même les élevages dits « extensifs » cherchent à s'intensifier, les chercheurs [Tirel, 1983 ; Bonnieux, 1986] considèrent même que seule l'évolution, c'est à dire l'extensification, permet de qualifier ce type d'élevage sans ambiguïté. Par exemple, en France, la diminution du nombre d'agriculteurs et la baisse de pression sur le foncier a induit l'extensification des facteurs de production par rapport au facteur terre. On voit bien dans cette définition que, contrairement à ce qu'on peut penser, la notion d'extensif ne fait pas référence à l'augmentation des surfaces mais plutôt à la diminution des autres facteurs de

production (capital d'exploitation, consommations intermédiaires, facteur travail,...), permise par l'augmentation des surfaces : subtile nuance !

Plus un élevage est extensif, plus la quantité d'intrants est donc faible. Ceci se traduit, pour les plus extensifs, par l'inexistence de logements pour les animaux qui vivent toute l'année sur des prairies naturelles non entretenues, les plantes spontanées constituant alors la seule alimentation des animaux. La réduction des intrants peut aussi concerner la reproduction, en privilégiant la monte naturelle plutôt que l'insémination des vaches, ou à la gestion sanitaire, en réduisant notamment les traitements prophylactiques au profit de méthodes agronomiques de gestion du parasitisme.

De manière générale, plus un élevage est extensif, plus il est autonome et indépendant vis-à-vis du marché des intrants (matériel de construction, aliments composés, engrais, pesticide, médicaments, inséminas,...) mais est, en revanche, plus dépendant de son environnement et des aléas climatiques.

I.1.2. Diversité des élevages extensifs

Selon les contraintes du milieu (foncières, climatiques, pédologiques,...) mais aussi les objectifs et attentes des éleveurs, l'organisation des élevages extensifs peut être très variée.

On peut tout d'abord distinguer deux grandes catégories de systèmes d'élevage extensif, en fonction de la nature des pâtures utilisées pour les animaux : les systèmes herbagers et les systèmes pastoraux [Landais *et al.*, 2001].

Les systèmes pastoraux utilisent des parcours, c'est à dire des surfaces qui ne subissent aucune opération culturale particulière. Ces parcours peuvent être clôturés (on parle alors de prairies ou pâtures naturelles) ou ouverts. Les sociétés pastorales traditionnelles, qui s'organisent autour de déplacements saisonniers de leurs troupeaux (nomadisme), alternent généralement entre des parcours clos et des parcours ouverts. Ces systèmes pastoraux sont extrêmement variés, en relation avec la diversité et souvent l'hétérogénéité des parcours qu'ils exploitent (landes, garrigues, forêts, alpages,...).

Les systèmes herbagers reposent sur la culture de végétaux (Légumineuses, Graminées fourragères, céréales sur pied). On rencontre une multitude de systèmes herbagers en fonction

des espèces végétales choisies (Légumineuses et/ou Graminées), de leur mode de culture, de la superficie des parcelles, du plan de pâturage (continu, différé, en rotation,...).

Ils nécessitent généralement l'utilisation, même en faible quantité, d'intrants et d'opérations culturales et peuvent donc être considérés comme moins extensifs que les systèmes pastoraux. Les coûts liés à ces intrants ne sont supportables que s'il existe un certain niveau de production. On rencontre donc plutôt ces systèmes dans des exploitations commerciales de taille importante, dont les éleveurs ont un haut niveau de technicité. En revanche, les systèmes pastoraux, qui nécessitent de faibles investissements mais qui sont aussi moins rentables, sont plutôt de petits élevages familiaux de subsistance et/ou choisis pour valoriser des surfaces non arables.

Dans les exploitations ayant des systèmes herbagers, l'élevage est souvent couplé avec une activité agricole. On parle alors de système de production mixte. Les parcelles sont ainsi utilisées alternativement pour le pâturage des animaux et pour la culture de blé, de maïs, de tournesol.

Enfin, on peut définir une très grande diversité de type d'élevage en fonction de l'importance du logement dans la vie des animaux et du temps qu'ils passent à l'extérieur. Pour certains, en particulier les élevages laitiers, les animaux sont toute la journée dehors et sont rentrés pendant la nuit pour pouvoir réaliser les traites du soir et du matin sans trop de contraintes. Pour d'autres, en particulier les élevages allaitants, les animaux sont dehors nuit et jour mais seulement pendant une partie de l'année, qui peut être très variable selon les régions.

Le type de production peut être variable d'un pays à l'autre. En France, l'élevage extensif en plein air total concerne surtout les naisseurs (production de broutards), l'engraissement ne se concevant qu'en bâtiment, alors qu'aux Etats-Unis ou en Argentine, l'engraissement (Feedlot) est encore souvent pratiqué sur des pâtures.

En France, ce sont préférentiellement les génisses de dix-huit mois à deux ans qui passent la totalité de l'année à l'extérieur [Institut de l'élevage, 1999]. En Argentine, le pâturage sur parcours concerne avant tout les multipares.

Les races élevées et les qualités recherchées sont aussi très variées, en système allaitant. En France, on trouve les races Charolaise, Limousine, Aubrac, Salers et, en Amérique, les races Hereford ou Aberdeen Angus. Certains éleveurs recherchent une forte productivité qui implique généralement des vêlages plus difficiles (car des veaux plus gros) et donc plus de surveillance des animaux, tandis que d'autres recherchent la rusticité et la capacité

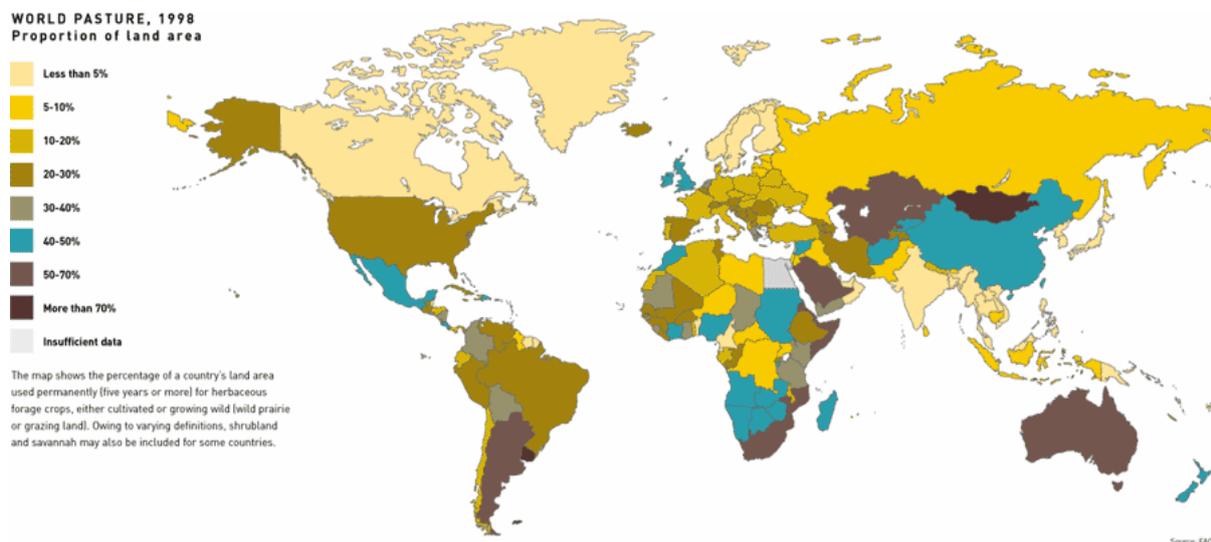
d'autonomie des animaux qui permettent la gestion de cheptels de grande taille sans trop accroître le temps de travail et les pertes au vêlage.

I.2. Importance

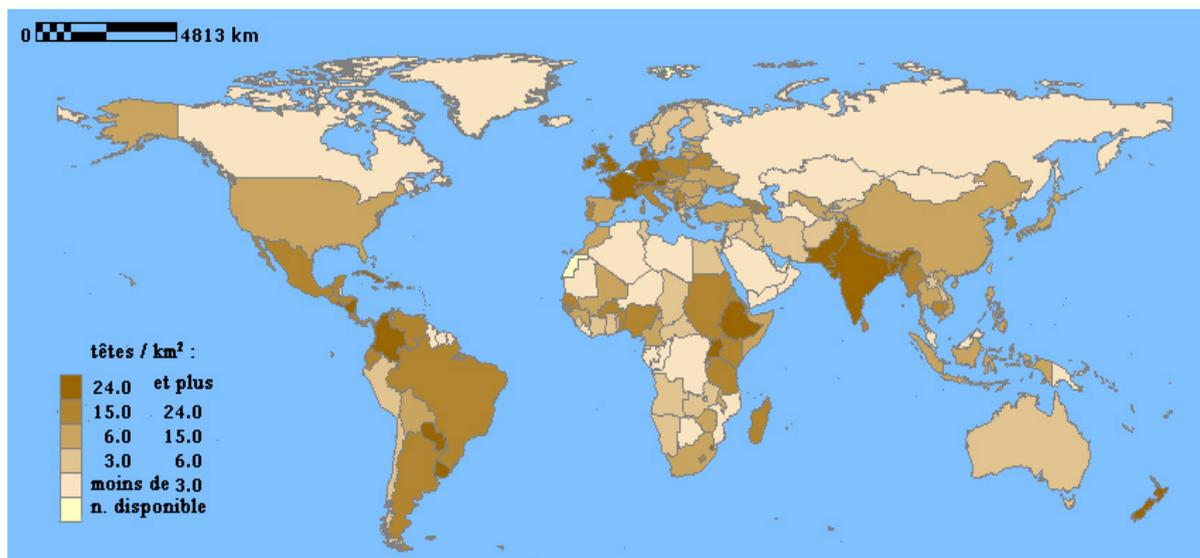
I.2.1. Importance dans le monde

Que ce soit dans un souci d'économie, de qualité ou de respect de l'environnement, des petits élevages familiaux de subsistance d'Afrique ou d'Asie aux grandes exploitations commerciales d'Argentine, d'Australie ou des Etats-Unis, l'élevage extensif est largement pratiqué dans le monde.

Une manière d'apprécier le potentiel de production extensive de bovins dans le monde est de connaître la proportion de pâturages par rapport à la surface totale du pays (Carte 1) et de connaître la densité des bovins (Carte 2).



Carte 1 : Proportion de pâtures (naturelles ou cultivées) par pays (en % de la superficie totale du pays) [AAAS, 1998]



Carte 2: Densité de bovins par pays (en nombre de têtes/km²) [FAO, 2004]

Les pays dont les pâturages représentent plus de 50 % de la surface totale sont la Somalie, l'Afrique du Sud et le Mozambique, l'Arabie Saoudite, le Kazakhstan, l'Ouzbékistan, le Turkménistan, le Tadjikistan et le Kirghizstan, la Mongolie, l'Australie, l'Argentine, l'Uruguay et le Paraguay. Une partie de ces pays ont une densité en bovins très faible, soit car les pâtures sont destinées à d'autres ruminants (petits ruminants en Arabie Saoudite ou au Kazakhstan), soit car le chargement en bovins sur ces pâtures est très faible (Mongolie, Australie). L'Argentine, l'Uruguay et le Paraguay ont une densité de bovins assez importante. Leur faible densité de population, leur climat, leur végétation, mais aussi leurs traditions ont permis à ces pays de conserver un élevage très extensif, tout en maintenant un haut niveau de production.

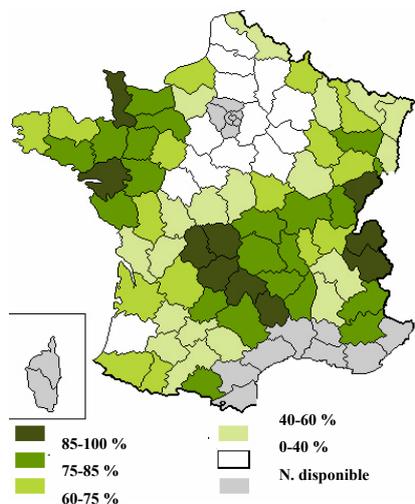
I.2.2. Importance en France

Du fait de son climat, de son relief mais aussi de son histoire et de ses traditions, la France reste encore aujourd'hui un pays largement tourné vers les pratiques d'élevage à l'herbe.

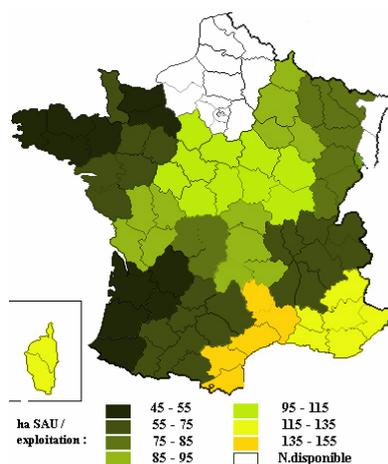
Au sein de l'Europe de l'Ouest, elle représente, avec l'Irlande et le Royaume-Uni, la principale zone de production de fourrages. Plus d'un quart de la France (soit près de 15 million d'hectares) est constitué de parcours ou de systèmes herbagers destinés à être pâturés. C'est d'ailleurs le pays d'Europe ayant le plus de prairies permanente (9 903 000 Ha) et de prairie temporaires (4 450 000 Ha). Ceci est à relier avec l'importance de son cheptel de vaches nourrices (4,3 millions de têtes, soit le premier d'Europe avec environ 37 % du cheptel européen) [Ofival, 2002].

La tendance à l'extensification raisonnée s'est traduite, en France, par une progression des connaissances des éleveurs en tant que « producteurs d'herbe », par une volonté de maîtrise de ces productions et donc par une augmentation de la superficie des prairies temporaires par rapport aux prairies toujours en herbe.

En France, l'élevage extensif se pratique préférentiellement dans des zones où l'herbe est disponible presque tout au long de l'année et donc où les températures et la pluviométrie le permettent, mais aussi dans des zones de relief où la culture n'est pas possible et où l'élevage permet de valoriser la végétation naturelle. Ces zones correspondent à celles de l'élevage bovin viande. Elles présentent une forte proportion de surfaces fourragères par rapport aux surfaces agricoles (Carte 3) mais aussi des surfaces fourragères par exploitation relativement importantes (Carte 4). Ce sont le grand bassin allaitant (Bourgogne, Auvergne et Limousin), les zones de montagnes (Alpes, Pyrénées et Jura), les département de la Lozère, de l'Aveyron ou encore de la Loire, ainsi que l'Ouest de la France (Vendée, Maine-et-Loire, Mayenne et Basse-Normandie) qui s'est orienté récemment vers l'élevage allaitant à la suite de la limitation du cheptel laitier afin d'entretenir des surfaces en herbe [Bailly, 2002].



Carte 3 : Proportion de surface fourragères par rapport aux surfaces agricoles, par département Français [Agreste, 2005]



Carte 4 : Surface de SAU moyenne par exploitation de type bovin viande, par régions Française [Agreste, 2005]

Ce type d'élevage reste tout de même marginal par rapport à l'élevage intensif, notamment en raison de l'appréhension des éleveurs à se lancer dans une pratique dont les résultats de production sont non seulement plus faibles mais surtout plus aléatoires. Pourtant, l'élevage extensif constitue un des seuls type d'élevage qui puisse s'établir durablement dans les pays développés, en particulier du fait des avantages écologiques et territoriaux qu'il présente.

I.3. Avantages de l'élevage extensif

I.3.1. Avantages économiques

Dans les pays développés, l'extensification des élevages est souvent choisie, plutôt que contrainte comme cela est le cas dans certains pays où le coût des intrants rend totalement impossible l'intensification de l'élevage. La productivité des élevages extensifs est généralement plus faible que celle des élevages intensifs mais la diminution des coûts et les primes dont peuvent profiter ces élevages permettent aux éleveurs de réaliser des bénéfices parfois largement supérieurs à ceux des élevages intensifs, surtout lorsque les éleveurs ont un haut niveau de technicité et qu'ils pratiquent l'élevage extensif de manière raisonnée et efficace.

De plus, le caractère écologique de ce type d'élevage a amené les gouvernements à favoriser cette pratique par le versement de prime. Par exemple, en France, l'encouragement à la production extensive s'est traduite par le versement de primes compensatoires directement attachées à la surface telles que :

- la Prime Herbagère Agri-Environnementale (PHAE) versée sous réserve de gestion extensive par fauche ou pâturage des surfaces ;
- les Indemnités Compensatoires de Handicaps Naturels (ICHN) versées aux éleveurs des zones défavorisées et qui dépend de la surface fourragère de l'exploitation et de son taux de chargement.

Lorsque les chargements des élevages se trouvaient en dessous d'un certain seuil, des aides à l'animal étaient versées aux éleveurs, comme :

- la Prime au Maintien du Troupeau de Vaches Allaitantes (PMTVA) dont le seuil est de 1.9 UGB/ha de surfaces fourragères, ou
- la Prime Spéciale aux Bovins Mâles (PSBM) attribuée pour la détention de tout bovin mâle de plus de neuf mois et aux élevages dont le chargement est inférieur à 1.8 UGB/ha, ou
 - la prime complémentaire à l'extensification dite « complément extensif », dont le seuil est de 1.4 UGB/ha, qui varie selon l'importance du chargement et qui se calcule en comptant tous les animaux de l'exploitation sur les surfaces fourragères exclusivement constituées d'herbe [Bailly, 2002].

De plus, les avantages environnementaux de l'élevage extensif et la qualité des produits issus de ce type d'élevage, dans lequel les animaux sont beaucoup plus proches d'un état « naturel », ont amené certains éleveurs français à obtenir des appellations d'origine contrôlée (AOC) pour leurs produits. Ceci est notamment le cas pour les 3500 éleveurs qui élèvent des vaches de race Charolaise dans le bassin du Charolais. Ce « plus » économique permet à de nombreux éleveurs de conserver le savoir-faire de l'élevage extensif traditionnel de cette région [Reynard, 2004].

De manière générale, l'image d'un élevage plus respectueux de la nature, qui offre des produits de qualité, très caractéristiques d'un terroir puisque très dépendant de celui-ci, ne peut que redonner au consommateur confiance en la filière bovine.

I.3.2. Avantages écologiques

Le fait que les animaux utilisent les ressources disponibles au sein de l'exploitation permet de diminuer les importations d'intrants, et ceci d'autant plus que les rejets des animaux sont en grande partie recyclés, directement ou après stockage, sur les sols qui ont servi à produire la majorité de la nourriture. Ceci fonctionne globalement comme un cycle interne à l'exploitation avec relativement peu d'intrants extérieurs, c'est-à-dire peu de déplacements d'éléments d'un lieu à un autre (exploitation, région, pays), et donc moins de pollution [Chatellier et Vérité, 2003].

De plus, l'utilisation de prairies pour l'alimentation des animaux permet de traiter directement les effluents d'élevage (dans la limite d'un chargement animal modéré), du fait de la présence du couvert végétal qui joue un rôle de filtre naturel.

La limitation du nombre d'animaux par hectare, en favorisant le caractère extensif de la production, permet d'éviter de rejeter dans le milieu naturel une quantité d'azote supérieure à ce qu'il peut absorber sans dommage écologique. On estime généralement qu'il existe une pollution azotée dès que l'on dépasse 1,8 UGB/ha.

La remise en liberté et la réintégration des bovins au sein du milieu rural permet aussi d'entretenir ou de recréer des écosystèmes, favorables au développement de la biodiversité. Ceci est vrai au sein des pâturages mais aussi des haies, souvent utilisées pour délimiter les parcelles, qui offrent un refuge important à de nombreuses espèces animales.

La notion d'écosystème est très importante lorsqu'on parle d'élevage extensif et doit, comme on le verra par la suite, rester à l'esprit pour pouvoir optimiser la production dans ce type d'élevage. Etant donné l'importance de la relation entre le bovin et son milieu, il n'est pas surprenant de voir se diversifier les races en fonction de la zone où se pratique l'élevage extensif, afin que l'animal soit le mieux adapté possible à son environnement et qu'il valorise le mieux possible celui-ci.

De plus, le futur de la filière bovine passera en grande partie par son image auprès du consommateur et le fait de favoriser la diversité des races et de proposer des produits spécifiques de chaque région ne pourra être que bénéfique pour cette image.

I.3.3. Avantages territoriaux

L'élevage bovin est le seul utilisateur potentiel, avec les autres herbivores, des surfaces toujours en herbe et permet donc de les maintenir.

La présence de prairies et de haies permet de rompre la monotonie, d'assurer la diversité des paysages et de les animer par la présence d'animaux. De plus, les haies favorisent la réduction des inondations et limitent l'ampleur des phénomènes d'érosion [Chatellier et Vérité, 2003].

L'élevage extensif contribue également à l'entretien du territoire et au maintien d'une activité agricole dans les zones défavorisées, notamment de montagne.

Un autre exemple d'entretien du territoire par le pâturage de bovins est celui de l'entretien des réserves naturelles, organisé avec le Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie et l'Organisation des Productions Animales (CEREOPA). Les parcs naturels régionaux soutiennent ainsi activement le développement d'élevages extensifs et les parcs nationaux, en sollicitant de nombreux travaux scientifiques (pâturage d'altitude) ou via la réalisation de contrats avec les agriculteurs, soutiennent des démarches expérimentales et innovantes [Lerat, 1993].

II. PRATIQUE DE L'ELEVAGE EXTENSIF

II.1. Spécificités du fonctionnement des élevages extensifs

II.1.1. Variabilité des ressources

Plus un élevage est extensif, plus les ressources disponibles pour les animaux sont variables, dans l'espace et dans le temps, et plus l'utilisation de ces ressources est elle-même variable [Landais et Balent, 2001].

En effet, cette variabilité s'observe d'abord dans l'espace car, même dans les systèmes herbagers, chaque parcelle est toujours unique (en qualité et en quantité). On observe donc une importante diversité de la qualité des pâturages au sein de chaque exploitation. De plus, l'extensification des systèmes d'élevage et la baisse du chargement induit un accroissement de l'hétérogénéité intra-parcellaire.

Les ressources sont également variables dans le temps puisqu'au cours de la croissance de l'herbe, la qualité et la quantité des ressources varient. Les calendriers de production doivent donc être réalisés de sorte d'utiliser au mieux cette hétérogénéité. Cependant la croissance de la végétation est aussi très dépendante des aléas climatiques et l'on peut voir une grande différence, en qualité et en quantité, des ressources d'une année sur l'autre.

Enfin, une des caractéristiques des systèmes d'élevage extensif réside dans la liberté de choix laissée aux animaux au pâturage. En fonction des aptitudes innées ou acquises et des pratiques de conduite auxquelles il est soumis, chaque animal utilisera différemment les ressources qui sont mises à sa disposition. Les réponses des animaux à la variabilité spatiale et temporelle des ressources sont donc elles-mêmes très variables [Landais et Balent, 2001].

Etant donné la variabilité des ressources et la diversité des réponses des animaux, l'itinéraire technique doit être relativement souple pour permettre d'atteindre des objectifs minimaux de production.

II.1.2. Souplesse de l'itinéraire technique

A la différence des élevages intensifs dont les objectifs de production les rendent tributaires d'itinéraires techniques qui doivent être ajustés de manière fine (essentiellement par l'utilisation d'intrants : engrais, aliments du bétail, produits pharmaceutiques,...), l'élevage extensif n'a pas la possibilité de s'adapter facilement. Ceci a pour conséquence d'interdire pratiquement la recherche de la maximisation des performances tout au long du processus de production, voire même de relativiser les performances des animaux en fonction du contexte environnemental. En revanche, ceci implique le choix de stratégies permettant de valoriser au mieux et sur au moins un cycle de production les ressources disponibles.

Dans des régions où ce contexte est particulièrement limitant (zones sèches, sols de mauvaise qualité, végétation locale pauvre,...), soit les éleveurs ont recours à l'utilisation d'intrants afin de mieux exploiter le potentiel de leurs animaux, soit ils choisissent des animaux à plus faible potentiel de production, mais qui valorisent mieux les surfaces mises à leur disposition.

De manière générale, les élevages extensifs cherchent à tendre vers une autonomie, ce qui implique de tenir compte du potentiel de la zone d'élevage pour définir les objectifs de production.

De plus, la réduction des coûts implique de réaliser des régulations internes qui peuvent être très efficaces mais dont la latence est plus grande. Par exemple, les éleveurs cherchent à calquer le calendrier de production sur les cycles végétaux, de sorte que les animaux aient la meilleure alimentation, en quantité suffisante, durant les périodes critiques (mise à la reproduction, pic de lactation). Un autre exemple de régulation consiste à réaménager les composants du système de sorte de limiter les périodes critiques et d'homogénéiser les besoins des animaux sur l'année (toujours dans le but d'augmenter le taux de sevrage et donc la production). Le sevrage précoce peut aussi constituer un réaménagement mais il nécessite une excellente maîtrise technique.

Bien que la production doivent être organisée en fonction des ressources disponibles, il est important de noter que la variabilité des ressources est en partie compensée par la capacité individuelle des animaux à mobiliser et à reconstituer leurs réserves corporelles. Le choix des animaux est donc encore une fois fondamental.

Enfin, il est important de préciser qu'en élevage extensif, même si les objectifs de production sont différents de ceux de l'élevage intensif, il sont tout de même clairement définis et

déterminent sur quels paramètres l'éleveur est prêt à accepter une variabilité. Par exemple, en France, l'objectif est souvent de vendre des animaux à un âge donné (18 mois, 3 ans,...). Dans ce cas, l'éleveur devra accepter une variabilité annuelle et individuelle de production (poids des animaux) liée aux aléas environnementaux, à la variabilité des ressources et à la variation d'utilisation des ressources. Par contre, il pourra prédire la date précise de vente et éventuellement faire en sorte qu'elle se réalise lorsque l'offre est faible et les prix élevés.

En Argentine et plus largement en Amérique, l'objectif est généralement de vendre des animaux d'un poids minimum. En fonction des aléas, la vente peut donc être décalée dans le temps par rapport aux prévisions afin que les animaux atteignent cet objectif. Ceci aura pour conséquence de nécessiter des réaménagements d'itinéraires (lots et parcelles).

De manière générale, les modes de régulation propres aux systèmes extensifs font largement appel à de réaménagements souples des facteurs de production, des itinéraires techniques et de leurs éléments constitutifs.

Bien que les travaux réalisés sur l'élevage extensif apportent des connaissances qui permettent de s'initier à ce type de pratique, cette capacité de remise en cause et de réaménagement nécessitent une grande maîtrise technique et un savoir-faire, le plus souvent transmis de génération en génération.

II.1.3. Importance du savoir-faire

Les activités de production sont liées à des savoir-faire qui reposent largement sur des connaissances issues de la pratique, plutôt que sur des techniques. C'est alors bien plus l'expérience que la technicité qui fera d'un éleveur un bon producteur extensif.

Toute la difficulté réside dans le fait que l'éleveur ne doit pas chercher à réagir opportunément à telle ou telle circonstance mais à construire un système qui s'autorégule. En effet, les conséquences d'une modification de l'itinéraire technique sont généralement tellement décalées dans le temps, que réagir à chaque situation risque de générer des effets antagonistes à long terme. De plus, le système est capable d'absorber sans dommages des variations importantes d'une année sur l'autre, car les animaux vivants dans ce type de système s'adaptent beaucoup mieux qu'en système intensif. Le système doit donc être

considéré de manière intégrée et globalement améliorée, plutôt que de répondre à l'événement.

Bien qu'il existe des « règles », notamment en ce qui concerne la réalisation des lots et des parcelles (cf. ci-dessous), qui permettent de valoriser les animaux et les ressources mises à leur disposition, ce sont les qualités d'observation, d'interprétation et de réaction de l'éleveur qui font ensuite la différence. En effet, comme on l'a vu précédemment, l'éleveur pense un équilibre (qui vise en grande partie à limiter le gaspillage) entre les animaux et les pâturages en considérant une année « normale ». Seulement, les aléas climatiques obligent parfois les éleveurs à repenser les programmes de pâturage (de rotation) de sorte à ne pas trop compromettre les objectifs de production. Ceci nécessite une bonne connaissance de l'évolution de la végétation en fonction du climat et un grand savoir-faire.

La réorganisation des lots au cours de l'année nécessite aussi beaucoup d'expérience car elle doit tenir compte du potentiel des animaux en présence, de celui des parcelles disponibles et ceci pour les mois à venir. C'est cette capacité de projection dans un système où les latences sont grandes, qui nécessite le plus d'expérience.

Cependant, il existe un certain nombre de règles et de pratiques qui caractérisent l'élevage extensifs et qui permettent de mieux le décrire.

II.2. Les pratiques en élevage extensif

II.2.1. L'allotement

Dans la majorité des situations d'élevage, l'éleveur divise son cheptel en sous-unités et est amené à modifier leur composition ou leur nombre au cours du temps. Ces sous-unités sont appelées lots lorsqu'on parle d'animaux placés sur une parcelle délimitée à l'intérieur de laquelle ils sont libres de se déplacer [Ingrand *et al.*, 2001].

Les pratiques d'allotement sont très importantes en élevage extensif puisque les caractéristiques du lot (taille, composition,...) influent sur les performances des animaux. En

effet, dès que les animaux se trouvent en liberté, il existe des interactions sociales, notamment des relations de dominance, qui vont déterminer leur comportement alimentaire.

Les pratiques d'allotement sont très variées en fonction des ressources disponibles, des objectifs de production mais aussi des traditions.

Les lots se caractérisent ainsi par le pâturage qu'ils occupent, par leur effectif, par l'identité des animaux qui le composent et/ou leur caractéristiques permanentes (race, sexe) ou variables (âge, poids, état corporel, stade physiologique, état sanitaire, niveau de production,...).

Les lots sont tout d'abord généralement fait en fonction du sexe : lot de veaux femelles, lot de veaux mâles castrés, lot de veaux mâles entiers. Chaque lot est ensuite divisé en plus petits lots composés d'animaux les plus homogènes possibles, d'un point de vue de leur conformation. Pour les femelles, les lots sont faits en fonction de l'état de gravidité (graveide ou non) et de l'avancement de celui-ci, si un diagnostic de gestation est réalisé.

II.2.2. Gestion de l'alimentation

Comme on l'a vu précédemment, plus un élevage est extensif, plus il est autonome et moins il utilise d'intrants, notamment pour l'alimentation des animaux. Celle-ci se fait alors exclusivement à partir des ressources disponibles sur l'exploitation qui vont être soit directement pâturées soit fauchées puis distribuées aux animaux.

En France, on considère généralement que l'éleveur doit assurer trois fonctions pour gérer l'alimentation : « l'hivernage », « le pâturage » et « la constitution de réserves fourragères » [Théau et Gibon, 2001]. Le terme « hivernage » implique ici une rentrée à l'étable et donc la distribution d'aliments aux animaux. Dans les élevages, notamment étrangers, où les animaux passent la totalité de l'année à l'extérieur, les animaux pâturent aussi l'hiver mais les éleveurs mettent généralement en place des stratégies spécifiques à cette saison qui permettent aux animaux de la traverser au mieux. On peut donc aussi parler « d'hivernage » ou de « pâturage d'hiver » et généraliser la notion des « trois fonctions » à tous les élevages extensifs [Théau et Gibon, 2001].

La gestion du pâturage revient à gérer dans le temps l'offre en herbe (qualité et quantité) et la demande d'un troupeau et donc à réaliser un planning d'utilisation des surfaces fourragères

[Lebrun, 1979]. Pour ce faire, il faut tout d'abord caractériser les surfaces fourragères en présence: prairies permanentes, prairies temporaires, céréales sur pied,... Chaque surface va ensuite être utilisée en fonction de sa maturité et, si il existe plusieurs types de pâture sur l'exploitation, chacune va préférentiellement être attribuée à telle ou telle catégorie d'animaux en fonction des besoins de ceux-ci, d'où encore une fois l'intérêt de la réalisation de lots homogènes. Les surfaces non pâturées sont utilisées comme prés de fauche. Lorsque les pâtures sont divisées en parcelles, le planning d'utilisation des surfaces doit mentionner le mode d'utilisation des parcelles (rotatif, linéaire,...) et le temps de séjour des lots sur chaque parcelle. La division des pâtures se fait le plus souvent à l'aide d'un mètre trépied qui permet de calculer la surface des parcelles et celles-ci sont délimitées par des fils électriques alimentés par un générateur central ou par de petits panneaux solaires.

Au cours de l'hiver, si les animaux sont toujours au pâturage, ils sont généralement sur des pâtures cultivées de plantes adaptées aux conditions rigoureuses de l'hiver et dont la valeur nutritive permet de couvrir, au moins en partie, leurs besoins. La stratégie d'utilisation des pâtures reste généralement la même en hiver même si l'importante dégradation des surfaces à cette saison implique quelques modifications comme, par exemple, la réalisation de parcelles de plus petites tailles et/ou une rotation plus rapide sur celles-ci. La plupart du temps, les éleveurs craignent que le pâturage soit insuffisant pour couvrir les besoins des animaux et leurs apportent donc des fourrages secs en complément. Ces fourrages sont issus de prés de fauche qui n'ont pas été utilisés comme pâturage durant la belle saison. Lorsque les animaux sont rentrés en bâtiment, l'alimentation se fait exclusivement à partir de ces réserves (foin, paille, ensilage) ou plus rarement avec des concentrés achetés à l'extérieur. Les éleveurs connaissent alors précisément les quantités nécessaires à l'alimentation de leur troupeau pendant l'hiver.

La constitution de réserves nécessite de prévoir les quantités consommées par les animaux, ce qui est beaucoup plus aisé lorsque les animaux sont rentrés à l'étable pendant l'hiver. Dans ce cas, la seule raison qui puisse faire que les stocks prévus soient insuffisants est un climat très défavorable avant et pendant la mise à l'herbe (forte sécheresse). Lorsque les animaux passent l'hiver à l'extérieur, il est beaucoup plus difficile de connaître la part d'aliments apportés par le pâturage et la quantité de fourrages de complément réellement nécessaire.

L'abreuvement est permis par des bacs disposés de manière stratégique au sein de la parcelle (généralement dans un coin de sorte que tous les animaux ne puissent venir

« s'agglutiner » autour du bac et ne détériore trop la parcelle à cet endroit). L'eau provient soit du réseau de l'exploitation soit de nappes phréatiques souterraines. Dans ce cas, l'eau est amenée grâce à des pompes électriques ou grâce à des pompes alimentées par de petits panneaux solaires ou des éoliennes. L'avantage d'utiliser de l'eau issue d'un captage profond est qu'elle est peu sensible aux variations de température extérieure et donc ne gèle pas.

II.2.3. Gestion du troupeau

La gestion du troupeau consiste à contrôler l'état sanitaire, la reproduction et à surveiller les animaux.

Cette gestion nécessite non seulement une main d'œuvre compétente et expérimentée mais aussi du matériel. Pour les élevages dont les animaux sont en bâtiments au moins une partie de l'année, les manipulations sont faites préférentiellement pendant l'hiver. Pour les autres, les manipulations se font dans des couloirs de contention, plus ou moins élaborés en fonction du type de manipulation réalisées sur les animaux (couloir, cornadis, porte d'accès au couloir pour les diagnostic de gestation, porte permettant de diriger la sortie des animaux pour la réalisation des lots,...). Lorsqu'il n'y a aucune infrastructure, les manipulations et notamment les pratiques d'allotement sont pratiquement impossibles, et ceci d'autant plus que les animaux deviennent quasiment sauvages.

La gestion des déplacements du troupeau ou des lots vers les bâtiments, les couloirs ou d'autres pâtures, se fait, selon les distances à parcourir, les traditions et le nombre d'animaux, à pied, à cheval ou en véhicule 4x4.

La gestion de la reproduction passe par l'organisation de la saillie ou de l'insémination, par le suivi de l'état de gravidité avec des diagnostics de gestation et par la gestion de la mise bas. Entre les élevages qui se contentent d'introduire un taureau avec des femelles et de récupérer les veaux environ un an plus tard et ceux qui réalisent des inséminations artificielles, qui pratiquent au moins deux diagnostics de gestation (un de confirmation et un de prévision du terme) et qui rentrent les animaux pour vêler, tous les intermédiaires sont possibles. La gestion de ces étapes dépend largement des infrastructures disponibles au sein de l'exploitation. Lorsque les animaux vêlent à l'extérieur, soit les animaux sont surveillés et aidés en cas de problème, ce qui est extrêmement contraignant pour le personnel (et donc

coûteux) surtout si le troupeau est de taille importante, soit le personnel n'intervient pas du tout et se contente de dénombrer les veaux nés au fur et à mesure.

La gestion de l'état sanitaire dépend beaucoup des élevages et des risques auxquels ils sont soumis. De manière générale, plus la superficie de l'exploitation est importante et plus le chargement est faible, mais la pression infectieuse est importante et ceci quelque soit l'agent concerné. Le climat et notamment l'existence ou non de saisons influe très largement sur les risques. Une saison froide permet généralement de « couper » les cycles de très nombreux parasites et d'insectes, vecteurs de maladies. Le risque auquel sont soumis presque tous les élevage extensifs et qui peut occasionner des pertes importantes est le risque parasitaire. Une grande majorité des élevages où les animaux sont manipulables réalisent donc au moins une vermifugation annuelle. Cependant, de plus en plus d'élevages utilisent des méthodes agronomiques pour limiter les infestations et les manifestations cliniques de celles-ci : Ainsi, la rotation raisonnée des animaux sur les parcelles permet de couper le cycle des parasites et ainsi de diminuer la charge parasitaire sur les surfaces pâturées et dans l'organisme des animaux. De même, les parcelles qui n'ont pue être laissées libre pendant une saison d'été et/ou d'hiver sont préférentiellement destinées aux animaux plus vieux, et donc déjà en partie immunisés, tandis que les parcelles où les parasites ont été éliminés par la sécheresse ou le froid sont préférentiellement destinées aux jeunes, non immunisés. Le drainage des parcelles constitue un autre exemple de gestion agronomique du parasitisme.

Les pratiques sont extrêmement variées en élevage extensif et sont dépendantes des objectifs de l'éleveur (gain de temps, de production, de qualité,...), des contraintes du milieu (relief, climat,...), des surfaces disponibles, de la taille du cheptel ou encore des traditions locales. L'illustration de ces pratiques par des exemples paraît donc pertinente.

II.3. Exemples d'élevage extensifs

Seuls les élevages bovins dont les animaux passent la totalité de l'année à l'extérieur, en systèmes herbager, sont présentés ici afin de pouvoir comparer leurs techniques et résultats à ceux des élevages extensifs que l'on peut rencontrer dans d'autres pays où le plein air intégral est plus couramment pratiqué (Etats-Unis, Australie, Argentine,...) et notamment à ceux de l'élevage argentin étudié en troisième partie.

III.3.1. Exemple d'élevages extensifs français

Les élevages français qui pratiquent le plein air tout au long de l'année sont bien loin d'être majoritaires. C'est pourquoi il est tout d'abord intéressant de décrire la façon dont se déroule généralement l'hivernage en plein air, avec l'exemple des élevages extensifs du Limousin, avant de présenter l'exemple d'un élevage précis (GAEC de Néoux) pratiquant le plein air tout au long de l'année.

Exemple des élevages extensifs du Limousin :

Une enquête réalisée par l'Institut de l'Élevage au sein du Réseau d'Élevage Bovin Limousin [Institut de l'élevage, 1999], sur 43 élevages, donne quelques caractéristiques de l'élevage extensif type du Limousin (Tableau 1).

		Naisseur (64 %)	Naisseur Engraisseur (19 %)	Reproducteur (28 %)	Echantillon global
Nombre vaches		83	72	72	79
Chargement (UGB/ha SFP)		0.98	1.40	1.03	1.07
SAU (ha)		120	94	105	110
SFP (ha)		114	84	110	105
% herbe / SFP		99	91	97	97
% prairies permanentes/ SFP					46
Maïs	Nbre d'élevages (%)	25	62	12	25
	Surface moyenne (ha)	6.4	9.3	1.6	7.5
Céréales	Nbre d'élevages (%)	43	87	25	51
	Surface moyenne (ha)	13	12	5.5	10

Tableau 1 : Caractéristiques des surfaces des exploitations enquêtées selon leur système de production, en élevage Limousin [Institut de l'élevage, 1999].

L'hivernage est mené soit de manière intensive en utilisant les parcelles d'hivernage comme « stabulation » avec un chargement élevé (2-10 UGB/ha) et en apportant tous les fourrages nécessaires aux animaux, soit de manière plus extensive en plaçant les animaux sur des surfaces d'hivernages avec un chargement bien inférieur (de l'ordre de 1.2 UGB/ha).

La part de la surface en herbe utilisée l'hiver est très variable entre les exploitations mais elle est en moyenne de 40 %. Les éleveurs y pratiquent le même pâturage que le reste de l'année, c'est à dire un pâturage tournant de quelques jours à quelques semaines (selon les conditions climatiques et l'état de la parcelle). Les pâtures reçoivent généralement une fertilisation (engrais azotés et/ou phosphatés) en fin d'hiver qui favorise la repousse de l'herbe et permet la réalisation d'une fauche.

Les animaux reçoivent toujours un complément de fourrages durant l'hiver. La période d'affouragement s'étend généralement de mi-novembre à mi-avril, soit en moyenne 144 jours, mais peut ne pas dépasser 65 jours dans des zones plus où le climat est plus doux. Lorsque l'éleveur cherche à favoriser la repousse d'herbe au début du printemps, la période d'affouragement est allongée.

Les stocks fourragers pour l'hiver sont en moyenne de 1.8 T MS/UGB.

Les éleveurs considèrent que l'hivernage plein-air ne nécessite pas plus de stock fourrager que l'hivernage en bâtiment, car bien qu'il y ait plus de gaspillage et une surconsommation liée à la lutte contre les intempéries et à l'exercice physique, ceux-ci sont compensés par une diminution de la consommation des fourrages conservés lorsque le climat permet, au cours de l'hiver, une repousse de l'herbe.

Les tableaux 2 et 3 présentent l'organisation et les performances d'un élevage Français de la Creuse.

Cheptel	110 vaches charolaises destinées à une production de brouards. 8 lots : 4 lots génisses de première génération, 4 de seconde génération. Taux de renouvellement = 18 %.
Infrastructures	3 parcs de triage et contention fixes judicieusement repartis sur l'exploitation
Surfaces	600 m d'altitude ; sol granitique ; pH= 6 grâce à chaulage (800 kg/ha tous les 3 ans) SAU = 164 ha, SFP = 164 ha, Prairies naturelles = 100 %. Parcelles = 3-6 ha, bordées de grosses haies ou de bandes boisées.
Pâturage de printemps	Au printemps, les lots tournent rapidement, ils restent rarement plus de 15 jours sur la même parcelle.
Réalisation de stocks	Les prairies destinées à la fauche sont déprimées au printemps et reçoivent 350 kg/ha/an d'un engrais complet de formule 14-8-20. Le stock fourrager est ainsi récolté sur 60 ha et composé de 2/3 de foin et d'1/3 d'enrubannage.
Hivernage	Chaque lot d'animaux utilise successivement 3 parcelles pendant l'hivernage. Les parcelles pâturées bénéficient chaque hiver d'au moins deux à trois passages de herse (herse étrille métallique ou herse fabriquée avec trois pneus arrières de tracteurs) après le départ des animaux et reçoivent 300 kg/ha/an d'un engrais complet de formule 14-8-20. En plus du pâturage, les animaux reçoivent une ration de 10 à 12 kg/MS avant le vêlage, de 15 kg après le vêlage et qui est légèrement accrue en cas de forte intempéries. Elle est distribuée à la dérouleuse sous forme de tas (+ que le nombre d'animaux) espacés de 5m et disposés toujours à des endroits différents de la parcelle, pour limiter le piétinement et favoriser la répartition des bouses.
Eau	abreuvoirs alimentés à partir du captage de sources

Tableau 2 : Organisation de l'élevage de Néoux appartenant à M. et Mme Martinot

Nombre de vêlages/an	105 vêlages
Taux de gestation	96.4 %
Taux de prolificité	101.9 %
Taux de mortalité	6.3 %
Taux de productivité numérique	90.1 %
Intervalle Vêlage -Vêlage moyen	375 j
Date moyenne des vêlages	7/12/2001 (80 % entre 10/11 et 25/12)
Taux de vêlage facile sans aide	67 %

Tableau 3 : Performances de l'élevage de Néoux

III.3.2. Exemples d'élevages extensifs argentin

De la même manière qu'en France, le processus de production en Argentine est divisé en deux étapes : la production de veaux et l'engraissement de veaux. On distingue ainsi les éleveurs naisseurs des éleveurs engraisseurs et des éleveurs pratiquant les deux étapes. La proportion d'élevage pratiquant tel ou tel type d'activité ainsi que les caractéristiques des élevages varient beaucoup en fonction des régions, de leur sol et de leur climat. Ceci est à relier à l'importante superficie de l'Argentine et à la diversité de ses régions. La région la plus caractéristique de l'élevage extensif Argentin est la Pampa.

Dans ce paragraphe et dans les tableaux 4 et 5, les pratiques et les résultats de production d'élevages commerciaux (moyenne des fermes de la zone tempérée argentine) ainsi que d'élevages de démonstration (moyennes de quatre fermes de démonstration de la Pampa) sont présentés [Carillo et Schiersmann, 1992]. Les unités de démonstration ont été montées par des universités et le ministère de l'agriculture Argentin. Elles sont basées sur une gestion rationnelle des troupeaux et des pâtures.

Cheptel	Fermes commerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Animaux élevés de race Aberdeen-Angus, Hereford ou Shorthorn. • Troupeaux en moyenne constitués de 3-6% de taureaux, de 60% de vaches adultes, de 20% de génisses de un an et de 20 % de génisses de renouvellement. • Division des très grands troupeaux en lots de 350-500 bêtes.
	Fermes démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Animaux élevés de race Aberdeen-Angus ou Hereford • Composées de 300-500 animaux • Taux de renouvellement de 20 %
Surfaces	Fermes commerciales	<ul style="list-style-type: none"> • 70 % de fermes de moins de 400 ha (et 200 bêtes) • 30 % de fermes de 400-5000 ha (et 200-2500 bêtes).
	Fermes démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Fermes en moyenne de 800 ha
Pâturage	Fermes commerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Pâturage toute l'année sur prairies naturelles • Rendement égal à 1000-2000 kg MS/ha/an pour les prairies naturelles • Alimentation de plus d'une demi tête par hectare grâce à ces prairies • Au printemps, herbe de bonne qualité (permet la reconstitution des réserves mais est souvent insuffisante pour la reprise d'une bonne activité ovarienne). • En automne, nouvelle croissance de l'herbe (plus faible qu'au printemps).
	Fermes démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Pourcentage variable de pâtures cultivées composées de mélanges de Légumineuses, tels que de la luzerne, des trèfles, des mélilots, et de Graminées, tels que des Ray grass, des Dactyles, des Bromes et autres (<i>Phalaris aquatica</i>, <i>Festuca arundinacea</i>, <i>Agropyron elongatum</i>). • Rendement des pâtures cultivées trois à quatre fois plus important (en matière sèche par hectare et par an) que celui des prairies naturelles • Complémentation par foin et lorsque les pâtures sont insuffisantes .
Reproduction	Fermes commerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Monte naturelle, au champ, de 6 mois (printemps-été) ou de 2 fois 3 mois (printemps et automne). • Vêlage au champ sans assistance. • Femelles généralement élevées jusqu'à 2 ans (ou rarement jusqu'à 15 mois ou 3 ans) pour être mises à la reproduction. Sinon, elles sont vendues avec les mâles. Lorsque toutes les femelles sont vendues, les éleveurs achètent des femelles de 2 ans prêtes pour la reproduction.
	Fermes démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Monte naturelle, au champ, de 3 mois (durant la période de haute production fourragère) avec 3% de taureau. • Vêlage au champ sans assistance • Génisses à la reproduction à 1-2 ans, à un poids minimum de 250 kg. • Diagnostic de gestation afin d'éliminer les femelles non gravides.
Gestion (troupeau, sanitaire,...)	Fermes commerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contrôle des maladies vénériennes • Vaccination et déparasitage dans e rares exploitations
	Fermes de démonstration	<ul style="list-style-type: none"> • Vaccination : fièvre aphteuse, brucellose, clostridium,.. • Contrôle des maladies vénériennes (trichomonas et campylobacter) • Contrôle du parasitisme digestif et pulmonaire sur les veaux. • Veaux castrés et écornés vers 2 mois

Tableau 4 : Organisation des fermes commerciales et des fermes de démonstration de la Pampa argentine [Carillo et Schiersmann, 1992] .

	Fermes commerciales	Fermes de démonstration
Poids vif moyen adulte	400-450	400-450
Chargement (tête/ha)	0,5-1	1,5-2,5
Date vêlage	Juillet à Décembre	Juillet à Septembre
Intervalle entre deux vêlages (mois)	15-18	11-13
Taux de stérilité (%)	20	20
Taux de mortalité des vaches (%)	2-5	2-5
Taux de gestation (vêlage)	65-75	85-95
Taux de mortalité des veaux (%)	5-7	2-5
Taux de sevrage (%)	60-70	80-90
Poids au sevrage : mâles (kg)	160-180	180-200
Poids au sevrage : femelles (kg)	150-170	170-190
Age au sevrage	8-10	5-7
Production (kg/ha/an)	50-90	150-350

Tableau 5 : Performances des fermes commerciales et des fermes de démonstration de la Pampa argentine [Carillo et Schiersmann, 1992] .

III . L'ALIMENTATION EN ELEVAGE EXTENSIF

L'alimentation constitue le principal paramètre à gérer en élevage extensif, d'une part, car elle a des conséquences sur les autres secteurs (reproduction, sanitaire,...) et détermine les performances de l'élevage et, d'autre part, car les autres secteurs nécessitent assez peu de suivi et donc de travail, dans ce type d'élevage.

La gestion de l'alimentation repose sur des connaissances techniques, issues des travaux réalisés dans les centres de recherches ou « sur le terrain », mais aussi sur des connaissances empiriques. Les éleveurs planifient l'alimentation puis parviennent grâce à leur savoir-faire à réagir à des changements de situation ou à des situations critiques, sans qu'on puisse réellement expliquer et objectiver ces stratégies et leurs résultats, tant les connaissances sur l'alimentation en élevage extensif sont limitées sur certains points. L'étude méthodique de l'alimentation dans ce type d'élevage permettrait d'enrichir ces pratiques empiriques de connaissances techniques.

III.1. Technicité et savoir-faire

Les élevages extensifs dont les résultats de production sont les plus satisfaisants sont ceux dont les éleveurs ont à la fois de bonnes connaissances techniques sur les animaux et les végétaux et une longue expérience en matière d'élevage extensif et surtout d'élevage plein air.

III.1.1. Planification de l'alimentation

Comme on l'a vu précédemment, la gestion de l'alimentation consiste à faire coïncider au mieux la demande d'un troupeau avec l'offre en herbe pâturée ou issue des stocks. Le but étant de limiter au maximum les déficits énergétiques des animaux et/ou l'utilisation d'intrants (en cas d'insuffisance des stocks). Ceci nécessite une planification rigoureuse de l'utilisation des surfaces.

La première étape est de savoir quel est le rendement potentiel des surfaces disponibles en fonction des traitements qui y sont réalisées (fertilisation, déprimage) et de leur mode d'utilisation (fauchage, pâturage continu, pâturage tournant,...). Les éleveurs se basent généralement sur les rendements obtenus après fauchage bien qu'ils sachent, par exemple, que la disponibilité sera un peu plus importante pour des animaux en pâturage tournant (plutôt qu'en pâturage continu) sur des parcelles de ces surfaces, mais ils n'en tiennent généralement pas compte pour ne pas risquer de surestimer les quantités d'aliment disponibles. Il est plus intéressant et plus facile, notamment pour réaliser la planification de l'alimentation, de diviser l'année en deux trimestres, en considérant le rendement de printemps-été et celui d'automne-hiver.

Ensuite les éleveurs calculent ou connaissent d'expérience les besoins des animaux et donc du troupeau. Ils peuvent ainsi rapidement se rendre compte si la disponibilité en herbe sera suffisante pour assurer les besoins du troupeau tout au long de l'année ou si il est nécessaire de vendre des animaux ou d'acheter de l'aliment. La planification de l'alimentation implique d'estimer le besoin quotidien des animaux. Les éleveurs expriment généralement directement ce besoin en matière sèche, sans tenir compte de différents besoins des animaux et de la qualité de l'aliment disponible. Selon la catégorie et le stade physiologique, le besoin sera différent. Il est donc plus facile et plus stratégique de diviser le troupeau en lots selon leur

âge. En fonction de la main d'œuvre disponible et de la stratégie de l'éleveur, il pourra décider de diviser ces lots en sous-unités.

L'objectif de ces étapes préalables est d'attribuer les surfaces aux animaux. Les surfaces qui sont mises au repos sont tout d'abord écartées. Ensuite les éleveurs font le choix, pour chaque semestre, entre les surfaces qui seront pâturées et celles qui seront fauchées. Ce choix dépend de la stratégie de l'éleveur qui peut décider de favoriser la qualité du pâturage de printemps aux dépens des stocks d'hiver ou au contraire de favoriser les stocks dans le but d'homogénéiser les ressources sur l'année. La première stratégie est de plus en plus pratiquée car les besoins sont beaucoup plus importants à cette période (lactation, reprise de l'activité ovarienne) et leur couverture détermine les performances de production de l'année (IVV et taux de gestation). Ensuite, les surfaces sont attribuées aux lots en essayant de faire coïncider les meilleures parcelles avec les lots dont les besoins sont les plus importants (génisses). La stratégie de l'éleveur intervient encore une fois puisqu'il peut choisir d'assurer une alimentation moyenne à toutes les catégories ou d'assurer une très bonne alimentation aux jeunes animaux et une plus médiocre aux plus âgés.

Lorsque l'éleveur choisit de pratiquer un pâturage continu, la planification consiste simplement à attribuer successivement chaque surface à chaque lot. Lorsque l'éleveur choisit de morceler les surfaces en parcelles, la taille de celles-ci et le temps de séjour des animaux sur chacune doivent être précisés.

En hiver, les quantités d'aliments distribués en sus des quantités pâturées doivent aussi être planifiées.

Toutes ces informations peuvent être indiquées sur un calendrier de l'alimentation.

Cette planification reste néanmoins très théorique et nécessite généralement des ajustements tout au long de l'année, rendus possible par les qualités et le savoir-faire de l'éleveur.

III.1.2. Ajustement et optimisation de l'alimentation

Comme on l'a vu précédemment, la production en élevage extensif est soumise à de nombreux facteurs que l'éleveur ne peut pas contrôler, en particulier les facteurs environnementaux. Selon les aléas climatiques, les prévisions de rendement des surfaces et

donc d'alimentation des animaux peuvent ainsi être assez éloignées de la réalité et la production compromise si l'éleveur ne réajuste pas ses planifications.

Ces réajustements peuvent être variés en fonction des aléas subis, de la marge de manœuvre de l'élevage et de la stratégie de l'éleveur.

Par exemple, si les précipitations au début du printemps sont très faibles, la rendement fourrager des surfaces risque d'être diminué. L'éleveur peut alors choisir de diminuer les surfaces fauchées et donc les stocks d'hiver afin d'assurer le pâturage de printemps et d'été à son troupeau. Il peut aussi choisir de maintenir les proportions de surfaces fauchées et de surfaces pâturées, quitte à distribuer une partie du stock au cours de l'été. Ces deux stratégies s'appuient sur le fait que des déficits d'apports en hiver sont moins préjudiciables pour la production que des déficits durant la belle saison (surtout pendant la période de reproduction) et que ces déficits pourront être compensés à la saison suivante, d'autant plus que les animaux sont rustiques et qu'ils vivent à l'extérieur. Pour ne pas avoir à acheter d'aliment, l'éleveur doit néanmoins savoir jusqu'à quel point il peut diminuer son stock et restreindre ses animaux au cours de l'hiver sans que cela n'ait de conséquences sur l'année suivante. Cela tient généralement plus à l'expérience qu'à des calculs précis.

Les réajustements peuvent aussi porter sur les chargements des surfaces sans modification de la proportion de surfaces fauchées et de surfaces pâturées. L'éleveur peut, par exemple, choisir de diminuer le chargement des surfaces pâturées par les animaux dont les déficits énergétiques ont plus de répercussions sur les performances de l'élevage (génisses) et d'augmenter celui des animaux plus âgés qui peuvent supporter plus de variations alimentaires. Ceci implique aussi de modifier les effectifs des lots. C'est encore une fois l'expérience de l'éleveur et la connaissance de ses animaux qui lui permettent de savoir jusqu'à quel point il peut exploiter leurs capacités d'adaptation.

L'éleveur peut aussi choisir de sacrifier certains lots au profit d'autres ou encore de modifier la nombre de parcelles de rotation au sein d'une surface.

De manière générale, plus l'élevage dispose de surfaces différentes (en qualité) et de parcelles, et de catégories et lots d'animaux, plus les possibilités de réajustements sont vastes mais aussi complexes.

En fonction de leur expérience personnelle, les éleveurs se laissent plus ou moins de marge de manœuvre pour ces réajustements lorsqu'ils réalisent la planification de l'alimentation. Certains préféreront exploiter au maximum leurs surfaces quitte à être mis en difficulté en cas

d'aléas climatiques importants et d'autres préféreront rester légèrement en deçà des capacités de l'élevage pour pouvoir plus facilement faire face à des situations critiques.

Tous ces réajustements reposent très largement sur la notion de seuils (de chargement, d'effectif d'un lot, de taille d'une parcelle, de quantité de stock,...) au delà desquels des réajustements visant à optimiser l'alimentation et donc la production s'avèrent finalement néfastes. Ces seuils ne sont bien sûr pas fixes et varient chaque année principalement en fonction des conditions climatiques. C'est souvent à leurs dépens que les éleveurs ont appris à évaluer ces seuils. Malheureusement pour les jeunes dénués d'expérience ou pour ceux qui s'intéressent à ces pratiques, ils « savent sans pouvoir expliquer ». Et, comme on va le voir par la suite, malgré les connaissances acquises dans le domaine de l'alimentation, de nombreuses notions restent nébuleuses, notamment en ce qui concerne l'impact de l'environnement ou les capacités de compensation des animaux en élevage extensif.

III.2. Etude de l'alimentation

III.2.1. Connaissances relatives à l'alimentation

Lorsque l'élevage a commencé à s'intensifier et que les éleveurs se sont mis à contrôler précisément tous les paramètres d'élevage, en particulier l'alimentation, il est devenu beaucoup plus évident d'analyser le lien nutrition-production. Les travaux de recherche sur les mécanismes d'utilisation des nutriments par les animaux ainsi que sur les caractéristiques des aliments se sont alors multipliés. De nombreux instituts à travers le monde se sont penchés sur ces questions. On peut citer le NRC (National Research Council) Américain, l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) et ses instituts techniques (ITCF, ITEB, ..) Français ou l'INTA (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria) et ses groupements régionaux (tel que CREA) Argentins. Les travaux réalisés dans les années 40 par le Professeur Leroy ont largement inspiré les chercheurs actuels et participé au développement de l'alimentation rationnelle.

Ces travaux ont tout d'abord permis de relier les besoins physiologiques des animaux avec leurs besoins réels. En ce qui concerne le besoin énergétique, on distingue alors l'énergie digestible, énergie dont l'animal a besoin pour assurer son maintien et ses activités ainsi que la digestion et la métabolisation des aliments, l'énergie métabolisable, énergie nécessaire à la métabolisation des aliments et à la couverture des besoins d'entretien et de production des animaux, et l'énergie nette, énergie contenu dans les aliments couvrant réellement les différents besoins des animaux. En résumé, on peut dire qu'une grande partie de l'énergie ingérée va être perdue sous forme de chaleur lors de la digestion (plus de 40%) puis lors de la métabolisation (entre 20 et 40 % selon les voies métaboliques empruntées). De plus, ces études ont montré que selon l'utilisation des produits terminaux de la digestion, les besoins énergétiques étaient différents. C'est la raison pour laquelle les besoins énergétiques sont fréquemment exprimés en fonction du type de production à laquelle les animaux sont destinés (viande ou lait) [Vermorel, 1978]. C'est le cas des tables de l'INRA qui permettent de déterminer, pour des animaux de races classiquement élevées en France, le besoin en énergie nette des animaux, en fonction de leur type de production, de leur stade physiologique et de leur niveau de production [INRA, 1978].

En parallèle, une grande partie des aliments les plus couramment utilisés en France ont été analysés et des tables de leur composition et de leur valeur nutritive ont été réalisées [Demarquilly et al., 1978]. D'autres tables telles que les tables américaines de Schneider (1959), allemandes de Kellner et Becker (1966) ou hollandaises de Veevoedertabel (1977), existent. Ces tables mentionnent notamment la valeur énergétique des aliments, déterminée à partir des teneurs en azote, en matières grasses et en fibres de l'aliment ainsi que de la digestibilité de l'aliment (qui influe sur le coût énergétique de la digestion) et de son utilisation terminale (type de production). Afin de relier le besoin et l'apport en énergie nette, une unité d'équivalence a été mise en place en France : l'unité fourragère (UF) et plus précisément UF viande (Ufv) ou UF lait (Ufl) selon le type de production auquel est destiné l'animal dont on détermine le besoin ou auquel on doit apporter l'aliment.

En ce qui concerne les quantités consommées par les animaux, il est désormais bien connu qu'elles dépendent de la capacité d'ingestion des animaux et de l'ingestibilité des aliments, c'est-à-dire de leur encombrement. Les travaux réalisés par l'INRA ont permis de mieux connaître les capacités d'ingestion des principales races bovines Françaises ainsi que les quantités de Matière Sèche Volontairement Ingérées (MSVI) par les animaux, dans le cas de régimes riches en aliments concentrés ou à base de fourrages d'ingestibilité élevée. En

revanche, la quantité de MSVI présente de très fortes variations, dans le cas de rations avec des fourrages traditionnels. Pour palier ces problèmes, l'INRA a introduit une nouvelle unité qui permet de définir à la fois les capacités d'ingestion des animaux indépendamment du type de régime, et l'ingestibilité des fourrages indépendamment de l'animal qui le consomme : l'Unité d'Encombrement (UE) [Jarrige, 1978 ; Demarquilly et al., 1978]. Des tables présentant les UE pour les animaux de race Française et les différents types d'aliments susceptibles de leur être fournis [INRA, 1978]. Ces unités tiennent compte des nombreux facteurs qui interviennent sur les quantités de MSVI mais certains travaux étudient l'influence de chacun de ces facteurs de manière isolée. Ainsi ils relient la MSVI à la teneur en fibre de l'aliment, à son taux de matière sèche [Verité et Journet, 1970] mais aussi au format de l'animal, à son stade physiologique, son niveau de production, son état nutritionnel (énergétique, azoté,...), son état sanitaire ou encore son état de stress [Jarrige, 1978].

III.2.2. Limites des connaissances sur l'alimentation en élevage extensif

Les tables que nous venons de présenter et qui permettent de déterminer simplement les besoins des animaux sont peu applicables dans le cas d'élevage extensif, et ceci d'autant plus que les conditions de vie des animaux sont éloignées de celles de l'élevage intensif. En effet, le seul hivernage en stabulation libre augmenterait le besoin énergétique d'entretien de 10 % (suite à une activité physique accrue) et un hivernage en conditions rigoureuses (vent et neige) l'augmenterait de 30 % [Hironaka et Peters, 1969]. De plus, les races élevées en système extensif ne correspondent pas toujours à celles sur lesquelles les études ont été menées pour mettre en place ces tables (Charolaise, Maine-Anjou, Limousine, Blonde d'Aquitaine, Salers, Aubrac pour les tables INRA). Enfin, les niveaux de production en élevage extensif sont souvent assez différents de ceux sur lesquels se sont basés les chercheurs pour mettre en place les tables. Si celles-ci peuvent constituer un indicateur en donnant un ordre d'idée du besoin de animaux, elles ne permettent généralement pas de déterminer les besoins réels d'animaux élevés de manière extensive.

On ne trouve pour ainsi dire aucune étude visant à déterminer avec précision le besoin énergétique d'animaux élevés de manière extensive et vivant à l'extérieur toute l'année. On

comprend bien que la difficulté réside dans le fait que ce besoin peut être très variable en fonction des conditions d'élevage et des conditions environnementales (qui influent sur le besoin d'entretien), et ceci d'autant plus que l'élevage extensif est quasiment exclusivement un élevage allaitant et que les besoins des vaches nourrices sont principalement des besoins d'entretien (les besoins liés à la lactation et à la reproduction sont assez faibles et ne concernent qu'une courte période). De plus, il faudrait tenir compte de la capacité des vaches à supporter les phases de restriction hivernales et à mobiliser leurs réserves acquises pendant les phases d'abondance, c'est à dire des phénomènes de compensation. Or, peu d'études s'intéressant aux besoins sur un cycle annuel entier sont disponibles. Les quelques études sur les phénomènes de mobilisation et de réplétion de la masse corporelle et les variations annuelles de poids vifs montrent qu'il est très difficile d'appréhender la part des réserves corporelles (par rapport à la part des produits de la conception et à la part du contenu digestif) dans cette variation de poids [Jarrige, 1974].

La consommation d'herbe en élevage extensif ne dépend pas que de la capacité d'ingestion des animaux et de l'ingestibilité de l'aliment. En effet, le comportement alimentaire des animaux intervient largement dans cette consommation, qui varie alors selon de nombreux autres paramètres. Les éleveurs expérimentés décrivent par exemple l'importance de la taille et de la composition des lots, ou encore de la forme et de la taille des parcelles sur lesquelles pâturent les animaux. La consommation des animaux a tendance à être moins importante sur une parcelle très grande que sur une parcelle de taille moyenne. Il y aurait donc un chargement quotidien limite en deçà duquel la consommation diminuerait. Malheureusement, il n'existe aucune étude poussée sur ce sujet. Il en va de même pour l'appétence des végétaux, indépendamment de leur teneur en fibre ou en matière sèche, qui est très mal connue. Pourtant, elle influence le niveau de consommation. Par exemple, des éleveurs se sont aperçus que les animaux avaient tendance à consommer plus rapidement une parcelle cultivée lorsque celle-ci contenait certaines plantes adventices et pas d'autres. Mais le taux de variation de la consommation d'une parcelle « appétente » par rapport à une autre est totalement méconnu. De manière générale, le fait que les animaux soient libres et en interaction les uns avec les autres introduit la notion de comportement alimentaire dans l'étude de l'alimentation et donc une quantité de facteurs de variation très mal connus de la consommation.

Enfin, malgré les connaissances acquises sur la composition et la qualité de nombreux végétaux, il est difficile de connaître avec précision la qualité de certaines pâtures, en particulier des prairies naturelles, à cause de leur hétérogénéité, des variations de la qualité de

la végétation et de leur composition chimique, au cours du temps et en fonction de l'environnement. Malgré la réalisation d'analyses de la végétation, la prévision de la qualité de l'apport sur une période de pâturage paraît compromise. Enfin, même lorsque l'on parvient à trouver des informations sur l'évolution d'un type de végétaux, il est assez difficile de savoir dans quelle mesure et de quelle manière le pâturage influence cette évolution.

En résumé, l'étude des systèmes extensifs par les chercheurs est relativement complexe car la production ne dépend pas de facteurs limités et maîtrisés comme dans l'élevage intensif, mais d'un très grand nombre de facteurs liés à la pédologie, au climat, à la végétation et au comportement des animaux. Ainsi l'étude des élevages extensifs passe par l'analyse des interactions animaux – végétaux - environnement et donc de tout l'écosystème dans lequel se trouvent les animaux. Néanmoins, malgré la complexité de ces études, elles présenteraient un réel intérêt pour la gestion rationnelle de l'alimentation en élevage extensif.

III.3. Intérêts de l'analyse du rationnement

Il serait intéressant d'analyser, avec la même méthode, un certain nombre d'élevages extensifs pour tenter d'en tirer des informations générales sur les points au sujet desquels on détient le moins d'informations (quantités consommées, impact de l'environnement sur les besoins, impact du pâturage sur la végétation,...). Ceci pourrait aussi être réalisé à l'échelle de l'élevage plusieurs années successives, et permettrait de tirer des informations spécifiques à l'élevage.

De manière générale, ces informations permettrait de mieux prévoir l'impact de certains phénomènes ou situations sur la production et donc de mieux y réagir.

III.3.1. Pratiques reproductibles

L'idée principale serait de proposer une méthode d'analyse du rationnement, simple et réalisable dans chaque élevage. Le fait de pouvoir reproduire cette méthode d'un

élevage à l'autre ou au sein d'un même élevage permettrait de pouvoir faire des comparaisons et donc d'acquérir des informations précises sur l'alimentation en élevage extensif. Ainsi, l'analyse méthodique du contexte (climat, sol, disponibilité en eau,...), de l'apport alimentaire (qualité et quantité) et du besoin des animaux, plusieurs années successives, au sein d'un élevage, permettrait de relier les pratiques d'élevage aux résultats obtenus, de manière objective. Même si l'expérience est fondamentale pour la gestion d'un élevage extensif, le fait de pouvoir avoir une connaissance plus précise des conséquences de pratiques d'élevage, permettrait à des éleveurs plus novices de pratiquer ce type d'élevage et aux éleveurs plus anciens de déléguer une partie de leur travail.

III.3.2. Meilleure connaissance de l'impact de l'environnement

On peut facilement penser qu'on sous-estime généralement l'impact de l'environnement en élevage extensif car il est relativement difficile à appréhender. Pourtant il est fondamental d'en tenir compte, pour les raisons évoquées précédemment. L'analyse du rationnement présentée ci-dessous tente de tenir compte ou du moins d'évoquer les paramètres environnementaux qui peuvent influencer le rationnement (aussi bien les apports que les besoins). La comparaison des résultats obtenus à l'issue de l'analyse du rationnement avec les résultats zootechniques de l'élevage permettront de voir dans quelle mesure l'impact de l'environnement a pu être sur ou sous-estimé.

III.3.3. Prévoir et réagir

L'objectif final d'une analyse du rationnement serait de pouvoir, à partir des conditions environnementales, prévoir les apports alimentaires (qualité et quantité) et les besoins des animaux et ainsi de pouvoir réagir de manière raisonnée face à une situation critique. Par exemple, savoir évaluer de manière chiffrée les conséquences sur un cycle de production d'une sécheresse au printemps, prévoir les pertes potentielles et ainsi calculer si il

est économiquement plus intéressant d'utiliser une partie du stock pour nourrir les animaux à cette période ou non, ou si il est plus intéressant d'acheter de la nourriture.

Sans prétendre permettre d'atteindre cet objectif final, la mise en place de méthodes d'étude du rationnement est néanmoins un préalable indispensable.

DEUXIEME PARTIE : METHODES D'ETUDE DU RATIONNEMENT DES BOVINS EN SYSTEME EXTENSIF

Cette partie s'attache à présenter différentes méthodes utiles à la quantification des ressources alimentaires d'un point de vue énergétique. L'étude du rationnement revient à analyser, en qualité et en quantité, les aliments reçus par les animaux et à vérifier que ceux-ci permettent de couvrir leurs besoins. Cette vérification peut être réalisée soit par l'analyse d'indicateurs de la qualité de cette couverture énergétique (état corporel, rendement de production), soit par l'analyse direct du rapport besoin/apport. Mais il apparaît très clairement que l'étude du rationnement doit tenir compte de l'influence du contexte environnemental sur la végétation et les animaux.

I. ANALYSE DE L'ALIMENT

I.1. Nature de l'aliment

En élevage extensif, les animaux sont alimentés, comme on l'a vu précédemment, à partir de prairie naturelles ou de prairies cultivées.

Dans les prairies cultivées, les espèces semées sont des céréales (utilisées surtout comme pâture d'hiver) telles que l'avoine et le sorgho, ou des Graminées fourragères comme le Ray Grass ou le brome, ou des mélanges de Graminées et de Légumineuses (Luzerne-Ray Grass-Brome ou encore Trèfle-Brome, le plus souvent).

En France, en moyenne 28% des prairies temporaires sont semées de Ray Grass Anglais et de trèfle blanc, 11 % de Ray Grass Anglais seul, 15 % de Ray Grass Italien, 5 % de Dactyle et de Trèfle Blanc, 18 % d'un mélange de plusieurs légumineuses et Graminées et 24 % d'autres espèces [Agreste, 2001].

Au sein de ces prairies, il existe généralement un certain pourcentage de plantes adventices (d'autant plus que ces pâtures sont anciennes), et il peut être nécessaire de connaître les proportions des plantes en présence. Deux méthodes sont alors envisageables : la première consiste à prélever des échantillons sur la prairie, à les peser en totalité puis à trier les

Légumineuses des Graminées ou les plantes cultivées des plantes adventices, pour connaître leur poids respectif dans l'échantillon et donc leur pourcentage. La deuxième méthode, plus précise, s'inspire de « la méthode des 3 étapes » [Woolfok *et al.*, 1957]. Cette méthode consiste à matérialiser, avec du fil, une ligne de 30 m sur le sol. Les observations sont réalisées sur deux lignes parallèles à la première et situées de part et d'autre de celle-ci (à 15 cm précisément). Pour chacune de ces deux lignes, on note la plante rencontrée tous les 30 cm. On obtient donc 200 observations par ligne. On peut ainsi estimer le pourcentage des plants en présence. Plus généralement, cette dernière méthode peut aussi être utilisée pour décrire une prairie (plantes en présence, hauteur des plantes, surface foliaires,...).

Pour les prairies naturelles, cette première étape de description est très complexe. Elle consiste à identifier au moins les plantes les plus fréquemment rencontrées. Pour ce faire, il existe des données bibliographiques de diagnose macroscopique ([Cabrera *et al.*, 1993] pour la Pampa Argentine, par exemple) et microscopique. Une méthode microscopique, appelée micrographie [Rech, 1976], repose sur l'observation de caractères anatomiques des épidermes des plantes, au microscope. Ces critères peuvent être la présence de cristaux d'oxalate de calcium visibles à travers l'épiderme, la présence et la forme de poils tecteurs uni ou pluricellulaires, la présence et la forme de poils sécréteurs, ou encore la forme et la disposition des cellules épidermiques et des stomates. Un logiciel informatique [Rech, en cours de publication] permet ensuite de déterminer la famille de la plante (par combinaison des différents codes correspondants aux critères observés). La méthode de préparation des échantillons pour l'observation ainsi que le codage des critères anatomiques sont présentés en Annexe 1.

Il peut ensuite être nécessaire d'utiliser les méthodes mentionnées ci-dessus pour connaître la proportion de chaque espèce.

I.2. Qualité de l'aliment

Il existe des tables présentant la composition chimique et la qualité nutritionnelle des principales espèces végétales utilisées pour les pâturages (Annexe 2) [INRA, 1978 ; Jaurena *et Danelon*, 2001]. Cependant, il convient de se référer plutôt aux tables éditées dans le pays correspondant. En effet, les espèces utilisées peuvent être complètement différentes

d'un pays à l'autre et, si ce sont les mêmes, leur composition varie sensiblement en fonction du climat, de la nature du sol, mais aussi en fonction du niveau de fertilisation ou encore du niveau d'irrigation. De manière générale, les tables ne représentent qu'une approximation de la réalité, c'est pourquoi il est intéressant de réaliser une analyse chimique de l'aliment considéré. Pour les prairies naturelles, cette étape est indispensable puisque aucune donnée bibliographique sur la valeur de ces aliments n'est disponible.

La détermination des pourcentages de Matière Sèche (MS), de Matière Azotée Totale (MAT), de Cellulose Brute (CB) et de Matière Minérale (Mm) peut être suffisante pour connaître l'Energie Brute (EB), la digestibilité de la Matière Organique (dMO) de l'aliment et donc l'Energie Digestible (ED). L'Energie Métabolisable (EM), qui représente l'énergie réellement disponible d'un aliment, est proportionnelle à l'Energie Digestible selon un coefficient qui dépend du niveau d'alimentation (NA) des animaux [Vermorel et Bouvier, 1978]. Enfin, il est possible de calculer l'Energie Nette (EN) de l'aliment mais il faut pour cela connaître le coefficient d'utilisation de l'EM de l'aliment qui dépend du type de production. Les équations permettant de réaliser ces calculs sont présentés en Annexe 3, [Demarquilly et Weiss, 1970 ; Vermorel, 1978 ; Demarquilly et al., 1978].

Pour la détermination de la MS, le principe général est de peser des échantillons frais puis d'évaporer toute l'eau présente dans les végétaux sans pour autant détruire leurs structures cellulaires, et enfin de repeser les échantillons secs.

La méthode conventionnellement utilisée est « la méthode de détermination de la teneur en eau des aliments des animaux » éditée par l'AFNOR et en particulier la méthode A (NF V 18-109). Pour que cette méthode soit précise, le matériel utilisé doit être de bonne qualité (four à thermostat précis, ni fuites ni variations de chaleur,...). Une autre méthode consiste à utiliser un four à micro-ondes [Farmer et Brusewitz, 1980 ; Griggs, 2005]. Cette méthode est plus rapide et les variations de température lors du séchage sont moins importantes mais il existe un risque de carbonisation. Ces deux méthodes ainsi que les équations nécessaires au calcul de la MS sont présentées en Annexe 4.

Même après séchage des échantillons, ceux-ci contiennent de l'eau résiduelle, qui ne peut être mesurée sans détruire les structures cellulaires. La technique de détermination de la teneur en eau résiduelle ainsi que l'équation permettant d'obtenir la MS totale d'un échantillon, sont présentées en Annexe 5.

La teneur en MAT de l'aliment est déterminée par la méthode de Kjeldahl, qui permet de mesurer la quantité d'azote d'un échantillon. En considérant que toutes les

protéines sont constituées de 16 % d'azote, on obtient la teneur en protéines en multipliant le résultat par 6,25.

La méthode consiste à faire une première étape de minéralisation, en présence d'un acide et d'un catalyseur, pour transformer tout l'azote organique en azote minéral. L'alcalinisation du milieu permet ensuite de transformer l'ammonium en ammoniac. Ce dernier est enfin distillé et neutralisé par un acide, dont on dose l'excès n'ayant pas réagi. La méthode ainsi que les équations permettant de déterminer la teneur en MAT sont présentées en Annexe 6.

La cellulose brute, ou cellulose de Weende, est la matière organique qui reste insoluble après la mise en œuvre de la méthode de Weende V 03 040 de l'AFNOR [AFNOR, 1977]. Cette méthode permet de doser une grande partie des fibres présentes dans le prélèvement : 50 à 90 % de la cellulose vraie, 10% des hémicelluloses et 10% de la lignine. Elle consiste à traiter successivement l'échantillon par une solution acide et alcaline et à mesurer le résidu insoluble obtenu après ces opérations. Elle est présentée, ainsi que les équations permettant d'obtenir le taux de CB, en Annexe 7.

La méthode de détermination de la teneur en cendres brutes des aliments, présentée en Annexe 8, revient à peser un échantillon avant et après une incinération à 550 °C.

Après avoir réalisé l'analyse chimique, il convient de s'intéresser aux quantités disponibles pour les animaux afin de connaître l'énergie disponible sur la pâture. Celle-ci est différente (supérieure) de l'apport énergétique réel, qui est déterminé à partir des quantités consommées par les animaux.

I.3. Quantités d'aliment disponibles

La disponibilité (en kg MB/ha) rend compte de la quantité de matière brute présente à un instant t sur une parcelle. La méthode la plus couramment utilisée pour déterminer la disponibilité consiste à peser l'ensemble des ressources herbacées présentes dans un cadre métallique de 1m² (1m sur 1m), préalablement jeté au hasard dans la pâture à étudier. Toutes les plantes ou pieds dont la racine se trouve dans le cadre sont coupés entièrement (même si certaines de leurs feuilles sont à l'extérieur du cadre) ainsi que les

parties des feuilles se trouvant à l'intérieur du cadre (même si elles appartiennent à des pieds situés à l'extérieur du cadre). Il est nécessaire de réaliser plusieurs prélèvements en jetant plusieurs fois le cadre, afin d'avoir une valeur plus juste de la disponibilité. Cette méthode est applicable pour une pâture relativement homogène mais elle l'est moins pour une pâture non uniforme comme les prairies naturelles, où les végétaux s'organisent souvent en grosses bottes entourées de surfaces totalement nues. Dans ce cas, une autre méthode, qui n'a jamais été référencée, consiste à compter le nombre de bottes présentes dans une zone assez grande (25 m² par exemple) puis à en prélever et peser quelques unes de taille moyenne, représentatives des bottes de la zone.

La disponibilité mesurée à un instant t n'est qu'un indicateur de la quantité de matière brute réellement disponible pour les animaux pendant la période de pâture. En effet, pour évaluer cette dernière, il faut tenir compte en permanence de l'évolution (croissance et déhiscence) de la végétation mais aussi du niveau de détérioration de la parcelle par les animaux. Le graphique et les équations présentés en Annexe 9 permettent de comprendre quels sont les facteurs dont il faut tenir compte pour déterminer les quantités disponibles pour les animaux sur un cycle de pâture.

Pour certaines espèces végétales, on peut trouver des données concernant l'évolution de la disponibilité sur une période donnée [Agnusdei *et al.*, 1998 ; Agnusdei et Castano, 2003 ; Colabelli *et al.*, 1998], mais ces données sont difficiles à généraliser et à appliquer dans un contexte différent (environnement, fertilisation).

Sinon, pour tenir compte de cette évolution, on peut utiliser deux méthodes : la première consiste à mesurer la disponibilité à intervalle régulier, l'autre, plus précise mais aussi plus « laborieuse », consiste à mesurer la couverture végétale et à observer son évolution. La couverture végétale correspond à la surface occupée par les feuilles des végétaux d'une prairie et donc la quantité, en surface, de matière disponible pour les animaux. Plus précisément la couverture végétale est caractérisée, à un moment t , par la densité de population (nombre d'individus par unité de surface), le nombre de feuilles vivantes par individu et la taille de ces feuilles. L'évolution de la couverture végétale, spécifique des espèces végétales présentes et dont les variables sont les taux d'élongation et d'apparition des feuilles ainsi que la vie foliaire moyenne, détermine ses caractéristiques ponctuelles [Agnusdei *et al.*, 1998]. La méthode ainsi que les équations de détermination de la couverture végétale et de son évolution sont présentées en Annexe 10.

Il peut aussi être intéressant de relier, par un coefficient, la disponibilité à la couverture végétale.

Enfin, la présence des animaux est une source de détérioration de la pâture et entraîne une diminution non négligeable de la quantité de matière brute disponible. Le piétinement, l'action des dents et les déjections sont les principaux effets à l'origine de cette diminution [Croisier et Demarly, 1968]. L'impact de ces différents facteurs est très difficile à mesurer. Pourtant, il serait intéressant d'avoir une idée de leur niveau afin de pouvoir réellement connaître la quantité de matière brute disponible pour les animaux. On peut envisager d'évaluer ce niveau de détérioration en comparant la variation de disponibilité lors du pâturage avec la quantité d'aliment consommée par les animaux pendant la même période.

II. ANALYSE DE LA COUVERTURE DES BESOINS ENERGETIQUES

Etudier le rationnement revient à vérifier que les besoins sont correctement couverts par les apports. Pour ce faire, on peut, comme on le verra par la suite, comparer les besoins et les apports mais on peut aussi s'appuyer sur les résultats zootechniques et voir s'ils sont satisfaisants. Ces résultats zootechniques sont appréciés via l'état d'embonpoint des animaux et les performances de l'élevage. Leur analyse permet d'évaluer la qualité de la couverture des besoins énergétiques des animaux et par conséquent la qualité du rationnement.

L'objectif des deux méthodes qui suivent est d'apprécier les conséquences du pâturage, c'est à dire l'état d'engraissement des animaux ou le poids vif produit par hectare de pâture. Cependant elles ne permettent pas d'évaluer l'origine de cet état d'engraissement ou de ce rendement. En effet, leur variation par rapport aux valeurs idéales peut être dû à un problème de rationnement mais aussi à un problème sanitaire, par exemple.

La méthode utilisant l'état corporel s'applique préférentiellement à un individu tandis que la méthode utilisant le rendement s'applique plutôt à l'élevage entier. Pour des groupes d'animaux, les deux méthodes sont applicables.

II.1. Analyse de la couverture du besoin énergétique à partir du rendement

L'analyse de la couverture du besoin énergétique à partir du rendement permet d'apprécier la couverture du besoin énergétique des animaux, par rapport à la pâture disponible. En effet, on s'intéresse ici au nombre de kilo de poids vif produit par hectare (rendement à l'hectare). La comparaison de cette valeur à des valeurs de référence donne une idée de la qualité de la production, soit à l'échelle du troupeau, soit à l'échelle de groupes d'individus. Il peut aussi être intéressant d'utiliser la disponibilité pour calculer le nombre de kilo de poids vif produit par kilo de matière brute (ou sèche) disponible (rendement au kg de matière disponible). Si ce rendement est faible, ceci peut être dû à une mauvaise qualité de la végétation, à des problèmes de consommation ou encore à des troubles de métabolisation et d'utilisation, dûs eux-mêmes à des troubles sanitaires. De même, le calcul du nombre de kilo de poids vif produit par calories disponibles (ou exprimé par rapport à une autre unité énergétique) sur la pâture (rendement à l'unité fourragère), en utilisant la valeur énergétique de l'aliment en question, donne des indications sur la façon dont est consommée la végétation et dont est utilisée l'énergie disponible sur la pâture. La comparaison de ces deux derniers rendements à des valeurs types puis entre eux permet de savoir quelle étape (valeur énergétique de l'aliment, consommation, digestion, métabolisation, utilisation) limite le rendement. On verra aussi un peu plus loin que le rendement peut permettre, lorsque l'on a connaissance du besoin énergétique des animaux, d'estimer les quantités d'aliment qu'ils ont consommés.

II.2. Analyse de la couverture du besoin énergétique à partir de l'évaluation de l'état corporel

L'évaluation de l'état d'engraissement des animaux est un bon indicateur de la couverture de leur besoin énergétique. Cependant, cette méthode ne donne des indications qu'à l'échelle de l'animal, à la différence du rendement qui donne des informations sur l'interaction animal - pâture.

L'évaluation de l'état d'engraissement repose sur des observations qui peuvent être subjectives. Il est donc préférable d'utiliser des échelles de notes corporelles définies à partir de critères morphologiques précis, propres à chaque race et qui sont fonction de leur conformation : c'est la méthode du scoring. Plusieurs systèmes de notation peuvent être utilisés : le système américain à 9 points [Corah, 1995] résumé en Annexe 11 ou encore le système français à 5 points [Houghton *et al.*, 1990 ; INRA, 1989]. Le système à 9 points est mieux adapté aux races exploitées en Amérique (Angus, Hereford,...) dans les élevages extensifs.

Pour que la notation soit la plus objective possible, les animaux doivent être soigneusement observés, d'abord de loin pour faire une estimation grossière, puis le plus près possible. La palpation peut être nécessaire pour affiner l'observation (palpation des processus vertébraux, par exemple) surtout chez les animaux en excédent de poids. Plus les structures osseuses (épaule, côtes, éminences vertébrales) sont visibles, plus la notation sera faible. La couverture adipeuse et la musculature sont appréciées en observant d'abord les parties arrières de l'animal puis les côtes, dont la couverture grasseuse permet généralement d'affiner la notation.

Si on se place dans le système de notation à 9 points, l'état satisfaisant d'un animal est atteint pour une notation de 5-6. Au delà ou en deçà, l'animal présente un excès ou un déficit énergétique qu'il est possible d'évaluer [NRC, 2000]. D'après le tableau présenté en Annexe 12, on peut déterminer, pour un animal de poids donné, l'énergie nécessaire pour qu'il passe d'une notation à la suivante. L'énergie supplémentaire à apporter à un animal pour qu'il atteigne une notation satisfaisante de 5-6 correspond à la somme des énergies nécessaires pour augmenter l'état corporel d'un point et ce jusqu'à 5-6. De même, si l'animal présente une condition supérieure à 5-6 de notation, l'énergie excédentaire totale correspond à la somme des énergies nécessaires pour diminuer l'état corporel d'un point et ce jusqu'à une notation de 5-6.

Cette méthode permet donc simplement d'évaluer numériquement l'état énergétique d'un individu ou d'un groupe d'individus homogène par son état d'engraissement. Cependant, surtout lors de déficit énergétique, elle ne permet pas de savoir dans quelle mesure ce déficit est dû à un problème de rationnement ou à un autre problème d'ordre sanitaire comme du parasitisme, des pathologies digestives,... Il faut donc estimer l'état sanitaire des animaux (coprologie,...) et en tenir compte dans l'interprétation des résultats obtenus par la méthode du scoring. De plus, il peut être intéressant de quantifier l'impact des problèmes sanitaires sur

le niveau énergétique des animaux. Pour cela, il est tout d'abord nécessaire d'estimer la part du déficit énergétique imputable à un problème de rationnement. Ceci ne peut se faire qu'en comparant les besoins énergétiques des animaux à l'énergie apportée par le pâturage.

Il est tout de même important de préciser que les échelles de notation corporelle ainsi que les estimations de déficit ou d'excès énergétique qui y sont associées, ont été réalisées sur des races élevées dans des conditions généralement intensives. Or, comme on l'a vu précédemment, les animaux élevés de manière extensive ont une capacité à réaliser des réserves et à les mobiliser plus importante que ceux élevés de manière intensive. Il est possible que les estimations de couverture du besoin énergétique par la méthode du scoring ne reflètent que grossièrement la réalité. C'est pourquoi, l'analyse du rapport entre les apports et les besoins, en particulier par la méthode factorielle, paraît indispensable.

III. ANALYSE DU RAPPORT BESOIN/APPORT

III.1. Détermination du besoin

Les tables disponibles et les plus couramment utilisées pour déterminer les besoins des animaux sont celles fournies par l'INRA, le NRC ou l'ARC [INRA, 1978], [NRC, 1984], [ARC, 1980]. Elles sont surtout applicables à des animaux de race d'origine européenne, élevée de façon intensive ou semi extensive, et dans des conditions environnementales assez différentes de celles des élevages purement extensifs. L'INRA exprime les besoins des animaux en Unité Fourragère (UF), unité qui équivaut à la valeur énergétique nette d'un kilo d'orge de qualité moyenne. On distingue une unité pour les vaches laitières et une unité pour les vaches allaitantes, puisque cette unité correspond à un besoin en énergie nette.

Des tables sud américaines [Cocimano *et al.*, 1975] présentent les besoins énergétiques de différentes catégories d'animaux en besoins annuels de référence, l'« Equivalente Vaca » (EV). Cette unité équivaut au besoin énergétique annuel d'une vache de 400 kg qui élève son veau jusqu'au sevrage, c'est à dire jusqu'à 6 mois et 160 kg, en comptant les fourrages

consommés par le veau, ou celui d'un veau de 400 kg présentant un gain quotidien moyen de 500 g par jour [Carillo, 2001]. Le besoin en EV et le besoin en énergie métabolisable sont proportionnels. Les équations permettant de passer d'une unité à l'autre sont présentées en Annexe 13.

Cependant, il est facilement concevable qu'il y ait d'importantes différences entre les besoins théoriques lus dans les tables et les besoins réels des animaux élevés dans des conditions extensives. En effet, les conditions environnementales ayant une grande influence sur les besoins des animaux, les variations de ces conditions font notablement varier les besoins. La logique veut donc de s'intéresser aux besoins réels des animaux et éventuellement de les comparer aux valeurs fournies par les tables.

III.1.1. Détermination du besoin à partir de la notation corporelle

Déterminer le besoin énergétique à partir de la notation corporelle consiste à évaluer, pour un animal de race et de poids donné, sa composition corporelle (en graisses, protéines, cendres et eau) à partir de sa notation corporelle dans le système à 9 points [NRC, 2000b]. La proportion de chaque composant s'exprime en pourcentage du poids vide, valeur qu'il faut connaître pour appliquer cette méthode.

A partir de la composition corporelle de l'animal, il est possible de connaître l'Energie Métabolisable (EM) nécessaire au maintien des tissus protéiques et gras, c'est à dire l'énergie métabolisable nécessaire à l'entretien [Thompson *et al.*, 1983]. Les équations nécessaires au calcul des pourcentages des composants corporels ainsi que celles permettant de calculer l'énergie d'entretien sont présentées en Annexe 14.

Cependant cette valeur ne correspond qu'à l'énergie nécessaire à maintenir un état et non à l'énergie totale nécessaire à l'engraissement, à la gestation, à la lactation et à l'entretien dans des conditions particulières. C'est pourquoi le calcul du besoin énergétique total à partir de la méthode factorielle peut s'avérer nécessaire.

III.1.2. Détermination des besoins énergétiques à partir de la méthode factorielle

Pour estimer le besoin énergétique réel total des animaux, il faut ajouter au besoin d'entretien strict, le besoin d'entretien supplémentaire lié au maintien de l'animal dans son milieu et les besoins liés à la production (croissance, engraissement, gestation et lactation). Bien que la distinction entre ces différents besoins, qui ne correspondent pas à des métabolismes distincts, soit artificielle, elle est indispensable pour pouvoir évaluer les besoins alimentaires par la méthode factorielle.

Ces différents besoins sont préférentiellement exprimés en énergie métabolisable (EM) ou en énergie nette (EN). Le rendement d'utilisation de l'EM, peut varier de façon assez importante en fonction de la qualité de l'aliment fourni et du type de production : il est de 72% lorsque l'énergie est utilisée pour l'entretien, de 60% pour la lactation et de 43% (entre 30 et 56 %) pour l'engraissement [INRA, 1978]. Ces différences de rendement s'expliquent par la variation d'intensité des synthèses lipidiques et protéiques en fonction du type de production. C'est pourquoi il sera nécessaire de tenir compte de la destination de l'animal pour déterminer le coefficient d'utilisation de l'EM et ainsi déterminer le besoin en EN. Cependant, il faut noter que ces rendements ont été calculés pour des animaux élevés dans des conditions intensives. En système extensif, il serait donc préférable de recalculer les rendements à partir de la composition chimique des aliments et des niveaux d'alimentation des animaux.

➤ **Le besoin d'entretien strict** constitue la plus grande partie du besoin des animaux. Il est lié au maintien du métabolisme de base, c'est à dire à la dégradation des produits organiques pour fournir de l'ATP aux cellules, permettant ainsi le maintien du tonus musculaire et le fonctionnement des tissus et organes vitaux (cœur, reins, cerveau,...). L'énergie nette d'entretien serait l'énergie, sous forme de produits organiques, mobilisée à partir des réserves corporelles d'un animal laissé à jeun. Pour un animal alimenté, les produits terminaux de la digestion se substituent aux réserves corporelles (avec un rendement inférieur à 1) et sont alors source d'énergie [INRA, 1978].

Le calcul du besoin d'entretien nécessite de déterminer le poids des animaux. Certaines exploitations sont équipées d'une balance individuelle, placée à la sortie d'un enclos ou d'une pâture, qui leur permet de peser les animaux. Les autres exploitations doivent soit évaluer

individuellement le poids des animaux à partir de mesures morphologiques (cf. Annexe 15), soit peser collectivement les animaux en pesant des camions de chargement.

Les équations permettant de déterminer l'EM et l'EN d'entretien à partir du poids vif sont présentées en Annexe 16 [Bouvier et Vermorel, 1975 ; NRC, 1984].

➤ **Le besoin d'entretien supplémentaire** est liée au mode et au milieu de vie des animaux. Dans les systèmes purement extensifs, les animaux sont en permanence à l'extérieur. L'augmentation de leurs besoins énergétiques dépend surtout de la rigueur du climat et de la résistance des animaux à ces conditions, mais aussi de la surface des pâtures, qui détermine les déplacements des animaux, et de leur mode de pâturage.

Besoins liés à la thermorégulation

La dépense énergétique pour le maintien de la température corporelle dépend d'un grand nombre de facteurs liés aussi bien à l'animal (race, état corporel, état sanitaire, type de pelage,...) qu'aux conditions environnementales (température extérieure, force du vent, pluviométrie, disposition des parcelles, présence d'abris ou de couverts végétaux,...). Pour le calcul de ce besoin, on tient compte, d'une part, de la température réellement ressentie par les animaux et, d'autre part, de la température en dessous de laquelle ils doivent accroître leurs dépenses énergétique pour maintenir leur température centrale [Ames, 1988]. Cette température est appelée la température critique. Les tableaux présentés en Annexe 17 permettent de calculer les dépenses supplémentaires par rapport au besoin d'entretien strict pour la thermorégulation, pour des animaux adultes de race Hereford. La méthode consiste à déterminer tout d'abord la température critique des animaux en fonction de l'importance de leur pelage, c'est à dire en fonction de la saison. Ensuite, d'après des relevés climatiques (température et vitesse du vent), on détermine la température que vont ressentir les animaux. Enfin, cette température ressentie est comparée à la température critique des animaux. Si elle est supérieure, les besoins ne sont pas augmentés. Par contre, si elle est inférieure, le besoin d'entretien strict augmente de 0,6 à 2 % par degré de différence avec la température critique. Ce pourcentage dépend du type de manteau (importance du pelage) et de la couverture adipeuse des animaux.

Bien qu'il n'y ait pas de données précises les concernant, on sait que la température critique des jeunes veaux est supérieure à celle des adultes et qu'ils supportent moins bien les variations de température. Ils ont donc des besoins d'entretien supérieurs [INRA, 1974].

Besoins liés aux déplacements

Les besoins énergétiques liés aux déplacements des animaux au sein de la pâture dépendent de nombreux facteurs tels que le relief du terrain, la surface de la zone de pâturage, la disponibilité fourragère, la localisation des points d'eau ou encore la race et l'âge des animaux. Les déplacements sont très difficiles à estimer. En pratique, il a été montré que le besoin énergétique net d'entretien des animaux augmente d'environ 2.1 Mcal par jour pour 2 miles, soit 3.2 km, parcourus quotidiennement lors du pâturage [NRC, 1984].

Pour déterminer les déplacements des animaux, on peut imaginer un certain nombre de méthodes : la plus précise serait de quadriller la pâture, de marquer un animal par une grosse croix blanche sur le dos puis de disposer une caméra qui filmerait toute la pâture pendant 24h. Les déplacements pourraient ensuite être reportés sur une carte de la pâture puis calculés à l'échelle. Cette expérience renouvelée plusieurs fois permettrait d'avoir une idée plus précise des périodes d'activité des animaux et de leurs déplacements. Cependant, elle nécessite beaucoup de matériel. Une méthode alternative est de quadriller la pâture ou d'y disposer des repères, d'observer les animaux tout au long d'une journée puis d'aller calculer sur la parcelle les déplacements observés, mais cette méthode est assez pénible à réaliser dans la réalité. Dans la pratique, la méthode la plus simple pour avoir une idée des déplacements des animaux est d'observer leur activité durant une journée pour déterminer le temps consacré à l'alimentation, à la rumination, au jeu, aux déplacements et au repos. Ensuite on détermine les distances parcourues au cours des phases de broutage et de déplacement. Pour ce faire, on mesure la distance correspondant à un pas et on compte le nombre de pas réalisés pendant les phases d'activité ou, plus simplement, pendant une heure de ces phases afin de calculer le déplacement total sur la durée de la phase. A la place de compter les pas, on peut envisager de poser des podomètres sur les animaux qui déterminent le nombre de kilomètres parcourus à partir de la distance parcourue lors d'un pas (distance préalablement enregistrée).

Besoins liés au broutage

La dépense d'énergie liée à l'ingestion est plus élevée pour l'herbe broutée que pour l'herbe coupée à l'auge, notamment en raison de l'augmentation de la durée d'ingestion, de sorte que le besoin d'entretien augmenterait de 10 % [Graham, 1965].

➤ **Les besoins de production** sont tous les besoins supplémentaires nécessaires aux animaux adultes en production (liés à la gestation et à la sécrétion lactée) et aux jeunes en croissance.

Besoins liés à la croissance et à l'engraissement

On confond presque toujours les besoins liés à la croissance stricte et les besoins liés à l'engraissement puisque les animaux sont presque toujours abattus, pour produire de la viande, avant d'avoir achevé leur croissance. Les animaux reçoivent, pendant la dernière phase de leur vie, une plus grande quantité ou une meilleure qualité d'éléments nutritifs visant à accélérer le dépôt de lipides (tout en maintenant le dépôt protéique). Cette période dite d'engraissement n'est donc qu'une « accélération » de la croissance en vue de l'abattage.

Les besoins en énergie nette pour la croissance dépendent des quantités de lipides, protéines, minéraux et eau fixées dans le croît (les quantités de glucides étant négligeables). Ces besoins sont d'abord déterminés par le gain de poids vif (GMQ : Gain Moyen Quotidien) mais dépendent aussi de nombreux facteurs comme l'âge, poids, le sexe, le type génétique ou encore les phases de compensation alimentaire [INRA, 1978]. Ceci explique la pluralité des formules nécessaires au calcul de l'énergie nette de croissance (ENc) en fonction des différentes catégories d'animaux [NRC, 1984]. Ces formules sont présentées en Annexe 16.

La correspondance entre l'EN et l'EM de croissance et d'engraissement s'obtient via le rendement de l'EM. Le rendement pour la croissance est normalement plus faible que celui pour l'engraissement de l'animal adulte, car le coût énergétique de fixation des protéines (plus important pour les animaux en croissance) est bien supérieur au coût énergétique de fixation des lipides (plus important pour les animaux à l'engraissement). Cependant, les rendements de l'EM pour la croissance, observés expérimentalement (méthode des abattages), sont inférieurs à ceux obtenus par le calcul. On admet donc pour simplifier que le rendement de l'EM est le même pour les animaux en croissance ou à l'engrais que pour les animaux adultes à l'engraissement. Ce rendement k_f est compris entre 0.30 et 0.56 selon le type de ration. Pour des rations de fourrages verts, le coefficient est proche de 0.30. On peut aussi estimer plus précisément le besoin en énergie nette pour la croissance en connaissant la qualité nutritive des aliments que ces animaux consomment, grâce à la formule présentée en Annexe 16 [INRA, 1978].

Besoins liés à la gestation

Les besoins liés à la gestation dépendent de l'énergie nécessaire à la croissance du fœtus et de ses annexes. La croissance du fœtus est très lente au cours des deux premiers tiers de la gestation, au point qu'on peut la négliger dans l'estimation du besoin nutritionnel de la mère, et s'effectue essentiellement (plus de 80%) au cours du dernier tiers de gestation. Pendant cette période, la dépense énergétique augmente considérablement, beaucoup plus que ne laisserait croire la quantité d'énergie fixée par le fœtus, en raison d'une très forte augmentation de l'extra chaleur. En effet, seuls 13 % de l'EM supplémentaire nécessaire à la gestation est fixé par le fœtus et ses annexes et 3 à 4 % par l'utérus et la glande mammaire, tandis que 84 % sont perdus sous forme d'extra chaleur. Le rapport EN/EM pour la gestation est donc très faible, d'environ 0.13 [INRA, 1978]. Les formules présentées en Annexe 16 permettent de calculer l'EN [NRC, 1984] et l'EM [Koong *et al.*, 1982] nécessaire à la gestation. Le calcul nécessite de connaître le terme des animaux et le poids prévisionnel du veau à la naissance (basé sur le poids moyen des nouveaux-nés d'une catégorie d'animaux).

Besoins liés à la lactation :

L'allaitement maternel des veaux après la mise bas est relativement coûteuse en énergie, surtout au moment du pic de lactation c'est à dire environ 3 mois après le début de l'allaitement. L'énergie nécessaire, dont le calcul est présenté en Annexe 16, dépend de la quantité de lait produite [NRC, 1984]. Le rendement moyen d'utilisation de l'EM pour la lactation est relativement élevé, compris entre 0.57 et 0.63.

➤ **Le besoin énergétique total** est calculé en sommant tous les besoins (besoin d'entretien strict, besoin d'entretien supplémentaire et besoin de production) auquel est soumise une catégorie d'animaux. A partir du besoin en énergie nette, exprimé en calories, il est possible d'exprimer le besoin en UF et/ou en EV. Cette conversion permet une comparaison plus aisée avec les valeurs fournies par les tables. De plus, comme ces unités sont aussi utilisées pour la valeur énergétique des aliments, la comparaison entre les besoins et les apports est aussi facilitée.

III.2. Détermination des apports

Comme on l'a vu précédemment, il est possible de déterminer la valeur énergétique des aliments de façon précise. La difficulté, pour estimer les apports énergétiques en énergie nette, est de connaître les quantités d'aliments consommés par les animaux. En pratique, les éleveurs utilisent souvent des valeurs empiriques pour calculer les surfaces nécessaire au pâturage. On trouve ainsi des valeurs de 2,2 kg MS/100 kg PV avec une augmentation de 1,9 kg MS par 100 kg supplémentaire pour les adultes ($2,2 + 1,9 \times 4 = 9,8$ kg MS pour un animal de 500 kg, par exemple), et de 2,16 kg MS/100 kg PV avec une augmentation de 3,5 kg par 100 kg supplémentaire pour les jeunes (3,91 kg MS pour un animal de 150 kg, par exemple) [Demarquilly, 1981].

Cependant, dans la réalité, la quantité de matière sèche volontairement ingérée (MSVI) peut être très variable car elle dépend de nombreux facteurs rattachés soit à l'animal (poids, stade physiologique, traitements antérieurs, différences individuelles), soit à la plante (teneur en matière sèche, digestibilité et stade de croissance, état sanitaire, appétibilité), soit au mode d'exploitation du pâturage (quantité d'herbe offerte, mode d'exploitation, chargement à l'hectare, distribution d'un complément) et aux caractéristiques environnementales (température, durée du jour...) [Demarquilly, 1981 ; NRC, 2000a ; Ketelaars et Tolkamp, 1992]. De plus, les facteurs environnementaux affectent la consommation de façon très variable en fonction de la rusticité de l'animal [Fox et al., 1988] et du type de fourrage. Par exemple, une augmentation de température ambiante (jusqu'à un certain seuil) tend à améliorer la digestibilité de la ration, ce qui conduit à une diminution de l'ingestion [Morand-Fehr et Doreau, 2001].

On considère généralement deux facteurs principaux pour estimer la MSVI : la capacité d'ingestion de l'animal et l'ingestibilité de l'aliment (qui est corrélée positivement à sa digestibilité et à sa valeur énergétique [Blaxter *et al.*, 1961 ; NRC, 1984]. Comme on l'a vu précédemment, on utilise l'UE pour exprimer ces deux facteurs. Cette unité se définit comme le rapport entre une ingestibilité standard (Ingestibilité d'une herbe de pâture jeune, de digestibilité égale à 0.80 et de valeur énergétique égale à 0.92 UFv, par un bélier castré en fin de croissance, soit 75 g de MS/kg de poids vif) et l'ingestibilité du fourrage considéré. Les tables ont été réalisées pour des animaux de race Française et pour des aliments classiques, et non pour des animaux plus rustiques et pour des aliments pauvres avec des taux de matière sèche élevés. Il peut toutefois être intéressant, si l'on arrive à déterminer l'ingestibilité de

l'aliment considéré, de convertir en UE les quantités consommées (estimées par d'autres méthodes), afin de les comparer à des valeurs usuelles dans les systèmes traditionnels.

D'autres méthodes sont envisageables pour estimer les quantités consommées.

La première méthode consiste à utiliser des équations permettant d'estimer la consommation en fonction des caractéristiques de l'animal, de la pâture consommée et des conditions environnementales. Ces équations sont présentées en Annexe 18.

De manière générale, l'ingestion vise à couvrir un besoin énergétique, même si il existe des doutes sur le fait que le comportement alimentaire des animaux soit dirigé vers une utilisation optimale de leurs capacités [Sibly et Calow, 1986]. Donc, lorsque l'aliment est hautement digestible, la consommation est considérée d'un point de vue physiologique (besoin en nutriments de l'animal) et est contrôlée par la demande énergétique de l'animal [NRC, 1987 ; ARC, 1980]. Tout ce qui entraîne une augmentation du besoin (augmentation du poids vif, augmentation du niveau de production, chute de température...) va donc de pair avec une augmentation de l'ingestion. Dans ce cas, on aura plutôt tendance à utiliser des relations permettant d'exprimer la MSVI en fonction du contenu énergétique de l'aliment et du besoin énergétique de l'animal [NRC, 2000a]. En revanche, pour des aliments ayant une faible concentration énergétique, la consommation est contrôlée par des facteurs physiques (capacité de digestion de l'animal) et le facteur limitant à l'ingestion est la digestibilité de l'aliment [Ketelaars et Tolkamp, 1992]. Dans ce cas, on utilisera plutôt des relations exprimant la MSVI en fonction de la digestibilité de l'aliment. La digestibilité ainsi que la capacité de « remplissage » de l'aliment étant fortement liées à la teneur en eau du fourrage, la MSVI est souvent exprimée en fonction de cette teneur [INRA, 1978 ; Verité et Journet, 1970].

La distinction entre une situation où l'appétit est régulé par des facteurs physiques ou non est parfois difficile, notamment lorsque l'aliment a une faible valeur énergétique mais que certains facteurs induisent une augmentation de sa digestibilité (augmentation de température par exemple) ou de la capacité de remplissage de l'animal (augmentation des besoins). Ces équations restent donc très théoriques et devraient finalement être définies pour chaque élevage. Une autre possibilité consiste à utiliser ces équations et à réaliser des ajustements en fonction de différents facteurs. Le tableau présenté en Annexe 18 présente les différents facteurs à prendre en compte et leur influence respective sur l'ingestion.

Une seconde méthode consiste à utiliser le rendement d'une pâture, la valeur énergétique des plantes qui la composent et le rendement d'utilisation de cette énergie, pour estimer la consommation des animaux. Comme on l'a vu précédemment, il est possible de définir le

rendement, à l'échelle d'une pâture, en nombre de kilos de poids vif obtenu par calorie (ou unité fourragère) disponible. La méthode présentée en Annexe 18 permet d'estimer, à partir de ce rendement et du besoin énergétique de la catégorie d'animaux concernés, le niveau de consommation des animaux. Cependant, cette méthode estime grossièrement la consommation, car le rendement de conversion de l'énergie disponible en poids vif est lui-même difficile à estimer.

Enfin, il existe trois autres méthodes expérimentales visant à estimer la quantité d'herbe consommée au pâturage [Demarquilly, 1966]. La première utilise des indicateurs (oxyde de chrome et azote chromogène) permettant d'estimer la quantité de fèces et la digestibilité, d'où la quantité consommée. La seconde consiste à isoler les animaux en stabulation et à leur apporter de l'herbe fauchée. Cette méthode surestime généralement les quantités consommées au pâturage mais elle est simple à réaliser, si les animaux peuvent être isolés. Dans le cas contraire ou pour obtenir des résultats plus proches de la réalité, une troisième méthode consiste à estimer la différence entre la quantité d'herbe présente avant (disponibilité initiale) et après (disponibilité finale) le passage d'animaux sur une parcelle. Pour ne pas que les résultats soient biaisés par la croissance de l'herbe durant le temps de séjour des animaux, l'expérience doit être réalisée sur une courte période ou en employant des cages. Pour une expérience de plus longue durée, il faut tenir compte de cette croissance, dont les méthodes d'estimation ont été définies précédemment.

III.3. Rapport Besoin/ Apport

La connaissance des quantités consommées ainsi que de la valeur énergétique des aliments permet de définir en calorie, en unité fourragère ou en « équivalente vaca », les apports énergétiques des animaux. La comparaison de cette valeur à celle de leur besoin énergétique permet d'avoir une idée de la qualité du rationnement des animaux, l'objectif étant bien sûr un bilan nul ou positif. Le bilan obtenu est ensuite confronté aux résultats obtenus de la qualité de la couverture énergétique estimée à partir de l'état corporel des animaux ou à partir du rendement de production.

IV. INTERET D'UNE APPROCHE GLOBALE DU RATIONNEMENT

La particularité des systèmes extensifs tient au fait que les animaux sont dans des conditions très proches de celles d'animaux en liberté totale. En effet, bien que leurs déplacements soient généralement contrôlés par la mise en place de parcelles clôturées, leur activité est très peu perturbée par des interventions humaines. De plus, les animaux vivant toute l'année à l'extérieur doivent s'adapter aux variations climatiques ainsi qu'aux variations de la disponibilité fourragère. En somme, pour analyser le rationnement des bovins en système extensif de façon la plus juste possible, il faudrait considérer les animaux comme faisant partie d'un écosystème duquel ils ne sont pas dissociables. En effet, les conditions environnementales influencent aussi bien les besoins des animaux que la quantité et la qualité des fourrages disponibles, c'est à dire les apports. Ces conditions vont donc avoir des conséquences indirectes sur le rendement.

Les méthodes présentées ci-dessus permettent une analyse essentiellement ponctuelle du rationnement. Ici, l'objectif est d'étudier une ou plusieurs parcelles sur un cycle de pâture ou sur une année entière et de définir, sur cette même période, les paramètres environnementaux, l'évolution de la flore et l'évolution des animaux. Ce type d'étude permet d'avoir une vision intégrée de l'écosystème « pâture-animaux » et donc de prévoir quantitativement les variations de rendement liées aux variations environnementales et plus particulièrement climatiques.

IV.1. Relation entre le contexte environnemental et le rationnement

IV.1.1. Influence des facteurs environnementaux sur l'animal

Comme on l'a vu précédemment, les besoins des animaux varient de façon non négligeable avec les variations des facteurs environnementaux. Le facteur à l'origine des variations les plus importantes est la température, dont on peut quantifier l'influence sur les

besoins. Cependant, d'autres facteurs tels que la surface et le relief des parcelles peuvent aussi avoir une influence. En effet, il paraît évident que les besoins des animaux sont plus importants lorsqu'ils pâturent une grande parcelle à flanc de montagne qu'une petite parcelle plane. Pour tenir compte de ces paramètres, la première étape indispensable consiste à cartographier l'exploitation pour évaluer les besoins supplémentaires liés aux déplacements sur un terrain non plat.

De manière générale, au cours d'une année, les besoins des animaux évoluent, surtout du fait de leur évolution physiologique mais aussi du fait des variations climatiques. Il est donc intéressant de pouvoir définir ces besoins pour un groupe d'animaux donné, sur une pâture donnée, sur une année entière puis de réaliser un graphique de ces besoins en fonction des différents mois de l'année. Cette courbe des besoins peut ensuite être comparée à celle obtenue en définissant l'apport énergétique au cours de l'année, afin de voir si les apports comblent le besoins tout au long de l'année.

Cette description sur une année doit aussi concerner le niveau de consommation des animaux qui évolue aussi de façon significative avec le stade physiologique et avec les variations climatiques. Pour ce faire, il faut d'abord définir un niveau de consommation de référence, par les méthodes présentées plus haut, puis évaluer les variations en fonction des différents facteurs intervenants sur la consommation alimentaire. Enfin, il est intéressant de renouveler une fois par mois l'expérience de détermination des quantités consommées pour corriger les niveaux de consommation théoriques et, éventuellement, déceler un trouble sanitaire à l'origine d'une baisse de consommation. De la même façon que pour les besoins, la réalisation d'une courbe montrant l'évolution de l'ingestion en fonction des mois de l'année est judicieuse.

IV.1.2. Influence des facteurs environnementaux sur la végétation

Pour définir les apports énergétiques en fonction d'une saison ou d'un mois, il faut tout d'abord définir les variations de la disponibilité au cours de l'année. Ces variations dépendent de la croissance et de la sénescence de la végétation et donc, de la nature de la végétation ainsi que des conditions environnementales. En effet, cette croissance est

déterminée par le microclimat réalisé au niveau des organes aériens et souterrains, encore appelé « climat de la plante » [Turc, 1961]. Des corrélations ont été établies entre microclimat et macroclimat permettant de relier la végétation au climat par des données macroclimatiques. C'est le principe, notamment, de « l'indice climatique de potentialité agricole », encore appelé Agr. 63 [Zahedi, 1966 ; Turc, 1961]. Cet indice permet de relier des données macroclimatiques (température moyenne, minima des températures, radiation globale, latitude, durée du jour, évapotranspiration, besoin en eau d'irrigation) à des productions annuelles obtenues en France, en grande culture et dans les meilleures conditions (fumure, choix de variétés,...), principalement en ce qui concerne les plantes fourragères. Dans la plus grande partie de la France, cet indice varie sur l'année entre 10 et 35, et dans le monde, entre 0 et 75. Les potentialités fourragères, exprimées en tonnes de matière sèche par hectare et par an, sont de l'ordre de ces valeurs multipliées par 0,6. Les équations permettant de calculer cet indice sont présentées en Annexe 19. Cependant, le rapport entre cet indice et la production fourragère doit être évalué pour chaque pâture, c'est à dire pour chaque espèce végétale implantée sur un terrain particulier. En effet, il ne faut pas négliger l'importance de la pédologie pour ce type d'analyse. Pour résumer, il faut connaître l'évolution classique d'une espèce végétale au cours d'une année et corriger cette évolution en réalisant des suivis ponctuels, sur une semaine de chaque mois par exemple, par les méthodes décrites ci-dessus pour déterminer l'évolution de la végétation. Ainsi, la disponibilité fourragère peut être reliée, de façon assez précise, au climat. De plus, on peut réaliser deux courbes décrivant, d'une part, les disponibilités et, d'autre part, l'indice climatique, en fonction des différents mois de l'année.

En mettant en place un indice climatique et en le reliant aux apports énergétiques permis par la pâture et aux besoins énergétiques des animaux, il peut être possible de prévoir le rendement de production (nombre de têtes/ha) à partir de données climatiques.

IV.2. Relation entre le rationnement et le rendement

Le rendement de production est directement lié à la qualité du rationnement. L'appréciation de cette qualité nécessite tout d'abord de définir les apports en fonction des mois de l'année. Pour ce faire, on associe la courbe de disponibilité à celle des niveaux de

consommation puis à celles des besoins. L'objectif, pour que le rationnement soit considéré comme satisfaisant, étant que la courbe des apports se trouve superposée ou au dessus de celle des besoins. Le relevé de données qu'implique la réalisation de ces courbes constitue un travail très laborieux, à la hauteur de la complexité du rationnement dans ce type de système. Cependant, il est nécessaire pour pouvoir apprécier la qualité du rationnement et peut apporter un grand nombre d'informations complémentaires. Par exemple, en ajoutant à ces courbes, une courbe définissant l'évolution des conditions corporelles en fonction des mois de l'année, on pourrait décrire plus précisément les phénomènes de compensation alimentaire évoqués précédemment. Ainsi, même si à certaines périodes de l'année, la courbe des besoins se trouve au dessus de celle des apports, le déficit lié à ces périodes plus rigoureuses est compensée par des périodes plus fastes où l'apport est supérieur au besoin et où l'animal fait des réserves pour les périodes plus difficiles. Le rendement sur l'année reste donc satisfaisant. Dans ces conditions, la courbe des conditions corporelles doit suivre, de manière un peu décalée dans le temps, la différence entre les apports et les besoins. Ceci amène à l'idée que la qualité du rationnement ne peut s'observer que de manière décalée et que si un problème survient, ses conséquences sur l'animal et donc sur le rendement ne sont pas visibles immédiatement, d'où l'intérêt d'une approche non ponctuelle du rationnement.

IV.3. Relation entre le contexte environnemental et le rendement

L'aboutissement final de l'étude de l'influence du contexte environnemental sur le rationnement, serait de pouvoir relier ce contexte au rendement ou à la condition corporelle des animaux, afin de prévoir les conséquences de variations environnementales importantes. Plus clairement, il faudrait, à partir de données climatiques (en établissant un indice global), pouvoir estimer la production fourragère d'une pâture et donc, avec le besoin et le niveau de consommation des animaux, de prédire le rendement. Ceci permettrait, lors d'un hiver particulièrement rigoureux ou d'un été particulièrement sec par exemple, de prévoir les déficits énergétiques afin de s'organiser pour pouvoir les combler en apportant des compléments comme du foin ou des concentrés à ces moments critiques.

TROISIEME PARTIE : EXEMPLE D'ANALYSE DU RATIONNEMENT DES BOVINS DANS UN ELEVAGE EXTENSIF DE LA PAMPA ARGENTINE

Cette troisième partie consiste à utiliser l'exemple d'un élevage extensif argentin pour mettre en application un certain nombre de méthodes présentées dans la deuxième partie, l'objectif étant d'évaluer le rationnement de bovins de cet élevage mais aussi de vérifier dans quelle mesure les méthodes d'analyse sont applicables sur le terrain.

L'intérêt d'utiliser un élevage de la Pampa argentine tient au fait que, dans cette région du monde, les animaux sont élevés en plein air total tout au long de l'année et sur des surfaces importantes. Les problèmes liés à l'élevage extensif s'expriment donc plus nettement. De plus, ce mode d'élevage étant très typique de cette région, les pratiques d'élevage y sont très adaptées et certaines d'entre elles peuvent être intéressantes pour un éleveur français désireux de développer ce type d'élevage. En revanche, le contexte environnemental, la végétation ou encore les races élevées sont assez différents de ceux de nos régions, ce qui en rend l'étude de ces élevages plus complexe.

Comme on l'a vu précédemment, l'analyse du rationnement passe par l'étude détaillée de l'élevage mais aussi du contexte dans lequel se trouve l'élevage. Certaines données relatives à ce contexte sont issues de l'élevage (relevés réalisés par les éleveurs ou au cours de l'étude) mais d'autres, difficilement mesurables du fait du manque de matériel ou du manque de temps, sont issues de la bibliographie.

L'élevage qui a été pris pour exemple est l'Estancia San Carlos (Coronel Pringles ; Buenos Aires). Il a été analysé au cours des mois d'avril de deux années successives (2003 et 2004).

I. DESCRIPTION DE L'ELEVAGE

I.1. Localisation et contexte environnemental

Comme on l'a vu dans les deux parties précédentes, le contexte environnemental joue un rôle très important dans la vie des animaux élevés de manière extensive. Les données recueillies au sein de l'exploitation ou dans la bibliographie sont donc très importantes.

I.1.1. La Pampa Argentine et la zone de Coronel Pringles

I.1.1.1. Localisation

La plaine de la Pampa s'étend autour de Buenos Aires et de l'embouchure du Rio de la Plata, entre 30° et 39° S et entre 57° et 64° W, sur 2000 km du nord au sud et 1000 km d'est en ouest (Carte 5) [Carillo, 1992]. C'est une plaine immense et monotone de 470 000 km² s'inclinant doucement des Andes vers l'océan Atlantique (Photo 1). Cette zone peut être divisée en sous régions (Pampa déprimée, Pampa humide, Pampa ondulée,...) présentant chacune des caractéristiques spécifiques en ce qui concerne le modelé de leur terrain, leur climat, leur hydrographie ou encore les activités qui s'y pratiquent.

L'estancia San Carlos est située non loin de Coronel Pringles (38°S ; 61,5°W), dans la province de Buenos Aires, à quelques 500 km de la capitale et à une centaine de la côte (Carte 6). Elle se trouve au pied de la Sierra de la Ventana (Co. Tres Picos : cf. Carte 5), seule formation montagneuse de la Pampa atteignant 1200m d'altitude et contrastant avec le plat environnant. L'estancia se trouve dans la pampa subhumide, qualifiée ainsi du fait de la nature de son climat.



Carte 5: Argentine et Pampa (délimitée en rouge)



Carte 6 : Localisation de Coronel Pringles (encadré en rouge) au sein de la pampa

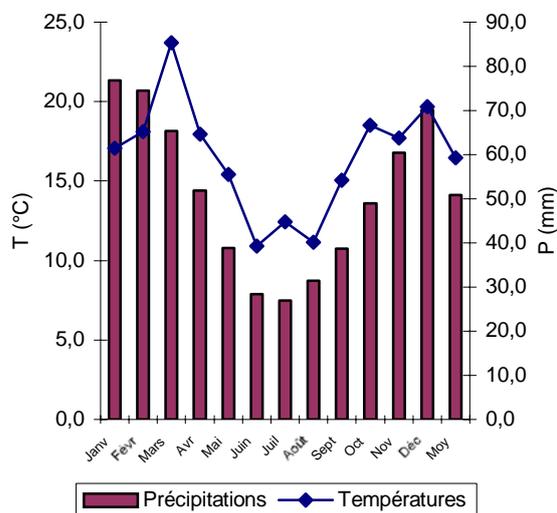


Photo 1 : Vue de la pampa

I.1.1.2. Climat

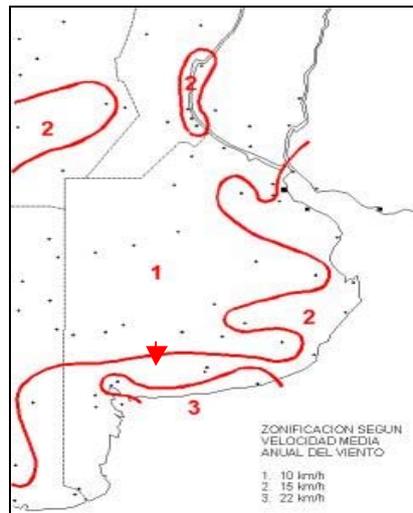
Le climat de la zone d'étude correspond à un climat tempéré dont les températures et la pluviométrie sont relativement élevées. Le graphique 1 présente les températures et précipitations moyennes mensuelles de la Pampa (province de Buenos Aires : stations de Tres Arroyos, Bahia Blanca, Mar del Plata et Tandil) d'après des relevés réalisés entre 1931 et 1990 [NCDC et CDIAC, 1992].

Les gelées sont assez peu fréquentes et toujours faibles [Tricart, 1973].

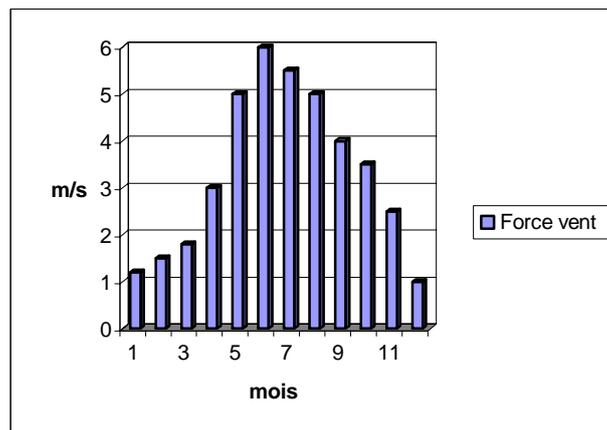


Graphique 1 : Précipitations (en mm) et températures (en °C) mensuelles moyennes de la Pampa (Buenos Aires) d'après des relevés réalisés entre 1992 et 2002 [NCDC et CDIAC, 2002].

La Pampa est balayée par des vents forts, particulièrement en été (tornados) où ils peuvent atteindre 120 km/h. Cependant, en moyenne annuelle, ils ne dépassent pas les 25 km/h et sont plutôt de l'ordre de 10 km/h pour la zone d'étude (indiquée par une flèche rouge), comme le montre la Carte 7. Le graphique 2 montre qu'ils varient d'environ 4 km/h en été à 20 km/h en hiver (1 m/s = 3,6 km/h).

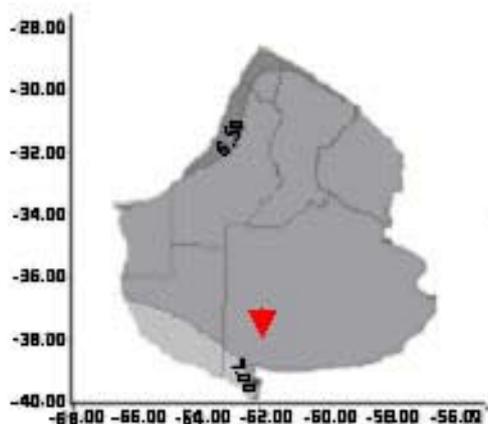


Carte 7 : Force moyenne annuelle du vent en fonction de la zone [Czajkowski et Rosenfeld,1992]

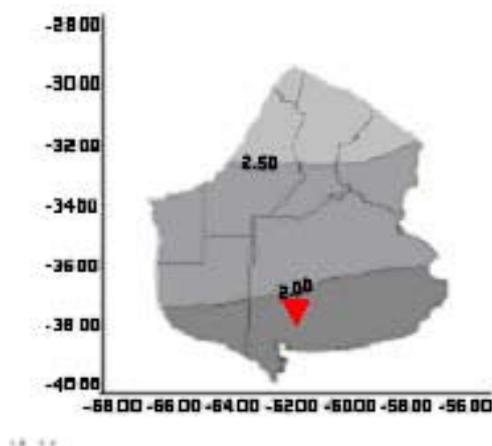


Graphique 2 : Force moyenne (en m/s) mensuelle du vent de la Pampa (Buenos Aires) d'après des relevés réalisés entre 2000 et 2005 [Saulo, 2006]

L'ensoleillement est important, comme le montre les cartes 8 et 9, avec des radiations moyennes de 7,0 kW/m² en été et 1,5-2,0 kW/m² en hiver pour la zone d'étude (indiquée par les flèches rouges).



Carte 8 : Carte des radiations (en kW/m²) enregistrées dans la Pampa en janvier 1999 [Righini et Grossi Gallegos, 2000].



Carte 9 : Carte des radiations (en kW/m²) enregistrées dans la Pampa en juin 1999 [Righini et Grossi Gallegos, 2000].

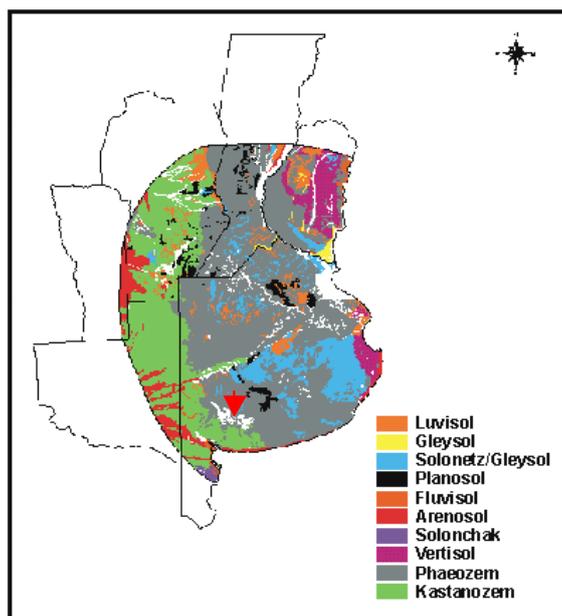
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
KWh/m²/j	6,69	6,14	4,86	3,47	2,5	1,89	2,14	3,11	3,92	5,33	6,36	6,72	4,43
cal/cm²/j	576	528	418	299	215	163	184	268	337	459	547	578	381

Tableau 6: Radiations globales mensuelles exprimées en KWh/m²/j et en cal/cm²/j, mesurées dans la ville de Pigue (37,62°S, 62,42°W) [SEE, 2000].

Les valeurs observées sur les cartes 8 et 9 correspondent à celles relevées mensuellement à la station de Pigue (station la plus proche de Coronel Pringles) et qui sont données en KWh/m²/j et en cal/cm²/j dans le tableau 6.

I.1.1.3. Pédologie

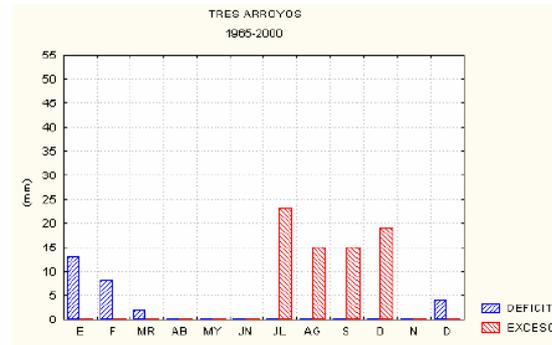
Le sol de la pampa est de type mollisol selon la classification FAO [Moscatelli et Pazos, 2000]. Ce type de sol se trouve habituellement sous un couvert de pâturage, en région semi-aride à semi-humide, et est constitué de calcaire, de loess ou de sable apporté par déflation. L'horizon profond est très riche en matière organique et la surface, enrichie en nutriments, est très fertile du fait de l'accumulation de matière organique issu des racines de plantes. La structure est molle et granuleuse [Moscatelli et Pazos, 2000].



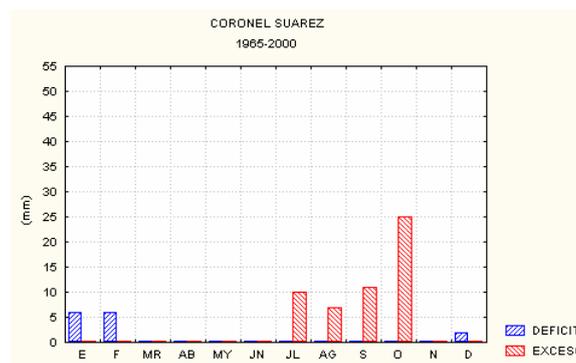
Carte 10 : Nature des sols de la pampa selon la classification FAO [Moscatelli et Pazos, 2000]

La Carte 10 décrit plus précisément la pédologie de la Pampa. Le sol de la zone d'étude (indiquée par une flèche rouge) est de type Phaeozem, c'est à dire plutôt argileux, légèrement acide et constitué d'une surface très riche en humus (couverte naturellement d'herbe). Ce type

de sol a une très bonne capacité d'infiltration et retient très bien l'eau pendant les périodes sèches. Il se rencontre principalement dans des zones où l'évapotranspiration est supérieure aux précipitations et où l'eau manque pendant une partie de l'année.



Graphique 3 : Excès et déficits moyens de la station Tres Arroyos (38,2°S 60,15°W) d'après des relevés réalisés entre 1965 et 2000 [Gonzales et Penalba, 2006].

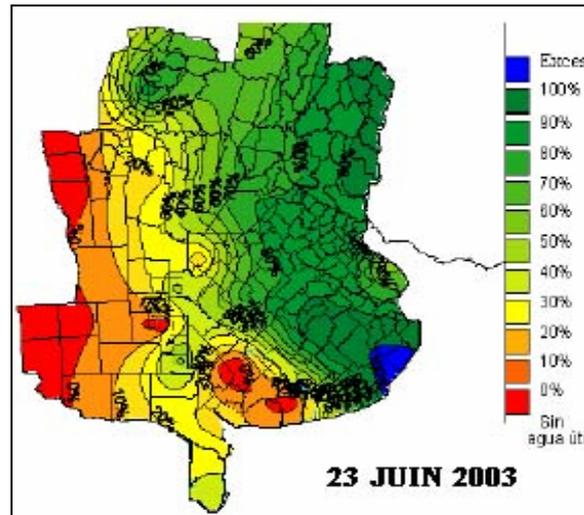


Graphique 4 : Excès et déficits moyens de la station de Colonel Suarez (37,26°S 61,53°W) d'après des relevés réalisés entre 1965 et 2000 [Gonzales et Penalba, 2006].

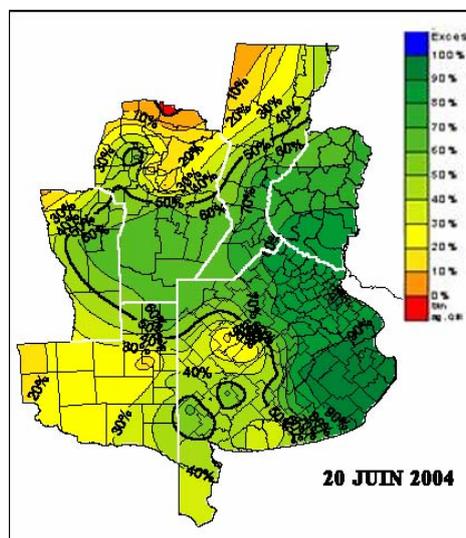
Malgré ces qualités théoriques, on constate un déficit hydrique dans la zone d'étude, et plus largement dans la Pampa, dès le début de l'été, tandis qu'à la fin de l'hiver et au début du printemps, la capacité en eau utile du sol est dépassée et on constate des excès hydriques (Graphiques 3 et 4). Il semble que les vents forts qui balaient la zone ainsi que l'exploitation agricole des terres puissent en partie expliquer la diminution de capacité d'absorption et de restitution des sols, favorisant des problèmes d'excès et de déficit hydriques au cours de l'année. La profondeur du sol joue aussi un rôle important. En effet, plus l'on se rapproche de la formation montagneuse de la Sierra de la Ventana, plus la profondeur du sol est faible et

plus la réserve en eau diminue (Cartes 11 et 12). D'autre part, plus les sols sont de faible profondeur et plus ils sont carencés en nutriments. Dans ces zones, l'activité est donc plus orientée vers l'élevage que vers l'agriculture.

L'année 2003 et, plus particulièrement, l'automne 2003 ont été particulièrement secs. En conséquence, la réserve en eau du sol au début de l'hiver (entre 5% et 10% : Carte 11) a été bien inférieure à celle de 2004, par exemple (entre 40% et 50% : Carte 12).



Carte 11 : Réserve en eau utile du sol (% de la capacité en eau utile totale) de la pampa en juin 2003 [Coma et Sipowicz, 2003].



Carte 12 : Réserve en eau utile du sol (% de la capacité en eau utile totale) de la pampa en juin 2004 [Meteofila, 2004].

Ce climat, tempéré à subhumide, ainsi que la nature du sol ont favorisé la formation d'une steppe couverte de Graminées (genre *Stipa*, *Bromus*, *Paspalum*, *Sporobulus*, *Bothriocloa*) associée à une végétation épineuse composée d'arbustes et de chardons. Les légumineuses sont rares mais certaines espèces exotiques du genre *Trifolium* et *Lotus* se sont dispersées spontanément [Carillo et Schiersmann, 1992].

I.1.2. L'estancia San Carlos

Le terme d'estancia s'utilise pour les exploitations agricoles dont au moins une partie de l'activité est consacrée à l'élevage.

I.1.2.1. Superficie et distribution

L'exploitation comprend une partie principale de 6524 ha. Elle est composée de 51% de terres arables, se trouvant à environ 350 mètres au dessus du niveau de la mer et de 49% de terres montagneuses situées jusqu'à 700 m d'altitude (cf. Carte en Annexe 20).

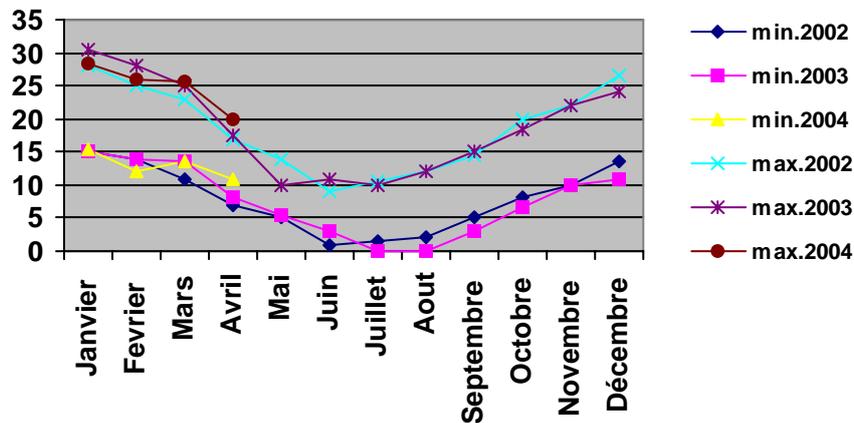
A cet élevage principal sont associés deux autres élevages plus petits de 465 ha (San Juan) et 2845 ha (Lamadrid-Juarez), utilisés respectivement pour l'hivernage et pour l'élevage des veaux non sevrés. Ces deux élevages sont situés à une quarantaine de kilomètres de l'exploitation San Carlos.

Au total, l'activité se réalise donc sur 9843 ha dont 45 % sont utilisés à la fois pour l'agriculture et l'élevage et 55 % sont des prairies naturelles et des terres non arables utilisés exclusivement pour l'élevage.

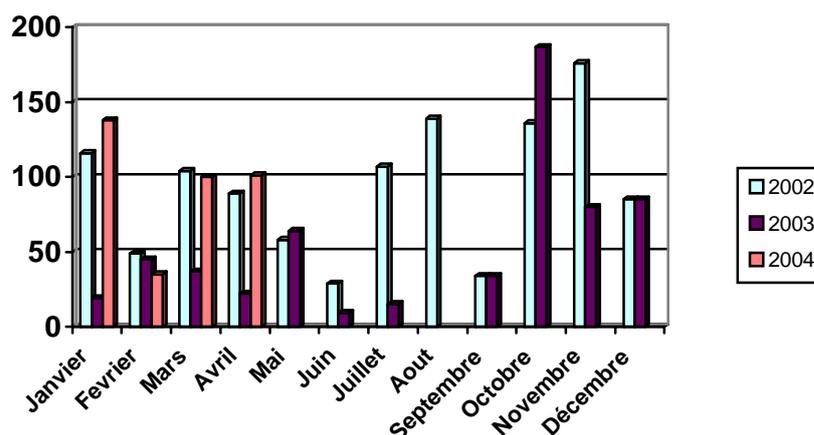
I.1.2.2. Données climatiques

Les températures de la zone d'étude ont été relevées chaque jour à partir d'un thermomètre à mercure donnant les minima et les maxima, placé à l'ombre et à l'abri du vent. Elles sont en moyenne de 13 °C pour le printemps (9,75 °C en septembre, 13,2 °C en octobre et 16 °C en novembre), de 20,3 °C pour l'été (18,6 °C en décembre, 22,1°C en janvier et 20,2 °C en février), de 13 °C pour l'automne (18,1°C en mars, 12,4 °C en avril et 8,6 °C en mai) et de 6 °C pour l'hiver (6 °C en juin, 5,5 °C en juillet et 6,5 °C en août). Le nombre de jours de gelée a aussi été relevé.

Les Graphiques 5 et 6 présentent les températures moyennes minimales et maximales et la pluviométrie mensuelles de l'estancia en 2002, 2003 et au début de l'année 2004.



Graphique 5 : Températures moyennes mensuelles minimales et maximales de 2002 à avril 2004, à partir des relevés de l'estancia



Graphique 6 : Pluviométrie mensuelle moyenne entre 2002 et avril 2004, à partir des relevés de l'estancia

I.1.2.3. Données de pédologie

Des prélèvements ont été réalisés en 2002 pour faire une analyse du sol. Ils ont été traités par « Fertilab : laboratorio de analisis de suelos, plantas y aguas » de Mar del Plata. Pour chaque parcelle, 20-25 prélèvements ont été réalisés en surface (20 premiers centimètres de profondeur) et 20-25 en profondeur (20-50 cm de profondeur). Les résultats pour deux pâtures de l'estancia (qui seront étudiées par la suite) sont présentés dans le tableau 7.

	Prairie composée 4A		Pâturage d'avoine 9B	
	Surface	Profondeur	Surface	Profondeur
Phosphates (en ppm)	16.3		19.5	
Matière Organique (en %)	4.1		4.9	
Nitrates (N-NO ₃ en ppm)	15.6	11.8	24.2	10.5

Tableau 7 : Teneur en phosphates, nitrates et matière organique des sols des prairies artificielles 4A et 9B.

Les analyses montrent que le taux de matière organique est supérieur à 4%, donc permet une bonne rétention des éléments nutritifs et de l'eau dans le sol.

La disponibilité en phosphates est considérée comme moyenne lorsqu'elle est comprise entre 10 et 20 ppm, et comme bonne lorsqu'elle dépasse les 20 ppm (en équivalent phosphore) [Fernando, 2001].

Les sols peuvent être considérés comme pauvres en azote puisqu'ils contiennent moins de 1000 ppm de nitrates.

Le laboratoire conseille donc d'apporter un fertilisant de type phosphate d'ammonium (18-46-0) sur les deux parcelles (à hauteur de 50 kg/ha) avec un apport d'urée (45-0-0) en sus sur la parcelle 4A (à hauteur de 100-120 kg/ha).

L'exploitation est traversée par le cours d'eau Arroyo Quinihue qui couvre presque la totalité de l'exploitation (cf Carte en Annexe 20) et constitue sa principale source d'irrigation.

L'eau des nappes phréatiques est pompée grâce à de petites éoliennes pour l'abreuvement des animaux.

I.2. Production et fonctionnement

L'exploitation a une activité mixte, à la fois tournée vers l'agriculture et l'élevage. Les terres non arables sont exclusivement utilisées pour l'élevage, tandis que les terres arables sont utilisées alternativement pour l'élevage et l'agriculture. On peut ainsi donner quelques exemples de rotation entre agriculture et élevage sur des parcelles de l'exploitation (cf. Annexe 20) :

1997	Sorgho	E
1998	Blé	A
1999	Avoine puis Tournesol	E puis A
2000	Blé	A
2001	Blé	A
2002	Avoine	E
2003	Sorgho	E
2004	Blé	A
2005	Avoine puis Tournesol	E puis A

Tableau 8 : Rotation de culture et alternance Elevage (E) - Agriculture (A) sur la parcelle 9B entre 1997 et 2005.

1993-97	Pâture artificielle (Légum. + Gram.)	E
1997	Maïs	A
1998	Blé	A
1999	Avoine	E
2000	Blé	A
2001	Avoine puis Tournesol	E puis A
2002	Blé	A
2003	Avoine	E
2004	Avoine puis Tournesol	E puis A
2005	Blé	A

Tableau 9 : Rotation de culture et alternance Elevage (E) - Agriculture (A) sur la parcelle 23 entre 1993 et 2005.

I.2.1. Agriculture

Type de production :

D'importantes quantités de céréales sont produites au sein de l'estancia. La majorité est vendue mais une quantité variable peut être utilisée in situ pour engraisser certaines catégories d'animaux (feed-lot) ou pour compléter les animaux lorsque la disponibilité des pâtures est trop faible. L'estancia produit ainsi du blé et de l'avoine l'hiver (juillet - septembre), du tournesol et du maïs l'été (décembre - février). Les céréales sont distribuées et vendues brutes ou transformées (grains, expeler,...). La vente de céréales

permet de compléter des revenus en baisse, en particulier depuis la diminution des exportations de viande vers l'Europe (avec la baisse de consommation consécutive à la crise de confiance liée à la « vache folle ») et depuis la crise économique qui a touché l'Argentine en 2001.

Une partie du maïs et de l'avoine produite est utilisée pour l'alimentation des bovins de l'estancia.

Assolement :

Environ 56 % des terres arables sont utilisées en permanence pour l'agriculture, ce qui représente donc en superficie moins d'un quart de l'exploitation. Plus de la moitié de cette superficie agricole est consacrée à la culture de blé et l'autre moitié est partagée entre la culture de tournesol (prédominante) et la culture de maïs.

Rendement :

L'estancia produit plus ou moins 3000 tonnes de blé par an, en fonction de la surface semée, avec un rendement assez constant de l'ordre de 3 t/ha. En ce qui concerne le tournesol et le maïs, les rendements sont beaucoup plus variables d'une année sur l'autre. En 2002, environ 900 t de tournesol ont été produits avec un rendement de 2.8 t/ha alors qu'en 2003, la production était aussi d'environ 900 t mais le rendement n'a été que de 1.6 t/ha. De même pour le maïs, la production a été de 770 t en 2002 et de 690 t en 2003, avec des rendements très différents de 5.3 t/ha en 2002 et de 3.8 t/ha en 2003.

I.2.2. Elevage

I.2.2.1. Animaux exploités

La race élevée dans l'estancia est l'Aberdeen Angus. Cette race a été importé d'Angleterre en 1880 et représente aujourd'hui 65 % des bovins de la région pampéenne [Carillo et Schiermann, 1992].

L'Angus est un animal de taille intermédiaire, de forme relativement équilibrée et homogène, c'est-à-dire sans ligne de rupture importantes entre les muscles. Le volume musculaire est bien développé sans être excessif (pour ne pas affecter la fertilité des femelles). La profondeur corporelle est importante permettant une meilleure capacité ruminale et l'arc costal est large. Les pâtes sont de taille moyenne, de bonne structure osseuse, bien séparées et de bon aplomb, ce qui permet une agilité dans les déplacements, essentielle en système extensif, et indique une bonne aptitude bouchère. La peau est fine, élastique et couverte d'un pelage doux et court, de couleur noir ou fauve (rouge). Les animaux sont de tempérament plutôt curieux, non agressif et actif. Une des particularité de cette race est aussi l'absence de cornes (caractère dominant) [Briggs, 1958].



Photo 2 : Vaches de race Aberdeen Angus (31-32 mois)

L'importance de cette race dans les pays où est pratiqué l'élevage extensif (Australie, Argentine, Brésil, Canada, Etats-Unis, Paraguay...) s'explique par ses qualités d'élevage (fertilité, bonnes aptitudes maternelles, précocité sexuelle, facilité de mise bas, capacité de croissance, excellent rendement d'engraissement, longévité) mais aussi par la qualité de la viande produite et par sa grande rusticité (bonne adaptation aux variations de climat et de qualité fourragère) [Briggs, 1958].

Le cheptel de l'estancia a été créé à partir d'un lot de vaches Angus rouge, inséminées artificiellement par un taureau Angus noir Nord-Américain. Depuis quelques années l'importation de semence depuis les Etats-Unis n'est plus possible, pour des raisons

financières, mais la réalisation pendant de nombreuses années d'inséminations à partir de sperme de haute qualité et la sélection des animaux, a permis d'obtenir de bons reproducteurs au sein de l'estancia. Des vaches et des boeufs de l'estancia sont présentés sur les Photos 2 et 3.



Photo 3 : Bœufs de race Aberdeen Angus (18-19 mois)

I.2.2.2. Cheptel et production

Production :

L'estancia a une activité à la fois naisseur et engraisseur. Elle vend principalement des bovins mâles (castrés) de 350-400 kg (autour de 16-18 mois) mais aussi des bovins plus lourds (450-500 kg) qui ont été engraisés plus longtemps (jusqu'à 10 mois). De plus, un certain nombre de veaux (mâles et femelles) sont vendus juste après le sevrage (vers 8-10 mois et environ 150 kg) ou quelques mois plus tard (12-14 mois et 200kg). Certains mâles sont gardés entiers et sont utilisés comme reproducteur sur l'estancia ou vendus vers d'autres fermes. En ce qui concerne les femelles, elles sont soit conservées pour le renouvellement soit vendues autour de 15 mois comme reproductrices ou autour de 18 mois à l'abattoir. Le taux de renouvellement étant élevé, une part importante des vaches adultes partent aussi vers l'abattoir tout au long de l'année. Les animaux partent vers l'abattoir de Santa Rosa ou sur les marchés de Buenos Aires.

Effectif :

Sur les 1649 femelles nées en 2001 et présentes en juin 2002, 842 (51%) ont été gardées pour le remplacement et 807 (49%) ont été vendues (dont 125 qui ont été préalablement mises à la reproduction mais sans succès) dont 130 (16%) vers un an et 190 kg et 677 (84%) vers 20 mois et 300 kg. En mars 2004, 704 de ces femelles étaient encore présentes et ont été mises à la reproduction.

Sur 1879 vaches présentes en juin 2002, 1264 (67%) avaient plus de deux ans et 615 (33%) environ 21 mois. Respectivement, 469 (37%) et 93 (15%) d'entre elles ont été vendues vers la fin de l'année, de sorte que seules 1317 (795 adultes et 522 génisses de 2,5 ans) ont été mises à la reproduction (70%). Parmi celles-ci, 351 ont été vendues car elles sont restées vides et 191 ont été vendues pleines (vers le mois de mai), de sorte qu'en juin 2003, il restait 775 vaches adultes sur l'exploitation.

		Juin 2002	Juin 2003
Veaux 8-10 mois	Femelles	1649	884
	Mâles castrés	804	685
	Mâles entiers	116	55
	Total veaux	2569	1624
Mâles castrés 20-22 mois		324	478
Génisses 20-22 mois		615	842
Vaches adultes		1264	775
Taureaux	De vente	93	74
	Repro estancia	76	66
	Total taureaux	169	140
Total effectif		4941	3859

Tableau 10 : Effectifs selon les catégories d'animaux en juin 2002 et en juin 2003

Sur les 884 génisses présentes en juin 2003, 463 (52%) ont été mises à la reproduction en décembre et seulement 348 (39%) ont été conservés au final car elles étaient gravides.

Sur les 920 mâles présents en juin 2002, 804 (87%) étaient castrés et 116 (13%) entiers. Cent quinze (14%) mâles castrés ont été vendus vers 1 an et 200 kg, 219 (27%) vers 18 mois et 400 kg, de sorte qu'il restait 478 (59%) mâles de 20-22 mois en juin 2003. Quarante et un (35%) mâles entiers ont été conservés en remplacement pour l'estancia et 75 (65%) ont été vendus vers un an.

I.2.2.3. Cycle et Reproduction

La saillie (monte naturelle) a lieu en été (de novembre à janvier). Le taureau est introduit dans la parcelle et laissé avec le lot de génisses ou de vaches à saillir pendant environ 1 mois.

Les mises bas ont donc lieu au printemps (de août à octobre). Les vaches vêlent seules (sans assistance). Les veaux sont rassemblés et comptés entre les mois de novembre et décembre. A cette occasion, la plupart des mâles sont castrés (plus ou moins 10 % restent entiers), ils ont alors environ 2 mois.

Le sevrage s'effectue à l'automne, entre les mois d'avril et de mai (à 7-8 mois). C'est à ce moment-là que les premiers lots sont réalisés, pour séparer les mâles entiers, les mâles castrés et les femelles.

Les femelles sont ensuite mises à la reproduction dès 15 mois, si elles ont atteint un poids minimum de 300 kg. Si ce n'est pas le cas, elles sont généralement vendues.

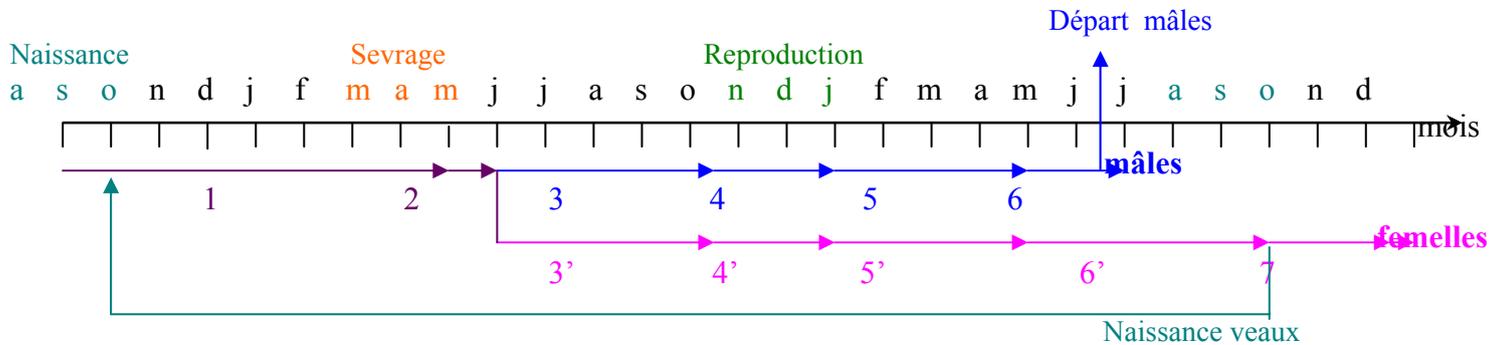
Un diagnostic de gestation, par fouille rectale, est réalisé sur toutes les vaches mises à la reproduction, entre les mois de mars et de mai. Pour les multipares, c'est à cette occasion qu'est réalisé le sevrage des veaux. Les femelles gravides et non gravides sont séparées et les vaches vides sont, la plupart du temps, vendues.

I.2.2.4. Alimentation

Les animaux sont nourris à partir de pâtures naturelles et cultivées (de Légumineuses et de Graminées fourragères ou de céréales en vert). La nature de la parcelle sur laquelle est placée chaque catégorie d'animaux dépend du stade physiologique et de la destination (vente ou reproduction) de chaque lot. Comme le montre le graphique 7, les prairies naturelles sont destinées aux vaches adultes et à leurs veaux non sevrés, les prairies temporaires (culture de Légumineuses et de Graminées) aux génisses et les pâtures de céréales sur pied (pâtures d'avoine ou de sorgho) aux génisses justes sevrées et aux mâles.

Le temps de séjour d'un lot sur une parcelle dépend de la taille du lot, de la taille de la parcelle, de la disponibilité initiale en herbe de celle-ci et des conditions climatiques. En

fonction de ces paramètres, chaque lot tournera plus ou moins vite sur les parcelles qui lui sont destinées.



- 1 : Prairie naturelle avec leur mère
- 2 : Stabilisation en prairie temporaire
- 3 et 4 : pâtures d'avoine (hivernage)
- 5 : pâture de sorgho
- 6 : pâtures d'avoine ou feed-lot
- 3' : pâtures d'avoine (hivernage)
- 4' : prairies temporaires
- 5' : prairies temporaires ou restes de parcelles cultivées (tournesol)
- 6' : prairies temporaires
- 7 : prairies naturelles

Graphique 7 : Type de pâture en fonction de l'âge des animaux, de leur sexe et de leur stade physiologique

L'hiver, les animaux sont pour la plupart complétés avec des fourrages et des céréales en grain.

Les veaux de 20 mois reçoivent, de mai à septembre, des rouleaux de fourrages (4 kg/animal/jour) issus des prairies temporaires au stade préfloraison, non consommées au printemps, ainsi que du maïs en grains (1,5 kg/animal/jour).

Les veaux reçoivent du maïs grain en complément, à hauteur de 0,75 kg/animal/jour.

I.2.2.5. Gestion du troupeau

Les allotements, les rotations et les diverses manipulations des animaux sont planifiées par deux majordomes et mises en œuvre par quatre gauchos. Ces derniers doivent apporter toutes les informations nécessaires (état des parcelles, des animaux,...) pour d'éventuels réaménagements (de lot, de rotation...) et sont donc des maillons fondamentaux entre les régisseurs et le troupeau. Leurs capacités d'observation, d'évaluation et leurs savoir-faire tiennent à une importante expérience et à un savoir généralement transmis de père en fils.

Le suivi et les déplacements des animaux vers une autre parcelle ou vers les structures de contention sont essentiellement réalisés à cheval (Photo 4). Les animaux y sont habitués et sont donc en revanche particulièrement farouches à une approche à pied



Photo 4 : Déplacement d'un groupe d'animaux, guidé par les gauchos à cheval

Toutes les manipulations (écorchage, vaccinations, allotement, diagnostic de gestation...) sont réalisées dans des structures spécialisées (« manga »), comme celle présentée sur la photo 5. Les animaux sont guidés jusqu'à un enclos au bout duquel se trouve un couloir qui donne lui-même sur deux autres enclos plus petits. L'estancia compte trois structures de ce type placées stratégiquement (carte : Annexe 20). Le couloir est équipé d'un cornadis et d'une petite porte qui permet de se placer derrière l'animal, notamment pour réaliser les fouilles rectales. Lorsque l'animal est coincé, il se trouve sur une bascule et peut aussi être pesé. Une barre

placée au bout du couloir permet d'orienter les animaux vers l'un ou l'autre des deux petits enclos et ainsi de réaliser les lots. Bien que la pesée permette d'objectiver la croissance des animaux et leur état corporel, les lots sont généralement réalisés «à l'œil».



Photo 5 : Vue d'une « manga » (structure de contention et de manipulation)

I.3. Résultats

En ce qui concerne le taux de gestation des animaux de l'estancia, il est relativement élevé, comparable à celui des fermes expérimentales de la région (cf. tableau 5) mais tout de même inférieur à ceux d'élevages extensifs français (cf. tableau 3) où les animaux sont beaucoup plus suivis. De plus, on peut noter que le taux est assez variable d'une année sur l'autre (surtout pour les nullipares et les primipares) et très dépendant des conditions climatiques. Par exemple, les taux faibles de 2003 s'expliquent par la forte sécheresse qui a touché la région cette année-là. Le taux élevé de 2002, pour les primipares, s'explique par le fait que très peu de femelles (57) avaient été mises à la reproduction. Celui de 2004 par le fait que les veaux des primipares avaient été sevrés précocement et que ces femelles avaient donc pu récupérer un bon statut pour la reproduction.

		2002	2003	2004
Taux de gestation (%)	Nullipares	84,6	74,4	75,2
	Primipares	94,7	71,5	94,3
	Multipares	87,8	93,3	89,3
	Moyenne	82,7	80,3	87,5

Tableau 11 : Taux de gestation des vaches de l'estancia en fonction de leur âge, de 2002 à 2004

La production de l'estancia est assez variable d'une année sur l'autre, en fonction de la stratégie choisie. Le tableau 12 montre que l'estancia a choisi de privilégier l'engraissement en 2003 et la vente de veaux en 2002. Le chargement (en tête/ha) est donc plus faible en 2003 mais avec des animaux plus lourds, ce qui donne un chargement au poids (en kg/ha) plus ou moins similaire pour 2002 et 2003. En revanche, la production est plus élevée en 2003 aussi bien en kg de viande qu'en revenu. La différence de superficie d'exploitation entre 2002 et 2003 s'explique par la part plus importante consacrée à l'agriculture en 2003.

	Superficie d'exploitation (ha)	Chargement		Production				
		en nombre de tête/ha	en kg/ha	Totale (kg)	en kg viande/ha	en \$/ha	Poids moyen/tête (kg/tête)	GMQ (kg/tête/j)
2002	6520	1,5	300	765173	117	75	78	0,21
2003	5168	0,85	288	732380	142	104	167	0,46

Tableau 12 : Chargement et production de l'estancia en 2002 et 2003

Cette production se situe de manière intermédiaire par rapport à celle des fermes commerciales et expérimentales de la région (cf. tableau 5) : elle est donc relativement bonne.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Populations étudiées et contexte alimentaire

II.1.1. Veaux mâles de 9 mois sur pâture d'avoine

Les veaux sont nés autour du mois de septembre 2003 (de août à octobre) et ont été sevrés environ 15 jours-3 semaines avant l'étude (début avril) puis séparés en lots les plus homogènes possibles en fonction de leur format et de leur état d'engraissement. Ils ont été engraisés d'abord sur des pâtures d'hiver composées d'avoine (jusqu'à septembre 2004), puis sur des pâtures d'été composées d'un mélange de Légumineuses et de Graminées (jusqu'en mars-avril) avant d'être vendus vers 18 mois.

Au moment de l'étude, les veaux avaient environ 9 mois et se trouvaient sur la pâture 9B (108,3 ha), composée d'avoine et de quelques plantes adventices. Cette parcelle a permis de nourrir les animaux pendant 44 jours (du 10/04/04 au 24/05/04). Le groupe étudié comportait 285 animaux dont 27, les plus représentatifs du groupe, ont été choisis et identifiés avec des bagues auriculaires.

II.1.2. Génisses de 18 mois sur pâture composée

Les génisses sont nées autour de septembre 2002, ont été sevrées vers avril 2003, puis élevées sur des prairies temporaires de Graminées et de Légumineuses jusqu'à leur première mise à la reproduction en décembre 2003 (la monte naturelle s'étalant de novembre à janvier).

A la mi-avril, les génisses gravides ont été séparées des non gravides après un diagnostic de gestation, puis les gravides ont été réintroduites par lot sur des pâtures de Légumineuses et de Graminées.

L'étude a été réalisée sur 20 femelles, appartenant à un groupe de 152 animaux gravides (3-5 mois de gestation), pâturant la parcelle 4A (80 ha) pendant 30 jours (du 25/04/04 au 25/05/04). Ces femelles ont été identifiées par une bague auriculaire.

II.2. Méthode de détermination des besoins énergétiques des animaux

II.2.1. Besoin d'entretien strict : détermination du poids

Pour déterminer le besoin d'entretien strict, on a utilisé les relations présentées dans la deuxième partie, ce qui implique de connaître le poids vif des animaux. Pour ce faire, les veaux et les génisses ont été manipulés lors de l'allotement suivant le sevrage (le 28/04/2004) et lors de l'allotement suivant le diagnostic de gestation (le 30/04/2004). Chaque animal marqué a été passé dans un couloir menant à une balance individuelle de type bascule, donnant la masse au gramme près des animaux.

A partir de ces poids (P_1 pour les veaux et P_1' pour les génisses), l'énergie nette nécessaire au maintien du métabolisme de base (en Mcal/jour) de chaque animal a été calculée.

Le besoin énergétique ainsi obtenu représente le besoin au moment de la pesée. Pour obtenir les besoins moyens E_e et E_e' sur une période plus longue, on utilise les poids moyens (P_m et P_m') sur cette période.

II.2.2. Besoin lié à la thermorégulation : détermination des paramètres climatiques et des températures critiques des animaux

La méthode employée pour déterminer les besoins supplémentaires liés à la thermorégulation est celle qui a été présentée dans la deuxième partie et en annexe 17. Dans la situation présente, on a considéré que les animaux ont une couverture d'automne, ce qui a permis d'estimer leur température de confort. Pour les veaux, on a utilisé une température de confort supérieure à celle fournie pour les bovins adultes les plus légers (7°C avec une couverture d'automne), d'après les données bibliographiques, soit une température de 10°C avec une couverture d'automne [Jarrige *et al.*, 1978]. Ensuite, les températures extérieures et la vitesse du vent, sur la période d'étude, ont permis de définir la température ressentie par les

animaux quotidiennement durant cette période. N'ayant pas pu mesurer la vitesse du vent quotidiennement, les valeurs utilisées pour les calculs sont celles de la bibliographie (valeurs moyennes en avril et mai : Graphique 2 et Carte 7). En revanche, les températures extérieures maximales et minimales utilisées ont été relevées quotidiennement à l'estancia. Pour le calcul, on a considéré que la température était maximale de 12h à 16h, minimale de 20h (tombée du jour) à 8h (1h après le lever du soleil) et moyenne (de la maximale et de la minimale) de 8h à 12h et de 16h à 20h. Les écarts entre les températures ressenties et la température de confort ont donc été pondérés (4 pour l'écart avec la température maximale, 12 pour l'écart avec la température minimale et 8 pour l'écart avec la température moyenne). Cet écart a ensuite été multiplié par un facteur afin d'obtenir le pourcentage d'augmentation du besoin d'entretien lié à la thermorégulation.

Le facteur qui a été utilisé pour calculer le pourcentage d'augmentation du besoin énergétique de base des veaux est une extrapolation de celui des adultes. En effet, les veaux supportant moins bien les écarts de température, leur facteur est supérieur. On a donc choisi un facteur 2 (contre 1,4 pour les adultes).

Le pourcentage d'augmentation du besoin énergétique basal a été calculé quotidiennement et la moyenne de ces pourcentages a été utilisée pour le calcul du besoin moyen lié à la thermorégulation (Et pour les veaux et Et' pour les génisses, en Mcal/j) de chaque veau à l'intérieur de chaque groupe, sur leur période d'étude respective.

II.2.3. Besoin lié au déplacement : détermination des déplacements quotidiens

Des observations prolongées des animaux ont permis d'estimer leur activité quotidienne. Ces observations ont surtout été réalisées lors de l'introduction de chaque groupe d'animaux (veaux de 9 mois et génisses de 18 mois) sur de petites parcelles réalisées à but expérimental (cf. ci-dessous : détermination de la consommation quotidienne des animaux). De plus, deux animaux de chaque groupe ont été marqués d'une grosse croix sur le dos, à la bombe de couleur, pour faciliter le suivi. Le but de l'observation était d'évaluer l'activité des animaux, c'est à dire le temps consacré au repos, aux déplacements et à la rumination. De plus, durant les phases de déplacements (associées ou non à la consommation de nourriture),

on a estimé la distance parcourue en une heure. Pour ce faire, le nombre de pas effectué en une heure ainsi que la taille d'un pas, ont été mesurés.

Les animaux ont été observés tout au long de la journée, c'est à dire du lever au coucher du soleil, soit de 8h à 18h environ, ce qui correspond à leur phase d'activité.

A partir de ces observations la distance parcourue quotidiennement par un animal a été calculée avec :

$$\text{Distance Parcourue (km/j)} = \text{nombre de pas/heure} \times \text{longueur d'un pas (km)} \times \text{temps de déplacement (heures /j)}.$$

A partir de cette distance et des équations présentées dans la première partie, les énergies nettes E_d et E_d' (en Mcal/j) nécessaires aux déplacements des veaux et des génisses, respectivement, ont été calculées.

II.2.4. Besoin lié à la production : détermination du gain moyen quotidien

Les deux catégories d'animaux étudiées, les veaux de 9 mois et les génisses de 18 mois, étaient encore en croissance. Le calcul du besoin énergétique net lié à cette croissance (E_c pour les veaux et E_c' pour les génisses, en Mcal/jour) nécessitait de connaître le gain moyen quotidien, comme le montre les équations présentées dans la deuxième partie.

Les veaux de 9 mois ont été repesés le 19/05/2004 (P_2), date à laquelle ils étaient toujours sur la pâture d'avoine 9B. Une autre pesée a été réalisée le 14/07/2004 (P_3), alors que les veaux se trouvaient sur une autre parcelle depuis le 24/06. Ces trois pesées, à respectivement 21 jours et 56 jours d'intervalle, ont permis d'établir deux valeurs de Gain Moyen Quotidien (GMQ_1 et GMQ_2 en kg/j) par animal. On les obtient par les équations :

$$GMQ_1 = (P_2 - P_1)/21$$

$$GMQ_2 = (P_3 - P_2)/56$$

Pour étudier l'évolution du poids des veaux sur la parcelle 9B, on a estimé le poids moyen sur 44 j (du 10/04 au 24/05) avec :

$$P_m 44 = [(P_1 - 18 GMQ_1) + (P_2 + 5 GMQ_2)] / 2$$

Pour les génisses de 18 mois, deux autres pesées ont été réalisées le 21/05/2004 et le 06/07/2004. Trois poids (P_1' , P_2' , P_3') ont permis d'établir les GMQ (en kg/j), avec :

$$GMQ_1' = (P_2' - P_1')/21$$

$$GMQ_2' = (P_3' - P_2')/46$$

Cependant, les génisses ne sont restées sur la prairie temporaire que jusqu'au 25/05/2004. Elles ont ensuite été mises à brouter sur les restes d'un champ de culture de tournesol. Le jour de la troisième pesée, elles étaient à nouveau sur la pâture 4A à laquelle avait été ajoutée la pâture 4B de même composition. Pour avoir l'évolution des poids des animaux sur la pâture 4A, on a donc pris le poids moyen sur 30 jours (du 25/04 au 25/05) à partir de P_1' , de GMQ_1' , de P_2' et de GMQ_2' avec:

$$Pm\ 30' = [(P_1' - 5\ GMQ_1') + (P_2' + 4\ GMQ_2')] / 2$$

En plus du besoin lié à la croissance, les génisses ont un besoin de production lié à la gestation E_c' . La détermination de ce besoin nécessitait de connaître le poids approximatif des veaux à la naissance et le terme de la gestation au moment du calcul. Les équations présentées en deuxième partie et en annexe 16 ont permis de calculer E_c' .

II.2.5. Besoin total

Le besoin total en énergie nette (E pour les veaux et E' pour les génisses) a été obtenu en sommant les différentes composantes calculées ci-dessus. Ce besoin a été converti en UF et éventuellement en EV, à partir des équations correspondantes.

II.3. Méthode de détermination des apports énergétiques

II.3.1. Détermination de la nature des apports

Les plantes majoritairement en présence sur les parcelles étudiées (9B et 4A) étaient connues puisque ces prairies ont été semées. Des informations concernant la période et le mode d'ensemencement ainsi que la fertilisation de ces cultures ont été relevées.

Les plantes adventices présentes sur les parcelles étudiées ont été prélevées et une première diagnose a été réalisée à partir de données bibliographiques [Cabrera *et al.*, 1993]. Ces plantes ont ensuite été séchées pour être ramenées en France, où une diagnose avec la méthode dite de micrographie [Rech, 1976] a été réalisée. Cette analyse a été réalisée dans le laboratoire d'alimentation de l'ENVT, avec l'aide de J. Rech.

II.3.2. Détermination de la qualité des apports

Des échantillons d'environ 100 grammes de matière brute d'herbe ont été prélevés sur les parcelles 4A et 9B. Les plantes ont été coupées à environ 5 cm du sol puis introduites dans des sacs plastiques à fermeture hermétique, identifiés avec le numéro de la pâture.

Ces échantillons ont ensuite été séchés, et ceci dans le quart d'heure qui a suivi le prélèvement. Le four disponible dans l'estancia étant relativement inadapté à l'expérience (thermostat très approximatif, fuites et variations de chaleur...), la méthode avec un four à micro-ondes a été choisie [Farmer et Brusewitz, 1980 ; Griggs, 2005]. Les échantillons ont été introduit un par un dans le four à micro-ondes réglé à 1500 Watts (75 % de sa puissance maximale), avec un petit verre d'eau permettant d'éviter le séchage trop rapide et la carbonisation. Au bout de 3-4 min, les échantillons ont été découpés en petits morceaux, pesés puis réintroduits pendant 1-2 min à 1000 Watts. Ensuite, ils ont été repesés et réintroduits par tranches de 30 secondes, à la même puissance. Lorsque le poids obtenu après trois pesées était le même, les échantillons étaient secs. La teneur en matière sèche de l'herbe présente sur les parcelles 4A et 9B, a ainsi pu être calculée.

Les échantillons séchés ont ensuite été réintroduits dans des sacs plastiques, fermés hermétiquement et ramenés en France pour être analysés dans le laboratoire d'alimentation de l'ENVT.

La première analyse a consisté à mesurer la teneur en eau résiduelle des échantillons. La méthode qui a été utilisée est celle présentée dans la deuxième partie. Elle a été réalisée sur des prises d'essai de 5 g des échantillons préalablement séchés.

Puis, la teneur en matière azotée totale (MAT) a été déterminée avec la méthode de Kjeldahl. Les appareils disponibles à l'ENVT pour cette analyse sont le Büchi 425 Digestor (Büchi Laboratoriums Technik AG, Flawil, Switzerland) pour la minéralisation, le Büchi Distillation Unit (Büchi Laboratoriums Technik AG, Flawil, Switzerland) pour la distillation et le Multi-Dosimat E315 (Metrohm AG, Herisau, Suisse) pour le dosage. L'analyse a été réalisée sur des prises d'essai d'environ 1g.

La teneur en cellulose brute a ensuite été déterminée par la méthode de Weende. L'analyse a été réalisée sur des prises d'essai d'environ 1 g à l'aide de l'appareil Fibertec (Foss Analytical, Hilleroed, Dannemark).

Enfin, la teneur en matières minérales a été déterminée, selon la méthode présentée dans la deuxième partie, avec une prise d'essai d'environ 1 g.

A partir de ces données et des équations présentées dans la deuxième partie et en Annexe 3, il a été possible de déterminer la valeur énergétique des fourrages étudiés. Pour le calcul de l'énergie brute, on a utilisé un coefficient de fourrages (Δ) de -11 pour l'avoine, de +82 pour les Légumineuses et de -71 pour les Graminées. Pour le calcul de l'énergie digestible, on a utilisé une valeur de digestibilité de la matière organique égale à 0,80 pour l'avoine (moyenne entre montaison et épiaison). Pour les Légumineuses, on a utilisé l'équation de détermination de la dMO pour une luzerne de 2^{ème} cycle. Pour les Graminées, on a utilisé la moyenne des valeurs obtenues pour le brome et le Dactyle (2^{ème} cycle), à partir des équations de détermination de la digestibilité et des données bibliographiques. Pour le calcul de l'énergie métabolisable, on a calculé le niveau d'alimentation des animaux à partir des quantités consommées déterminées par la méthode expérimentale présentée un peu plus loin. A partir de la valeur en énergie nette (en Kcal/kg MS) des aliments, déterminée à l'aide des coefficients d'utilisation de l'énergie métabolisable, on a calculé leur valeur énergétique en Unité Fourragère et en « Equivalente Vaca ». Pour la prairie temporaire, les énergies brute, digestible, métabolisable et nette ainsi que les UF et les EV ont été déterminées en utilisant les

valeurs obtenues pour les Légumineuses et les Graminées, pondérées de leur pourcentage respectif dans la parcelle.

II.3.3. Détermination des quantités disponibles et relation avec le contexte climatique

La disponibilité a été déterminée par la méthode classique, présentée dans la deuxième partie. Cependant seul un carré en métal de 50 cm sur 50 cm était disponible dans l'estancia. Dans chaque parcelle étudiée, huit lancés ont été réalisés pour prélever huit échantillons. Les végétaux présents dans le carré ont été coupés à 5 cm du sol, prélevés, introduits dans des sacs plastiques et rapidement pesés. Les disponibilités ont ensuite été déterminées d'après les équations suivantes :

$$D = Pd \times 40$$

Avec D, disponibilité de la pâture 9B (en kg MB/ha) et Pd la masse moyenne des échantillons prélevés (en g).

$$D' = Pd' \times 40$$

Avec D', disponibilité de la pâture 4A (en kg MB/ha) et Pd' la masse moyenne des échantillons prélevés (en g).

La disponibilité a été mesurée sur des parcelles mitoyennes de celles où les animaux pâturaient (évolution spontanée similaire), le 27/04 pour la pâture d'avoine et le 29/04 pour la prairie temporaire.

La couverture végétale a été évaluée à partir d'une zone de 1 m², délimitée à l'aide de petites baguettes et de fil de couleur afin de pouvoir retrouver facilement la zone d'un jour à l'autre pour suivre son évolution (cf. Photos 6 et 7). Cette zone a été délimitée en lignes de 10 cm au sein desquelles des individus ont été marqués.



Photo 6 : Zone délimitée dans la parcelle 9B pour l'évaluation de la couverture végétale



Photo 7 : Zone délimitée dans la parcelle 4A pour l'évaluation de la couverture végétale

Le nombre d'individus de chaque espèce végétale présente dans cette surface ainsi que le nombre de talles ou de pieds par individu ont été dénombrés. Ensuite, pour un certain nombre d'individus (trois à quatre), le nombre de feuilles par talle ou par pied, ainsi que la surface de ces feuilles, ont été mesurés.

La couverture végétale (CV) a été ensuite obtenue par la formule suivante :

$$CV = S_{f/t} \times N_{t/p} \times N_{p/m^2}$$

Avec CV , la Couverture Végétale (en m^2/m^2) ; $S_{f/t}$, la surface foliaire moyenne par talle (m^2) ; $N_{t/p}$, le nombre moyen de talle ou de pieds par plante ; N_{p/m^2} , le nombre de plantes par m^2 .

La longueur de la feuille et sa largeur maximale ont été mesurées avec un mètre rigide. A partir de ces mesures et en tenant compte de la forme des feuilles, leur surface (S_f) a été calculée.



Schéma 1 : Représentation des mesures utilisées pour déterminer la surface foliaire des Légumineuses (luzerne)

En effet, les folioles de **Légumineuses** (Luzerne) qui sont de forme arrondie à ovale (un peu plus longues que larges), sont représentées par deux cercles : le premier de diamètre égal à la largeur de la feuille et le deuxième de diamètre égal à la longueur (Schéma 1). La surface de la feuille sera approximativement égale à la moyenne des surfaces des deux cercles :

$$S_f (\text{cm}^2) = (\pi R_1^2 + \pi R_2^2) / 2 = \pi/8 (l^2 + L^2)$$

$R_1 = L/2$, où L est la longueur de la feuille,

$R_2 = l/2$, où l est la largeur de la feuille (cm)

Les feuilles de **Graminées** sont de forme allongée et de largeur à peu près égale sur toute leur longueur, pour les espèces de petite taille (Dactyle, Brome, Ray Grass). Les feuilles de ces espèces ont donc été schématisées par un rectangle de largeur égale à la largeur maximale de la feuille et de longueur égale à la longueur de la feuille (de la base de la feuille jusqu'au point où la largeur est inférieure à la moitié de la largeur maximale) (Schéma 2).

La surface de la feuille est égale à :

$$S_f (\text{cm}^2) = L \times l$$

avec **L**, la longueur de la feuille (cm) ; **l**, la largeur de la feuille (cm).

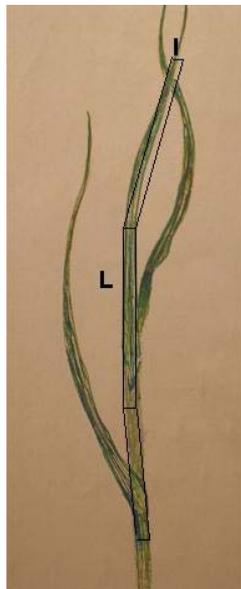


Schéma 2 : Représentation des mesures utilisées pour déterminer la surface foliaire des petites Graminées (Dactyle, Brome, Ray-grass)

Pour les grandes espèces de **Graminées** (Avoine), dont les feuilles ont une largeur plus importante à la base et jusqu'au milieu de la longueur de la feuille, la feuille a été divisée en deux parties. La première partie, basale, est équivalente à un rectangle de longueur égale à la moitié de la longueur de la feuille (**L** en cm) et de largeur égale à la largeur de la feuille (**l** en cm). La deuxième partie, apicale, a été assimilée à un triangle isocèle de hauteur égale à la moitié de la longueur de la feuille et de base égale à la largeur de la feuille (cf. Schéma 3). La surface de la feuille est donc proche de :

$$S_f (\text{cm}^2) = (l \times L/2) + (l \times L/2)/2 = L \times l \times 3/4$$

avec **L**, la longueur de la feuille (en cm) ; **l**, la largeur de la feuille (en cm)

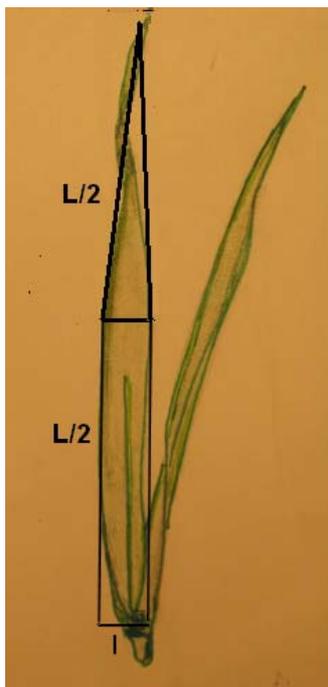


Schéma 3 : Représentation des mesures utilisées pour déterminer la surface foliaire des grandes Graminées (Avoine,...)

Les quantités réellement disponibles sur le cycle de pâture ont été calculées à partir des méthodes présentées en deuxième partie et en Annexes 9 et 10.

L'évolution de la couverture végétale a été déterminée sur une semaine pour la pâture d'avoine (J0 : 25/04 à J6 : 01/05) et sur 6 jours pour les Graminées et les Légumineuses de la prairie temporaire (J0 : 25/04 à J5 : 30/04). Pour ce faire, la couverture végétale a été calculée, comme ci-dessus, à ces différentes dates.

De plus, on a utilisé le rapport entre la disponibilité et la couverture végétale (calculé le 27/04 pour la pâture d'avoine et le 29/04 pour la prairie temporaire) pour déterminer l'augmentation de disponibilité à partir de l'augmentation de la couverture végétale (en considérant que ce rapport restait constant au cours du temps).

La relation entre le contexte climatique et les quantités disponibles a été réalisée en calculant le facteur macroclimatique, selon la méthode présentée en deuxième partie et en

Annexe 19. Le facteur thermique Ft a été calculé quotidiennement à partir des températures moyennes relevées sur l'exploitation. Le facteur solaire Fh a été calculé à partir de la durée astronomique du jour (H) et de la radiation globale d'origine solaire (Ig), cette dernière n'ayant pas été calculée mais fournie par la bibliographie (cf. tableau 6 [SEE, 2000]). La latitude utilisée pour ces calculs est celle de Coronel Pringles soit 38°S. L'évapotranspiration potentielle Etp a été calculé quotidiennement à partir des températures relevées sur l'estancia et de l'Ig relevé dans la bibliographie. Pour Ft et Etp, on a utilisé les moyennes des valeurs du mois d'avril et du mois de mai.

II.3.4. Détermination des quantités consommées

Les quantités consommées d'herbe ont tout d'abord été estimées de manière théorique à partir de valeurs empiriques utilisées par les éleveurs de l'estancia pour planifier les rotations de parcelles (consommation quotidienne égale à 3 % du poids vif de l'animal) et à partir des équations présentées dans la deuxième partie et en Annexe 18.

En parallèle, une méthode expérimentale, consistant à mesurer la disponibilité des parcelles avant et après le pâturage des animaux, a été mise en œuvre pour estimer plus précisément les quantités ingérées. Pour ce faire, des groupes d'animaux (284 veaux d'une part et 152 génisses d'autre part) ont été introduits pendant une journée sur des parcelles spécialement délimitées pour l'expérience, c'est à dire pour une journée de pâturage. En effet, si les animaux avaient été introduit sur une grande parcelle qui sert habituellement à nourrir les animaux pendant au moins une semaine, la consommation aurait été plus hétérogène et plus difficile à estimer. C'est pourquoi, on a choisi de délimiter des parcelles dont la surface (Sp en ha) a été calculée en considérant que les animaux allaient consommer 3 % de leur poids vif au cours de la journée. Il a donc fallu déterminer le poids vif total (PVt en kg) des animaux, dans un premier temps. Puis, la consommation totale (Qs en kg MS/j) du groupe au cours d'une journée a été calculée. Pour pouvoir délimiter les parcelles de sorte qu'il y ait assez de fourrage à pâturer pour la journée, la disponibilité des pâtures a aussi été mesurée. Cette disponibilité en matière brute (Db en kg de MB) a été convertie en disponibilité en matière sèche (Ds en kg de MS), grâce à la détermination de la teneur en matière sèche de l'herbe en présence (Ts en kg de MS/kg de MB).

La surface des parcelles à réaliser pour l'expérience était donc :

$$Sp = Qs/Ds = PVt \times 3\% / Db \times Ts$$

Les parcelles ont été réalisées à l'aide d'un triangle métrique équipé d'un manche permettant de le faire pivoter pour compter les mètres. Des piquets et des fils électriques ont été mis en place pour délimiter la zone.

Les animaux ont été introduits le matin (8h), observés toute la journée et libérés à la fin de celle-ci (20 h). A la sortie des animaux, la disponibilité a été remesurée (Dbf en kg de MB/ha). La quantité de matière sèche totale consommée au cours de cette journée (MSVI en kg de MS) a donc pu être calculée avec :

$$MSVI = [Ds - (Dbf \times Ts) - Dq] \times Sp$$

Dq, étant la disponibilité apparue au cours de la journée de pâture (en kg MS/ha). Dq a été calculée lors de l'estimation des quantités réellement disponibles sur le cycle de pâture (cf. ci-dessus II.4.3.).

La MSVI a ensuite été divisée par le nombre d'animaux en présence pour connaître la quantité de matière sèche consommée au cours de la journée, par animal.

Ces résultats ont été comparés à ceux obtenus en utilisant les équations proposées dans la bibliographie pour calculer les quantités consommées par les animaux (Annexe 18).

III. RESULTATS

III.1. Résultats concernant les besoins énergétiques des animaux

Les calculs réalisés pour déterminer le besoin énergétique total des génisses et des veaux sont présentés en Annexe 22 et 23, respectivement.

Le poids moyen des veaux sur la période d'étude était de 174 kg (compris entre 144 et 203 kg), ce qui correspond à un besoin énergétique de base moyen de 3,68 Mcal/j (compris entre 3,21 et 4,14 Mcal/j). Pour les génisses, le poids moyen sur la période d'étude

était de 357 kg (compris entre 320 et 434 kg), soit un besoin énergétique strict moyen de 6,33 Mcal/j (compris entre 5,83 et 7,32 Mcal/j).

Le gain moyen quotidien sur la période d'étude a été de 0,85 kg/j (compris entre 0,3 et 1,4 kg/j) pour les veaux, ce qui implique un besoin énergétique lié à la croissance de 2,23 Mcal/j en moyenne (compris entre 0,67 et 3,96 Mcal/j).

En ce qui concerne les génisses, le gain moyen quotidien a été de 0,8 kg/j (compris entre 0,5 et 1,6 kg/j), soit un besoin énergétique de 4,15 Mcal/j en moyenne (compris entre 2,15 et 8,66 Mcal/j). A ce besoin lié à la croissance, il faut ajouter le besoin lié à la gestation. Avec un poids de naissance des veaux de 25 kg et 130 jours de gestation écoulés (on a considéré que la gestation a débuté début décembre en moyenne), le besoin lié à la gestation était de 0,13 Mcal/j.

Les calculs réalisés pour déterminer le pourcentage d'augmentation du besoin énergétique de base lié à la thermorégulation sont présentés en Annexe 21. L'écart moyen entre la température ressentie et la température de confort des animaux a été en moyenne de 5,1 °C (compris entre 0,3 et 10,3 °C) pour les génisses et de 6,2 °C (compris entre 0,3 et 13,3 °C) pour les veaux. Ces écarts génèrent une augmentation du besoin énergétique de 7,1% pour les génisses et de 12,4% pour les veaux, soit 0,45 Mcal/j (compris entre 0,41 et 0,52 Mcal/j) pour les génisses et 0,46 Mcal/j (compris entre 0,40 et 0,51 Mcal/j) pour les veaux.

L'observation des animaux a montré que sur une journée de 10 h, les animaux passaient 4 à 5 h. à s'alimenter et le reste du temps à ruminer (2h30) ou à jouer entre eux et à se déplacer pour aller s'abreuver (2h30). Ils font ainsi deux à trois allers-retours aux abreuvoirs dans la journée. Au maximum, les animaux parcourent donc une distance égale à la distance parcourue durant la phase de broutage plus la distance parcourue pour aller aux abreuvoirs et pour en revenir, en considérant que les animaux se trouvent à ce moment là à l'autre bout de la parcelle par rapport aux abreuvoirs.

Lorsque les animaux se déplacent pour consommer de la nourriture, ils font de petits pas, de l'ordre de 8-10 cm pour les veaux et de 15 cm pour les génisses. L'observation a révélé que, au cours d'une heure de broutage, les veaux réalisaient en moyenne 235 pas (352, 218 et 115) et les génisses 438 pas (696, 264, 516, 240, 396 et 528). Ceci représente une distance de 18,8 m/h ou de 94 m/j pour les veaux et de 66 m/h ou de 330 m/j pour les génisses, en considérant que les animaux broutent 4h30 par jour. A ces distances, il convient de rajouter les distances parcourues pour aller s'abreuver en considérant qu'au maximum les animaux se trouvent au plus loin des abreuvoirs ou de sources d'eau et font trois allers-retours vers ceux-ci. En ce qui concerne la parcelle 4A sur laquelle se trouvent les génisses, la source d'eau est située dans la

partie inférieure droite de la parcelle (cf. carte en Annexe 20). Si les animaux se trouvent dans la partie supérieure gauche, ils vont parcourir 1,28 km (diagonale) pour s’y rendre et 7,68 km pour réaliser trois allers-retours. En ce qui concerne la parcelle 9B, sur laquelle se trouvent les veaux, elle est traversée par un cours d’eau. On a utilisé la même méthode que pour les génisses pour évaluer les distances parcourues pour aller s’abreuver même si le schéma est certainement très différent. Si les animaux se trouvent à une extrémité latérale de la parcelle, il vont parcourir au maximum 580 m pour se rendre au cours d’eau et 3,5 km pour réaliser trois allers-retours.

Les génisses parcourent donc au minimum 330 m/j et au maximum 8 km/j, soit une dépense énergétique comprise entre 0,22 et 5,28 Mcal/j. En ce qui concerne les veaux, ils parcourent au maximum 3,6 km/j et au minimum 94 m/j, soit une dépense énergétique comprise entre 0,07 et 2,4 Mcal/j.

Le besoin énergétique total des veaux est au maximum de 8,8 Mcal/j ou 4,7 UF/j en moyenne (compris entre 6,9 Mcal/j ou 3,7 UF/j et 10,6 Mcal/j ou 5,7 UF/j) et au minimum de 6,4 Mcal/j ou 3,5 UF/j en moyenne (compris entre 4,6 Mcal/j ou 2,5 UF/j et 8,3 Mcal/j ou 4,5 UF/j).

Le besoin énergétique total des génisses est au maximum de 16,3 Mcal/j ou 8,8 UF/j en moyenne (compris entre 14,1 Mcal/j ou 7,6 UF/j et 20,7 Mcal/j ou 11,2 UF/j) et au minimum de 11,3 Mcal/j ou 6,0 UF/j en moyenne (compris entre 9,1 Mcal/j ou 4,9 UF/j et 15,6 Mcal/j ou 8,4 UF/j).

Besoins moyens	Veaux	Génisses
Besoin strict	3,68 Mcal/j	6,3 Mcal/j
Besoin lié à la thermorégulation	0,46 Mcal/j	0,45 Mcal/j
Besoin lié aux déplacements	0,07-2,4 Mcal/j	0,22-5,28 Mcal/j
Besoin d’entretien	4,21-6,54 Mcal/j	7- 12,06 Mcal/j
Besoin lié à la croissance	2,23 Mcal/j	4,15 Mcal/j
Besoin lié à la gestation		0,13 Mcal/j
Besoin total	6,4-8,8 Mcal/j	11,3-16,3 Mcal/j
Besoin d’entretien/Besoin total	65,8-74,3 %	61,9-74 %

Tableau 13 : Récapitulatif des différents besoins énergétiques et du besoin total des veaux et génisses durant la période d’étude.

III.2. Résultats concernant les apports énergétiques

III.2.1. Nature des apports

Les génisses étaient sur une prairie temporaire semée avec des Graminées et des Légumineuses, contenant du dactyle (« pastoovillo » : *Dactylis glomerata*), du brome (« Cebadilla » : *Bromus catharticus*), du Ray Grass Anglais (*Lolium perenne*) et de la luzerne (« Alfalfa » : *Medicago sativa*).

Cette prairie présentait aussi des plantes adventices, essentiellement des chardons (*Compositae carduus*) et des plantes ligneuses (« paja » : *Penicum bergii*).

6 kg de luzerne, 6 kg de brome et 3 kg de dactyle avaient été semés en mars-avril 2003. On a donc considéré cette pâture en 2^{ème} cycle. 80 kg/ha de phosphate d'ammonium (18/46/0) ont été épandus chaque année sur la pâture.

Pour le brome, le taux d'apparition foliaire est de 103 °C jour, mais de 114 °C jour pour le dactyle [Colabelli et al.,1998]. La vie foliaire moyenne du dactyle est de 800 °C jour et celle du brome de 650 °C jour. Le nombre de feuille par pied est compris entre 4 et 7 pour le brome (5-6 en dessous de 200 °C jour, 6 entre 200 et 500 °C jour et 7 entre 500 et 900 °C jour) et entre 4 et 6 pour le dactyle (4-5 en dessous de 200 °C jour, 6 entre 200 et 900 °C jour, 5 à 1200 °C jour et 4 à 1500 °C jour) [Agnusdei et al., 1998].

Les veaux pâturaient de l'**avoine** semé en février 2004 et fertilisé avec 50 kg/ha de phosphate d'ammonium (18/46/0). L'avoine est pâturé au stade végétatif.

La pâture étudiée présentait environ 10 % de plantes adventices, avec du Ray Grass Anglais (*Lolium perenne*), du trèfle blanc (« trebol » : *Trifolium repens*), une Caryophyllacée (« capiqui » : *Stellaria media*), une polygonacée (« sanguineria » : *Polygarum brasiliense*), et une violacée (« pensamiento » : *Viola arvensis murray*).

Le taux de croissance de l'avoine Cristal INTA, utilisé à l'estancia, est de 15-20 kg MS/ha/jour lorsque l'apport en azote et en phosphate est satisfaisant [Agnusdei et Castano, 2003].

III.2.2. Qualité des apports

Les résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les échantillons prélevés dans la pâture d'avoine 9B ainsi que les pourcentages des différents constituants après calcul, sont présentés en Annexe 23.

Les échantillons ont une teneur en matière sèche totale de 19,23%. Les teneurs en MAT, CB et Mm (par rapport à la matière sèche) sont de 11,28, 17,87 et 9,79 %, respectivement.

Les calculs intermédiaires, réalisés à partir de ces résultats, qui ont permis de déterminer la valeur énergétique de l'avoine présent sur cette pâture sont aussi présentés en Annexe 23. L'énergie nette obtenue est de 1791 kcal/kg MS, ce qui représente 0,97 Unités Fourragères viande ou 0,15 Equivalente Vaca.

Les résultats des analyses de laboratoire, les pourcentages des constituants ainsi que les calculs de la valeur énergétique des Légumineuses ainsi que des Graminées prélevées sur la pâture artificielle 4A sont présentés en Annexe 23.

Les échantillons prélevés dans la prairie étaient composés de 39% de Légumineuses et de 61% de Graminées.

Pour les Légumineuses, la teneur en matière sèche était de 20,34% en moyenne. Les teneurs en MAT, CB et Mm (par rapport à la matière sèche) trouvées sont respectivement de 5,10%, 14,73% et 9,11%. L'énergie nette calculée est de 1300 kcal/kg MS, soit 0,70 Unités Fourragères viande et 0,12 Equivalente Vaca.

Pour les Graminées, la matière sèche totale a été évaluée à 21,17% et les taux de MAT, CB et Mm (par rapport à la matière sèche) à respectivement 15,71%, 22,72% et 13,34%. L'énergie nette à 1408 kcal.kg MS, soit 0,76 UFv ou 0,13 EV.

La valeur énergétique, en énergie nette, de l'herbe de la prairie temporaire (Légumineuses + Graminées) a donc été estimée à 1366 kcal/kg MS soit 0,74 UFv ou 0,12 EV.

III.3.3. Quantités disponibles

III.3.3.1. Disponibilité

Pour la pâture d'avoine 9B, Pd (en g) des 8 échantillons prélevés chacun dans $\frac{1}{4}$ de m^2 de la pâture d'avoine était respectivement de 205, 51, 162, 165, 74, 84, 148 et 159, soit une moyenne de 131 g de matière brute soit 524 g MB/ m^2 . La disponibilité était donc :

$$D = 5240 \text{ kg MB/ha} = 1007,7 \text{ kg MS/ha}$$

Pour la pâture artificielle 4A, Pd' (en g) des 8 échantillons prélevés chacun dans $\frac{1}{4}$ de m^2 de la pâture d'avoine était respectivement de 137, 104, 165, 97, 159, 154, 310 et 127, soit une moyenne de 157 g de matière brute soit 628 g MB/ m^2 . La disponibilité était donc :

D' = 6280 kg MB/ha ou 1209,2 kg MS/ha, dont 2449,2 kg MB/ha ou 498,2 kg MS/ha de Légumineuses (41,2 %) et 3830,8 kg MB/ha ou 811,0 kg MS/ha de Graminées (67,1 %), d'après les résultats des analyses présentées ci-dessus.

III.3.3.2. Couverture végétale

Pâture d'avoine 9B :

On a compté 5 rangées de 11 plantes dans le m^2 réalisé, donc $Np/m^2 = 55$ échantillons

Le nombre de talles par plante était de 28, 32, 15, 7, 5, 17, 8, 10, 17, 17, 8, soit une moyenne $Nt/p = 15$.

Ensuite, on s'est intéressé à six plantes. Pour chacune d'entre elles, on a mesuré la taille de feuilles de deux talles. A partir de ces mesures, présentées en Annexe 25, on a déterminé la surface foliaire moyenne.

$$Sf = 47,97 \text{ cm}^2$$

On a alors $CV = 47,97 \cdot 10^{-4} \times 15 \times 55$

$$CV_{\text{avoine}} = 3,96 \text{ m}^2/\text{m}^2$$

Prairie composée 4A

Sur la bande de 1m sur 10 cm, on a pu dénombrer 4 plants de luzerne, 4 plants de dactyle et 1 plant de brome.

Pour la luzerne, le nombre de talles par plante est de 5, 11, 8 et 2, soit une moyenne $Nt/p = 6,5$

Ensuite, on a défini les caractéristiques de quatre talles (talles 1 et 2 appartenant à la 1^{ère} plante, talle 3 à la 2^{ème}, talle 4 à la 3^{ème}). On a dénombré sur ces talles respectivement 6, 6, 6 et 5 inflorescences. Le nombre de feuilles/inflorescences ainsi que la taille des feuilles et leur surface ont été mesurés pour définir la surface foliaire par talle (surface foliaire multipliée par 3 car feuilles trifoliolées) et par plant : ces résultats sont présentés en Annexe 25.

La surface moyenne par talle est de $483,45 \text{ cm}^2$.

La couverture végétale de la Luzerne est donc $CV=43,45 \times 6,5 \times 4 \times 10 \times 10^{-4}$

$$\mathbf{CV_{luzerne} = 1,13 \text{ m}^2/\text{m}^2}$$

Pour le Dactyle, le nombre de talles par plante est de 12, 18, 9 et 9, soit une moyenne $Nt/p = 12$.

Le nombre moyen de feuilles par talle était de 2,9 pour la 1^{ère} plante, de 2,6 pour la 2^{ème}, de 2,8 pour la 3^{ème} et de 2,9 pour la 4^{ème} soit une moyenne de $Nf/t = 2,8$ feuilles vivantes/talle.

Trois talles ont été plus précisément décrits : chacun compte 3 feuilles dont les mesures et les surfaces sont présentées en Annexe 25 .

La surface foliaire moyenne par talle est de $33,68 \text{ cm}^2$.

On a donc $CV = 33,68 \times 12 \times 4 \times 10 \times 10^{-4}$

$$\mathbf{CV_{dactyle} = 1,62 \text{ m}^2/\text{m}^2}$$

Pour le Brome, la plante en présence présente 6 talles et 20 feuilles soit $Nt/p = 6$ et $Nf/t = 3,3$.

Deux talles ont été plus précisément étudiés : le nombre de feuilles et leur surface foliaire sont présentés en Annexe 25.

La surface foliaire moyenne est de $38,97 \text{ cm}^2$.

On a donc $CV = 38,97 \times 6 \times 10 \times 10^{-4}$

$$\mathbf{CV_{brome} = 0,23 \text{ m}^2/\text{m}^2}$$

Pour la prairie composée, la couverture végétale des Légumineuses correspond à celle de la luzerne soit $1,13 \text{ m}^2/\text{m}^2$, celle des Graminées à la somme des couvertures végétales du dactyle et du brome soit $1,85 \text{ m}^2/\text{m}^2$ et la couverture totale à $2,98 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

III.3.3.3. Quantités réellement disponibles

L'évaluation des quantités réellement disponibles sur le cycle de pâture passe par la détermination de l'évolution de la couverture végétale. Les calculs qui ont permis de déterminer cette évolution sont présentés en Annexe 25.

Pour la pâture d'avoine 9B, on a trouvé une augmentation de la couverture végétale de 13,4% de J0 à J1, de 3,8% de J1 à J3 et de 3,6% de J3 à J6. L'augmentation est donc de $0,87 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (3,96 à J0 et 4,83 à J6) soit 22,0% entre J0 et J6.

Le rapport disponibilité/couverture végétale a été calculée à partir de la couverture végétale de J2 (jour où la disponibilité a été déterminée) estimée à partir de celles de J1 et de J3 : entre ces deux dates, la couverture végétale a augmenté de $0,17 \text{ m}^2/\text{m}^2$ alors que la somme thermique était de 37°C . Pour une somme de 18°C (température à J1), l'augmentation serait de $0,08 \text{ m}^2/\text{m}^2$. A J2, la couverture végétale serait donc de $4,57 \text{ m}^2/\text{m}^2$. D/CV est alors de $0,115 \text{ kg MB}/\text{m}^2$ ($0,022 \text{ kg MS}/\text{m}^2$) de surface foliaire, pour la pâture d'avoine. En utilisant le rapport D/CV, on obtient une disponibilité de $871,2 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J0 et de $1062,6 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J6, soit une augmentation de $191,4 \text{ kg MS}/\text{ha}$ entre J0 et J6 et en moyenne une augmentation de $31,9 \text{ kg MS}/\text{ha}/\text{j}$.

Pour la pâture artificielle 4A, la couverture végétale du dactyle a augmenté de $0,48 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (1,62 à J0, 2,10 à J5) soit 29,6 % entre J0 et J5, et celle du brome de $0,15 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (0,23 à J0, 0,68 à J5) soit 65,2 % entre J0 et J5. Pour les Graminées de la pâture artificielle, on a donc une couverture végétale de $1,85 \text{ m}^2/\text{m}^2$ à J0 et de $2,48 \text{ m}^2/\text{m}^2$ à J5, soit une augmentation de 34%.

Le rapport disponibilité/couverture végétale des Graminées a été calculé à partir de la couverture végétale à J4 (jour où la disponibilité a été déterminée) estimée à partir de celles de J1 et de J5: entre ces deux dates, la couverture végétale a augmenté de $0,47 \text{ m}^2/\text{m}^2$ alors que la somme thermique était de $66,5^\circ\text{C}$. Pour une somme de 54°C (somme de J1 à J4), l'augmentation serait de $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$. A J4, la couverture végétale serait donc de $2,39 \text{ m}^2/\text{m}^2$. D/CV est alors de $0,160 \text{ kg MB}/\text{m}^2$ ($0,034 \text{ kg MS}/\text{m}^2$) de surface foliaire, pour les Graminées de la pâture artificielle. En utilisant le rapport D/CV, on obtient une disponibilité de $629 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J0 et de $843,2 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J5, soit une augmentation de $214,2 \text{ kg MS}/\text{ha}$ entre J0 et J5 et en moyenne une augmentation de $42,8 \text{ kg MS}/\text{ha}/\text{j}$.

La couverture végétale de la luzerne a augmenté de $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (1,13 à J0, 1,51 à J5) soit 33,6 % entre J0 et J5.

Le rapport disponibilité/couverture végétale des Légumineuses a été calculé à partir de la couverture végétale à J4 (jour où la disponibilité a été déterminée) estimée à partir de celles de J1 et de J5: entre ces deux dates, la couverture végétale a augmenté de $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$ alors que la somme thermique était de $66,5^\circ\text{C}$. Pour une somme de 54°C (somme de J1 à J4), l'augmentation serait de $0,30 \text{ m}^2/\text{m}^2$. A J4, la couverture végétale serait donc de $1,51 \text{ m}^2/\text{m}^2$. D/CV est alors de $0,162 \text{ kg MB}/\text{m}^2$ ($0,034 \text{ kg MS}/\text{m}^2$) de surface foliaire. En utilisant le rapport D/CV, on obtient une disponibilité de $384,2 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J0 et de $513,4 \text{ kg MS}/\text{ha}$ à J5, soit une augmentation de $129,2 \text{ kg MS}/\text{ha}$ entre J0 et J5 et en moyenne une augmentation de $25,8 \text{ kg MS}/\text{ha}/\text{j}$.

En utilisant le pourcentage relatif des Graminées et des Légumineuses sur la parcelle (respectivement 61% et 38%), l'augmentation de disponibilité totale serait de $35,9 \text{ kg MS}/\text{ha}/\text{j}$.

III.3.3.4. Relation avec le contexte climatique

Les calculs ayant permis la détermination du facteur climatique de potentialité agricole sont présentés en annexe 26. Le facteur thermique est en moyenne de 0,65 en avril (période d'étude : du 10/04 au 30/04) et de 0,51 en mai (période d'étude : du 01/05 au 25/05). La durée astronomique du jour a été calculée et est égal à 11,4 h/j en avril et à 10,1 h/j en mai. La latitude utilisée est de 38° et la radiation globale d'origine solaire de $299 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{j}$ en avril et de $215 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{j}$ en mai. En avril, le facteur solaire est donc égal à 5,97 ou 5,50, cette dernière valeur étant la plus petite elle a été retenue. En mai, le facteur solaire est égal à 3,45 (valeur retenue) ou 4,18. Les valeurs de l'indice héliothermique sont donc en moyenne de 3,57 en avril et de 1,77 en mai. L'évapotranspiration potentielle est de $67,82 \text{ mm}/\text{mois}$ en avril et de $42,84 \text{ mm}/\text{mois}$ en mai tandis que les valeurs de $0,3\text{Etp}+0,5$ sont de $70,35 \text{ mm}/\text{mois}$ en avril et de $62,85 \text{ mm}/\text{mois}$ en mai. Les valeurs retenues pour le calcul ont donc été celles de l'Etp. Le besoin en eau d'irrigation (Bi) n'a pas pu être déterminée, les données n'étant pas disponibles. Le facteur climatique A est donc de 3,57 en avril si les besoins en eau sont couverts (et tend vers 0 lorsque le besoin en eau tend vers $67,82 \text{ mm}/\text{mois}$) et de 1,77 en mai si les besoins en eau sont couverts (et tend vers 0 lorsque le besoin en eau tend vers $42,84 \text{ mm}/\text{mois}$).

III.3.4. Quantités consommées

III.3.4.1. Evaluation de la consommation des veaux

284 animaux de poids environ égal à 180 kg devaient entrer sur la parcelle. Une consommation de 3% de leur poids vif représente une consommation de 5,4 kg de matière sèche par tête, soit 1534 kg de matière sèche pour le troupeau. La teneur en matière sèche de l'avoine sur pied ayant été déterminé à 19% de MS, la consommation devrait être de 8072 kg de Matière Brute. La disponibilité ayant été évalué à 5240 kg MB/ha, la surface nécessaire au troupeau était de 1,54 ha. Une parcelle de 98 m de largeur sur 157 m de longueur a donc ainsi été réalisée (1,5 ha).

Après le passage des animaux, la disponibilité a été estimée à 3640 kg MB/ha (échantillons dans $\frac{1}{4}$ m² : 57 g ; 200 g ; 67 g ; 99 g ; 74 g ; 49 g), soit une diminution de 1600 kg MB/ha ou 308 kg MS/ha. 474 kg de MS ont donc été consommés durant ces douze heures, soit 1,7 kg MS/animal ou 8,7 kg MB/animal. Le poids moyen des animaux étant en fait de 170 kg le 28/04, ils ont consommé 1% de leur poids vif, en matière sèche. Ce calcul ne tient pas compte de l'évolution de la végétation durant la journée de pâture.

En considérant que la disponibilité a augmenté de 31,9 kg MS/ha/j, les veaux n'ont pas consommés 308 mais 339,9 kg MS/ha soit 509,9 kg de MS, en douze heures. La consommation est donc de 1,8 kg MS/animal (1,1% du poids vif) ou 9,2 kg MB/animal (5,4% du poids vif).

III.3.4.2. Evaluation de la consommation des génisses

152 animaux de 310 kg environ (les animaux ont été pesés après la réalisation de la parcelle expérimentale) ont été introduits dans la parcelle expérimentale clôturée dans la pâture composée. De même que pour les veaux, on a considéré une consommation de 3% du poids vif, ce qui représentait 9,3 kg de MS par animal ou 1414 kg de MS pour le troupeau. La

quantité de MS de la végétation avait été estimé à 19,5% , ce qui donne une consommation totale de 7249 kg de matière Brute. La disponibilité de cette pâture étant de 6265 kg de MB/ha, la surface nécessaire pour les animaux était de 1,16 ha, soit une parcelle de 100 m de large sur 116 m de long.

Après le passage des animaux, la disponibilité a été mesurée à 2417 kg MB/ha (échantillons dans $\frac{1}{4}$ m² : 64 g ; 107 g ; 42 g ; 32 g ; 38 g ; 121 g ; 19 g), soit une diminution de 3848 kg MB/ha ou 802 kg MS/ha. 930 kg de MS ont donc été consommés durant ces douze heures, soit 6,12 kg MS/animal ou 29,3 kg MB/animal. Si on considère un animal de poids moyen égal à 349 kg (pesée réalisée le 30/04), il a donc consommé 1,7% de son poids vif, en matière sèche. Ce calcul ne tient pas compte de l'évolution de la végétation durant la journée de pâture.

En considérant que la disponibilité a augmenté de 36,3 kg MS/ha/j, les génisses n'ont pas consommés 802 mais 838,3 kg MS/ha soit 972,4 kg de MS en douze heures. La consommation est donc de 6,4 kg MS/animal (1,8% du poids vif) ou 30,7 kg MB/animal (8,8% du poids vif).

III.3.4.3. Evaluation de la consommation à partir de données bibliographiques

A partir du poids vif moyen des animaux (170 kg pour les veaux et 349 kg pour les génisses), les quantités de matière sèche volontairement ingérées (MSVI) quotidiennement ont été calculées [NRC,1987 ; Petit et Gueguen, 1978]. Certains auteurs tiennent compte, en plus du poids vif, de la teneur énergétique nette de l'aliment pour calculer la MSVI [NRC, 2000a]. Lorsque l'aliment consommé a une faible teneur en énergie et est faiblement digestible, il constitue le facteur limitant aux quantités ingérées. La MSVI est alors calculée à partir de la composition chimique de l'aliment consommé [NRC, 2000a ; Ketelaars et Tolkamp, 1992 ; Vérité et Journet, 1970] (cf. III.2.2.) et ne tient pas compte du poids de l'animal. Il en va de même lorsque le calcul de la MSVI ne tient compte que des quantités d'herbe disponibles sur la parcelle [Delagarde *et al.*, 2001] (cf. III.3.3.1).

		Veaux sur pâture d'avoine 9B	Génisses sur pâture artificielle 4A
Estimation à partir de l'état physiologique	[NRC, 1987]	4,55 kg MS/j	7,80 kg MS/j
	[Petit et Gueguen, 1978]	-	7,30 kg MS/j
Estimation à partir de la qualité de l'aliment	[NRC, 2000a]	Aliment haute énergie	7,76 kg MS/j
		Aliment faible énergie*	8,03 kg MS/j
	[Ketelaars et Tolkamp, 1992]	3,61 kg MS/j	5,47 kg MS/j
	[Vérité et Journet, 1970]	-	-
Estimation à partir de la quantité disponible**	[Delagarde <i>et al.</i> , 2001]	6,1 kg MS/j	11,6 kg MS/j

* Les taux en ADF utilisés pour ce calcul sont ceux fournis par les tables [Jaurena et Danelon, 2001], soit 26,2% pour l'avoine, 31,3% pour la luzerne en floraison et 39% pour une pâture de Graminées.

** Les quantités disponibles (8,7 kg MS/animal/j pour la pâture d'avoine 9B et 21,2 kg MS/animal/j pour la pâture artificielle 4A) utilisées pour ce calcul ont été déterminées à partir de la disponibilité mesurée et sans tenir compte de l'évolution de la végétation.

Tableau 14: Comparaison des résultats obtenus concernant la consommation des fourrages selon diverses sources bibliographiques (cf. Annexe 18)

IV. DISCUSSION

IV.1. Discussion sur le matériel et les méthodes

IV.1.1. Discussion concernant la méthode de détermination des besoins

La méthode factorielle qui a été utilisée pour déterminer les besoins des animaux est intéressante car très peu de données et d'exemples de ce type sont disponibles dans la littérature et qu'elle permet de comprendre dans quelles mesure le besoin des animaux élevés de manière extensive diffère de celui des animaux élevés dans des conditions intensives. Cette différence est essentiellement liée aux besoins d'entretien liés à la thermorégulation et aux déplacements qui ont été les plus complexes à évaluer et dont la méthode de détermination est la plus discutable.

L'étude a montré que le besoin lié au maintien de la température corporelle était peu important à cette latitude et que le facteur l'influençant le plus était la force du vent. L'aménagement d'espaces « coupes-vent » sur les parcelles est une application intéressante de ce constat. Afin de mieux mesurer ce facteur, l'utilisation d'un anémomètre disposé dans les parcelles et enregistrant quotidiennement, voir même heure par heure, la vitesse du vent, aurait permis de déterminer avec plus de précision les températures ressenties par les animaux. De même, l'enregistrement de la température tout au long de la journée aurait permis de définir avec plus de précision les températures ressenties ainsi que les heures exactes durant lesquelles la température ressentie se trouvait en dessous de la température de confort. L'enregistrement simultané de ces paramètres aurait même pu permettre de calculer l'évolution heure par heure du besoin lié à la thermorégulation. Pour l'analyse du besoin des veaux, il aurait cependant fallu vérifier auparavant les valeurs de température de confort et de pourcentage d'augmentation du besoin d'entretien par degré thermique, déterminées dans ce travail à partir de celles des adultes.

En ce qui concerne le besoin lié aux déplacements, il aurait été déterminé avec plus de précision si les animaux avaient été observés et les pas comptés en permanence pendant plusieurs jours voire plusieurs nuits. L'utilisation d'une caméra et d'un quadrillage

de la parcelle, permettant de repérer les mouvements des animaux, aurait permis de rendre ce travail moins fastidieux. De plus, on a utilisé toujours le même coefficient quelque soit le type de déplacement alors qu'il est vraisemblable que l'effort produit et le coût énergétique qui en résulte varient en fonction de l'activité de l'animal. Cependant, l'étude a permis de dégager l'importance de la localisation des points d'eau dans les déplacements des animaux et des variations du besoin énergétique qui en résultent. Ce besoin peut s'avérer très élevé sur de grandes parcelles, où les points d'eau sont très éloignés les uns des autres, comparable au besoin d'entretien strict.

En ce qui concerne le besoin lié aux déplacements des veaux, le coefficient utilisé pour le relier aux déplacements a été déduit de celui des adultes alors que celui-ci n'est très probablement pas proportionnel à la taille des animaux. Il faudrait donc disposer de ce coefficient chez le veau pour affiner nos résultats.

IV.1.2. Discussion concernant la méthode de détermination des apports

La détermination de l'évolution des quantités disponibles et de la qualité des fourrages en fonction du contexte climatique et pédologique, à partir des données de la littérature, est pratiquement impossible tant cette évolution est spécifique à chaque contexte et les données peu adaptables à une exploitation aussi extensive des pâturages. Il aurait donc fallu réaliser un suivi de l'évolution végétale et des analyses de la valeur alimentaire des plantes sur une période beaucoup plus longue, idéalement sur une année. Mais l'étude a montré concrètement comment mettre en application certaines des méthodes permettant de mesurer les apports, et en particulier quels étaient les facteurs à prendre en compte pour réaliser les calculs.

En ce qui concerne l'analyse chimique des fourrages, la mesure sur place de la matière sèche a été difficile. En effet, étant donné le matériel disponible pour réaliser la déshydratation (micro-onde ancien, four sans thermostat), il n'est pas certain que la déshydratation ait bien été totale et/ou que la matière sèche n'ait pas été détériorée. Il aurait été intéressant de réaliser l'analyse dans un laboratoire proche de l'exploitation afin d'être sûr que la première déshydratation ne détruise aucun composant et que les résultats soient fiables. L'analyse, en France, des échantillons a cependant permis d'utiliser les méthodes classiques

françaises d'analyse chimique et de calcul de la valeur alimentaire des fourrages et ainsi de pouvoir comparer les résultats avec ceux de la littérature.

La détermination de la disponibilité selon la méthode classique a présenté des inconvénients, surtout lorsque les surfaces étaient hétérogènes. Le fait de multiplier les lancers de cadre a permis de pallier ce problème. De plus, il aurait été intéressant de tenir compte du fait que la base des végétaux soit rarement broutée [Théau et Gibon, 2001] et de ne couper que la partie consommée des végétaux pour déterminer la disponibilité.

L'étude a permis de montrer que la croissance de l'herbe pouvait être très importante, qu'elle devait être prise en compte dans le calcul des quantités disponibles pour les animaux et que la méthode de détermination de la couverture végétale était intéressante pour évaluer les quantités disponibles et leur évolution. La couverture végétale a pu être surévaluée pour les Légumineuses de la prairie mixte car on a considéré que les trois folioles des feuilles de luzerne étaient de même surface, ce qui n'est pas le cas dans la réalité..

La méthode de détermination de la surface foliaire a de manière générale été plus facile et probablement plus juste dans le cas des Graminées ou de l'avoine.

Le rapport disponibilité/couverture végétale a été considéré ici comme constant pour déterminer l'évolution de disponibilité alors qu'il est vraisemblable qu'il varie en fonction de la qualité de fourrages. Cependant, la croissance végétale ayant été mesurée sur une courte période, l'utilisation de ce rapport pour mesurer l'évolution de la disponibilité est intéressante. L'utilisation de données bibliographiques afin d'estimer l'évolution de disponibilité à partir d'un état initial de la végétation est beaucoup trop complexe et fastidieuse. Idéalement, il aurait donc fallu réaliser un suivi de la végétation durant une année. Le calcul simultané du facteur climatique aurait ainsi permis de relier le contexte climatique à la production végétale et aurait permis d'apprécier les effets décalés du climat sur la végétation.

Enfin, les effets, néfastes ou bénéfiques, de la présence des animaux sur la parcelle et de leur influence sur l'évolution de la végétation et sur les quantités disponibles, n'ont pas pu être déterminés et n'ont donc pas été pris en compte.

IV.2.3. Discussion concernant la méthode de détermination des quantités consommées

Les parcelles réalisées pour évaluer les quantités consommées quotidiennement par les animaux étaient certainement trop petites pour que le comportement alimentaire des animaux reste identique à celui qu'ils ont sur de très grandes parcelles (parfois cent fois plus grandes). De plus, on a remarqué combien la taille des parcelles et la présence, même à distance, d'observateurs peut modifier le comportement des animaux élevés de manière extensive et donc les quantités consommées [Croisier et Demarly, 1968]. Cependant, la réalisation de parcelles « expérimentales » semble être une bonne méthode pour évaluer les quantités consommées car elle permet de mesurer l'ingestion à l'échelle du lot, elle permet de tenir compte de l'évolution de la végétation mais aussi, en partie, de la dégradation des parcelles par les animaux.

IV.2. Discussion sur les résultats

IV.2.1. Discussions sur les besoins

Les besoins énergétiques des veaux que nous avons mesurés sont supérieurs à ceux rapportés dans la bibliographie, soit 3,2 UF/j pour un veau de 200 kg ayant un GMQ de 700 g/j contre 3,5-4,7 UF/j ici, pour un veau de 170 kg avec un GMQ égal à 850 g/j.

L'énergie liée à l'entretien (strict) ainsi que l'énergie nécessaire à la croissance constituent les principales composantes de ce besoin. D'après les calculs réalisés, l'énergie nécessaire aux déplacements pourrait aussi atteindre des valeurs importantes, proches de celles de l'énergie nécessaire à la croissance, cependant, ces valeurs constituent la principale incertitude de nos calculs concernant le besoin énergétique des veaux puisque le besoin lié à la thermorégulation ne constitue qu'une très faible part dans le besoin total.

Les besoins énergétiques des génisses sont aussi supérieurs à ceux de la bibliographie, soit 5,3 UFL/j pour une génisse de 350 kg avec un GMQ de 700 g/j contre 6,0-8,8 UF/j ici pour une génisse de 360 kg et de GMQ égal à 800 g/j). Les besoins liés à la thermorégulation et à

la gestation constituent une faible part de ce besoin tandis que les besoins d'entretien, de croissance et éventuellement nécessaires aux déplacements sont les plus importants. En effet, les résultats concernant ce dernier besoin sont assez incertains, mais pourraient atteindre des valeurs proches du besoin d'entretien dans le pire des cas.

Aussi bien pour les veaux que pour les génisses, les besoins liés à la thermorégulation et aux déplacements constituent une augmentation du besoin par rapport à celui d'animaux vivant la plupart du temps en bâtiment. Cependant, pour les veaux, ces besoins sont vraisemblablement surévalués, étant donné l'absence de données bibliographiques concernant cette catégorie et l'obligation d'extrapoler des données issues d'adultes (voir la discussion sur les méthodes).

IV.2.2. Discussion sur les apports

La valeur énergétique des aliments est assez proche de celle fournie par les tables bien que les analyses donnent des valeurs assez différentes de celles auxquelles on aurait pu s'attendre d'après la bibliographie.

Pour la pâture d'avoine, la teneur en matière sèche est comprise entre les valeurs fournies par les tables françaises et argentines. Il en va plus ou moins de même pour la teneur en MAT. En revanche les analyses donnent une teneur en CB relativement faible. La valeur énergétique, en UFv et en EV, est légèrement inférieure aux valeurs fournies par les tables. Ceci peut notamment s'expliquer par le fait que les quantités consommées par les veaux aient été sous-estimées, ces quantités intervenant dans le calcul de l'énergie métabolisable et de l'énergie nette de l'avoine, par l'intermédiaire du niveau d'alimentation (cf. Annexe 3).

Pour la prairie temporaire, la teneur en MS est supérieure aux valeurs de référence et les teneurs en MAT et en CB des Légumineuses semblent anormalement faibles. La valeur énergétique des Légumineuses reste cependant assez proche des valeurs auxquelles on aurait pu s'attendre. En ce qui concerne les Graminées, les résultats d'analyse sont proches de ceux de la bibliographie, sauf si l'on compare la teneur en CB aux valeurs fournies par les tables argentines qui sont supérieures de plus de 50 %. Cette différence explique notamment que la valeur énergétique des Graminées soit supérieure à celle fournie par ces tables.

La consommation mesurée des fourrages chez les veaux est inférieure aux valeurs de la bibliographie ou à celles utilisées empiriquement à l'estancia, alors que pour les génisses, elle est assez proche. En effet, pour les veaux, la valeur la plus faible trouvée dans la

littérature (3,6 kg MS/animal/j) correspond à une consommation de presque 2 kg MS/animal/j supérieure aux valeurs déterminées expérimentalement. Quant aux valeurs les plus fréquemment citées, elles correspondent plus ou moins à celles utilisées empiriquement à l'estancia (3% PV) et sont supérieures de 3,5 kg MS/animal/j aux valeurs déterminées ici. En revanche, pour les génisses, la valeur empirique de 3% du poids vif correspond à une consommation supérieure d'environ 4 kg MS/animal/j par rapport à la valeur moyenne déterminée expérimentalement, alors que cette valeur ne diffère que de 0,5-1 kg MS/animal/j des valeurs les plus couramment citées dans la bibliographie.

IV.1.3. Discussion sur la couverture du besoin énergétique

En utilisant la valeur énergétique déterminée à partir des analyses réalisées ainsi que la consommation déterminée expérimentalement, on obtient un apport énergétique de 3,2 Mcal/animal/j (ou 1,74 UFv/animal/j) pour la pâture d'avoine sur laquelle se trouvent les veaux, et de 8,7 Mcal/animal/j (ou 4,7 UFv/animal/j) pour la prairie temporaire sur laquelle se trouvent les génisses.

Avec ces valeurs, les apports ne couvrent ni les besoins des veaux (plus de 3 Mcal/animal/j de différence avec la limite inférieure) ni ceux des génisses (plus de 2 Mcal/animal/j de différence avec la limite inférieure). Même en utilisant les besoins théoriques des animaux, issus de la littérature, les apports restent inférieurs aux besoins (1,5 points pour les veaux et 0,5 points pour les génisses).

En utilisant les valeurs de consommation de 3% du poids vif, en matière sèche (valeurs empiriques utilisées à l'estancia), on obtient alors un apport énergétique de 9,3 Mcal (5,0 UFv)/animal/j pour les veaux et de 14,6 Mcal (7,9 UFv)/animal/j pour les génisses. Les apports sont alors légèrement supérieurs aux valeurs maximales des besoins (déterminés ici) des veaux et dans l'écart de valeurs pour les génisses. En revanche, ces apports sont supérieurs de presque 2 UFv/veau/j et de 3 UFv/génisses/j aux besoins théoriques des animaux, cités dans la littérature. On a vu précédemment que cette valeur empirique de consommation surestimait certainement la consommation des génisses tandis qu'elle reflétait certainement assez bien celle des veaux.

Si on utilise alors une valeur de consommation de 7,5 kg MS/animal/j pour les génisses (valeur la plus fréquemment citée dans la littérature), l'apport se trouve inférieure de 0,5

points à la valeur minimale du besoin déterminé ici, et plus ou moins égal au besoin théorique des génisses cité dans la littérature.

On peut donc penser que la consommation quotidienne a été sous-estimée aussi bien dans le cas des veaux que des génisses, que la pâture d'avoine permet relativement bien de couvrir les besoins énergétiques des veaux et que les apports permis par la prairie composée sont légèrement insuffisants pour couvrir les besoins des génisses (en considérant les analyses de l'aliment comme justes) ou tout juste suffisant (en utilisant les valeurs théoriques de qualité de l'aliment).

IV.1.4. Discussion sur les quantités disponibles pour les animaux

D'après les résultats présentés ci-dessus, les prairies d'avoine et les prairies mixtes suffiraient largement à couvrir le besoin énergétique des veaux et des génisses, durant la période de séjour.

Si on considère uniquement les quantités disponibles sans tenir compte de l'évolution de la végétation, on obtient des quantités de 8,7 kg MS disponible/animal/j (à partir de la disponibilité du 27/04) ou de 4,0 kg MS/animal/j (à partir de la disponibilité du 10/04) pour les veaux. Pour les génisses, on obtient des quantités disponibles de 21,2 kg MS/animal/j (à partir de la disponibilité du 29/04) ou de 18,7 kg MS disponible/animal/j (à partir de la disponibilité du 25/04).

Si on tient compte de la production quotidienne de végétation, elle serait de 12 kg MS/animal/j pour la pâture d'avoine et de 19 kg MS/animal/j. L'augmentation de disponibilité serait donc plus de deux fois supérieure à la consommation quotidienne des animaux et permettrait, à elle seule, de satisfaire les besoins quantitatifs des animaux. Cependant, la production végétale paraît très importante.

CONCLUSION

L'intérêt porté à l'élevage extensif dans les pays développés s'explique par l'image respectueuse de l'environnement qu'il véhicule. Même si il n'existe pas encore de certification permettant au consommateur de reconnaître les produits issus de l'élevage extensif, ils connaissent un certain succès. Les éleveurs pratiquant la vente directe peuvent en attester. Etant donné les connaissances actuelles des impacts environnementaux de l'élevage intensif mais aussi les difficultés auxquelles font face des éleveurs utilisant beaucoup d'intrants, l'élevage extensif est en passe de redevenir « actuel ». Il est donc important à la fois d'utiliser les connaissances acquises avec l'élevage intensif et à la fois d'étudier spécifiquement l'élevage extensif et ses particularités pour créer des élevages performants. Cette étude a ainsi permis de rassembler dans un même document les diverses méthodes permettant de réaliser une analyse d'élevage extensif, de calculer les nombreux facteurs intervenants dans la production et de proposer un exemple concret de mise en application de ces méthodes. La difficulté de cette étude a notamment résidé dans l'étendue du travail à effectuer et dans la quasi-absence de données sur le sujet.

Un point, ayant participé à rendre la tâche ardue, s'est révélé particulièrement important : la nécessité d'aborder l'élevage extensif de manière globale, à l'échelle de l'animal, de la végétation et de l'environnement, pour rendre compte de tous les facteurs intervenants dans le calcul du rationnement. Le recueil méthodologique de tous ces facteurs a été long et fastidieux. Et pourtant, il aurait été encore plus intéressant de pouvoir réaliser l'étude sur au moins une année pour pouvoir rendre compte avec justesse des effets décalés du climat sur les animaux et la végétation, des phénomènes de compensation alimentaire des animaux et de la qualité du rationnement.

L'approche empirique, qui consiste à analyser le rationnement en utilisant des indicateurs (état des animaux, comportement, état des parcelles,...) et qui repose sur l'expérience et le savoir-faire des éleveurs, ne doit pas non plus être négligée pour étudier l'élevage extensif, surtout lorsque celui-ci est réalisé sur un très grand nombre de bêtes. L'étude de l'élevage extensif doit donc reposer à la fois sur des méthodes scientifiques de calcul des phénomènes et à la fois sur des méthodes d'observation et de réaction. Cette approche implique une transmission du savoir-faire des éleveurs pratiquent l'élevage extensif aux jeunes générations. Le recueil de ces « bonnes pratiques empiriques » serait un complément intéressant à notre étude.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, A. MILON, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que

Melle Julie-Anne RENOUX

a été admis(e) sur concours en : 2001

a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 12 Juillet 2007

n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

Je soussignée, Nathalie PRIYMENKO, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, autorise la soutenance de la thèse de :

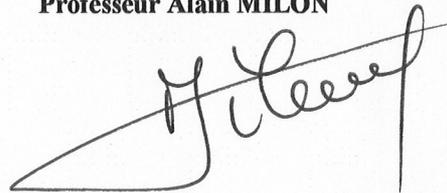
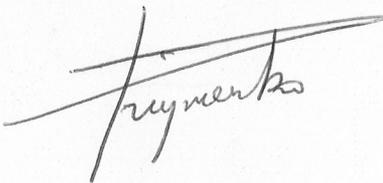
Melle Julie-Anne RENOUX

intitulée :

« Contribution à l'étude du rationnement des bovins en système extensif : Exemple d'un élevage de la Pampa Argentine »

**Le Professeur
De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Docteur Nathalie PRIYMENKO**

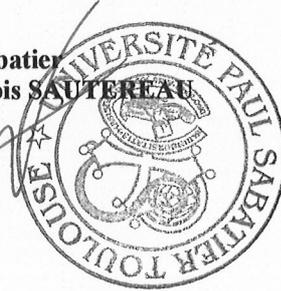
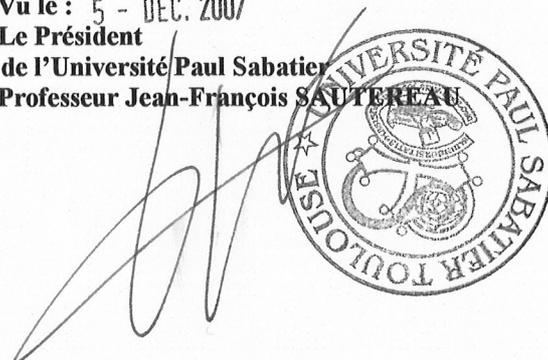
**Vu :
Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Alain MILON**



**Vu :
Le Président de la thèse :
Professeur Jean-Louis MONTASTRUC**

**Vu le : 5 - DEC. 2007
Le Président
de l'Université Paul Sabatier
Professeur Jean-François SAUTEREAU**

Professeur Jean Louis MONTASTRUC
Laboratoire de Pharmacologie
Médicale et Clinique
FACULTE DE MEDECINE
37 allées Jules Guesde
31000 TOULOUSE



BIBLIOGRAPHIE

- American Association for the Advancement of Science (AAAS), 1998. Land Use and Pasture. <http://atlas.aaas.org/index.part=28sec=landuse&sub=pastures> : consulté le 02/08/2007
- Agnusdei, M.G., Mazzanti, A., Colabelli, M., Labreveux, M., 1998. Fundamentos para el manejo del pastoreo de pastizales y pasturas cultivadas de la pampa humeda bonaerense. Boletin Tecnico N°147. Balcarce (B.A., Argentina).
- Agnusdei, M.G., Castano, J., 2003. Verdeos de invierno. Comportamiento de cultivares en la provincia de Buenos Aires. Grupo de produccion y utilizacion de pasturas de la EEA INTA Balcarce. http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/forrajes/verdeo/verdeos_i : consulté le 19/04/2004
- Agrete. Enquête sur les pratiques culturelles en 2001. Série agriculture, 159. Ministère de l'agriculture et de la pêche, DDAF. 286 pp.
- Agrete. Enquête sur la structure des exploitations agricoles en 2005. Série agriculture, 183. Ministère de l'agriculture et de la pêche, DDAF. 95 pp.
- Ames, D. R., 1988. Adjusting rations for climate. Food Animal Practice, 4 : 543-550.
- Agricultural Research Council (ARC), 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Technical Review. Farnham Royal, U.K. : Commonwealth Agricultural Bureaux, The Gresham Press, Surrey. 351 pp.
- Bailly G., 2002. Rapport d'information fait au nom de la commission des Affaires économiques et du Plan, par la mission d'information sur *l'Avenir de l'élevage : enjeu territorial, enjeu économique*. Annexe au procès-verbal de la séance du 7 novembre 2002. Sénat. N° 57. 150 pp.
- Blaxter, K.L., Wainman, F.W., Wilson, R.S., 1961. The regulation of food intake by sheep. Animal Production, 3 : 51-61.
- Bonnieux, F., 1986. Approche économique de l'intensification. Economie rurale, numéro spécial : « L'intensification en question : nouveaux termes pour un vieux débat ». n° 171.
- Bouvier, J.C., Vermorel, M., Duboisset, F., Gasnet, S., Martinaud, M., Moins, G., Souclet, R., 1975. Utilisation énergétique et azotée d'une même ration par le mouton adulte à l'engraissement et l'agneau en croissance. Annales de zootechnies. 24 : 697-710.
- Briggs, H.M., 1958. Modern breeds of livestock. The Macmillian Company edition, New York, USA. 754 pp.

- Cabrera, A.L., Zardini, E. M., 1993. Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires. Editorial ACME (Buenos Aires). 750 pp.
- Carillo, J., Schiermann, G., 1992. Beef Cattle production in the temperate zone of South America (Argentina and Uruguay). In : Jarrige, G., Beranger, C. Beef Cattle Production. World Animal Science. Production system approach, Amsterdam : Elsevier Science Publisher edition : 259-269.
- Carillo, J., 2001. Carga animal y equivalente vaca (E.V.). 1^{ère} edition (INTA Cerbass EEA Balcarce, Argentina).
<http://www.inta.gov.ar/crbsass/balcarce/divulgtec/SistProd/equivaca.h> : consulté le 25/08/2004
- Chatellier, V., Verité, R., 2003. L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ?. INRA Productions Animales, 16 : 231-249.
- Cocimano, M., Lange, A., Menvielle, E., 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. Produccion Animal (Buenos Aires, Argentina), 4 : 161-190.
- Colabelli, M., Agnusdei, M., Mazzanti, A., Labreveux, M., 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. Boletín Técnico N°148. Balcarce (B.A., Argentina).
http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.htm : consulté le 15/08/2007.
- Coma, C., Sipowicz, A., 2003. Precipitaciones en el Debe y en el Haber. Red Agroeconomica de Administracion de Recursos. AgroRADAR.
<http://www.inta.gov.ar/pro/radar/info/documentos/agrometeorologia/articulos/217.pdf>: consulté le 29/08/2007.
- Corah, L., 1991. Factors influencing the nutritional requirements of cows : level of milk, production, body condition, environmental conditions, and grazing activity. Agri-Practice, 12 : 6-12.
- Corah, L., 1995. Meeting the energy requirement of beef cows. Veterinary Medicine (Food-Animal Practice). 2 : 203-210.
- Cooper, J.P., 1969. Potentialités des productions fourragères. La production végétale et les facteurs du rendement. Fourrages, 38 : 3-19.
- Croisier, L., Demarly, Y., 1968. Action de la dent, du piétinement et des déjections sur la production d'un dactyle. Fourrages, 35 : 39-50.
- Czajkowsky, J.D., Rosenfeld, E., 1992. Regionalización Bioclimática de la Provincia de Buenos Aires. 15^o reunion de trabajo de Asociacion Argentina de Energia Solar (ASADES) de San Fernando de Valle de Catamarca.
<http://jdczajko.tripod.com/publicaciones/asades92/regclim.htm> : consulté le 27/08/2007.
- Delagarde, R., Prache, S., D'Hour, P., Petit, M., 2001. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. Fourrages, 166 : 189-212.

- Delage, J., Poly, J., Vissac, B., 1955. Etude de l'efficacité relative des diverses formules de barymétrie applicables aux bovins. *Annales de Zootechnie*, 3 : 219-231.
- Demarquilly, C., Engrand, M.-C., Cristofini, J.F., Manis, Y., Marquis, B., 1966. Valeur alimentaire de l'herbe des prairies temporaires aux stades d'exploitation pour le pâturage. II. Quantité ingérée par les vaches laitières. *Annales zootechniques*, 15 : 147-169.
- Demarquilly, C., Andriau, J., Weiss, P., 1981. Ingestibilité des fourrages verts et des foin et sa prévision. In : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. INRA publications, Versailles : 155-167.
- Demarquilly, C., Andrieu J., Sauvant D., 1978. Composition et valeur nutritives des aliments. In : R. Jarrige (ed), *Alimentation des ruminants*, INRA édition, Paris : 469-518.
- Demarquilly, C., Weiss, P., 1970. Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. INRA, Service d'Experimentation et d'Information. Etude 42. 62 pp.
- Dixon, J., Guilliver, A., Gibbon, D., 2001. Système d'exploitation agricole et pauvreté. Améliorer les moyens d'existences des agriculteurs dans un monde changeant. FAO et Banque Mondiale, Rome et Waschington DC. 461 pp.
- FAO, 2004. Global livestock production & health atlas (Glipha). Animal & Health Division. <http://www.fao.org/ag/aga/glipha/index.jsp?page=using.html> : consulté le 28/08/2007.
- Farmer, G.S., Brusewitz, G.H., 1980. Use of the microwave oven for rapid determination of moisture in wet alfalfa. *Transaction of the American Society of Agriculture Engineers*, 23 : 170-173.
- Fox, D.G., Sniffen, C.J., O'Connor, J.W.D, 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science*, 66 : 1475-1495.
- Garcia., F., 2001. Balance de fosforo en los suelos de la region pampeana. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina*. 9 : 1-3.
- Gonzales, M., Penalba, O., 2006. Climatologia « patrones de lluvia ». Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense. http://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/ucc/File/Vulnerabilidad_zona_pampa_bonaerense.pdf : consulté le 20/08/2007
- Graham, N. MC. C., 1965. In : *Energy Metabolism Troon*. Edition K.L. Blaxter E.A.P.P : 231-240
- Griggs, T.C., 2005. Determining forage dry matter concentration with a microwave oven. *AG/Forage & Pasture*. 2005/-01. http://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG_Forage_&_Pasture_2005_01.pdf : consulté le 20/08/2007.
- Hironaka, R., Peters, H.F., 1969. Energy requirements for wintering mature pregnant beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 49 : 323-350.

- Houghton, P.L., Lemenager, R.P., Moss, G.E., Hendrix, K.S., 1990. Prediction of postpartum beef cow body composition using weight to height ratio and visual body condition score. *Journal of Animal Science*, 68 : 14-28.
- Ingrand, S., Dedieu, B., Chassaing, C., Josien, E., 2001. Etude des pratiques d'allotement dans les exploitations d'élevage. Proposition d'une méthode et illustration en élevage bovin extensif. In: *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*. E. Landais et G. Balent (ed), Paris, INRA Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement : 53-71.
- Institut de l'Élevage, 1999. Conduite des troupeaux bovins allaitants en hivernage plein air dans la région Limousin. Compte rendu n° 999 32 07 d'Avril 1999. Institut de l'Élevage. Programme ACTA-ICTA 1998-2001.
- INRA, 1978. Alimentation des Ruminants. INRA Publications édition, 597 pp.
- Jaurena, G., Danelon, J. L., 2001. Tabla de composicion de alimentos para ruminantes de la region pampeana Argentina. Hemisfero Sur ed, Buenos Aires (Argentina), 62 pp.
- Jarrige, R., 1974. L'exploitation des troupeaux de vaches allaitantes, VI^e journées d'information du « Grenier de Theix », Supplément Bulletin Technique C.R.Z.V. INRA Theix : 323-345.
- Jarrige, R., 1978. Consommation d'aliments et d'eau. In : R. Jarrige (ed), *Alimentation des ruminants* :177-206.
- Jarrige, R, Guegen L., Vermorel, M., 1978. Entretien. In : R. Jarrige (ed), *Alimentation des ruminants* : 207-216.
- Ketelaars, J.J.M.H., Tolkamp, B.J., 1992. Toward a new theory of feed intake regulation in Ruminants I. Causes of differences in voluntary feed intake: Critique of current views. *Livestock production Science*, 30 : 269-296.
- Koong, L.J., Anderson, G.B., Garrett, W.N., 1982. Maternal Energy status of beef cattle during single et twin pregnancy. *Journal of Animal Science*, 54 : 480-484.
- Lamb, G.C., 1999. Delicate balance exist between nutrition and reproduction. *Feedstuffs*, 9 : 12-14.
- Landais, E., Balent, G., 2001. Introduction à l'étude des systèmes d'élevage extensif. In : *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*. E. Landais et G. Balent (ed), Paris, INRA, Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement : 13-35 .
- Lebrun, V., 1979. Une méthode d'étude du système de production au niveau de l'exploitation agricole. *Fourrages*, 79 : 3-36.
- Lerat, F., 1993. Nouvelle politique agricole commune et gestion de l'espace. *Le Courrier de l'environnement*, 20 : 23-26.

- Metcalf, C.R., Chalk, L., 1950. *Anatomy of the Dicotyledons*. Charendo Press (ed), Oxford. Vol. 1 et 2, 724 et 774 pp.
- Meteofila, 2004. Estado de humedad del suelo en la pampa humeda. Fuerza Aerea Argentina, Comando de Regiones Aéreas, Servicio Meteorologico Nacional. <http://www.meteofla.mil.ar/agro/pampah.htm> : consulté le 23/07/2004.
- Moscatelli, G., Pazos, M.S., 2000. Soils of Argentina: Nature and Use. In : I. Kheoruenromne and S. Theerawong (ed). *Proceedings of International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century* : 81-92.
- Morand-Fehr, P., Doreau, M., 2001. Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress de chaleur. *INRA Productions Animales*, 14 : 15-27.
- National Climatic Data Center (NCDC) and Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), 1992. Tres Arroyos, Bahia Blanca, Mar del Plata, Tandil Data. GHCN1 (Global Historical Climatology Network version 1). <http://www.worldclimate.com/cgi-bin/grid.pl> : consulté le 18/08/2004
- National Research council (NRC), 2000a. Factors affecting Feed Intake. In : *Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy Press, Washington, D.C. : 85-96.
- National Research council (NRC), 2000b. Growth and body reserves. In : *Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy Press, Washington, D.C. : 22-39.
- National Research Council (NRC), 1987. Beef Cattle. In : *Predicting feed intake of food-producing animals*. National Academy Press, Washington, D.C. : 56-74.
- National research council (NRC), 1984. Prediction equations for estimating nutrient requirements and feed intake. In : *Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy Press, Washington, D.C. : 113-132.
- Office National Interprofessionnel des Viandes, de l'élevage et de l'Aviculture (OFIVAL), 2002a. L'élevage bovin, ovin et caprin (lait et viande) au recensement agricole de 2000 : cheptels, exploitations, productions. Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques (SCEES), Paris, Agreste, Cahier 1 : 1-67.
- OFIVAL, 2002 b. Typologie des élevages avec production de veaux de boucherie : convention OFIVAL 2002/ Institut de l'élevage ; MAAPAR. [publié par OFIVAL]. Paris : OFIVAL, 2002. 58 pp.
- Petit, M., Guegen, L., 1978. Vaches nourrices. In : *Alimentation des ruminants*. INRA publications édition, Versailles : 377-402.
- Ramonet, M., 2003. Rapport d'information déposé par la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire sur les activités agricoles et la protection de l'environnement, en conclusion des travaux d'une mission d'information présidée par Herth A. Assemblée Nationale. N° 1237. 171 pp.

- Rayburn, E.B., 1986. Quantitative aspects of pasture management. Seneca Trail RC and D Technical Manual. Francklinville, N.Y. : Seneca Trail RC & D.
- Righini, R., Grossi Gallegos, H., 2000. Trazado de las cartas solarimétricas de la Pampa Húmeda empleando métodos geoestadísticos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4 : 11-29.
- Rech, J., 1976. Identification micrographique des principaux tourteaux d'oléagineux entrant dans la fabrication des aliments composés pour les animaux. Thèse Doctorat Université Sciences Naturelles, Toulouse.
- Reynard, 2004. Les éleveurs du Charollais se battent pour obtenir une AOC. <http://www.agrisalon.com-actus-élevage> : consulté le 21/08/2006.
- Saulo, C., 2006. Climatología « patrones eólicos ». Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense. Proyecto de actividades habilitantes para la segunda comunicación Nacional de la República Argentina a la convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <http://www.fundacionbariloche.org.ar/presentaciones/final/vulnerabilidad%20de%20la%20Pampa%20Bonaerense.pdf> : consulté le 20/08/2007.
- Sibly, R.M., Calow, P., 1986. *Physiological ecology of Animals. An Evolutionary Approach*. Blackwell Scientific Publications (ed). Oxford, 179 pp.
- Skerman, P.J., 1982. *Les Légumineuses Fourragères Tropicales*. FAO (ed), Rome. 666 pp.
- SEE (Solar Energy Engineering), 2000. International Solar Irradiation Database Version 1.0. University of Massachusetts Lowell Photovoltaic Program. <http://energy.caeds.eng.uml.edu/fpdb/Irrdata/asp> : consulté le 25/08/2007.
- Theau, J.P., Gibon, A., 2001. Mise au point d'une méthode pour le diagnostic des systèmes fourragers. Application aux élevages bovins viandes du Couserans. In : *Pratiques d'élevage extensif. Identifier, modéliser, évaluer*. E. Landais et G. Balent (ed), Paris, INRA Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement : 323-350.
- Thompson, W.R., J.C Meiske, Goodrich, R.D., Rust, J.R., Byers, F.M., 1983. Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. *Journal of Animal Science*, 56 : 1241-1252.
- Tirel, J.C., 1983. Le débat sur le productivisme. *Economie rurale*, 155 : 23-30.
- Tricard, J., 1972. Influence de la géomorphologie sur les sols dans la Pampa Deprimada (Argentine). *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, 10 : 153-168.
- Turc, L., 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle : formule climatique simplifiée et mise à jour. *Annales Agronomiques*, 12 : 13-49.
- Turc, L., 1967. Incidence des facteurs macroclimatiques sur les productions végétales. *Fourrages*, 31 : 10-36.

- Verité, R., Journet, M., 1970. Influence de la teneur en eau et de la déshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières. *Annales de Zootechnies*, 19 : 255-268.
- Vermorel, M., 1978. Energie. In : *Alimentation des ruminants*. INRA publications (ed), Versailles : 47-88.
- Wagner, J.J., Lusby, K.S., Oltjen, J.W., Rakestraw, J., Wettemann, R.P., Walters, L.E., 1988. Carcass composition in mature Herford cows : estimation and effet on daily metabolizable energy requirement during winter. *Journal of Animal Science*, 66 : 603-612.
- Woolfolk, J., Sears, P.D., Work, S.H., 1957. *Manejo de pastura*. Hemisferio Sur Edicion. Buenos Aires, Argentina. 220 pp.
- Zahedi, F., 1966. Etude sur les besoins en eau d'irrigation de l'Iran. Thèse de docteur-Ingénieur Sciences, Paris, Faculté des aciences. 154 pp.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Principe de la micrographie et méthode de préparation des échantillons [Rech, 1976].
- Annexe 2** : Tables argentines et française de référence de la composition chimique et de la valeur alimentaire des aliments.
- Annexe 3** : Détermination de l'Energie Brute (EB), de l'Energie Digestible (ED), de l'Energie Métabolisable (EM) et de l'Energie Nette (EN) d'un aliment.
- Annexe 4** : Détermination de la teneur en eau de l'aliment.
- Annexe 5** : Détermination de la teneur en eau résiduelle d'un aliment.
- Annexe 6** : Détermination de la teneur en Matière Azotée Totale (MAT) d'un aliment.
- Annexe 7** : Détermination de la teneur en Cellulose Brute (CB) d'un aliment.
- Annexe 8** : Détermination de la teneur en Cendres Brutes ou Matières Minérales d'un aliment.
- Annexe 9** : Proposition de méthode d'évaluation des quantités de végétaux réellement disponibles pour les animaux sur un cycle de pâture.
- Annexe 10** : Proposition de méthode de calcul de la couverture végétale et de son évolution.
- Annexe 11** : Evaluation de l'état corporel par la méthode du scoring.
- Annexe 12** : Evaluation du déficit ou de l'excès d'énergie nette à partir de la notation corporelle.
- Annexe 13** : Relations entre le besoin énergétique exprimé en énergie nette ou en énergie métabolisable et le besoin énergétique exprimé en Unité Fourragère (UF) ou en « Equivalente Vaca » (EV).
- Annexe 14** : Composition corporelle de l'animal en fonction de sa notation corporelle et relation avec l'énergie métabolisable nécessaire au maintien de cet état.
- Annexe 15** : Estimation du poids d'un animal à partir de mesures morphologiques (barymétrie).
- Annexe 16** : Méthode factorielle de détermination du besoin énergétique.
- Annexe 17** : Détermination du besoin énergétique nécessaire à la thermorégulation.
- Annexe 18** : Méthode d'estimation de la consommation de fourrages.
- Annexe 19** : Méthode de calcul de l'indice climatique de potentialité agricole.
- Annexe 20** : Carte de l'Estancia San Carlos.
- Annexe 21** : Calcul du besoin énergétique lié à la thermorégulation d'après la Température extérieure (T_e), la Température ressentie (T_r) et la Température de confort (T_c) des animaux.
- Annexe 22** : Calcul du besoin énergétique des veaux de 9 mois sur pâture d'hiver.
- Annexe 23** : Calcul du besoin énergétique des génisses de 18 mois sur pâture composée.
- Annexe 24** : Calculs sur la qualité des apports.
- Annexe 25** : Calculs de la couverture végétale et de son évolution.
- Annexe 26** : Calcul du facteur climatique de potentialité agricole A

Annexe 1 : Principe de la micrographie et méthode de préparation des échantillons [Rech, 1976].

PRINCIPE DE LA METHODE :

Les caractères anatomiques des feuilles sont localisés au niveau des cellules de l'épiderme inférieur, observées de face ou à plat. Ces cellules sont protégées par la cuticule, constituée d'un mélange de cire et de cutine. Or, cette cuticule résiste aux processus de la digestion des animaux, ainsi les feuilles ou les fragments de feuille se retrouvent intacts dans les matières fécales ou dans les différents contenus digestifs.

PREPARATION DES ECHANTILLONS :

L'épiderme inférieur de la feuille (ou du fragment de feuille), maintenue entre pouce et index, est décollé à l'aide d'une lame de rasoir. Si l'échantillon est sec, il faut au préalable le tremper dans de l'eau additionnée de teepol (ou autre détergent) afin de réhydrater les tissus, avant de décoller l'épiderme comme précédemment. L'épiderme subit ensuite :

- une destruction cellulaire (les cristaux d'oxalate de calcium et les membranes cellulaires sont conservés). Le fragment obtenu après grattage est plongé pendant 20 minutes environ dans $\frac{3}{4}$ d'eau de javel concentrée et $\frac{1}{4}$ d'alcool éthylique à 95°.
- un rinçage. Devenu transparent, le fragment végétal est rincé à l'eau du robinet additionnée de quelques gouttes de détergent, afin d'éliminer les bulles d'air éventuellement formées.

MONTAGE ET OBSERVATION :

L'échantillon à examiner est monté entre lame et lamelle dans une goutte de glycérine pure. Les grossissements utilisés : oculaire: x10, objectif: x10 parfois x20.

RESULTATS :

L'observation de nombreuses espèces végétales a permis de dresser une liste de caractères anatomiques dont la combinaison d'un certain nombre (3 en moyenne) est à la base de l'identification de la famille, du genre et plus rarement de l'espèce. Chez les Dicotylédones, ces caractères sont au nombre de 100. Ils se répartissent et se résument de la façon suivante :

- Cristaux d'oxalate de calcium visibles à travers l'épiderme (présence ou absence, forme des cristaux,...)
- Présence (ou absence) de poils tecteurs uni ou pluricellulaires (forme générale, longueur et largeur du poil, nombre de cellules composant le poil, articulation du poil,...)
- Présence (ou absence) de poils sécréteurs,

- Cellule épidermiques (rectilignes ou non), stomates (nombre de cellules entourant les stomates).

Chez les Monocotylédones, le nombre d'éléments anatomiques de l'épiderme inférieur de la feuille est beaucoup plus réduit : 32 chez les Graminées, 8 spécifiques chez les Liliacées, les Amaryllidacées, les Discoréacées et les Iridacées. Ces dernières familles ont aussi, au niveau de l'épiderme inférieur, des caractères anatomiques semblables à ceux des Dicotylédones et Graminées. Cette réduction du nombre des éléments anatomiques est une conséquence de l'évolution simplificatrice de la morphologie et de l'anatomie de ce groupe de plantes. Elle entraîne une difficulté de diagnose d'une plante inconnue, par cette méthode.

Annexe 2 : Tables de référence argentines [Jaurena et Danelon, 2001] et françaises [INRA, 1978] de la composition chimique et de la valeur alimentaire de quelques aliments

MS : Matière Sèche ; **UFV** : Unité Fourragère Viande ; **VEF** : Valeur d'Encombrement Fourragère ; **MO** : Matière Organique ; **MAT** : Matière Azotée Totale ; **CB** : Cellulose Brute ; **EM** : Energie métabolisable
NDF : Neutal Detergent Fiber ; **ADF** : Acid detergent fiber ; **ADL** : Acid Detergent Lignin ;
PB : Protéine Brute ; **EV** : Equivalent Vache

• **Tables françaises [INRA, 1978] :**

	MS (g/kg)	UFV (/kg MS)	MS ingérée (g/kg PV ^{0,75})	VEF (UE)	MO	MAT	CB	Cendres	EM (Mcal/kg MS)
					(g/kg MS)				
Luzerne 2^{ème} cycle 5 sem.	190	0.73	90	0.83	900	220	300	100	2.38
Dactyle 2^{ème} cycle feuillu 6 sem.	187	0.78	81	0.93	886	183	288	114	2.43
Brome 2^{ème} cycle 7 sem.	214	0.77	68	1.10	892	116	301	108	2.38
R. Grass Angl. 2^{ème} cycle feuillu 7 sem.	184	0.86	75	1.00	890	166	239	110	2.58
Avoine de printemps : montaison	160	0.99	65	1.15	890	128	220	110	2.81
Avoine de printemps: début épiaison	170	0.88	54	1.39	892	103	265	108	2.61
Trèfle blanc 2^{ème} cycle	142	0.87	85	0.88	842	226	166	158	2.58

• **Tables argentines [Jaurena et Danelon, 2001] :**

$$\text{CB} = 80 \% \text{ cellulose vraie} + 1/3 \text{ hemicellulose} + 1/2 \text{ lignine} \\ = 4/5 (\text{ADF-ADL}) + 1/3 (\text{NDF} - \text{ADF}) + 1/2 \text{ ADL}$$

$$\text{EV} = \text{EM}/18.5$$

	MS (g/kg)	NDF	ADF	ADL	FB	MO	PB = MAT	CB	Cendres	EV	EM (Mcal/kg MS)
Luzerne préfloraison	183	n.d.	271	55	n.d.	880	247		120	0.13	2.44
Luzerne floraison	224	475	313	77	259	894	225	281	106	0.11	2.10
Pâture de Légumineuses	274	n.d.	318	61	246	895	190		105	0.12	2.21
Dactyle	193	n.d.	n.d.	n.d.	276	852	181		148	0.12	2.21
Ray Grass anglais	197	n.d.	311	n.d.	218	854	186		146	0.14	2.54
Hordeum sp. (Cebada)	299	411	269	38	202	861	216	251	139	0.15	2.81
Pâture de Graminées	304	652	390	61	286	894	126	381	106	0.12	2.17
Trèfle rouge	188	n.d.	339	n.d.	242	893	176		107	0.12	2.20
Avoine	205	445	262	31	205	879	179	261	121	0.15	2.83
Sorgho	240	601	339	34	266	893	117	348	107	0.13	2.43

Annexe 3 : Détermination de l'Energie Brute (EB), de l'Energie Digestible (ED), de l'Energie Metabolisable (EM) et de l'Energie Nette (EN) d'un aliment

[Demarquilly et Weiss, 1970] ; [Vermorel, 1978] ; [Demarquilly et al., 1978] ; [Carillo, 2001].

$$\text{EB} = ((100 - \text{Mm})/100) \times [4531 + \Delta + 1.735 \times (\text{MAT} \times 100/(100 - \text{Mm}))] \pm 38$$

EB, l'Energie Brute (en Kcal/kg MS)

Δ , coefficient des fourrages, est égal à + 82 pour les fourrages verts de luzerne et de prairie permanente de plaine.

- 11 pour les fourrages verts de prairie permanente de montagne et les plantes entières de céréales immatures (avoine).

- 71 pour les fourrages verts de Graminées.

MAT, la Matière Azotée Totale (en g/kg MS).

Mm, la teneur en Matières minérales (en % de la MS)

$$\text{ED} = \text{EB} \times \text{dE} = \text{EB} (1.0087 \text{ dMO} - 0.0377)$$

ED, l'Energie Digestible (en Mcal/kg MS)

EB, l'Energie Brute (en Mcal/kg MS)

dE, la digestibilité de l'Energie

dMO, la digestibilité de la Matière Organique

- Pour le Ray Grass Anglais de 2^{ème} cycle :

$$\text{dMO} = (61.6 + 0.5193 \text{ MAT} + - 0.00173 \text{ MAT}^2 - 0.1014 \text{ CB}) / 100$$

Les tables donnent des valeurs moyennes de 0.76

- Pour la luzerne de 2^{ème} cycle :

$$\text{dMO} = (64.7 + 0.0456 \text{ MAT} - 0.00010 \text{ CB}^2) / 100$$

Les tables donnent des valeurs moyennes de 0.67

- Pour le dactyle de 2^{ème} cycle :

$$\text{dMO} = (70.8 + 0.00012 \text{ MAT}^2 - 0.00006 \text{ CB}^2) / 100$$

Les tables donnent des valeurs de 0.72

- Les équations ne sont pas fournies pour le brome et pour l'avoine mais les tables donnent des valeurs moyennes de 0.72 pour la dMO d'un brome de 2^{ème} cycle et de 0.82 et 0.78 pour de l'avoine en montaison et en début épiaison.

MAT, la Matière Azotée Totale (en g/kg MS)

CB, la teneur en Cellulose Brute (en g/kg MS)

$$\text{EM} = \text{ED} \times \text{EM/ED}$$

EM, l'Energie Métabolisable (en Mcal/kg MS)

ED, l'Energie Digéritable (en Mcal/kg MS)

$$\mathbf{EM/ED = 0.8286 - 0.0000877 CB - 0.000174 MAT + 0.0243 NA \pm 0.0093}$$

MAT, la matière azotée totale (en g/kg MS).

CB, la teneur en cellulose brute (en g/kg MS).

NA, le niveau d'alimentation (en g/kg PV^{0.75}). Pour les fourrages verts, NA≈1,7.

$$\mathbf{NA = M\text{Od ingérée} / 23}$$

M\text{Od ingérée}, la quantité de Matière Organique digéritable ingérée (en g/kg PV^{0.75}).

- **EN = EM x Km**

EN, l'Energie Nette (en Mcal/kg MS)

EM, l'Energie Métabolisable (en Mcal/kg MS)

Km, le coefficient d'utilisation de l'énergie métabolisable

$$\mathbf{Km = (Km \times Kf \times 1.5) / (Kf + 0.5 \times Km)}$$

$$\mathbf{Km = 0.287 \times EM/EB + 0.554}$$

$$\mathbf{Kf = 0.78 \times EM/EB + 0.006}$$

- **UF_v = EN / 1.85**

UF_v, l'Unité Fourragère viande

EN, l'Energie Nette (en Mcal/kg MS)

- **EV = EM / 18.5 et EV = ED / 22.6**

EV, l'Equivalent Vaca

EM, l'Energie Métabolisable (en Mcal/kg MS)

ED, l'Energie Digéritable (en Mcal/kg MS)

Annexe 4 : Détermination de la teneur en eau d'un aliment avec la méthode utilisant le micro-onde pour déterminer la teneur en eau de l'aliment [Farmer et Brusewitz, 1980 ; Griggs, 2005].

Peser, au gramme près, un échantillon d'environ 100 g de l'aliment à analyser.

Mettre l'échantillon sur une assiette en carton ou dans un sac en papier puis le disposer dans le micro-onde.

Placer un verre de 10 cl, aux trois quart plein, dans le micro-onde, avec l'échantillon.

Chauffer à 80-90 % de la puissance maximale, pendant 4 minutes.

Retirer l'échantillon, le broyer et le repeser.

Chauffer à nouveau 2 min puis repeser l'échantillon. Répéter cette opération et repeser l'échantillon après chaque chauffage. Diminuer la température de chauffage et passer à 30 sec de séchage lorsque l'échantillon devient sec. Si le poids de l'échantillon reste constant après deux ou trois séchages successifs, il est sec à 100 %, et ce poids est le final.

N.B. Si carbonisation, recommencer le séchage en adaptant les paramètres (séchage plus court, puissance plus basse)

$$\mathbf{TH = 100 \times (p_1 - p_2)/p_1}$$

TH, le taux d'humidité (en %)

p₁, la masse initiale de l'échantillon (en g)

p₂, la masse final de l'échantillon (en g)

$$\mathbf{MS = 100 - TH}$$

MS, la teneur en Matière Sèche (en %)

Annexe 5 : Détermination de la teneur en eau résiduelle d'un aliment

Méthode AFNOR, NF V 18-109. Aliments des animaux. Détermination de la teneur en eau. Octobre 1982. Méthode A.

PRINCIPE

Après broyage et conditionnement éventuels, séchage du produit à une température de 103 °C pendant 4h

APPAREILLAGE

Récipient en métal non attaquable ou en verre, muni d'un couvercle suffisamment étanche et présentant une surface utile permettant d'obtenir une répartition de la prise d'essai d'environ 0,3 g/cm².

Etuve électrique bien ventilée, réglable à 103 °C ± 1°C.

Dessiccateur, garni d'un déshydratant efficace.

Balance analytique

MODE OPERATOIRE

Les opérations décrites ci-dessous doivent être effectuées immédiatement après l'ouverture des emballages contenant les échantillons pour laboratoire.

Préparation de l'échantillon pour essai : Opérer conformément à la norme NF V 18-091 en broyant, si nécessaire, l'échantillon pour analyse et en procédant à un préséchage pour les aliments solides dont la teneur en eau est élevée et rend le broyage difficile.

Prise d'essai : Peser, à 1 mg près, environ 5g d'échantillon pour essai dans un récipient préalablement séché, ainsi que son couvercle, à 103 °C pendant 30 min, et taré à 1 mg près. Etaler uniformément la prise d'essai.

Détermination : Placer le récipient dans l'étuve, préalablement chauffée à 103 °C ± 1°C. Mettre le couvercle du récipient en-dessous ou à côté de celui-ci.

Laisser sécher pendant 4 h comptées à partir du moment où la température de l'étuve atteint à nouveau 103 °C. Retirer le récipient de l'étuve, mettre le couvercle, laisser refroidir pendant environ 30 min dans le dessiccateur et peser à 1 mg près.

Essai de contrôle : Afin de contrôler que, durant le séchage de la prise d'essai, il ne s'est pas produit une perte de masse inacceptable, provoquée par des réactions chimiques (par exemple réaction de Maillard), procéder de la manière suivante : Chauffer de nouveau le récipient avec sa prise d'essai, à 103 °C pendant 2 h, refroidir au dessiccateur e à 0,2 % de la masse de la prise d'essai pendant 45 min et peser à 1 g près. Si la perte de masse durant ce second séchage est supérieur (soit 10 mg pour une prise d'essai de 5 g), il se peut que des réactions

chimiques se soient produites. Dans ce cas, l'utilisation de la méthode à 80 °C sous pression jusqu'à masse constante (NF V 18-109, méthode B) doit être envisagée.

Nombre de déterminations : Effectuer au moins deux déterminations sur le même échantillon pour laboratoire.

EXPRESSION DES RESULTATS

Mode de calcul et formules :

Sans conditionnement préalable :

$$TE = (m_0 - m_1) \times 100/m_0$$

TE, la teneur en eau du produit (en %)

m₀, la masse de la prise d'essai (en g)

m₁, la masse de la prise d'essai après séchage (en g)

Avec conditionnement préalable :

$$TE = [(m_0 - m_1) \times m_3 / m_0 + m_2 - m_3] \times 100/m_2 = 100 [1 - (m_1 m_3 / m_0 m_2)]$$

TE, la teneur en eau du produit (en %)

m₀, la masse de la prise d'essai (en g)

m₁, la masse de la prise d'essai après séchage (en g)

m₂, la masse du produit avant conditionnement (en g)

m₃, la masse du produit après conditionnement (en g)

Répétabilité : La différence entre les résultats de deux déterminations effectuées simultanément ou rapidement l'une après l'autre par le même analyste, ne doit pas dépasser 0,2 % (en valeur absolue).

Annexe 6 : Détermination de la teneur en Matière Azotée Totale (MAT) d'un aliment

Méthode AFNOR, NF V 18-100. CCE 3^e Directive : Dosage des protéines brutes par la méthode de KJELDAHL.

Cette méthode permet de déterminer conventionnellement la teneur en protéines brutes des aliments des animaux à partir de la teneur en azote, dosée par la méthode de Kjeldahl.

PRINCIPE

L'échantillon est minéralisé par voie humide. La solution acide est alcalinisée par une solution d'hydroxyde de sodium. L'ammoniac libéré est entraîné par distillation et recueilli dans une quantité déterminée d'acide sulfurique dont l'excès est titré par une solution d'hydroxyde de sodium.

A l'ébullition, l'acide sulfurique concentré agit comme un oxydant. La matière organique est détruite : $C \rightarrow CO_2$, $H \rightarrow H_2O$, $N \rightarrow (NH_4)_2SO_4$. L'utilisation d'un catalyseur est nécessaire pour augmenter la température d'ébullition de l'acide afin de libérer l'azote des composés hétérocycliques.

REACTIFS

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique et pratiquement exempts de composés azotés. L'eau utilisée doit être de l'eau distillée ou de qualité équivalente.

- Acide sulfurique concentré $d=1.83$ (0.1 mol/l)
- Hydroxyde de sodium 40 % : 400 g NaOH en ptilles qsp 1 l eau
- Acide sulfurique N préparé à partir d'une ampoule titrisol (0.1 mol/l)
- Rouge de méthyle 0.1 % dans l'alcool à 95 °
- Catalyseur de DUMAZERT et MARCELET
- Papier de tournesol

APPAREILLAGE

- Appareil à minéraliser : Büchi 425 Digestor
- Appareil à distiller : Büchi distillation unit K314
- Multi-Dosimat E315 (Metrohm AG, Herisau, Suisse)
- Agitateur magnétique, barreaux aimantés
- Tubes à minéralisation
- Erlen

MODE OPERATOIRE

- Minéralisation

Peser, à 1mg près, 1 à 2 g d'échantillon broyé, selon la teneur en azote présumée du produit à analyser, dans un papier exempt d'azote et l'introduire dans un tube de minéralisation.

Ajouter 1 g de catalyseur, puis 25 ml d' H_2SO_4 $d=1.83$.

Placer les tubes dans le digestor, positionner le collecteur de fumée et ouvrir le robinet de la pompe à vide.

Chauffer avec modération jusqu'à l'apparition des fumées blanches (th 3-4), puis augmenter le chauffage (th 8-9) afin d'obtenir l'ébullition du liquide.

Chauffer jusqu'à l'obtention d'une solution limpide et incolore. Laisser ensuite refroidir.



Büchi 425 Digestor
(Büchi laboratorum Technik, Flawil, Switzerland)

- Distillation

La distillation se fait sur la totalité du liquide minéralisé.

Ajouter très doucement 80 ml d'eau dans le tube de minéralisation et quelques gouttes de rouge de méthyle.

Introduire dans la fiole de récupération 25 ml mesurés à la pipette d' H_2SO_4 et ajouter quelques gouttes de rouge de méthyle. Plonger l'extrémité du réfrigérant sur une hauteur de 1 cm au moins dans le liquide de cette fiole.

Placer le tube de minéralisation dans l'unité de distillation, ajouter environ 80 ml de NaOH 40 % (le liquide devient jaune). Mettre la distillation en route, laisser distiller 3-4 min. La fin de la distillation peut être contrôlée par l'utilisation du papier rouge de tournesol qui ne doit pas virer (la présence d'ammoniac le faisant virer au bleu).



Büchi distillation unit K314
(Büchi laboratorum Technik, Flawil, Switzerland)

- Titration

Titrer l'excès d'acide sulfurique par la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à virage de la coloration au jaune clair.

CALCULS

Déterminer le volume d'acide consommé = (25 - V) ml, V étant le volume de soude utilisée.
10 ml d'acide correspondant à 14 mg d'azote, déterminer la quantité d'azote. Puis multiplier cette quantité par le facteur 6.25. Exprimer le résultat en pour cent de l'échantillon :

$$\text{MAT (\%)} = 0,1 \times (25 - V) \times 14 \times 6.25 \times 100 / m$$

MAT, la Matière Azotée Totale (en %)

V, le volume de soude utilisé (en ml)

m, la masse de la prise d'essai (en mg)

Annexe 7 : Détermination de la teneur en Cellulose Brute (CB) d'un aliment

Méthode AFNOR, NF V 03 040 Février 1977 : Méthode de détermination de la CB (Indice d'Insoluble dit Cellulosique) par la méthode de WEENDE.

La CB ou cellulose de Weende est la Matière Organique (MO) qui reste insoluble après les traitements acide et alcalin. Elle s'exprime en % en masse, rapporté soit au produit tel quel (brut) soit à sa Matière Sèche (MS).

PRINCIPE

Après broyage et dégraissage éventuel, traitement du produit à l'ébullition par une solution d'acide sulfurique de concentration déterminée, puis séparation et lavage du résidu. Traitement de ce résidu obtenu par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration déterminée puis séparation, lavage, dessiccation, pesée du résidu insoluble et détermination de sa perte de masse par incinération.

REACTIFS

Les réactifs utilisés doivent être de qualité analytique.

- Acide sulfurique 1.25 % = 6.9 ml de H₂SO₄ qsp 1 l d'eau
- Hydroxyde de sodium 1.25 % = 12.50 g de NaOH qsp 1 l d'eau
- Acétone
- Anti-mousse (n.Octanol)

APPAREILLAGE

- Broyeur
- Balance
- Fibertec M6
- Creusets en verre fritté porosité 2 (40-90 μ)
- Etuve 103 °C
- Four 550 °C
- Dessicateur



MODE OPERATOIRE

Les produits qui passent sans refus au tamis de 1 mm d'ouverture de maille, n'ont pas besoin d'être broyés. Les produits ne correspondant pas à ces caractéristiques granulométriques doivent être broyés. Dans le cas de produits trop humides pour être broyés tels quels, soumettre l'échantillon à un séchage préalable.

Cette analyse se fait à l'aide de l'appareil Fibertec.

Peser à 0,001 g, 1 g d'échantillon dans un creuset de porosité 2.

Ajouter 100 ml de solution d'acide sulfurique bouillante, porter à ébullition rapidement et maintenir une ébullition douce pendant 30 min. Arrêter le chauffage, filtrer, laver 3 fois à l'eau chaude.

Ajouter 100 ml de solution de soude bouillante et faire bouillir à nouveau 30 min. comme précédemment. Arrêter le chauffage, filtrer immédiatement, laver 3 fois à l'eau chaude.

Ajouter l'acétone, laisser agir 2 min., filtrer puis sécher le résidu à l'étuve à 103 °C jusqu'à poids constant.

Refroidir dans un dessiccateur, peser P_1 , puis incinérer dans le four à 550 °C pendant 2 heures, laisser refroidir dans un dessiccateur et peser P_2 .

$$CB = (P_1 - P_2) \times 100 / m$$

CB, la teneur en Cellulose Brute de l'échantillon (en %)

P_1 , la masse de l'échantillon après traitement (en g)

P_2 , la masse de l'échantillon après traitement et incinération (en g)

m, la masse de la prise d'essai (en g)

Annexe 8 : Détermination de la teneur en Cendres Brutes ou Matières Minérales d'un aliment

Méthode AFNOR NF V18-101 _ CEE 71/250

PRINCIPE

L'échantillon est incinéré à 550 °C ; le résidu est pesé.

REACTIFS

Solution à 20 % de nitrate d'ammonium

APPAREILLAGE

- Plaque chauffante
- Four à moufle électrique, avec thermostat
- Creusets à incinération en platine ou en alliage de platine et or (10% Pt, 90 % Au), rectangulaires (60x40x25 mm) ou ronds (diamètre : 60-75 mm, hauteur : 20-25 mm)

MODE OPERATOIRE

Peser, à 1 mg près, 1 g environ de l'échantillon (2.5 g pour les produits ayant tendance à gonfler) dans un creuset à incinération préalablement calciné et taré. Placer le creuset sur la plaque chauffante et chauffer progressivement jusqu'à carbonisation de la matière.

Introduire le creuset dans le four à moufle réglé à $550\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Maintenir à cette température jusqu'à obtention de cendres blanches, gris clair ou rougeâtres, apparemment dépourvues de particules charbonneuses. Placer le creuset dans un dessiccateur, laisser refroidir et peser immédiatement (P_2).

CALCUL DES RESULTATS

$$\mathbf{Mm} = (P_2 - P_1) \times 100 / m$$

Mm, le taux de Matières minérales de l'échantillon (en %)

P₁, la masse de la tare, c'est à dire du creuset (en g)

P₂, la masse de l'échantillon et du creuset après traitement (en g)

m, la masse de la prise d'essai (en g)

Annexe 9 : Proposition de méthode d'évaluation des quantités de végétaux réellement disponibles pour les animaux sur un cycle de pâture.

Facteurs à prendre en compte :

- Disponibilité initiale
- Evolution de la disponibilité (croissance et dégénérescence de la végétation)
- Niveau de dégradation de la parcelle par les animaux

Quantités réellement disponibles

= Disponibilité initiale + % évolution /j. x ($\sum [n : 1 \rightarrow 44]$ Dispo i - n x Conso/j) - % dégradation/j. x ($\sum [n : 1 \rightarrow 44]$ Dispo i - n x Conso/j.)

= Disponibilité initiale + (% évolution /j. - % dégradation/j.) ($\sum [n : 1 \rightarrow 44]$ Dispo i - n x Conso/j)

Cette formule est donnée pour des animaux passant par exemple 44 j. sur une parcelle.

Le pourcentage d'évolution de la végétation peut être positif ou négatif selon que la croissance prédomine sur la déhiscence de la végétation ou l'inverse.

Disponibilité initiale

Facilement déterminée à l'entrée des animaux sur une pâture.

Evolution de la disponibilité :

Evolution quotidienne de la disponibilité, d'après les données bibliographiques ou évolution quotidienne de la couverture végétale (cf. Annexe 10) et détermination de l'évolution de la disponibilité à partir du coefficient reliant la disponibilité et la couverture végétale.

Niveau de dégradation de la parcelle par les animaux

Facteurs, liés à la présence des animaux, influençant les quantités disponibles [Croisier et Demarly, 1968] :

- Piétinement : faible influence
- Déjections : influence faible en automne (liée à la forte pluviosité)

Annexe 10 : Proposition de méthode de calcul de la couverture végétale et de son évolution.

- La couverture végétale à un instant t :

Délimiter une zone de 1 m², à l'aide de petites baguettes et de fil de couleur (afin de pouvoir retrouver facilement la zone d'un jour à l'autre pour suivre son évolution).
Dénombrer le nombre d'individus de chaque espèce présents dans cette surface ainsi que le nombre de talles par individu [Agnusdei *et al.*, 1998 ; Woolfok *et al.*, 1957].
Mesurer le nombre de feuilles par talle ainsi que la surface de ces feuilles.

$$CV = S_f \times N_{f/t} \times N_{t/p} \times N_{p/m^2} \times S_p$$

CV, la couverture végétale (en m²)
S_f, la surface moyenne des feuilles (cm²),
N_{f/t}, le nombre de feuilles moyen par talle,
N_{t/p}, le nombre moyen de talle par plante,
N_{p/m²}, le nombre de plantes par m²
S_p, la surface de la pâture qu'on étudie (en ha).

Pour déterminer la surface des feuilles (S_f), il est nécessaire de mesurer la longueur de la feuille et sa largeur maximale à l'aide d'un mètre rigide. Le calcul de la surface doit tenir compte de la forme de la feuille.

- Evolution de la couverture végétale :

Méthode expérimentale : Choisir une ligne de semence ou une bande de 10 cm de large, dans la zone délimitée pour la détermination de la couverture végétale, ceci pour faciliter le suivi des plantes.

Délimiter chaque plante à l'aide de ficelle et les numéroter.

Choisir deux à trois talles par plante et les marquer (peinture résistante à l'eau).

Mesurer la taille des feuilles des talles marqués, au cours de la période d'étude.

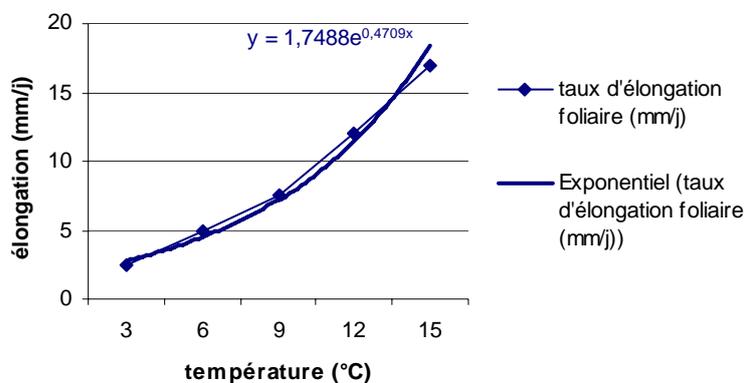
Ces mesures permettent de calculer l'indice de couverture végétale (CV) à plusieurs dates et ainsi de calculer ses variations :

$$\Delta CV = CV_{t2} - CV_{t1}$$

où Δ CV représente la variation de la couverture végétale entre les dates t1 et t2.

Méthode utilisant les données bibliographiques : Utiliser les caractéristiques morphogénétiques de plantes, c'est à dire le taux d'apparition des feuilles (TAF), le taux d'élongation foliaire (TEF) et la durée de vie foliaire moyenne (VFM) pour déterminer l'évolution de la couverture végétale [Agnusdei *et al.*, 2003 ; Colabelli *et al.*, 1998]

Le taux d'élongation foliaire en fonction de la température, des graminées fourragères, suit une courbe exponentielle, comme le montre le graphique ci-dessous, sur lequel est indiqué l'équation de cette courbe.



Taux d'élongation foliaire (mm/j) en fonction de la température extérieure (°C) des Graminées fourragères, durant l'automne [Colabelli et al.,1998].

Annexe 11 : Evaluation de l'état corporel par la méthode du scoring (notation corporelle), d'après une étude menée sur des vaches adultes de race Herford hors lactation et hors gestation [Wagner *et al.*, 1988]

Notation	Pourcentage de gras (%)	Poids vif estimé (Kg)*	Apparence de l'animal
1	3.77	343	Emaciée : les structures osseuses des épaules, des côtes, du dos et des pattes sont très saillantes (au toucher et à l'œil). Très peu de dépôts de gras et musculature très peu développée.
2	7.54	331	Très maigre : Très peu de dépôts de gras mais légère musculature à l'avant-main. Les processus épineux sont saillants et bien séparés les uns des autres par des espaces nets.
3	11.30	333	Maigre : Début de dépôt de gras sur les lombes, le dos, et les premières côtes. Les os du dos restent très visibles. Les processus épineux peuvent être identifiés individuellement au touché et sont encore visibles. Les espaces entre les processus sont moins nets.
4	15.07	350	Limite : Les premières côtes ne sont plus visibles mais les 12 ^{ème} et 13 ^{ème} côtes sont toujours visibles . Les processus transverses ne peuvent être identifiés qu'à la palpation (et paraissent arrondis plutôt que tranchants). La musculature est présente à l'arrière-main.
5	18.89	381	Modérée : Les 12 ^{ème} et 13 ^{ème} côtes ne sont plus visibles (sauf si l'animal se contracte). Les processus transverses ainsi que les espaces entre les processus ne sont plus visibles et ne sont identifiables qu'en exerçant une forte pression. Les zones situées de chaque côté de la base de la tête sont bien remplies sans être rebondies.
6	22.61	426	Bon : Les côtes sont totalement couvertes, non visibles. L'arrière-main est pleine et rebondie. Une épaisseur de gras couvre les premières côtes ainsi que chaque côté de la tête. Les processus transverses ne peuvent être identifiés qu'avec une pression ferme.
7	26.38	486	Très bon : L'extrémité des processus épineux ne peut être sentie qu'avec une forte pression. Les espaces entre les processus peuvent à peine être distingués. Chaque côté de la base de la tête est abondamment couvert de gras
8	30.15	559	Gras : L'animal a l'apparence d'un « bloc arrondi sans reliefs : La structure osseuse n'est plus visible.
9	33.91	647	Très gras : La structure osseuse n'est ni visible ni palpable. La base de la tête est totalement prise dans le gras. La mobilité de l'animal est réduite du fait de l'excès de gras.

* D'après l'équation : $PV=368,59-33,05X_{cs}+7,11CS^2$ [Wagner *et al.*, 1988]

Annexe 12 : Evaluation du déficit ou de l'excès d'énergie nette (en Mcal) à partir de la notation corporelle [NRC, 1989]

Energie nette à mobiliser par l'animal pour passer à la notation inférieure ou pour passer de la notation inférieure à la supérieure, en fonction de son poids.

	Poids								
Notation	400	450	500	550	600	650	700	750	800
2	112	126	140	154	168	182	196	210	223
3	126	141	157	173	189	204	220	236	251
4	144	162	180*	198	217	235	253	271	289
5	165	186	207	227	248	269	289	310	331
6	193	217	242	266	290	314	338	362	386
7	228	267	285	314	342	371	399	428	456
8	275	309	343	378	412	446	481	515	549
9	335	377	419	461	503	545	587	629	670

* Par exemple, Pour un animal de 500 kg, l'énergie nette mobilisée pour passer de la notation 4 à la notation 5 (bon état corporel) est de 180 Mcal.

Annexe 13 : Relations entre le besoin énergétique exprimé en énergie nette ou en énergie métabolisable et le besoin énergétique exprimé en Unité Fourragère ou en Equivalente Vaca

- Expression du besoin énergétique total, en Equivalente Vaca [Cocimano et al., 1975 ; Carillo, 2001]

Besoin énergétique (en EV) en fonction du stade physiologique de l'animal, de son poids vif et de son Gain Moyen Quotidien (GMQ)

Poids vif (kg)	GMQ (g)	Mois de lactation			Vaches tarées	4 derniers mois de gestation			
		1-2°	3-4°	5-6°		6°	7°	8°	9°
300	-200	0.88	1.06	1.24	0.61	0.65	0.69	0.79	0.85
	-100	0.90	1.08	1.26	0.63	0.67	0.71	0.81	0.87
	0	0.93	1.11	1.29	0.66	0.70	0.74	0.84	0.90
	250	1.03	1.21	1.39	0.76	0.80	0.84	0.94	1.00
	500	1.15	1.33	1.51	0.88	0.92	0.96	1.06	1.12
	750	1.29	1.47	1.65	1.02	1.06	1.10	1.20	1.26
350	-200	0.91	1.09	1.27	0.64	0.68	0.72	0.82	0.88
	-100	0.93	1.11	1.29	0.66	0.70	0.74	0.84	0.90
	0	0.96	1.14	1.32	0.69	0.73	0.77	0.87	0.93
	250	1.08	1.26	1.44	0.81	0.85	0.89	0.99	1.05
	500	1.21	1.39	1.57	0.94	0.98	1.02	1.12	1.18
	750	1.36	1.54	1.72	1.09	1.13	1.17	1.27	1.33
400	-200	0.94	1.12	1.30	0.67	0.71	0.75	0.85	0.91
	-100	0.97	1.15	1.33	0.70	0.74	0.78	0.88	0.94
	0	1.00	1.18	1.36	0.73	0.77	0.81	0.91	0.97
	250	1.13	1.31	1.49	0.86	0.90	0.94	1.04	1.10
	500	1.28	1.46	1.64	1.01	1.05	1.09	1.19	1.25
	750	1.45	1.63	1.81	1.18	1.22	1.26	1.36	1.46
450	-200	1.00	1.18	1.36	0.73	0.77	0.81	0.91	0.97
	-100	1.03	1.21	1.39	0.76	0.80	0.84	0.94	1.00
	0	1.07	1.25	1.43	0.80	0.84	0.88	0.98	1.04
	250	1.21	1.39	1.57	0.94	0.98	1.02	1.12	1.18
	500	1.37	1.55	1.73	1.10	1.14	1.18	1.28	1.34
	750	1.55	1.73	1.91	1.28	1.32	1.36	1.46	1.52
500	-200	1.05	1.23	1.40	0.78	0.82	0.84	0.96	1.01
	-100	1.09	1.27	1.44	0.82	0.86	0.88	1.00	1.06
	0	1.13	1.31	1.48	0.8	0.90	0.92	1.04	1.10
	250	1.29	1.47	1.64	1.02	1.06	1.08	1.20	1.26
	500	1.47	1.65	1.81	1.19	1.23	1.26	1.38	1.44
	750	1.67	1.84	2.01	1.38	1.42	1.45	1.58	1.64
550	-200	1.13	1.30	1.47	0.86	0.90	0.92	1.04	1.09
	-100	1.17	1.35	1.52	0.90	0.94	0.96	1.08	1.13
	0	1.22	1.39	1.56	0.94	0.98	1.00	1.12	1.18
	250	1.39	1.56	1.73	1.11	1.15	1.18	1.30	1.36
	500	1.58	1.76	1.93	1.30	1.34	1.37	1.49	1.55
	750	1.80	1.98	2.15	1.52	1.56	1.59	1.71	1.77

$$EV = EM / 18.5$$

EV, le besoin énergétique total quotidien exprimé en Equivalente Vaca (en EV/j)

EM, le besoin énergétique total quotidien exprimé en Energie Métabolisable (en Mcal/j)

Moyennes :

- taureaux : 1.3 EV de moyenne sur l'année

- Vaches : 1 EV de moyenne sur l'année

- Vaches : 1.4 EV de la reproduction jusqu'au sevrage et 0.6 EV du sevrage jusqu'au part.

- Veaux : 0.6 EV du sevrage jusqu'à 1 an

- Bœufs : 0.7 EV de 1 à 2 ans, puis 0.8 EV à partir de 2 ans ou 300 kg, puis 1.0 EV à partir de 400 kg et jusqu'à la fin de l'engraissement.

- Génisses : 0.7 EV de 1 à 2 ans, puis 0.8 EV à partir de 2 ans ou de 300 kg ou si pleines

- Expression du besoin énergétique total, en Unité Fourragère [INRA, 1978]

$$UFI = ENI / 1.730$$

UFI, le besoin énergétique total d'une vache laitière, exprimé en Unité Fourragère (en UF/j)

ENI, le besoin énergétique total d'une vache laitière, exprimé en énergie nette (en Mcal/j)

$$UFv = ENmf / 1.855$$

UFv, le besoin énergétique total d'un bovin en croissance ou à l'engraissement, exprimé en Unité Fourragère (en UF/j)

ENmf, le besoin énergétique total d'un bovin en croissance ou à l'engraissement, exprimé en énergie nette (en Mcal/j)

Besoin énergétique (en UFI) de vaches nourrices en fonction de leur stade physiologique, de leur poids vif et de leur production

		Mois de lactation			Vaches tarées	Mois de gestation			
		1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}		6 ^{ème}	7 ^{ème}	8 ^{ème}	9 ^{ème}
Poids vif (production)	650 kg (veau de 45 kg, 7 kg lait/j)	6,7	7,2	7,7	4,7	5,2	5,7	6,5	7,6
	575 kg (veau de 40 kg, 7 kg lait/j)	6,3	6,8	7,3	4,3	4,8	5,2	5,9	6,9
	500 kg (veau de 35 kg, 7 kg lait/j)	5,8	6,3	6,8	3,9	4,3	4,7	5,3	6,1

Besoin énergétique (en UFI) de mâles et femelles en croissance en fonction de leur poids vif et de leur Gain Quotidien Moyen (GMQ)

Poids Vif (kg)	GMQ (g/j)	UFI mâle en croissance (/j)	UFI femelles en croissance (/j)
200	500	3,0	3,2
	700	3,2	3,5
250	300	3,3	3,4
	500	3,5	3,7
300	700	3,8	4,1
	0	3,5	3,5
300	300	3,8	3,9
	500	4,0	4,3
	700	4,3	4,7
350	0	4,0	4,0
	300	4,2	4,4
	500	4,5	4,8
350	700	4,8	5,3
	0	4,4	4,4
	300	4,7	4,8
400	500	5,0	5,3
	700	5,4	6,0
	0	4,8	4,8
450	300	5,1	5,3
	500	5,5	5,8
	700	5,8	6,4
500	0	5,2	5,2
	300	5,6	5,7
	500	5,9	6,3
500	700	6,3	6,9
	0	5,6	5,6
	300	6,0	6,2
550	500	6,3	6,7
	700	6,8	7,4
	0	6,0	
600	300	6,4	
	500	6,8	
	700	7,3	

Besoin énergétique des veaux mâles et femelles en fonction de leur poids vif, de leur stade physiologique (PA : Période d'Allaitement ; PS : Période de Sevrage ; PPS : Période de Post-Sevrage) et de leur GMQ

Poids Vif (kg)	GMQ (g/j)	UFI femelles		UFv mâles	
		PA , PS	PPS	PA,PS	PPS
50	400	1,5			
	600	1,6		1,6	
	800	1,7		1,7	
60	600	1,8	1,6	1,8	
	800	1,9	1,7	1,9	
70	600	2,0	1,8	2,1	1,5
	800	2,2	2,0	2,3	1,7
	1000			2,6	1,9
80	600	2,2	2,0	2,3	1,6
	800	2,4	2,2	2,5	1,9
	1000			2,6	2,1
90	600			2,5	1,8
	800			2,7	2,0
	1000			2,9	2,3
100	600		2,2		
	800		2,4		2,2
	1000		2,6		2,5
	1200				2,9
125	600		2,6		
	800		2,8		2,6
	1000		3,1		2,8
	1200				3,1
150	600		2,9		
	800		3,2		3,0
	1000		3,5		3,2
	1200				3,5
	1400				4,0

Annexe 14 : Composition corporelle de l'animal en fonction de sa notation corporelle et relation avec l'énergie métabolisable nécessaire au maintien de cet état [NRC, 2000 ; Thompson et al., 1983 ; INRA, 1978]

- Proportion des différents constituants :

$$\mathbf{AF = 0.037683 \text{ CS}}$$

$$\mathbf{AP = 0.200886 - 0.0066762 \text{ CS}}$$

$$\mathbf{AW = 0.766637 - 0.034506 \text{ CS}}$$

$$\mathbf{AA = 0.078982 - 0.00438 \text{ CS}}$$

AF, la proportion pondérale de gras (en % du poids vide)

AP, la proportion de protéine par rapport au poids vide de l'animal (en % du poids vide)

AW la proportion d'eau de l'animal vide (en % du poids vide)

AA, la proportion de cendres de l'animal vide (en % du poids vide)

CS, la condition corporelle (notation de 0 à 9).

- Relation entre la composition corporelle et le besoin énergétique

$$\mathbf{EM = Pvd (173,95 AP - 1,55 AF) } , \text{ [Thompson et al., 1983]}$$

EM, l'Energie Metabolisable nécessaire au maintien des tissus graisseux et protéiques, c'est à dire l'énergie d'entretien (en Kcal/j)

Pvd, le Poids vide de l'animal (en kg)

AF, la proportion pondérale de gras (en %)

AP, la proportion de protéine par rapport au poids vide de l'animal (en %)

$$\mathbf{Pvd = PV - CFTD}$$

CFTD, le poids des contenus frais du tractus digestif

$$\mathbf{CFTD = CFRR/0,696}$$

CFRR, le poids des contenus frais du reticulo-rumen

$$\mathbf{CFRR = 57,5 \pm 18,7 + 1,89 \times MSI - 1,15 \times t \pm 10,4}$$

$$\mathbf{CFRR = 50,5 \pm 17,3 + 3,38 \times FOI + 0,83 \times COI - 1,15 \times t \pm 10,0}$$

MSI, la matière sèche ingérée (en kg)

t, le temps écoulé depuis la distribution du dernier repas (en h)

FOI, la quantité de fourrages ingérée (en kg de matière sèche)

COI, la quantité de concentrés ingérée (en kg de matière sèche)

$$\mathbf{EM = 5.48 p + 9.371 } , \text{ [INRA, 1978]}$$

EM, l'Energie Métabolisable d'entretien (en Mcal/j)
p, la quantité de protéine (en kg)
l, la quantité de lipides (en kg)

Pour obtenir les besoins en Energie Nette (EN), on utilisera le rendement d'utilisation de l'EM pour l'entretien.

Annexe 15 : Estimation du Poids Vif d'un animal à partir de mesures morphologiques (barymétrie) [Delage, Poly et Vissac, 1955]

Formule simple de Crevat :

$$PV = K T^3$$

PV, le Poids Vif (en kg)

T, le Tour de poitrine (en m)

K, un coefficient qui dépend de l'âge et de l'état de l'animal

K=100 pour les veaux (avant sevrage)

K=90 pour les jeunes d'élevage

K=85 pour les bœufs maigres

K=80 pour les bœufs en état

K=76 pour les bœufs mi-gras

K=72 pour les boeufs gras

K=68 pour les bœufs fin gras

Autres formules :

$$\text{Formule de Crevat : } PV = 80 \times T \times L \times V$$

$$\text{Formule de Quételet : } PV = 87,5 \times T^2 \times L$$

$$\text{Formule de Maltiéwitch : } PV = ((T+V)/2)^2 \times M \times 62$$

PV, le Poids Vif (en kg)

T, le Tour de poitrine (en m)

L, la Longueur du corps (en m)

V, le tour Ventral (en m)

M, la longueur sterno-ilio-ischiale (en m)

Annexe 16 : Méthode factorielle de détermination du besoin énergétique

- **Besoin énergétique d'entretien strict**

Energie Métabolisable nécessaire pour l'entretien (EMe) [Bouvier et Vermorel, 1975] :

$$\text{EMe (en Mcal/j)} \approx 120.10^{-3} \times \text{PM}, \text{ à l'état préruminant}$$

$$\text{EMe (en Mcal/j)} \approx 100.10^{-3} \times \text{PM} \text{ à l'état ruminant}$$

PM, le Poids Métabolique (en kg)

$$\text{PM} = \text{PV}^{0.75}$$

PV, le poids vif de l'animal (en kg).

Energie Nette d'entretien (ENe) [NRC, 1984] :

$$\text{ENe (en Mcal/j)} = 0.077 \times \text{PM}.$$

Energie Nette à partir de l'Energie Métabolisable :

$$\text{ENe} = \text{EMe} \times 0.72$$

- **Besoin d'entretien supplémentaire**

Energie Nette supplémentaire liée au broutage (ENb), [Graham, 1965] :

$$\text{ENb (Mcal/j)} = \text{ENe} \times 10 \%$$

Energie Nette supplémentaire nécessaire aux déplacements (END), [NRC, 1984] :

$$\text{END (Mcal/j)} = \text{D} \times 0.66$$

D, la distance parcourue quotidiennement (en km/j)

Energie Nette supplémentaire liée à la thermorégulation (ENT):

$$\text{ENT (Mcal/j)} = \text{ENe} \times \text{a} (\text{Tc} - \text{Tr})$$

a, l'augmentation du besoin d'entretien pour maintenir la température (en %)

Tc, la température de confort de l'animal (en °C)

Tr, la température ressentie par l'animal (en °C)

Pour déterminer **Tc, Tr et a** : cf. Annexe 17

- **Besoin de production**

Energie Nette pour la croissance et l'engraissement (ENc) [INRA, 1978], [NRC, 1984]

Veaux mâles de moins de un an : $ENc \text{ (Mcal/j)} = 0.0557 \times PV^{0.75} \times GMQ^{1.097}$

Velles de moins de un an : $ENc \text{ (Mcal/j)} = 0.0686 \times PV^{0.75} \times GMQ^{1.119}$

Jeunes bovins mâles de plus de un an : $ENc \text{ (Mcal/j)} = 0.0493 \times PV^{0.75} \times GMQ^{1.097}$

Jeunes bovins femelles de plus de un an : $ENc \text{ (Mcal/j)} = 0.0608 \times PV^{0.75} \times GMQ^{1.119}$

Animaux adultes : $ENc \text{ (Mcal/j)} = 6.2 \times GMQ$

PV, le Poids Vif de l'animal (en kg)

GMQ, le Gain Moyen Quotidien (en kg/j).

Energie Nette (en Mcal/j) à partir de l'Energie Métabolisable (croissance, engraissement) :

$$ENc = EMc \times 0.30 \text{ (fourrages verts)}$$

Energie Nette nécessaire à la gestation (ENg),

$$ENg \text{ (Mcal/j)} = Pvn \times (0.0149 - 0.0000407 t) \times e^{0.05883 t - 0.0000804 t^2} \times 10^{-3} \quad [\text{NRC, 1990}]$$

Pvn, le poids du veau à la naissance (kg)

t, le temps de gestation déjà réalisée (en j).

$$ENg \text{ (Mcal/j)} = (EC_{tf} - EC_{ti}) \times Q \times 10^{-3} / (tf - ti) \quad [\text{Koong et al., 1982}]$$

EC_{tf} (ti), le contenu énergétique du conceptus à la date **tf** (ti), avec **tf** > **ti** et **ti** > 186 j. :

$$EC \text{ (Mcal)} = 2.197 \cdot 10^{-3} \cdot e^{(0.0558 t - 0.0000804 t^2)}$$

t le temps de gestation écoulé (en j)

Q, le facteur de correction basé sur le poids du veau à naître :

$$Q = P_{vn} / (5.839 \times e^{(0.0512 - 0.0000707 T) T})$$

T, la durée de gestation (en j)

P_{vn}, le Poids du veau à la naissance (en kg)

Energie Nette (en Mcal) à partir de l'Energie Métabolisable (gestation) :

$$ENg = EMg \times 0.13$$

Energie Nette nécessaire à la lactation (ENI), [Corah, 1991] :

$$ENI \text{ (Mcal/j)} = QI \times 0.66$$

QI, la Quantité de lait produite quotidiennement (en kg/j)

Energie Nette (Mcal/j) à partir de l'Energie Métabolisable (lactation) :

$$ENI = EMI \times 0.57 \quad \text{à} \quad ENI = EMI \times 0.63$$

- **Besoin énergétique total**

$$EN \text{ (Mcal/j)} = ENe + ENb + ENd + ENt + ENc + ENg + Enl$$

Annexe 17 : Détermination du besoin énergétique nécessaire à la thermorégulation
[Ames, 1988]

Type de manteau	Température critique (en °C) = Tc
Couverture d'été	15
Couverture d'automne	7
Couverture d'hiver	0
Couverture d'hiver rigoureux	-7

Température de confort (Tc) des animaux en fonction du type de pelage

Vitesse vent (km/h)	Température (°C)					
	- 4	- 1	1,5	4,5	7	10
8	-8	-5	-2	0,5	3	6
12	-9	-6,5	-4,5	-1	1	4,5
16	-10,5	-8	-5	-2	0,5	3
20	-12	-9	-6	-3	-0,5	2
24	-13	-10	-7	-4,5	-1,5	1
32	-15,5	-13	-10	-7	-4,5	-1,5
40	-19	-17	-13	-11	-8	-5,5
48	-24	-21	-18	-16	-13	-10
56	-32	-29	-26	-23	-20	-17,5
64	-42	-40	-36	-33	-30	-28

Température ressentie (Tr) par les animaux en fonction de la température extérieure (Te) et de la force du vent

	Pourcentage d'augmentation / °C				
	360 kg	410 kg	500 kg	550 kg	600 kg
Couverture d'été	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9
Couverture d'automne	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3
Couverture d'hiver	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
Couverture d'hiver rigoureux	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

Pourcentage d'augmentation du besoin basal par degré de différence entre la température ressentie et la température de confort, en fonction du poids et du type de pelage de l'animal

Annexe 18 : Méthodes d'estimation de la consommation de fourrage

- **Estimation de la consommation à partir de l'état physiologique de l'animal**

Quelque soit l'animal [NRC, 1987] : $MSVI = 95 \times PV^{0,75}$ (Equation 1)

MSVI, la Matière Sèche Volontairement Ingérée (en g MS/j)

PV, le Poids Vif de l'animal (en kg)

Tableau de consommation de fourrage, en fonction du mois de lactation, des veaux sous la mère

	Mois de lactation						
	1	2	3	4	5	6	7
Consommation (g/kg PV)	35,6	26,7	24,1	17,9	22,8	22,4	22,4

Pour des vaches s'alimentant d'un foin de montagne de qualité moyenne (digestibilité Matière Organique = 0,56), [Petit et Gueguen, 1978] :

en gestation, $MSVI = 0,074 PV^{0,75} + 1,20$ (Equation 2)

en lactation, $MSVI = 0,068 PV^{0,75} + 0,200 L + 2,07$ (Equation 3)

MSVI, la Matière Sèche Volontairement Ingérée (en kg/j)

PV, le Poids Vif de l'animal (en kg)

L, la quantité de Lait produite (en kg/j)

- **Estimation de la consommation à partir de la qualité de l'aliment** [NRC, 2000a], [Ketelaars et Tolcamp, 1992], [Vérité et Journet, 1970].

Aliment hautement digestible et hautement énergétique [NRC, 2000a]

$MSVI = PV^{0,75} \times (0,1462 \times EN - 0,0517 \times EN^2 - 0,0074)$: Femelles d'élevage
(Equation 4)

$MSVI = PV^{0,75} \times (0,1493 \times EN - 0,0460 \times EN^2 - 0,0196)$: Bovins en croissance et à l'engraissement
(Equation 5)

MSVI, la Matière Sèche Volontairement Ingérée (en kg MS/j)

PV, le Poids Vif de l'animal (en kg)
EN, le contenu énergétique de l'aliment (en Mcal/kg MS)

$$\mathbf{ENi = PV^{0,75} \times (0,04997 \times EN^2 + 0,04631)} \quad \text{(Equation 6)}$$

ENi, l'Energie Nette ingérée (en Mcal/j)
PV, le Poids Vif de l'animal (en kg)
EN, le contenu énergétique de l'aliment (en Mcal/kg MS)

Aliment faiblement digestible et faiblement énergétique :

$$\mathbf{MSVI = 0,002774 \times CP - 0,000864 \times ADF + 0,09826} \quad \text{[NRC, 2000a] (Equation 7)}$$

MSVI, la Matière Sèche Volontairement Ingérée (en kg MS/kg PV^{0,75}/j)
ADF, Acid Detergent Fiber (en % de la MS)
CP, Crude Protein (en % de la MS)

$$\mathbf{MOI = -5,6 + 0,9349 \times MOD} \quad \text{[Ketelaars et Tolcamp, 1992] (Equation 8)}$$

MOI, la Matière Organique Ingérée (g/kg PV^{0,75}/j)
MOD, la Matière Organique Digestible (en %)
N, la teneur en azote de la matière organique (en % de la MO)

Sur des vaches laitières en 2^{ème} moitié de lactation, de 520 kg en moyenne, et si MS < 18%,
[Vérité et Journet, 1970]

$$\mathbf{MSVI = 0,208 \times MS + 9,66} \quad \text{(Equation 9)}$$

MSVI, la Matière Sèche volontairement Ingérée (en kg/j)
MS, la teneur en Matière Sèche de l'herbe (en %)

- **Estimation de la consommation à partir de la quantité d'aliment disponible**

Pour le pâturage rationné ou tournant [Delagarde et al., 2001] :

$$\mathbf{QI = 18,4 \times [1 - \exp^{(-0,0466 \times Qo)}]} \quad \text{(Equation 10)}$$

Qi, la Quantité ingérée (en kg MS/animal/jour)
Qo, la Quantité totale d'herbe offerte mesurée au ras du sol (en kg MS/animal/jour)

- **Facteurs de variation de la consommation** [Demarquilly, 1981 ; NRC, 1987 ; NRC, 2000a ; Delagarde et al., 2001 ; Ketelaars et Tolcamp, 1992 ; Vérité et Journet, 1970].

Facteurs		Influence sur la consommation
Liés à l'animal	Format	La consommation augmente avec l'augmentation des besoins d'entretien et donc avec le poids vif (cf. équations 1,2 et 3).
	Age	La consommation augmente, en valeur absolue, au cours de la croissance mais diminue par kg de PV.
	Etat physiologique	Diminution de 1,5-2% de la consommation pendant le dernier trimestre de gestation. Augmentation jusqu'à 30% de la consommation pendant la lactation (augmentation de 0,4 kg MS/kg lait produit). Pour une Angus produisant de 3 à 9 kg de lait/j, augmentation de la consommation de 0,6 à 1,8 kg MS/j. Consommation double chez le veau entre 3 et 8 mois (cf. tableau de la consommation de fourrage, en fonction du mois de lactation, par les veaux). Diminution de la consommation par rapport au poids vif, au cours de la croissance, à hauteur de 2,6 g MS/kg PV pour chaque gain de poids de 100 kg.
	Potentiel génétique	Certaines races (Holstein, par exemple) ont un potentiel de consommation supérieur.
	Etat corporel et/ou niveau d'alimentation antérieur	Les animaux soumis à un niveau « bas » d'alimentation pendant l'hiver consomment plus que ceux soumis à un niveau « haut » (1 heure de consommation en plus par jour) : 16 % pour un écart moyen de croissance hivernale de 0,53 kg/jour. Des vaches amaigries peuvent consommer jusqu'à 2 kg MS/jour en plus, au printemps. Les veaux ayant reçu moins de lait ont une consommation supérieure, à hauteur de 0,15 kg MS/veau/kg lait en moins.
Liés à l'environnement	Température	Peu de variations entre 15 et 25 °C : entre 15 et -15 °C : augmentation de 15% de la consommation, entre 25 et 45 °C : diminution de 30-40 % de la consommation.
	Pluviométrie	Pour une température de 5-15 °C, la consommation peut chuter de 20% par temps orageux, pluvieux et lorsque les animaux sont sur une pâture très boueuse.
	Photopériode	Augmentation de 1,5-2 % de la consommation pendant les jours longs et diminution d'autant pendant les jours courts.

Facteurs		Influence sur la consommation
Liés au fourrage	Disponibilité et hauteur du couvert	<p>La consommation est maximale pour une disponibilité de 2250 kg MS/ha.</p> <p>La consommation diminue pour une disponibilité inférieure à 30-50 g MS/kg PV mais au-dessus de cette valeur seuil, plus la disponibilité est importante plus la consommation diminue (cf. équation 10).</p> <p>Pas d'effet de la biomasse sur la consommation si la disponibilité est calculée à une hauteur de 3 cm environ : en dessous (ras du sol), la consommation augmente avec la biomasse (1,5 kg MS/t MS supplémentaire/ha), et au dessus elle diminue (0,8 kg MS/ t MS supplémentaire/ha).</p>
	Teneur en MS	La consommation augmente avec la teneur en MS (augmentation de consommation de 1 kg par 5 points d'augmentation de la teneur en MS, tant que MS<18%) : cf. équation 9.
	Valeur nutritive : cf. équations 4 à 8	Diminution de la consommation lorsque la teneur protéique est inférieure à 6-8% ou lorsque la teneur en protéines brutes est inférieure à 140 g (MS).
	Digestibilité et stade de croissance	Plus l'herbe est jeune, plus elle est digestible et plus elle est consommée. La consommation diminue entre le stade feuillu et la fin floraison de 1,4 g MS/kg PV ^{0,75} /point de dMO pour les Graminées et de 0,6-0,7 g MS/kg PV ^{0,75} /point de dMO pour les Légumineuses: cf. équation 8
	Etat sanitaire de l'herbe	La consommation diminue quand le fourrage est rouillé (fréquent pour le Dactyle en automne) ou souillé par des excréments ou de la terre (consommation plus faible en automne).
	Appétibilité des fourrages et Préhensibilité	<p>La consommation augmente quand le fourrage est appétant (Ray Grass par rapport à Dactyle ou à Fétuque) : ceci est lié à la texture des feuilles, à la teneur en eau et en glucides des plantes et aux goûts de l'animal.</p> <p>Les Légumineuses ou les associations Légumineuses-Graminées sont mieux consommées que les Graminées pures (consommation peut augmenter de 20%).</p> <p>Variétés tétraploïdes mieux ingérées que les diploïdes (par exemple le Ray Grass).</p>

Facteurs		Influence sur la consommation
Liés à la gestion du pâturage et du troupeau	Chargement	La consommation augmente lorsque le chargement a été important pendant les périodes de croissance rapide de l'herbe (printemps) car ceci a évité la montée des tiges et des gaines foliaires (mais la consommation est diminuée au moment de ce fort chargement).
	Exploitation pâturage (rationné, tournant)	La consommation est déterminée par la hauteur du couvert végétal en pâturage continu (diminue en dessous de 8 cm de hauteur) et par la quantité d'herbe offerte en pâturage rationné ou tournant. La consommation diminue de 15-20% en pâturage rationné par rapport au pâturage tournant.
	Distribution de compléments	Lors d'ajout de complément, on observe une diminution du temps de pâturage et donc de la consommation d'herbe mais une augmentation de la quantité ingérée totale (substitution), variable selon complément (faible pour fourrages complémentaires)
	Distributions d'hormones de croissance	La consommation augmente lorsque l'animal reçoit des hormones de croissance.

Annexe 19 : Méthode de calcul de l'indice climatique de potentialité agricole A ou Agr.
63 [Turc, 1961 ; Turc, 1967 ; Zahedi, 1966].

France : A =10 à 35

Monde : A = 0 à 75

Les potentialités fourragères (t MS/ha/an) sont de l'ordre de ces valeurs multipliées par 0.6.

Le calcul est effectué mois par mois et ne fait intervenir que des valeurs mensuelles.

$$A = HT \times Fs$$

A, l'indice climatique de potentialité agricole

HT, l'indice héliothermique

Fs, le Facteur sécheresse

$$HT = Ft \times Fh$$

Ft, le facteur thermique

Fh, le facteur solaire

$$Ft = [t(60-t)/1000] * [(m-1)/4]$$

t, la température moyenne de l'air sous abri (en °C)

m la moyenne des minima quotidiens lorsque la température est comprise entre 1 et 5 °C, sinon m est bloqué à 5 ou à 1 (dans ce cas, Ft=0 et A=0).

Fh est égal à la plus petite des fonctions suivantes si celle-ci est positive, sinon **Fh = 0** :

$$Fh = H - 5 - (\lambda/40)^2 \text{ ou } Fh = 3 \times ((I_g - 100)/100)$$

H, la durée astronomique du jour (en h/j)

λ , la latitude (en °)

I_g, la radiation globale d'origine solaire (en cal/cm²/j).

Si les conditions d'alimentation en eau sont considérées comme satisfaisantes (soit naturellement soit grâce à l'irrigation) **Fs = 1**

Si $((X - Bi)/X) + rep \geq 0$ **Fs = ((X - Bi)/X) + rep** et il n'y a pas de report sur le mois suivant.

Si $((X - Bi)/X) + rep < 0$ **Fs = 0** et le report sur le mois suivant est $((X - Bi)/X) + rep$ si cette expression est ≥ -1 , sinon le report est -1.

X, le plus petit de Etp et **0.3Etp+50**

Bi le besoin en eau d'irrigation (mm/mois)

rep, le report du mois précédent ($0 \geq rep \geq -1$).

$$Etp = 0,40 \times (I_g + 50) \times (t/(t+15)) \times f(h)$$

Etp, l' évapotranspiration potentielle (en mm/mois)

t, la température moyenne de l'air (en °C)

Ig, la radiation globale d'origine solaire (en petites cal/cm²/j)

f(h), est la plus grande des deux expressions : **1** ou **1 + ((50-h)/70)** , où h est l'humidité relative (en %),

Si Ig ne peut être mesuré (Pyranomètre), il peut être calculé :

$$I_g = I_{gA} \times (0,18 + 0,62 \times i/H)$$

IgA, la radiation globale maximale théorique (en petites cal/cm²/j)

i, la durée d'insolation (en h/mois), calculée à l'aide d'un héliographe

H, la durée astronomique du jour (en h/mois)

$$I_{gA} = 1035 - 9,078 \times \text{lat} + (7,050 \times \text{lat} + 49,90) \times \cos (29,92 \times M - 182,5)$$

lat, la latitude (en °)

M, le mois de l'année (de 1 à 12 dans l'hémisphère nord et de 12 à 1 dans l'hémisphère sud)

Durée astronomique du jour en fonction de la latitude :

Latitude (°)	H max	H min
0	12h05	12h05
10	12h40	11h30
20	13h18	10h53
30	14h02	10h10
40	14h58	9h16
45	15h33	8h42
50	16h18	8h00
55	17h17	7h05
60	18h45	5h45
65	21h43	3h22
66	24h	2h30

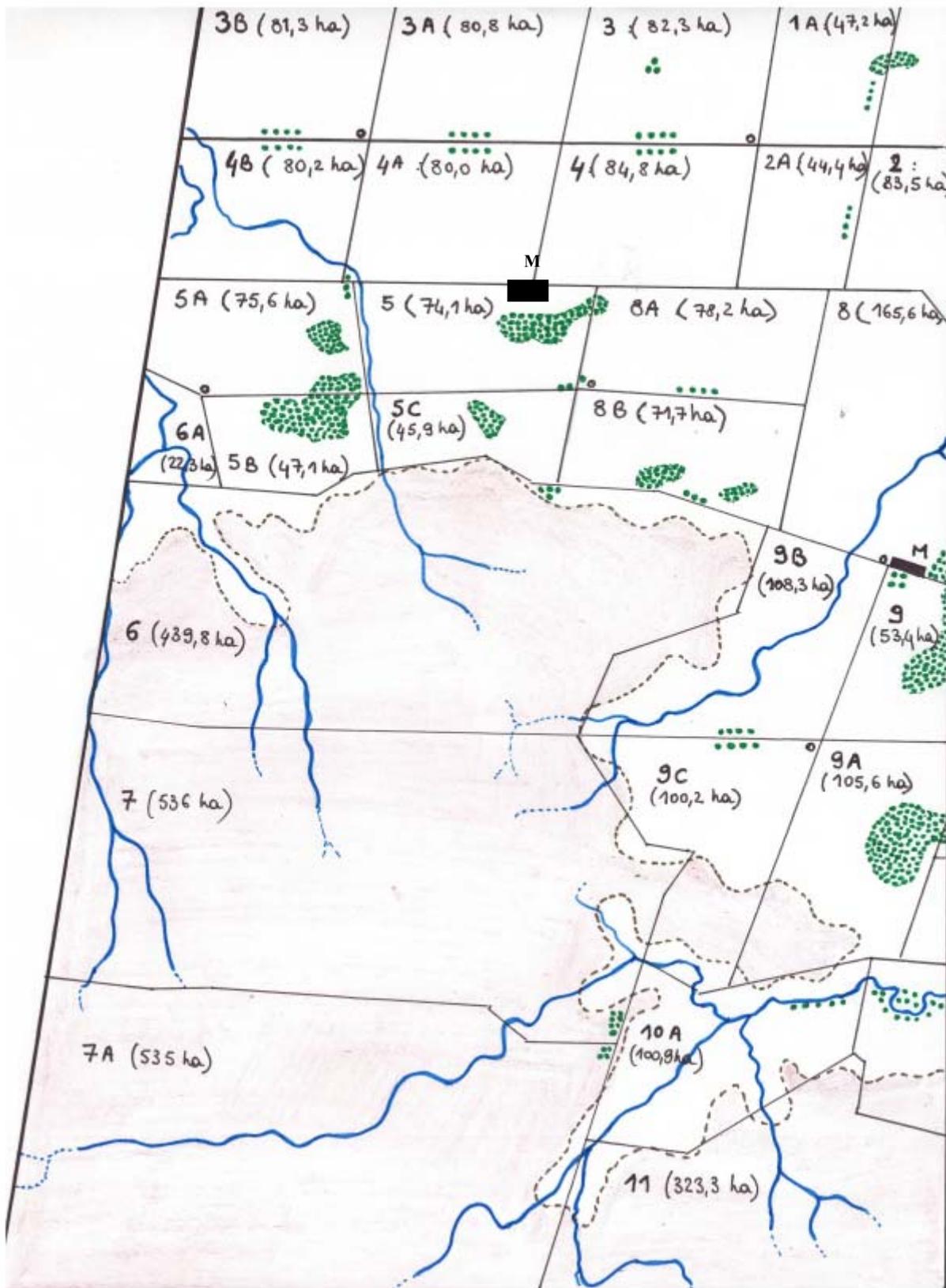
$$H = 362,7 + 0,201 \times \text{lat} + (4,085 \times \text{lat} - 80,99) \times \cos (30,01 \times M - 188,9)$$

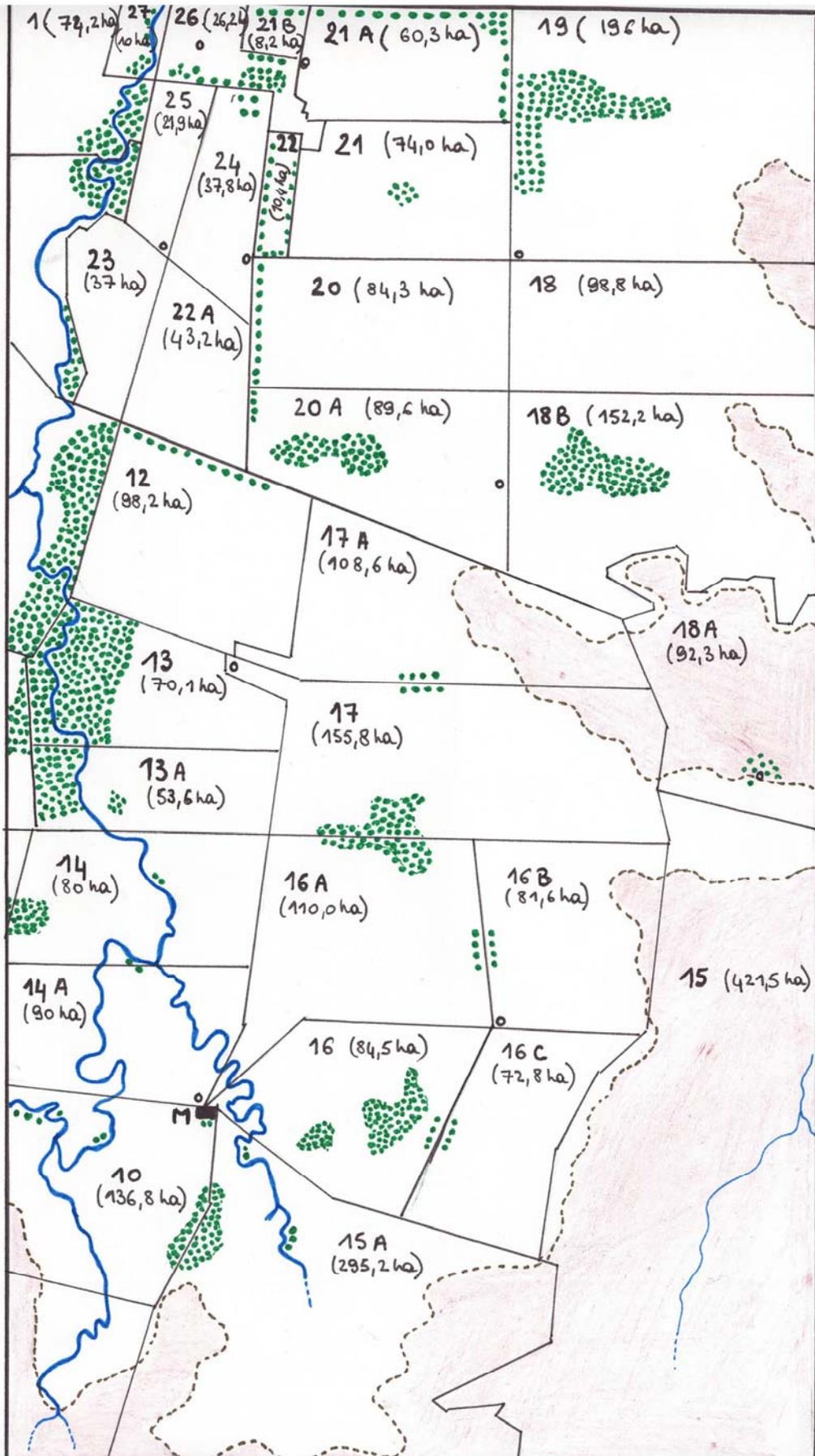
H, durée astronomique (en h/mois)

lat, la latitude (en °)

M, le mois de l'année (de 1 à 12 dans l'hémisphère nord et de 12 à 1 dans l'hémisphère sud)

Annexe 20 : Carte de l'Estancia San Carlos





- : Cours d'eau
- : zones boisées
- - - : limite de la zone montagneuse
- (pink) : zone montagneuse
- 14 : numéro de la parcelle
- (80 ha) : Superficie de la parcelle
- : delimitations électriques de la parcelle.
- : Zoliennes. (abreuvoirs)
- M ■ : parcelles d'entretien et manipulation des animaux

Annexe 21 : Calcul du besoin énergétique lié à la thermorégulation des animaux de l'estancia, d'après les Températures extérieure (Te), ressentie (Tr) et de confort (Tc).

Date	Te (°C)			Vitesse du vent (km/h)	Tr (°C)		
	maximale	minimale	moyenne		maximale	minimale	moyenne
10/04	17	11	14	12	11	5,5	8,5
11/04	18	12	15	12	12,5	6,5	9
12/04	20	15	17,5	12	14	9,5	12
13/04	20	13	16,5	12	14	7,5	10,5
14/04	20	13	16,5	12	14	7,5	10,5
15/04	20	6	13	12	14	0,5	7,5
16/04	22	8	15	12	16	2,5	9,5
17/04	22	10	16	12	16	4,5	10
18/04	19	9	14	12	13	3,5	8,5
19/04	17	8	12,5	12	11	2,5	7
20/04	16	4	10	12	10	-1,5	4,5
21/04	17	6	11,5	12	11	0,5	6
22/04	14	10	12	12	8,5	4,5	6,5
23/04	12	11	11,5	12	6,5	5,5	6
24/04	16	7	11,5	12	10	1	6
25/04	25	11	18	12	19	5,5	12,5
26/04	25	11	18	12	19	5,5	12,5
27/04	27	11	19	12	21	5,5	13
28/04	23	11	17	12	17	5,5	11
29/04	17	8	12,5	12	11	2,5	7
30/04	17	6	11,5	12	11	0,5	6
01/05	17,5	5,5	11,5	18	10	-2	4
02/05	21	4	12,5	18	8,5	-2,5	5
03/05	22	7	14,5	18	14,5	0	7
04/05	18	6,5	12	18	10,5	-1	4,5
05/05	15	5	10	18	7,5	-2	2,5
06/05	20	1	10,5	18	12,5	-6,5	3
07/05	20	4	12	18	12,5	-2,5	4,5
08/05	19	7	13	18	11,5	0	5,5
09/05	13	6	9,5	18	5,5	-1,5	2
10/05	23	8	15,5	18	15,5	0,5	8
11/05	23	8	15,5	18	15,5	0,5	8
12/05	20	4	13	18	12,5	-2,5	5,5
13/05	19	12	15,5	18	11,5	4,5	8
14/05	19	13	16	18	11,5	5,5	8,5
15/05	12	7	9,5	18	4,5	0	2
16/05	11,5	6	9	18	4	-1,5	2
17/05	11	4	7,5	18	3,5	-2,5	0,5
18/05	11,5	2	7	18	4	-5,5	0
19/05	12	0	6	18	4,5	-7	-1,5
20/05	10	5	7,5	18	2,5	-2,5	0,5
21/05	10	7	8,5	18	2,5	0	1
22/05	9	5	7	18	2	-2,5	0
23/05	11	5	8	18	3,5	-2,5	0,5
24/05	9	5	7	18	2	-2,5	0
25/05	9	3	6	18	2	-4,5	-1,5
MOY période d'été							

Ecart Tr/Tc (°C) génisses			Ecart Tr/Tc (°C) veaux			Ecart Tr/Tc moyen pondéré		% augmentation besoin basal	
maximale	minimale	moyenne	maximale	minimale	moyenne	Génisses	Veaux	Génisses	Veaux
-	1,5	-	-	4,5	1,5	0,8	2,8	1,1	5,5
-	0,5	-	-	3,5	1	0,3	2,1	0,4	4,2
-	-	-	-	0,5	-	-	0,3	0,0	0,5
-	-	-	-	2,5	-	-	1,3	0,0	2,5
-	-	-	-	2,5	-	-	1,3	0,0	2,5
-	6,5	-	-	9,5	2,5	3,3	5,6	4,6	11,2
-	4,5	-	-	7,5	0,5	2,3	3,9	3,2	7,8
-	2,5	-	-	5,5	-	1,3	2,8	1,8	5,5
-	3,5	-	-	6,5	1,5	1,8	3,8	2,5	7,5
-	4,5	-	-	7,5	3	2,3	4,8	3,2	9,5
-	8,5	2,5	-	11,5	5,5	5,1	7,6	7,1	15,2
-	6,5	1	-	9,5	4	3,6	6,1	5,0	12,2
-	2,5	0,5	1,5	5,5	3,5	1,4	4,2	2,0	8,3
0,5	1,5	1	3,5	4,5	4	1,2	4,2	1,6	8,3
-	6	1	-	9	4	3,3	5,8	4,7	11,7
-	1,5	-	-	4,5	-	0,8	2,3	1,1	4,5
-	1,5	-	-	4,5	-	0,8	2,3	1,1	4,5
-	1,5	-	-	4,5	-	0,8	2,3	1,1	4,5
-	1,5	-	-	4,5	-	0,8	2,3	1,1	4,5
-	4,5	-	-	7,5	3	2,3	4,8	3,2	9,5
-	6,5	1	-	9,5	4	3,6	6,1	5,0	12,2
-	9	3	-	12	6	5,5	8,0	7,7	16,0
-	9,5	2	1,5	12,5	5	5,4	8,2	7,6	16,3
-	7	-	-	10	3	3,5	6,0	4,9	12,0
-	8	2,5	-	11	5,5	4,8	7,3	6,8	14,7
-	9	4,5	2,5	12	7,5	6,0	8,9	8,4	17,8
-	13,5	4	-	16,5	7	8,1	10,6	11,3	21,2
-	9,5	2,5	-	12,5	5,5	5,6	8,1	7,8	16,2
-	7	1,5	-	10	4,5	4,0	6,5	5,6	13,0
1,5	8,5	5	4,5	11,5	8	6,2	9,2	8,6	18,3
-	6,5	-	-	9,5	2	3,3	5,4	4,6	10,8
-	6,5	-	-	9,5	2	3,3	5,4	4,6	10,8
-	9,5	1,5	-	12,5	4,5	5,3	7,8	7,4	15,5
-	2,5	-	-	5,5	2	1,3	3,4	1,8	6,8
-	1,5	-	-	4,5	1,5	0,8	2,8	1,1	5,5
2,5	7	5	5,5	10	8	5,6	8,6	7,8	17,2
3	8,5	5	6	11,5	8	6,4	9,4	9,0	18,8
3,5	9,5	6,5	6,5	12,5	9,5	7,5	10,5	10,5	21,0
3	12,5	7	6	15,5	10	9,1	12,1	12,7	24,2
2,5	14	8,5	5,5	17	11,5	10,3	13,3	14,4	26,5
4,5	9,5	6,5	7,5	12,5	9,5	7,7	10,7	10,7	21,3
4,5	7	6	7,5	10	9	6,3	9,3	8,8	18,5
5	9,5	7	8	12,5	10	7,9	10,9	11,1	21,8
3,5	9,5	6,5	6,5	12,5	9,5	7,5	10,5	10,5	21,0
5	9,5	7	8	12,5	10	7,9	10,9	11,1	21,8
5	11,5	8,5	8	14,5	11,5	9,4	12,4	13,2	24,8
						5,1	6,2	7,1	12,4

Annexe 22 : Calcul du besoin énergétique net des veaux de 9 mois sur la pâture d'hiver

Animal	P ₁ (kg)	P ₂ (kg)	P ₃ (kg)	GMQ ₁ (kg/j)	GMQ ₂ (kg/j)	Pm 44 (kg)	GMQ 44 (kg/j)	Ee (Mcal/j)	Et (Mcal/j)	Ed (Mcal/j)	Ec (Mcal/j)	E (Mcal/j)	E (UF/j)
1	167	191	227	1,1	0,6	170,3	1,1	3,63	0,45	0,07 – 2,38	2,84	7,0 – 9,3	3,8 – 5,0
2	194	210	252	0,8	0,8	197,0	0,8	4,05	0,50	0,07 – 2,38	2,17	6,8 – 9,1	3,7 – 4,9
3	160	181	217	1,0	0,6	163,1	1,0	3,51	0,44	0,07 – 2,38	2,41	6,4 – 8,7	3,5 – 4,7
4	186	210	260	1,1	0,9	189,9	1,1	3,94	0,49	0,07 – 2,38	3,19	7,7 – 10,0	4,2 – 5,4
5	148	160	210	0,6	0,9	151,1	0,6	3,32	0,41	0,07 – 2,38	1,41	5,2 – 7,5	2,8 – 4,1
6	167	191	250	1,1	1,1	171,3	1,1	3,65	0,45	0,07 – 2,38	3,02	7,2 – 9,5	3,9 – 5,1
7	200	210	260	0,5	0,9	202,9	0,5	4,14	0,51	0,07 – 2,38	1,50	6,2 – 8,5	3,4 – 4,6
8	155	160	200	0,2	0,7	157,1	0,3	3,42	0,42	0,07 – 2,38	0,67	4,6 – 6,9	2,5 – 3,7
9	175	191	240	0,8	0,9	178,3	0,8	3,76	0,47	0,07 – 2,38	2,06	6,4 – 8,7	3,4 – 4,7
10	141	161	203	1,0	0,8	144,3	0,9	3,21	0,40	0,07 – 2,38	2,13	5,8 – 8,1	3,1 – 4,4
11	197	211	260	0,7	0,9	200,2	0,7	4,10	0,51	0,07 – 2,38	1,99	6,7 – 9,0	3,6 – 4,9
12	146	170	217	1,1	0,8	149,8	1,1	3,30	0,41	0,07 – 2,38	2,65	6,4 – 8,7	3,5 – 4,7
13	154	175	216	1,0	0,7	157,3	1,0	3,42	0,42	0,07 – 2,38	2,38	6,3 – 8,6	3,4 – 4,6
14	170	190	234	1,0	0,8	173,4	0,9	3,68	0,46	0,07 – 2,38	2,46	6,7 – 9,0	3,6 – 4,8
15	198	216	255	0,9	0,7	201,0	0,8	4,11	0,51	0,07 – 2,38	2,44	7,1 – 9,4	3,9 – 5,1
16	157	175	212	0,9	0,7	159,9	0,8	3,46	0,43	0,07 – 2,38	2,04	6,0 – 8,3	3,2 – 4,5
17	195	213	271	0,9	1,0	198,9	0,9	4,08	0,51	0,07 – 2,38	2,57	7,2 – 9,5	3,9 – 5,2
18	155	166	237	0,5	1,3	159,0	0,6	3,45	0,43	0,07 – 2,38	1,49	5,4 – 7,7	2,9 – 4,2
19	159	175	234	0,8	1,1	162,8	0,8	3,51	0,44	0,07 – 2,38	1,99	6,0 – 8,3	3,2 – 4,5
20	174	205	259	1,5	1,0	178,6	1,4	3,76	0,47	0,07 – 2,38	3,96	8,3 – 10,6	4,5 – 5,7
21	174	190	218	0,8	0,5	176,4	0,7	3,73	0,46	0,07 – 2,38	1,90	6,2 – 8,5	3,3 – 4,6
22	163	179	212	0,8	0,6	165,6	0,7	3,55	0,44	0,07 – 2,38	1,84	5,9 – 8,2	3,2 – 4,4
23	183	200	250	0,8	0,9	186,4	0,8	3,89	0,48	0,07 – 2,38	2,26	6,7 – 9,0	3,6 – 4,9
Moy- enne	170,3	188,3	234,5	0,85	0,83	173,7	0,85	3,68	0,46	0,07 – 2,38	2,23	6,4 – 8,8	3,5 – 4,7
Ecart type	18,04	18,58	21,54	0,27	0,18	18,05	0,23	0,29	0,04	0	0,7	0,81	0,44

Annexe 23 : Calcul du besoin énergétique net des génisses de 18 mois sur la pâture mixte

Animal	P ₁ ' (kg)	P ₂ ' (kg)	P ₃ ' (kg)	GMQ ₁ ' (kg/j)	GMQ ₂ ' (kg/j)	Pm 30' (kg)	GMQ 30' (kg/j)	Ee' (Mcal/j)	Et' (Mcal/j)	Ed' (Mcal/j)	Ec' (Mcal/j)	Eg' (Mcal/j)	E' (Mcal/j)	E' (UF/j)
1	338	350	360	0,6	0,2	343,0	0,5	6,14	0,44	0,66 – 5,28	2,48	0,13	9,1 – 14,1	4,9 – 7,6
2	324	345	350	1,0	0,1	332,2	0,9	5,99	0,43	0,66 – 5,28	4,03	0,13	10,6-15,6	5,7 – 8,5
3	351	370	385	0,9	0,3	358,9	0,8	6,35	0,45	0,66 – 5,28	4,05	0,13	11,0-16,0	5,9 – 8,7
4	355	365	385	0,5	0,4	359,7	0,5	6,36	0,45	0,66 – 5,28	2,36	0,13	9,2 – 14,2	5,0 – 7,7
5	315	327	345	0,6	0,4	320,4	0,5	5,83	0,41	0,66 – 5,28	2,49	0,13	8,8 – 13,8	4,7 – 7,5
6	345	368	387	1,1	0,4	354,6	1,0	6,29	0,45	0,66 – 5,28	4,88	0,13	11,8-16,9	6,4 – 9,1
7	344	360	365	0,8	0,1	350,3	0,7	6,23	0,44	0,66 – 5,28	3,22	0,13	10,0-15,0	5,4 – 8,1
8	345	367	483	1,0	2,5	358,4	1,3	6,34	0,45	0,66 – 5,28	6,48	0,13	13,7-18,8	7,4 – 10,1
9	355	380	400	1,2	0,4	365,4	1,1	6,44	0,46	0,66 – 5,28	5,41	0,13	12,6-17,6	6,8 – 9,5
10	340	355	383	0,7	0,6	346,9	0,7	6,19	0,44	0,66 – 5,28	3,41	0,13	10,1-15,2	5,5 – 8,2
11	341	367	374	1,2	0,2	351,2	1,1	6,25	0,44	0,66 – 5,28	5,21	0,13	12,2-17,2	6,6 – 9,3
12	337	350	355	0,6	0,1	342,2	0,5	6,13	0,43	0,66 – 5,28	2,58	0,13	9,2 – 14,2	5,0 – 7,7
13	347	365	375	0,9	0,2	354,3	0,8	6,29	0,45	0,66 – 5,28	3,73	0,13	10,6-15,6	5,7 – 8,4
14	344	371	375	1,3	0,1	354,5	1,1	6,29	0,45	0,66 – 5,28	5,39	0,13	12,4-17,5	6,7 – 9,4
15	337	377	394	1,9	0,4	353,0	1,6	6,27	0,45	0,66 – 5,28	8,16	0,13	15,6-20,7	8,4 – 11,2
16	366	383	394	0,8	0,2	373,0	0,7	6,53	0,46	0,66 – 5,28	3,69	0,13	10,8-15,8	5,8 – 8,6
17	355	370	390	0,7	0,4	361,6	0,7	6,38	0,45	0,66 – 5,28	3,37	0,13	10,3-15,3	5,5 – 8,3
18	425	445	470	1,0	0,5	433,7	0,9	7,32	0,52	0,66 – 5,28	5,11	0,13	13,1-18,2	7,1 – 9,8
19	367	387	409	1,0	0,5	375,6	0,9	6,57	0,47	0,66 – 5,28	4,53	0,13	11,7-16,8	6,3 – 9,1
Moyenne	349	368,5	388,4	0,9	0,4	357,3	0,8	6,33	0,45	0,66 – 5,28	4,24	0,13	11,2-16,2	6,0 – 8,8
Ecart type	22,3	23,4	35,5	0,3	0,5	22,6	0,3	0,30	0,02	0	1,67	0	1,8	0,96

Annexe 24 : Résultats d'analyse des aliments consommés par les animaux de l'estancia et calcul de la qualité des apports

Résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les échantillons prélevés dans la pâture d'avoine 9B, consommée par les veaux

	MS	MS res	MAT	CB	Mm
Prise d'essai (g)	100	5,097	1,016	1,014	1,002
Résultats	20,5 g	4,78 g	12,716 ml	29,399 g et 29,299 g	0,092 g
taux dans échantillon préséché (%)	20,5	93,82	10,58	16,76	9,18
Taux (en g/100 g de matière sèche)			11,28	17,87	9,79

Calculs réalisés à partir des résultats de laboratoires ci-dessus et détermination de la valeur énergétique des échantillons prélevés dans la pâture d'avoine 9B

EB (kcal/kg MS)	dMO	ED (kcal/kg MS)	EM/ED*	EM (kcal/kg MS)	Kmf	EN (kcal/kg MS)	UFv	EV
4273,2	0,80	3287,20	0,822	2702,08	0,663	1791,48	0,968	0,146

* Les calculs ont été réalisés en considérant que les veaux de 173,7 kg en moyenne consommaient 5,4% de leur poids vif en matière brute quotidiennement (cf. quantités consommées par les animaux), soit 9,36 kg MB/j ou 1,80 kg MS/j ou 1,62 kg MO/j. Pour une dMO de 0,80, la quantité de MO digestible ingérée est donc de 1,30 kg/j, soit 27,17 g/kg PV^{0,75}. Le niveau d'alimentation obtenu est alors de 1,18.

En utilisant un niveau d'alimentation égal à 1,7 (valeur fournie dans la bibliographie pour les fourrages), le rapport EM/ED aurait été de 0,835 et l'EM égale à 2815,77 kcal/kg MS.

Résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les échantillons de Légumineuses prélevés dans la prairie temporaire 4A, pâturée par les génisses

	MS	MS res	MAT	CB	Mm
Prise d'essai (g)	100	5,072	1,026	1,066	1,034
Résultats	21,3 g	4,844 g	19,290 ml	30,157 g et 30,007 g	0,09 g
taux dans échantillon préséché (%)	21,3	95,50	4,87	14,07	8,70
Taux (en g/100 g de matière sèche)			5,10	14,73	9,11

Résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les échantillons de Graminées prélevés dans la prairie temporaire 4A, pâturée par les génisses

	MS	Msres	MAT	CB	Mm
Prise d'essai (g)	100	5,003	1,026	1,02	1,036
Résultats	22 g	4,815 g	7,270 ml	30,081 g et 29,858 g	0,133 g
taux dans échantillon préséché (%)	22	96,24	15,12	21,86	12,84
taux/MS (%)			15,71	22,72	13,34

Calculs réalisés à partir des résultats de laboratoires ci-dessus et détermination de la valeur énergétique des échantillons prélevés dans la pâture 4A

	EB (kcal/kg MS)	dMO	ED (kcal/kg MS)	EM/ED**	EM (kcal/kg MS)	Kmf	EN (kcal/kg MS)	UFv	EV
Légumineuses (L)	4281,24	0,65	2645,61	0,826	2185,27	0,595	1300,24	0,703	0,118
Graminées (G)	4137,60	0,73*	2890,74	0,814	2353,06	0,598	1408,18	0,760	0,127
Mélange de Légumineuses et Graminées (39% L+61% G)	4193,62		2795,14		2287,62		1366,08	0,738	0,123

* 0,77 pour le ray grass ; 0,71 pour le dactyle ; 0,72 pour le brome.

** Les calculs ont été réalisés en considérant que les génisses de 357,3 kg en moyenne consommaient 8,8% de leur poids vif en matière brute quotidiennement (cf. quantités consommées par les animaux), soit 31,4 kg MB/j dont 12,3 kg MB/j de Légumineuses (39%) et 19,1 kg MB/j de Graminées (61%), soit 2,50 kg MS/j ou 2,27 kg MO/j pour les Légumineuses et 4,04 kg MS/j ou 3,50 kg MO/j pour les Graminées. Les quantités de MO digestible ingérées sont donc de 1,48 kg/j soit 18,009 g/kg PV^{0,75} pour les Légumineuses et de 2,56 kg/j soit 31,150 g/kg PV^{0,75} pour les Graminées. Les niveaux d'alimentation obtenus (Mod/23) sont alors de 0,783 pour les Légumineuses et de 1,354 pour les Graminées.

Annexe 25 : Calculs de la couverture végétale et de son évolution

Nombre de feuilles par talle (Nf/t), surface foliaire et surface foliaire moyenne par talle (Sf/t) du dactyle (prairie temporaire 4A), le 25/04

	Nombre feuille/talle	Taille feuilles et surface foliaire	Surface foliaire moyenne/talle
Talle 1	3	15,3x0,6=9,18 cm ² 20,7x0,6=12,42 cm ² 14,3x0,6=8,58 cm ²	30,18 cm ²
Talle 2	3	28,5x0,7=19,95 cm ² 12x0,9=10,8 cm ² 20,1x0,6=12,06 cm ²	42,81 cm ²
Talle 3	3	17,9x0,6=10,74 cm ² 20x0,7=14 cm ² 8,3x0,4=3,32 cm ²	28,06 cm ²

Nombre de feuilles par talle (Nf/t) et surface foliaire (Sf) à J0 (25/04), évolution du nombre de feuilles et croissance de surface foliaire de J0 à J1 (26/04) et de J0 à J5 (30/04) du dactyle

		J0	J0-J1	J1-J5
Talle 1	Nf/t	3	3	4
	Sf	15,3x0,6=9,18 cm ² 20,7x0,6=12,42 cm ² 14,3x0,6=8,58 cm ²	+ 0,76 cm ² + 1,36 cm ² + 0 cm ²	+ 4,86 cm ² + 1,13 cm ² + 0 cm ² + 4,15 cm ²
Talle 2	Nf/t	3	3	4
	Sf	28,5x0,7=19,95 cm ² 12x0,9=10,8 cm ² 20,1x0,6=12,06 cm ²	+ 2,85 cm ² + 0,18 cm ² + 1,8 cm ²	+ 0 cm ² + 0,18 cm ² + 5,34 cm ² + 4,05 cm ²
Talle 3	Nf/t	3	3	3
	Sf	17,9x0,6=10,74 cm ² 20x0,7=14 cm ² 8,3x0,4=3,32 cm ²	+ 0 cm ² + 0,14 cm ² + 1,23 cm ²	+ 0 cm ² + 0 cm ² + 2,95 cm ²
Couverture végétale		J0 : 1,62 m²/m²	J1 : 1,74 m²/m²	J5 : 2,10 m²/m²

Nombre de feuilles par talle (Nf/t), surface foliaire et surface foliaire moyenne par talle (Sf/t) du brome (prairie temporaire 4A), le 25/04

	Nombre feuille/talle	Taille feuille et surface foliaire	Surface foliaire moyenne/talle
Talle 1	3	29,3x0,5=14,65 cm ² 10,6x0,2=2,12 cm ² 30,9x0,5=15,45 cm ²	32,22 cm ²
Talle 2	4	31,2x0,6=18,72 cm ² 12,1x0,3=3,63 cm ² 24x0,6=14,4 cm ² 22,4x0,4=8,96 cm ²	45,71 cm ²

Nombre de feuilles par talle (Nf/t) et surface foliaire (Sf) à J0 (25/04), évolution du nombre de feuilles et croissance de surface foliaire de J0 à J1 (26/04) et de J0 à J5 (30/04) du brome

		J0	J0-J1	J1-J5
Talle 1	Nf/t	3	3	4
	Sf	29,3x0,5=14,65 cm ² 10,6x0,2=2,12 cm ² 30,9x0,5=15,45 cm ²	+ 0,85 cm ² + 1,51 cm ² + 1,65 cm ²	+ 3,1 cm ² + 5,67 cm ² + 8,38 cm ² + 6,68 cm ²
Talle 2	Nf/t	4	4	5
	Sf	31,2x0,6=18,72 cm ² 12,1x0,3=3,63 cm ² 24x0,6=14,4 cm ² 22,4x0,4=8,96 cm ²	+ 0 cm ² + 4,59 cm ² + 0,9 cm ² + 2,24 cm ²	+ 0 cm ² + 2,70 cm ² + 6,4 cm ² + 0 cm ² + 2,7 cm ²
Couverture végétale		J0 : 0,23 m²/m²	J1 : 0,27 m²/m²	J5 : 0,38 m²/m²

Nombre d'inflorescence par talle (Ni/t), nombre de feuilles par inflorescence (Nf/i), surface de feuilles et surface foliaire par talle (Sf/t) de la Luzerne (prairie temporaire), le 25/04

	Ni/t	Nf/i	Taille et surface des feuilles	Sf/t (cm ²)
Talle 1	6	1	0,9x0,7=0,5 cm ²	52,6
		2	1,4x1,4=1,5 cm ² 1,1x1=0,9 cm ²	
		3	1,7x1,2=1,7 cm ² 1,3x1=1,1 cm ² 0,6x0,6=0,3 cm ²	
		3	2,2x1,1=2,4 cm ² 1,2x1=0,96 cm ² 0,7x0,6=0,3 cm ²	
		2	2,6x1,8=3,9 cm ² 0,8x0,7=0,4 cm ²	
		3	2,7x1,8=4,1 cm ² 2x0,9=1,9 cm ² 1,4x1=1,2 cm ²	
Talle 2	6	3	0,6x0,6=0,3 cm ² 2,2x1,1=2,4 cm ² 0,9x0,7=0,5 cm ²	30,6
		2	1x0,8=0,6 cm ² 1,4x1,4=1,5 cm ²	
		1	0,4x0,4=0,1 cm ²	
		2	2x1,1=2,1 cm ² 0,8x0,6=0,4 cm ²	
		1	0,7x0,7=0,4 cm ²	
		3	1,4x1,3=1,4 cm ² 0,5x0,4=0,2 cm ² 0,3x0,4=0,1 cm ²	
Talle 3	6	1	1,4x1,4=1,5 cm ²	37,5
		1	1,4x1,2=1,3 cm ²	
		2	1,7x1,7=2,3 cm ² 0,4x0,4=0,1 cm ²	
		1	2x1=1,9 cm ²	
		1	2,1x1=2,1 cm ²	
		3	1,6x1,6=2,0 cm ² 1,2x1,2=1,1 cm ² 0,5x0,5=0,2 cm ²	
Talle 4	5	1	1,5x1,2=1,5 cm ²	53,1
		3	2,1x1,5=2,6 cm ² 1,1x0,9=0,8 cm ² 0,8x0,8=0,5 cm ²	
		3	2,5x1,9=3,9 cm ² 1x0,8=0,6 cm ² 0,7x0,7=0,4 cm ²	
		2	2x1,7=2,7 cm ² 1x0,6=0,5 cm ²	
		3	1,9x1,3=2,1 cm ² 1,6x1,2=1,6 cm ² 0,9x0,7=0,5 cm ²	

Nombre de feuilles par talle (Nf/t) et surface foliaire (Sf) à J0 (25/04), évolution du nombre de feuilles et croissance de surface foliaire de J0 à J1 (26/04) et de J0 à J5 (30/04) de la luzerne

		J0	J0-J1	J1-J5
Talle 1	Nf/t	14	-1	-1
	Sf	0,5 cm ² ; 1,5 cm ² ; 0,9 cm ² ; 1,7 cm ² ; 1,1 cm ² ; 0,3 cm ² ; 2,4 cm ² ; 0,96 cm ² ; 0,3 cm ² ; 3,9 cm ² ; 0,4 cm ² ; 4,1 cm ² ; 1,9 cm ² ; 1,2 cm ²	+0,07 cm ² ; +0,04 cm ² ; +0,09 cm ² ; +0 cm ² ; +0,07 cm ² ; +0,16 cm ² ; +0 cm ² ; +0,08 cm ² ; +0,13 cm ² ; - ; +0,09 cm ² ; +0 cm ² ; +0,08 cm ² ; +0,12 cm ²	+0,43 cm ² ; +0,14 cm ² ; +0,20 cm ² ; +0 cm ² ; +0,25 cm ² ; +0,45 cm ² ; - ; +0,35 cm ² ; +0,62 cm ² ; +0 cm ² ; +0,55 cm ² ; - ; +0,12 cm ² ; +0,16 cm ²
Talle 2	Nf/t	12	+1	+1
	Sf	0,3 cm ² ; 2,4 cm ² ; 0,5 cm ² ; 0,6 cm ² ; 1,5 cm ² ; 0,1 cm ² ; 2,1 cm ² ; 0,4 cm ² ; 0,4 cm ² ; 1,4 cm ² ; 0,2 cm ² ; 0,1 cm ²	+0,17 cm ² ; +0 cm ² ; +0,06 cm ² ; +0,08 cm ² ; +0,05 cm ² ; +0,12 cm ² +0 cm ² ; +0,21 cm ² ; +0,18 cm ² ; +0,15 cm ² ; +0,25 cm ² ; +0,19 cm ² +0,07 cm ²	+0,24 cm ² ; +0 cm ² ; +0,32 cm ² ; +0,45 cm ² ; +0,15 cm ² ; +0,63 cm ² ; +0 cm ² ; +0,56 cm ² ; +0,34 cm ² ; +0,75 cm ² ; +0,62 cm ² ; +0,24 cm ² ; +0,18 cm ² ; +0,12 cm ²
Talle 3	Nf/t	9	+0	+1
	Sf	1,5 cm ² ; 1,3 cm ² ; 2,3 cm ² ; 0,1 cm ² ; 1,9 cm ² ; 2,1 cm ² ; 2,0 cm ² ; 1,1 cm ² ; 0,2 cm ²	+0,08 cm ² ; +0,05 cm ² ; +0 cm ² ; +0,15 cm ² ; +0 cm ² ; +0 cm ² ; +0,04 cm ² ; +0,07 cm ² ; +0,08 cm ²	+0,47 cm ² ; +0,38 cm ² ; +0 cm ² ; +0,72 cm ² ; +0 cm ² ; - ; +0 cm ² ; +0,75 cm ² ; +0,87 cm ² ; +0,59 cm ² ; 0,65 cm ²
Talle 4	Nf/t	12	-1	+0
	Sf	1,5 cm ² ; 2,6 cm ² ; 0,8 cm ² ; 0,5 cm ² ; 3,9 cm ² ; 0,6 cm ² ; 0,4 cm ² ; 2,7 cm ² ; 0,5 cm ² ; 2,1 cm ² ; 1,6 cm ² ; 0,5 cm ²	+0,08 cm ² ; +0 cm ² ; +0,16 cm ² ; +0,12 cm ² ; +0 cm ² ; +0,08 cm ² ; +0,17 cm ² ; - ; +0,28 cm ² ; +0,05 cm ² ; +0,12 cm ² ; +0,14 cm ²	+0,24 cm ² ; +0 cm ² ; +0,44 cm ² ; +0,36 cm ² ; - ; +0,52 cm ² ; +0,14 cm ² ; - ; +0,32 cm ² ; +0 cm ² ; +0,41 cm ² ; +0,35 cm ² ; +0,39 cm ²
Couverture végétale		J0 : 1,13 m²/m²	J1 : 1,21 m²/m²	J5 : 1,51 m²/m²

Nombre de feuilles par talle (Nf/t) et surface foliaire (Sf) à J0, évolution du nombre de feuilles et croissance de surface foliaire de J0 à J1, de J1 à J3 et de J3 à J6 de l'avoine

		J0	J0-J1	J1-J3	J3-J6	
Plante 1	Talle 1	Nf/t	3	+0	+0	
		Sf	21,5x1=16,1 cm ² 15x0,8=9 cm ² 23x1,1= 19 cm ²	+0,6 cm ² +2,2 cm ² +1,4 cm ²	+0,3 cm ² +1,6 cm ² +0 cm ²	+1,7 cm ² +1 cm ² +0 cm ²
	Talle 2	Nf/t	3	+0	+0	+1
		Sf	20,5x1=15,4 cm ² 14x0,6=6,3 cm ² 22,6x1,1=18,6 cm ²	+0 cm ² +2,9 cm ² +0,5 cm ²	+0 cm ² +3,9 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +4,4 cm ² +0,1 cm ² +0,8 cm ²
Plante 2	Talle 1	Nf/t	4	+0	+0	
		Sf	83,2x1,3=22,6 cm ² 8x0,3=1,8 cm ² 22x1,1=18,2 cm ² 25,3x1,1=20,9 cm ²	+2,6 cm ² +1,8 cm ² +0 cm ² +2 cm ²	+8,7 cm ² +4,8 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +4,7 cm ² +2,3 cm ² +0 cm ²
	Talle 2	Nf/t	4	+0	-1	+0
		Sf	24,6x1,1=20,3 cm ² 12x0,5=4,5 cm ² 21,5x1,1=17,7 cm ² 17,2x1=12,9 cm ²	+1,8 cm ² +3,5 cm ² +0,2 cm ² +0 cm ²	+3,5 cm ² +4,9 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +7,4 cm ² +0 cm ²
Plante 3	Talle 1	Nf/t	4	+0	-1	
		Sf	24,7x1,9=35,2 cm ² 8,5x0,4=2,6 cm ² 27x1,8=36,5 cm ² 20,5x1,1=16,9 cm ²	+1,1 cm ² +3,5 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+1,2 cm ² +5,6 cm ² +0 cm ² +11,6 cm ²	+0,3 cm ² +5,9 cm ² +0 cm ²
	Talle 2	Nf/t	5	+0	-1	+0
		Sf	2,5x1,1=2,1 cm ² 13x0,5=4,9 cm ² 18x0,8=10,8 cm ² 27x1,3=26,3 cm ² 6,3x0,5=2,4 cm ²	+0 cm ² +5 cm ² +0 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +4,3 cm ² +0 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +6,3 cm ² +0 cm ² +0 cm ² +0 cm ²
Plante 4	Talle 1	Nf/t	2	+1	+0	
		Sf	18,5x1,1=15,3 cm ² 21,4x0,9=14,4 cm ²	+1 cm ² +0,1 cm ² +0,3 cm ²	+0,2 cm ² +0 cm ² +0,9 cm ²	+0,3 cm ² +0 cm ² +1,4 cm ²
	Talle 2	Nf/t	3	+0	+0	+0
		Sf	18,2x1,1=15 cm ² 7,5x0,5=2,8 cm ² 21,2x1=15,9 cm ²	+1,5 cm ² +0,9 cm ² +0,2 cm ²	+0,1 cm ² +2,2 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +2,7 cm ² +0 cm ²
Plante 5	Talle 1	Nf/t	3	+0	+1	
		Sf	12,3x1,2=11,1 cm ² 24,3x1,1=20 cm ² 21x0,9=14,2 cm ²	+0,8 cm ² +0 cm ² +2 cm ²	+4,3 cm ² +0 cm ² +0,7 cm ² +3,2 cm ²	+2,3 cm ² +0 cm ² +1,3 cm ²
	Talle 2	Nf/t	3	+0	+1	-1
		Sf	18x0,8=10,8 cm ² 17,3x1,1=14,3 cm ² 21,2x0,9=14,2 cm ²	+2,8 cm ² +0,3 cm ² +0,6 cm ²	+2,8 cm ² +2,8 cm ² +5,1 cm ² +0,9 cm ²	+0,1 cm ² +0 cm ² +1,9 cm ²
Plante 6	Talle 1	Nf/t	4	+0	+0	
		Sf	23,5x1=17,6 cm ² 9,2x0,5=3,45 cm ² 20,7x0,9=14,0 cm ² 10,5x0,8=6,3 cm ²	+0 cm ² +0,75 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+1,8 cm ² +2,1 cm ² +0 cm ² +0 cm ²	+0 cm ² +4,2 cm ² +0 cm ² +0 cm ²
	Talle 2	Nf/t	4	+0	+1	-1
		Sf	22,7x1,1=18,7 cm ² 17,1x0,9=11,5 cm ² 18x1=13,5 cm ² 21,1x1=15,8 cm ²	+0 cm ² +5,7 cm ² +2,1 cm ² +2,1 cm ²	+0 cm ² +0,2 cm ² +0,1 cm ² +0 cm ² +3,4 cm ²	+0 cm ² +0 cm ² +5,7 cm ² +2,8 cm ²
Sf moyenne/talle		J0 : 47,97 cm²	J1 : 54,4 cm²	J3 : 56,49 cm²	J6 : 58,5 cm²	
Couverture végétale		J0 : 3,96 m²/ m²	J1 : 4,49 m²/ m²	J3 : 4,66 m²/ m²	J6 : 4,83 m²/ m²	

Annexe 26 : Calcul du facteur climatique de potentialité agricole A

Date	Température extérieure			Ft	Fh	Ht	Etp (mm/mois)	0,3Etp +50
	max (°C)	min (°C)	moy (°C)					
10.04	17	11	14	0,64	5,50	3,84	67,39	70,22
11.04	18	12	15	0,68	5,50	4,03	69,80	70,94
12.04	20	15	17,5	0,74	5,50	4,44	75,17	72,55
13.04	20	13	16,5	0,72	5,50	4,28	73,12	71,94
14.04	20	13	16,5	0,72	5,50	4,28	73,12	71,94
15.04	20	6	13	0,61	5,50	3,65	64,81	69,44
16.04	22	8	15	0,68	5,50	4,03	69,80	70,94
17.04	22	10	16	0,70	5,50	4,20	72,05	71,62
18.04	19	9	14	0,64	5,50	3,84	67,39	70,22
19.04	17	8	12,5	0,59	5,50	3,54	63,45	69,04
20.04	16	4	10	0,50	5,50	2,99	55,84	66,75
21.04	17	6	11,5	0,56	5,50	3,33	60,58	68,17
22.04	14	10	12	0,58	5,50	3,44	62,04	68,61
23.04	12	11	11,5	0,56	5,50	3,33	60,58	68,17
24.04	16	7	11,5	0,56	5,50	3,33	60,58	68,17
25.04	25	11	18	0,76	5,50	4,51	76,15	72,84
26.04	25	11	18	0,76	5,50	4,51	76,15	72,84
27.04	27	11	19	0,78	5,50	4,65	78,01	73,40
28.04	23	11	17	0,73	5,50	4,36	74,16	72,25
29.04	17	8	12,5	0,59	5,50	3,54	63,45	69,04
30.04	17	6	11,5	0,56	5,50	3,33	60,58	68,17
01.05	17,5	5,5	11,5	0,56	3,45	1,92	46,00	63,80
02.05	21	4	12,5	0,59	3,45	2,05	48,18	64,45
03.05	22	7	14,5	0,66	3,45	2,28	52,10	65,63
04.05	18	6,5	12	0,58	3,45	1,99	47,11	64,13
05.05	15	5	10	0,50	3,45	1,73	42,40	62,72
06.05	20	1	10,5	0,52	3,45	1,79	43,65	63,09
07.05	20	4	12	0,58	3,45	1,99	47,11	64,13
08.05	19	7	13	0,61	3,45	2,11	49,21	64,76
09.05	13	6	9,5	0,48	3,45	1,66	41,10	62,33
10.05	23	8	15,5	0,69	3,45	2,38	53,87	66,16
11.05	23	8	15,5	0,69	3,45	2,38	53,87	66,16
12.05	20	4	13	0,61	3,45	2,11	49,21	64,76
13.05	19	12	15,5	0,69	3,45	2,38	53,87	66,16
14.05	19	13	16	0,70	3,45	2,43	54,71	66,41
15.05	12	7	9,5	0,48	3,45	1,66	41,10	62,33
16.05	11,5	6	9	0,46	3,45	1,58	39,75	61,93
17.05	11	4	7,5	0,39	3,45	1,36	35,33	60,60
18.05	11,5	2	7	0,37	3,45	1,28	33,73	60,12
19.05	12	0	6	0,32	3,45	1,12	30,29	59,09
20.05	10	5	7,5	0,39	3,45	1,36	35,33	60,60
21.05	10	7	8,5	0,44	3,45	1,51	38,34	61,50
22.05	9	5	7	0,37	3,45	1,28	33,73	60,12
23.05	11	5	8	0,42	3,45	1,44	36,87	61,06
24.05	9	5	7	0,37	3,45	1,28	33,73	60,12
25.05	9	3	6	0,32	3,45	1,12	30,29	59,09
moyenne avril	19,2	9,6	14,4	0,65	5,50	3,57	67,82	70,35
moyenne mai	15,4	5,6	10,6	0,51	3,45	1,77	42,84	62,85