

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture et des
Ressources Hydrauliques

Institution de la Recherche et de
l'Enseignement Supérieur Agricoles



Ministère de l'Enseignement
Supérieur, de la Recherche
Scientifique et de la Technologie

Université du 7 Novembre
A Carthage

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Discipline : Sciences de la Production Animale

CARACTERISATION DE LA POPULATION DES DROMADAIRES

(Camelus dromedarius) EN TUNISIE

Soutenue et présentée publiquement par OULD AHMED Mohamed

Devant le Jury composé de

Mr. HAMZA Mahmoud Elies	Président	Professeur	I.N.A.T
Mr. DJEMALI M'Naouer	Directeur de Thèse	Professeur	I.N.A.T
Mr. HADDAD Brahim	Rapporteur	Professeur	I.N.A.T
Mr. REKIK Boulbaba	Rapporteur	Maître de conférence	E.S.A.M
Mr. BEN GARA Abderrahmane	Examineur	Maître de conférence	E.S.A.M

6 Novembre 2009

.(41)

(□

)



REMERCIEMENT

Et voilà, six années se sont écoulées, depuis le début de ce projet de thèse, pleines d'activités et des hauts et des bas ! Aujourd'hui, c'est avec un réel plaisir, une immense fierté et un bonheur intense que je vous présente l'accomplissement de ces années de travail à la fois fascinantes et exigeantes. Bien au-delà des acquis scientifiques, je ressors grandi de cette expérience. L'effort et le temps consacrés à la réalisation des objectifs de la thèse m'ont appris à repousser mes limites et à toujours persévérer. C'est avec plus de confiance et de détermination que je surmonterai les futures différentes étapes de ma vie inchallah.

Malgré les efforts et la détermination, l'aboutissement de ce projet aurait été impossible sans la contribution et le support de plusieurs personnes que je tiens ici à remercier sincèrement.

Tout d'abord, j'aimerais remercier chaleureusement mon directeur de thèse Mr. DJEMALI M'Naouer professeur à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) et Directeur de la Banque Nationale des Gènes (BNG). Je tiens particulièrement à lui exprimer ma profonde gratitude pour m'avoir donné l'occasion d'intégrer l'équipe du Laboratoire des Ressources Animales et Alimentaires (LRAA) à l'INAT et en assurant l'encadrement et la direction de cette thèse. Je lui serai reconnaissant pour ses orientations et ses conseils, tout au long de ce parcours scientifique y compris le mastère. L'opportunité qu'il m'a accordée m'a permis une grande marge de manoeuvre rendant l'expérience plus formatrice si enrichissante.

J'exprime ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Messieurs HADDAD Brahim, Professeur à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) et REKIK Boulbaba, professeur à l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur (ESAM) les personnes qui ont accepté de faire partie du jury et qui ont bien voulu réserver une part de leur temps pour évaluer ce travail et pour la mise en forme du manuscrit.

Mes sincères remerciements s'adressent à Mr. HAMZA Mahmoud Elies Directeur de l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le comité d'examen de ce travail.

Je tiens également à présenter mes vifs remerciements à Mr. BEN GARA Abderrahmane Directeur de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur (ESAM) pour avoir accepté de participer au jugement de cette thèse.

Je voudrai remercier du fond de mon coeur, mon grand professeur Mr. KHALDI Gley professeur à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) pour ses innombrables services qu'il m'a toujours rendus, ainsi que pour sa gentillesse et sa haute valeur humaine et scientifique. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et ma haute considération.

Mes remerciements s'adressent à la Direction Générale de l'Office de l'Elevage et des Pâturages (OEP) pour l'appui constant sur le terrain. Je ne saurais oublier d'exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à Mr. BEN SALEM Farhat à la direction générale de l'OEP, à Mr. BEN OTHMAN Naceur et son équipe à la direction régionale de l'OEP à Kebili, à Mr. M'LIK Salem et son équipe à la direction régionale de l'OEP à Médenine et à Mr. KRIT Riadh et son équipe à la direction régionale de l'OEP à Tataouine, pour m'avoir aidé concrètement et gentiment à la réalisation de ce travail durant les visites sur le terrain.

Il me serait impossible de passer sous silence l'importance de tous mes collègues du laboratoire et mes camarades de classe. La dynamique d'entraide qui entoure le groupe rend les journées beaucoup plus agréables. Ce fut un réel plaisir de passer ces années en leur compagnie. Bien évidemment, merci à tous mes chers amis, votre soutien, votre présence, votre joie de vivre et votre amitié ont rendu mes moments de divertissement intenses et inoubliables.

Je ne peux oublier et je ne saurais terminer sans citer mes véritables amis pour leur dévouement inconditionnel et leur soutien moral et financier *surtout en mes années de disette* et je pense particulièrement à Messieurs : BEN SLIMAN Nizar, BELLO ABINA Abdoulkerim, OULD AHMED SALEM Ahmedou, OULD MOHAMED MAHMOUD Med Abdallah, OULD MOHAMED Med Val, OULD YAHEFDHOU Med Moctar, ...

Je remercie également, les éleveurs qui ont été un moment donné une partie prenante dans ce travail et ont eu le courage et la volonté de travailler avec nous et qui nous ont toujours accueilli chaleureusement. J'espère que les résultats de ce travail contribueront à améliorer la productivité de leurs dromadaires et leur niveau de vie.

Je saisis cette agréable occasion pour exprimer mon éternelle reconnaissance à ma chère famille pour sa sollicitude à mon égard.

Finalement, que tous ceux et celles qui ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, soient assurés de ma sincère reconnaissance et de ma profonde gratitude et **GRAND MERCI à tous.**

OULD AHMED Mohamed  

()

)

(

)

(

)

"Microsatellite"

8

.(

)

34

(

100% 4,25 (A)

:

.0,61

(H_{nb})

(P)

()

($F_{ST}=0,083$)

.()

92%

15%

"Consanguinité"

)

(2

(1:

.(

(3 (

)

(4

:

ABSTRACT
CHARACTERIZATION OF DROMEDARIES (*Camelus dromedarius*) POPULATION
IN TUNISIA

The eco-climatic conditions (irregularity of pluviometry, high temperatures, continual winds, etc.) limit naturally the development of breeding in the Tunisian Southern arid and semi-arid regions. Nevertheless, there are geomorphologic sites offering conditions more favourable for the existence of the characteristic spontaneous grazing (Dhahar, El-Ouara, Djeffara, etc.). In Tunisia, these collective grazing represent the mainly available feed resources for dromedaries. The objective of this thesis was to describe conditions of breeding of dromedaries, to analyze their genetic diversity and revealing the perspectives of exploitation and valorisation of their products in sustainable breeding systems. Knowing that, the dromedary occupies a major place in the socioeconomic development of the breeders because the multiple functions and the services which it gets. However, pressures of diverse origins among which the population growth, the repetitive drought, the secular practices, threatens the development of the dromedary. In this context, the present study was begun to determine the practices governing the management of the dromedary and the organization of its genetic structure. The knowledge of this information has a major importance for the elaboration of any strategy of exploitation and sustainable conservation, profitable and well targeted. The analysis of certain breeding practices showing that the traditional aspect remains dominant. Besides, we observed a timid trend towards the improvement of management and production. The dromedary conceals important "deposits" of production underexploited at present. The implemented of the breeding techniques and the adequate economic mechanisms will allow the valorisation of camel products. For better valorisation, the levying of the major constraint identified can be made by acting either on the animal, or on its environment (grazing, market, etc.) or on both (the animal and the environment) what is the ideal. The study of the genetic diversity was based on 8 loci microsatellites. A total of 34 alleles were detected in the three populations. The average of number of alleles per locus is 4.25 alleles per locus, percentage of polymorphism (P) is 100% and the heterozygosity (Hnb) is 0.61. The mean estimates of F-statistics were $F_{IT} = 0.15$, $F_{IS} = 0.071$ and $F_{ST} = 0.083$. These values were significantly different from zero ($p < 0.05$) and suggest a moderate differentiation. An inbreeding rate of 15% was found. Estimated genetic distances revealed by the loci varied from 0 to 0.9 between dromedary individuals. The estimated genetic distances pair-wise showed 0.104 among

Medenine-Tataouine, 0.280 between Kebili- Medenine and 0.29 between Kebili-Tataouine. The distance matrix was able to distinguish between two separate genetic entities: Nefzawa (Kebili) including Merzougui, G'oudi and M'hari ecotypes and the Aaradh group (Medenine and Tataouine) which includes Maghrebi and Khaouar ecotypes. Results of this study did not confirm the present classification established by dromedary herders. Which divides the population into five different ecotypes, apparently based on the sociogeographical criteria. These preliminary results showed that microsatellites are promising tools for breed characterisation. They indicated that investigated populations have high genetic variability and would be suitable as genetic stocks for conservation and sustainable utilisation programmes. This level of diversity and this genetic structure could be essentially the fact of the evolutionary history of the dromedary and especially the consequences of the reproduction strategies adopted by the breeders so facilitating the inbreeding and the genes flow. For the conservation of camel resources, the results of this thesis offer new perspectives for the dromedary conservation. The results inform about the characteristics of the camel population primordial for the preservation and the capture of the maximum of genetic diversity of the dromedary. The conservation and the valorisation of dromedaries necessitate the collaboration between the various interveners (profession, development and scientific research). This vision should formulate in four axes: 1) Organization of the sector, 2) Protection of dromedary and that concerns essentially institutional measures (incitements, legislations, economic policies, etc.), 3) Valorisation by the use of products and 4) Scientific research to answer the composed questions. As a matter of fact, let us hope that these results will improve and will guide programs of conservation and development of the camel in Tunisia.

Keywords: Dromedary, breeding practices, diversity genetics, microsatellites markers, conservation, development, Tunisia.

RESUME

CARACTERISATION DE LA POPULATION DES DROMADAIRES

(*Camelus dromedarius*) EN TUNISIE

Les conditions éco-climatiques (irrégularité de pluviométrie, températures élevées, vents continus, etc.) freinent naturellement le développement de l'élevage dans le Sud tunisien. Néanmoins, il existe des sites géomorphologiques offrant des conditions plus ou moins favorables à l'existence des parcours spontanés caractéristiques (*Dhahar, El-Ouara, Djeffara, etc.*). En Tunisie, ces parcours représentent principalement la seule source alimentaire disponible pour les dromadaires. L'objectif de la thèse est de décrire les conditions d'élevage des dromadaires, analyser leur diversité génétique et de mettre en évidence les perspectives d'exploitation et de valorisation de leurs produits dans des systèmes d'élevage durables. Sachant que, le dromadaire occupe une place capitale dans le développement socio-économique des éleveurs en raison des multiples biens et services qu'il procure. Cependant, des pressions d'origines diverses dont la croissance démographique, les sécheresses répétitives et des pratiques séculaires, faisant peser lourdes menaces sur le développement de l'espèce. C'est dans ce contexte que la présente étude sur la caractérisation de l'élevage et la diversité génétique a été entreprise en vue de déterminer les pratiques régissant la gestion de l'espèce et l'organisation de sa structure génétique. La connaissance de ces informations est capitale pour l'élaboration de toute stratégie d'exploitation et de conservation durable, rentable et bien ciblée. L'analyse de certaines pratiques d'élevage, a mis en relief des indices montrant que l'aspect traditionnel demeure dominant. Par ailleurs, nous avons observé qu'il y avait une tendance peut être timide et silencieuse vers l'amélioration de la conduite et de la productivité. Le dromadaire recèle d'importants "gisements" de production actuellement sous-exploités. La mise en œuvre des techniques d'élevage et des mécanismes économiques adéquats permettront la mise en valeur des produits camelins. Pour mieux valoriser, la levée des majeures contraintes identifiées peut se faire en agissant soit sur l'animal, soit sur son environnement (parcours, marchés, etc.) ou soit sur les deux (l'animal et l'environnement) ce qui est l'idéal. L'étude de la diversité génétique au moyen de 8 loci microsatellites a permis de détecter 34 allèles dans la population totale et de déterminer la diversité intra et inter populations, la structure et les distances génétiques entre les populations étudiées (Kebili, Médenine et Tataouine). Nous avons trouvé des valeurs relativement élevées pour les

paramètres de diversité intra population avec un nombre moyen d'allèles par locus (**A**) de 4,25, un pourcentage de polymorphisme (**P**) de 100% et un taux d'hétérozygotie attendue non biaisée (**H_{nb}**) de 0,61. La matrice des distances génétiques montre des valeurs peu élevées (0,104 et 0,29) entre les populations prises deux à deux ce qui indique que les trois populations présentent une ressemblance génétique et laisse supposer qu'elles appartiennent au même groupe génétique. La valeur **F_{IT}**=0,15 indique un coefficient de consanguinité de 15%. L'importance du flux de gènes entre les paires des populations et la différenciation génétique modérée moyenne entre les populations (**F_{ST}**=0,083) indiquent qu'un niveau d'échange de gènes assez significatif se fait entre les populations et qu'une part relativement très importante (92%) de la diversité génétique totale de l'espèce est d'origine intra population. Ce niveau de diversité et cette structuration génétique pourraient être essentiellement le fait de l'histoire évolutive de l'espèce et surtout les conséquences des stratégies de reproduction adoptées par les éleveurs favorisant la consanguinité. Afin de permettre une bonne conservation des ressources camelines, les résultats de cette thèse offrent de nouvelles perspectives pour la conservation de l'espèce. Les résultats informent sur les caractéristiques de la population cameline, capitales pour le maintien ou capture du maximum de diversité génétique de l'espèce. La conservation et la valorisation par l'utilisation durable des dromadaires font appel à une collaboration renforcée entre les différents intervenants (profession, développement et recherche scientifique). Cette vision devrait se formuler en quatre volets : 1) Organisation du secteur, 2) Protection de l'espèce et ça concerne essentiellement des mesures institutionnelles (incitations, législations, politiques économiques à entreprendre, etc.), 3) Valorisation par l'utilisation des produits et 4) Recherche scientifique afin de répondre aux questions posées. En somme, espérons que ces résultats amélioreront et guideront des programmes de conservation et de développement de l'espèce cameline en Tunisie.

Mots clés : *Dromadaire, pratiques d'élevage, diversité génétique, marqueurs microsatellites, conservation, développement, Tunisie.*

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	22
-----------------------------------	-----------

CHAPITRE I : IDENTITE DES CAMELIDES

1- Place des camélidés dans le règne animal.....	25
1.1- Systématique.....	25
1.2- Taxonomie de camélidés.....	25
2- Origine des camélidés.....	27
3- Domestication des camélidés.....	28
4- Répartition géographique des dromadaires.....	29
4.1- Distribution dans le monde.....	29
4.2- Distribution en Afrique.....	30
4.3- Densité des dromadaires.....	31
4.3.1- Densité très faible.....	31
4.3.2- Densité faible.....	31
4.3.3- Densité moyenne.....	31
4.3.4- Densité forte.....	31
5- Milieu naturel du dromadaire.....	32
6- Morphologie générale du dromadaire.....	32
7- Une physiologie générale orientée vers l'adaptation.....	33
7.1- Adaptation à la chaleur.....	33
7.2- Adaptation à la sous-alimentation.....	34
7.3- Physiologie de la reproduction.....	35

CHAPITRE II : IMPORTANCE DE L'ELEVAGE CAMELIN ET SYSTEMES DE PRODUCTION

1- Introduction.....	36
2- Importance socio-économique du dromadaire.....	36
3- Importance écologique du dromadaire.....	37
4- Modes et systèmes d'élevage.....	39
4.1- Systèmes migratoires.....	40

4.1.1- Nomadisme.....	41
4.1.2- Transhumance.....	41
4.2- Systèmes sédentaires.....	42
5- Performances des troupeaux.....	43
5.1- Performances reproductives.....	43
5.2- Performances laitières.....	45
5.3- Croissance et production de viande.....	46
5.4- Performance sportive.....	48

CHAPITRE III : RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES

1- Introduction.....	49
2- Situation mondiale de la biodiversité animale	50
3- Rôles de la biodiversité animale	52
3.1- Fonctions économique et alimentaire.....	52
3.2- Fonctions environnementales.....	53
3.3- Fonction socioculturelle.....	54
4- Conservation de la biodiversité animale.....	55
5- Elevage : une biodiversité à gérer et une richesse à valoriser.....	56
5.1- Population ovine.....	57
5.2- Population caprine.....	57
5.3- Population bovine.....	57
5.4- Population cameline.....	58
6- Notion de race en élevage.....	58
7- Sélection chez le dromadaire.....	60
8- Etat des ressources génétiques camelines dans le monde.....	61
8.1- Types de grande taille.....	61
8.2- Types de taille moyenne.....	62
8.3- Types de petite taille.....	62
9- Etat des ressources génétiques camelines en Tunisie.....	62
10- Classification des dromadaires selon vocation.....	64
10.1- Dromadaires à vocation viande	64
10.2- Dromadaire à vocation lait.....	65
10.3- Dromadaire à vocation mixte	66

10.4- Dromadaire de course.....	66
---------------------------------	----

CHAPITRE IV : BIOTECHNOLOGIE ET CARACTERISATION DES RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES

1- Introduction.....	67
2- Révolution de la génétique moléculaire.....	68
3- Techniques moléculaires.....	69
3.1- Historique de l'ADN.....	69
3.2- Purification de l'ADN	70
3.3- Electrophorèse.....	72
3.4- Amplification en Chaîne par Polymérase (PCR).....	72
3.5- Séquençage.....	74
4- Marqueurs génétiques.....	74
4.1- Marqueurs biochimiques.....	76
4.2- Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP).....	76
4.3- Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD).....	76
4.4- Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP).....	77
4.5- Minisatellites	78
4.6- Microsatellites.....	78
4.7- Polymorphisme de simple nucléotide (SNP)	80

CHAPITRE V : CARACTERISATION DE L'ELEVAGE CAMELIN EN TUNISIE

I- INTRODUCTION.....	82
II- MATERIEL ET METHODES.....	83
1- Présentation et choix des zones de l'étude.....	83
2- Collecte des données.....	85
3- Traitement des données.....	86
III- RESULTATS ET DISCUSSION.....	86
1- Caractéristiques générales de l'élevage camelin.....	86
1.1- Taille du troupeau.....	86
1.2- Gardiennage du troupeau	88
1.3- Conduite et gestion des troupeaux camelins.....	88

1.4- Sources des revenus des éleveurs.....	89
2- Description des ressources camelines exploitées.....	90
2.1- Couleur de la robe.....	91
2.1.2- Safra.....	91
2.1.3- Chegra.....	92
2.1.4- Hajla.....	92
2.1.5- Beydha.....	92
2.1.6- Zarga.....	92
2.2- Dénomination sociogéographique.....	93
2.2.1- Rameau de Nefzawa.....	93
2.2.1.1- Merzougua.....	93
2.2.1.2- G'oudia.....	94
2.2.1.3- Mehari ou Targui.....	94
2.2.2- Rameau de l'Aaradh.....	95
2.2.2.1- Maghrebi.....	95
2.2.2.2- Khaouar.....	95
3- Systèmes et pratiques d'élevage camelin.....	97
3.1- Systèmes d'élevage camelin dans le Sud tunisien.....	97
3.1.1- Système pastoral transhumant extensif.....	97
3.1.2- Système intensif temporaire : l'embouche.....	98
3.2- Pratiques d'élevage camelin.....	100
3.2.1- Association élevage – agriculture.....	101
3.2.2- Alimentation.....	102
3.2.3- Pratiques vétérinaires.....	103
3.2.4- Reproduction et sevrage.....	104
3.2.5- Production laitière.....	105
3.2.6- Sélection de reproducteurs.....	105
3.2.6.1- Indicateurs de résistance et tolérance	106
3.2.6.2- Indicateurs d'une bonne laitière.....	106
3.2.7- Reforme et renouvellement.....	107
4- Potentialités des productions.....	108
4.1- Production laitière.....	108
4.2- Production de viande.....	109

4.2.1- Age et saison de vente des chamelons.....	109
4.2.2- Marchés et commercialisation des chamelons.....	110
4.3- Autres productions.....	111
4.3.1- Production lainière.....	111
4.3.2- Excréments.....	112
5- Contraintes de l'élevage camelin en Tunisie.....	112
5.1- Contraintes socio-économiques.....	113
5.1.1- Infrastructures.....	113
5.1.2- Services.....	113
5.2- Contraintes zootechniques.....	114
5.2.1- Parasitoses et maladies.....	114
5.2.2- Alimentation.....	114
5.2.3- Matériel génétique.....	115
VI- CONCLUSION.....	115

CHAPITRE VI : ANALYSE DE LA DIVERSITE GENETIQUE CAMELINE EN TUNISIE

I- INTRODUCTION.....	117
II- MATERIEL ET METHODES.....	118
1- Stratégie d'échantillonnage.....	118
2- Prélèvement du sang.....	118
3- Extraction et évaluation de la qualité et la quantité de l'ADN génomique.....	119
4- Dilution de l'ADN.....	120
5- Optimisation de la réaction PCR.....	120
6- Loci microsatellites étudiés.....	122
7- Electrophorèse sur gel de polyacrylamide.....	123
8- Méthodes statistiques et analyses moléculaires.....	124
9- Loi d'Equilibre de Hardy Weinberg.....	125
10- Paramètres de la diversité génétique.....	126
10.1- Diversité intra population.....	126
10.1.1- Nombre moyen d'allèles par locus (A).....	126
10.1.2- Taux de polymorphisme (P).....	126
10.1.3- Taux d'hétérozygote observé (H_0).....	127

10.1.4- Taux d'hétérozygote attendu (H_E).....	127
10.1.5- Indice de Fixation F_{IS}	128
10.2- Diversité génétique inter populations.....	128
10.2.1- Distance génétique.....	129
10.2.2- F statistiques ou F de Wright.....	129
10.2.3- Flux des gènes.....	131
III- RESULTATS ET DISCUSSION.....	132
1- Extraction, quantité et qualité de l'ADN.....	132
2- Diversité génétique.....	132
2.1- Diversité génétique intra population.....	132
2.1.1- Fréquences alléliques	132
2.1.2 - Richesse allélique	133
2.1.3- Taux de loci polymorphe.....	133
2.1.4- Hétérozygotie.....	136
2.1.5- Indice de fixation F_{IS}	136
2.2- Diversité génétique inter population.....	137
2.2.1- Indice de fixation ou F statistiques.....	137
2.2.2 - Distance génétique et construction des dendrogrammes.....	138
2.2.3- Flux des gènes.....	140
VI-CONCLUSION.....	142

CHAPITRE VII : CONSERVATION DES DROMADAIRES EN TUNISIE

I-INTRODUCTION.....	143
II- EBAUCHE D'UN SCHEMA DE DEVELOPPEMENT ET DE CONSERVATION.....	144
1- Organisation du secteur camelin.....	145
1.1- Registres de données.....	146
1.2- Associations des éleveurs.....	147
1.3- Organisation en réseaux.....	147
2- Protection de l'espèce cameline.....	148
3- Valorisation des produits camelins.....	149
4- Recherche scientifique.....	149

III- AMELIORATION GENETIQUE.....	150
VI- CONCLUSION.....	152
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	153
REFRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	156
ANNEXES.....	169

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Désignation
ADN	Acide DésoxyriboNucléique
AFLP	Amplified Fragment Length polymorphism
ARN	Acide RiboNucléique
B.P	Before present
BET	Bromure d’Ethidium
BHD	Biomasse des Herbivores Domestiques
DAD-IS	Domestic Animal Diversity Information System
dNTP	Désoxy Nucléotide Tri-Phosphate
EDTA	Ethylène Di-Amine Tétra-Acétique
GMQ	Gain Moyen Quotidien
ILRI	International Livestock Research Institute
J.-C	Jésus-Christ
LINES	Long interspersed elements
MgCl ₂	Chlorure de Magnésium
PCR	Polymerase Chain Reaction
QTL	Quantitatif Trait Loci
RAPD	Random Amplified Polymorphic DNA
RFLP	Polymorphisme de longueur des fragments de restriction
RGA	Ressources Génétiques Animales
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
SIRES	Short Interspersed Elements
SLR	Solution de Lyse de globule Rouge
SNP	Single Nucleotide Polymorphisms
STR	Simple Tandem Repeats
Taq	Taq polymérase
TBE	Tris-Borate-EDTA
TE	Tris- EDTA
UV	Ultra Violet
VNTR	Variable Number Tandem Repeat

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
1	Systematique des camélidés.....	5
2	Espèces de la famille des camélidés.....	6
3	Eléments de l'ADN génomique.....	49
4	Organisation d'une cellule.....	50
5	Principe de la Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR).....	52
6	Détail d'un microsatellite.....	59
7	Distribution des éleveurs selon la strate.....	67
8	Formule de propriété des troupeaux.....	77
9	Distribution des éleveurs selon l'âge de vente de chameçons.....	88
10	Circuits de commercialisation de chameçons.....	90
11	Arbre phylogénétique entre les individus de la population totale.....	118
12	Relations phylogéniques entre les trios populations.....	119
13	Dendrogramme de la population de Kebili.....	120
14	Dendrogramme de la population de Médenine.....	120
15	Dendrogramme de la population de Tataouine.....	120
16	Niveau d'instruction des éleveurs camelins.....	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
1	Poids aux âges types et les GMQ des chamelons.....	27
2	Exemples de races cameline à viande.....	44
3	Exemples des races camelines laitières.....	44
4	Exemples des races camelines mixtes.....	45
5	Répartition de l'effectif selon la région.....	65
6	Répartition des éleveurs selon la région.....	66
7	Principales couleurs rencontrées dans les élevages camelins.....	70
8	Réactifs et paramètres des réactions PCR pour chaque individu.....	100
9	Caractéristiques de microsatellites étudiées.....	101
10	Composition du gel polyacrilamide.....	102
11	Etapes de la méthode de coloration au nitrate d'argent utilisée.....	103
12	Fréquences alléliques à chaque population.....	113
13	Richesse allèlique et hétérozygotie dans la population totale.....	114
14	Nombre d'allèles et hétérozygotie par locus et par population.....	114
15	Test de l'équilibre de HW.....	115
16	Les F_{ST} entre les paires des populations.....	117
17	Distance génétique entre les paires des populations.....	118
18	Flux des gènes entre les paires des populations.....	119
19	Aspects de schéma de développement des dromadaires.....	131

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

)

(☐ " " (38).

Nulle bête marchant sur terre, nul oiseau volant de ses ailes, qui ne soit comme vous en communauté. Nous n'avons rien omis d'écrire dans le Livre. Puis, c'est vers leur Seigneur qu'ils seront ramenés ☐ (Sourate 6, verset 38).

:

)

☐ " " (☐ (73-72-71).

Ne voient-ils donc pas que, parmi ce que Nos mains ont fait, Nous leur avons créé des bestiaux dont ils sont propriétaires ☐ et Nous les leurs avons soumis; certains leur servent de monture et d'autre de nourriture ☐ et ils en retirent d'autres utilités et des boissons. Ne seront-ils donc pas reconnaissants? ☐ (Sourate 36, verset 71, 72, 73).

(☐ " " (17).

Ne considèrent-ils donc pas les chameaux, comment ils ont été créés ☐ (Sourate 88, verset 17).

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمِ

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture, est caractérisée par l'usage et la transformation des ressources de base. Certaines de ces ressources sont confrontées à des pressions d'usage (ressources hydriques et pédologiques) et par conséquent sont soumises à des processus de dégradation dont le degré varie selon la ressource et le lieu. Récemment, les problèmes environnementaux causés par une activité agricole de plus en plus intensive ont commencé à faire l'objet d'une prise de conscience mondiale. Suite à la tenue de la conférence de Rio de Janeiro (Brésil) en 1992, les pouvoirs publics ont commencé à réfléchir sur des alternatives orientées vers la gestion rationnelle et la conservation des ressources naturelles comme bases fondamentales de développement durable.

La composante « élevage », souvent considéré comme produit ou intrant de l'agriculture, est une ressource de base dont sont dotées les exploitations agricoles. Les animaux d'élevage font également partie intégrante de l'environnement et obéissent à des processus et mécanismes de dégradation. Cette dégradation, peut prendre plusieurs formes dont la plus importante correspond à la perte de la diversité génétique (Cunningham, 1995).

Les innovations agricoles, mises en oeuvre au fil du temps, ont spectaculairement marqué la civilisation humaine et elles se sont diffusées dans le monde entier à travers les caravanes commerciales et les conquêtes (Mendelsohn, 2003). Le développement de l'agriculture, y compris l'élevage, a constitué un élément capital du développement de l'humanité. Au cours de l'histoire humaine, deux ères se sont distinguées en matière d'évolution de l'élevage. Durant la première ère, les éleveurs ont procédé à des améliorations lentes mais cumulatives de la qualité génétique de leurs animaux. La diversité est l'aboutissement de l'effort de nombreuses communautés gérant leur cheptel dans des habitats et niches écologiques aussi nombreux que variés, et manipulant la composition génétique en fonction des besoins spécifiques de leur environnement, de leur système de production et de leur propre préférence ou objectif d'élevage. La conviction selon laquelle le cheptel a évolué uniquement sous l'influence de l'environnement et n'a pas été modifié par l'intervention de l'homme est largement répandue dans les milieux spécialisés. Cependant, des compilations récentes des connaissances traditionnelles sur la sélection animale réfutent cette analyse (Khler-Rollefson, 2000). En favorisant les animaux qui sont mieux adaptés aux conditions locales, les éleveurs ont pu graduellement améliorer leur production par sélection. En adoptant des approches

génétiques, simples mais efficaces, ils se sont chargés des aspects d'adaptation des animaux aux conditions environnementales locales. Ces adaptations ont produit une multitude de races et ont permis le développement des activités d'élevage même dans des conditions de production extrêmes (Rege et *al.*, 2003). A partir de la seconde moitié du XX^{ième} siècle, le progrès technologique et les activités agricoles prenaient de nouvelles orientations permettant d'amplifier les processus de sélection à un rythme régulier. La deuxième ère s'est dessinée donc, en favorisant la genèse et la diffusion à grande échelle des innovations technologiques qui sont accompagnées d'une croissance rapide de la population mondiale. Durant cette période, le progrès technique et la croissance économique ont constitué les principaux moteurs du développement humain dans le monde entier. Cette croissance a eu pour conséquence une augmentation des disponibilités alimentaires pour les animaux d'élevage qui, progressivement, sont devenus moins dépendants vis-à-vis des ressources pastorales et sylvicoles (Mendelsohn, 2003). Cette situation s'est manifestée par l'émergence de modes de production intensifs en capital. Parallèlement, les éleveurs engagés dans la production animale destinée au marché ont procédé à la substitution des races locales par des races exotiques. La combinaison, fortement rentable, de races spécialisées et de procédés de production intensifs en capital, s'est développée au détriment des techniques de production traditionnelles, basées sur des races indigènes qui sont devenues moins viables économiquement. Les succès qui ont marqué l'amélioration des productivités et des qualités des races animales spécialisées ont dérobé le "**revers de la médaille**", qui est la réduction ou perte de la diversité des ressources génétiques animales accumulées et disponibles pour les générations actuelles et futures (Lamotte, 1995). L'intérêt économique immédiat ne doit pourtant pas faire oublier l'importance fondamentale qu'a pour l'avenir le maintien et la préservation de la diversité génétique, seule à pouvoir répondre à des besoins futurs d'adaptation.

C'est dans ce cadre général que cette thèse a été menée. L'objectif principal était d'évaluer le potentiel actuel des ressources génétiques animales indigènes, particulièrement en zones arides de la Tunisie à partir de l'exemple de la population de dromadaire.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- Décrire les pratiques des éleveurs qui régissent les activités des élevages, les potentialités productives de l'espèce et leurs possibilités d'exploitation.
- Décrire les populations des dromadaires rencontrées.

- Mener une caractérisation moléculaire des différents écotypes de dromadaires identifiés.

Ce travail de caractérisation représente une étape indispensable pour contribuer à la conservation de l'espèce cameline et sa valorisation économique à l'heure où la Tunisie s'ouvre au marché mondial.

CHAPITRE I : IDENTITE DES CAMELIDES

1- Place des camélidés dans le règne animal

1.1- Systématique

La systématique est la discipline qui attribue une place précise à un élément donné du vivant dans un système de classement constitué de critères emboîtés (Pellegrini, 1999). Ces critères sont, par ordre décroissant de grandeur, le Règne, l'Embranchement, la Classe, l'Ordre, la Famille, le Genre et l'Espèce. Cette nomenclature est due au naturaliste Suédois Linné (1707-1778), le premier à proposer une classification des plantes et animaux suivant leurs types morphologiques. Le vivant s'exprime donc au travers d'une série de niveaux dont les deux derniers, le Genre et l'Espèce, servent à le désigner universellement.

1.2- Taxonomie des camélidés

Le dromadaire appartient au genre *Camelus* et à la famille des Camélidés. Musa (1990) et Faye (1997) ont signalé que les Camélidés d'Asie, confrontés au froid et à l'aridité comme dans le désert de Gobi, évoluèrent en chameau à deux bosses : le chameau de Bactriane. Ceux qui se déplacèrent dans les régions chaudes et arides, Afrique et Moyen-Orient, évoluèrent en chameau à une bosse : le dromadaire. La famille des camélidés ne comprend que deux genres: *Camelus* et *Lama*. Le genre *Camelus* occupe les régions désertiques de l'Ancien Monde (Afrique, Asie et Europe) alors que le genre *Lama* est spécifique des déserts d'altitude du Nouveau Monde (les Amériques) où il a donné naissance à quatre espèces distinctes (Figures 1 et 2).

Genre *Camelus*

Camelus dromedarius (dromadaire)

Camelus bactrianus (chameau de Bactriane)

Genre *Lama* (les espèces de ce genre sont toutes sans bosse)

Lama glama (lama).

Lama guanacoe (guanaco).

Lama pacos (alpaga ou alpaca).

Lama vicugna (vigogne).

D'après des études cytologiques menées par Samman et al. (1993), toutes ces espèces camelines sont très proches les unes des autres sur le plan génétique avec 37 paires de

chromosomes ($2n = 74$). Mais les formes de ces chromosomes diffèrent d'une espèce à l'autre, avec trois groupes de formes chez les dromadaires. Ce rapprochement a conduit à une compatibilité reproductive entre les différentes espèces de camélidés. L'hybridation entre Bactriane et dromadaire est fréquente dans le sud du Kazakhstan où la cohabitation entre Bactriane, dromadaire et hybrides peut exister au sein d'une même exploitation. Selon le type d'hybridation, on distingue au Kazakhstan une grande variété d'hybrides possédant différents signes phénotypiques. Pour chaque génération, selon leurs parents, il existe un nom en kazakh, une terminologie d'hybridation utilisée dans toute l'Asie Centrale (Konuspayeva, 2007).

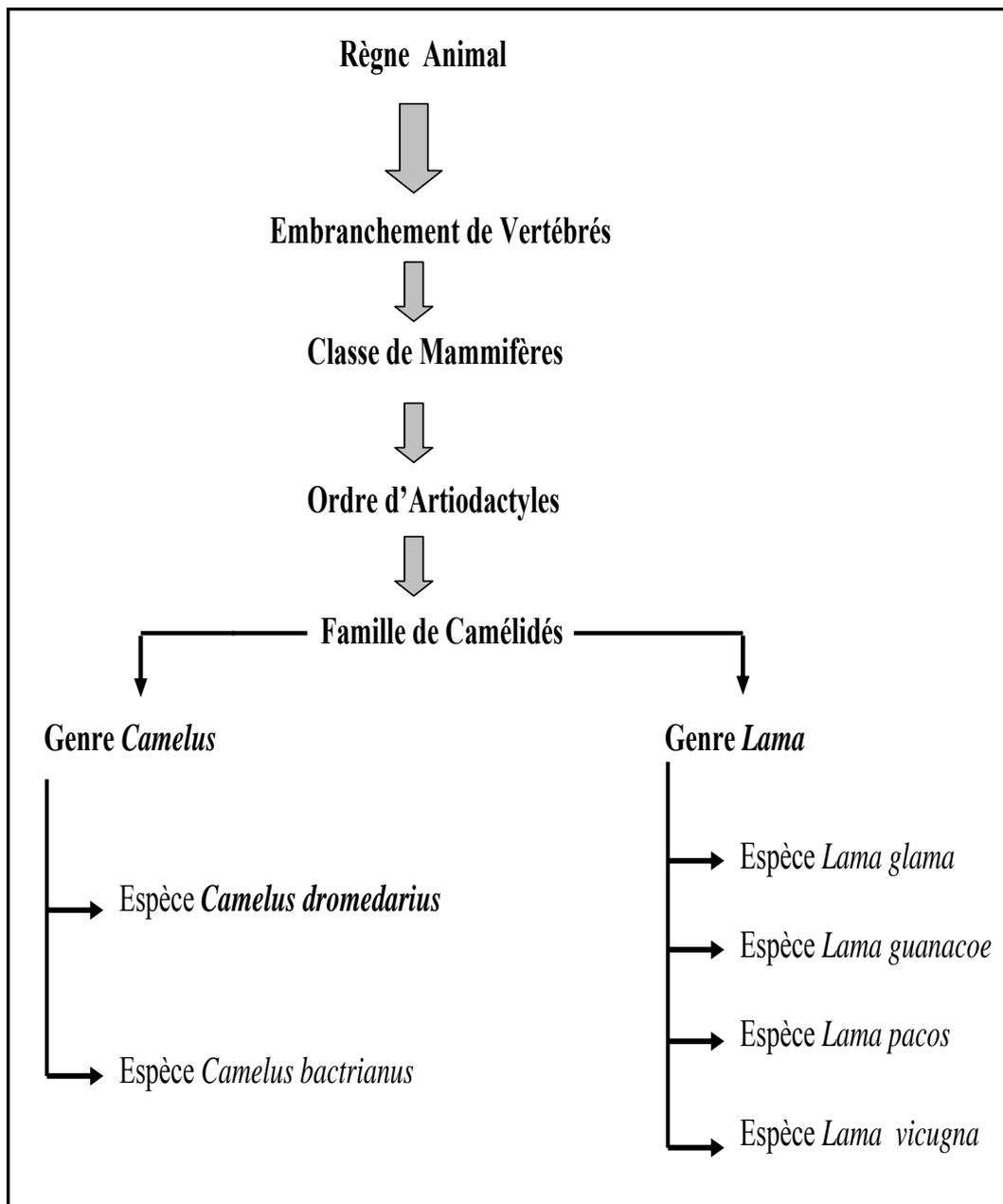


Figure 1 : Systématique des camélidés (Source : Musa, 1990; Faye, 1997)



Figure 2 : Espèces de la famille des camélidés

2- Origine des camélidés

D'après Wilson (1998) (cité par Issam et Osman, 2005) l'histoire des camélidés remonte à l'Eocène moyen. Cependant, le genre considéré comme l'ancêtre en ligne directe des camélidés actuels est le *Protomeryx* apparu à l'Oligocène supérieur dans ce qui est aujourd'hui l'Amérique du Nord. Aujourd'hui, il est admis que l'ancêtre des Camélidés actuels existe depuis le Pléistocène supérieur, au début de la période glaciaire. Faye (1997) a signalé que les camélidés occupèrent rapidement les zones arides de l'hémisphère Nord et

plusieurs représentants du genre *Camelus* sont répertoriés en divers point de l'Ancien Monde. Ainsi, ont pu être identifiés un *C. knoblochi* dans le Sud de la Russie et un *C. alutensis* en Roumanie. L'espèce apparemment la plus répandue à l'époque en Europe et en Asie semble être cependant la *C. thomasi*. Dans le Nord de l'Inde, dès le Pliocène, on trouve un *C. siwalensis* et un *C. antiquus*. Ce sont ces deux dernières espèces qui sont considérées comme étant les plus proches des espèces actuelles. Le dromadaire aurait pénétré en Afrique par le Sinaï jusqu'au Corne de l'Afrique, puis en Afrique du Nord jusqu'à l'Atlantique, il y a 2 ou 3 millions d'années. Cependant, d'après les données actuelles, il aurait disparu du continent africain pour n'y être réintroduit que beaucoup plus tard, à la faveur de la domestication.

3- Domestication des camélidés

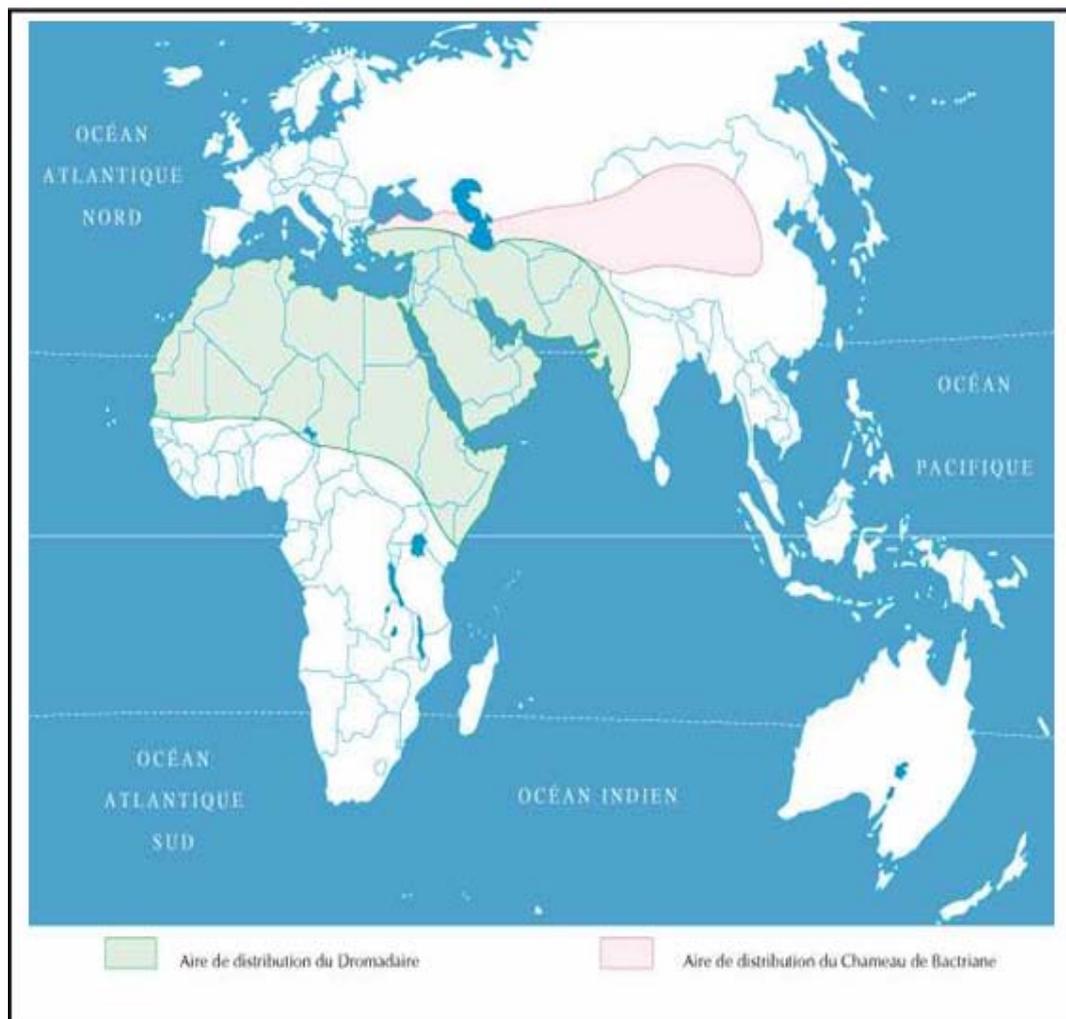
L'histoire de la domestication du dromadaire reste à élucider. Toutefois, elle apparaît fort récente au regard de l'apparition plus ancienne des autres espèces actuellement domestiques. Les arguments s'accumulent d'ailleurs en faveur d'un scénario de domestication unique (Faye, 1997 ; Wilson, 1998). En effet, il est probable que le dromadaire fut domestiqué par l'homme dans le Sud de la péninsule arabique environ 2000 ans avant J.-C à partir d'une population sauvage occupant les vallées arides de l'actuel Hadramaout (Kohler-Rollefson, 1991 ; Jianlin *et al.*, 1999). A titre de comparaison, la domestication des petits ruminants (chèvres et moutons) date de 9000 à 10000 ans B.P (Zeder et Hesse, 2000; Peters *et al.*, 1999) et celle des bovins à environ 8000 ans (Wendorf and Schild, 1994; Loftus *et al.*, 1994; Bradley *et al.*, 1996). La première utilisation du dromadaire relève de l'activité de bât et demeure sans doute associée au commerce des épices, fort florissant à cette époque entre le Sud de la péninsule arabique et le pourtour méditerranéen. Ce commerce caravanier a permis de fait la naissance de quelques glorieuses civilisations. L'histoire retient d'ailleurs que la visite de la reine de Saba au roi Salomon (955 avant J.-C.) se fit grâce à une imposante caravane de dromadaires portant les effets de la suite royale à travers du désert d'Arabie. Certains auteurs pensent qu'il a existé d'autres foyers de domestication, notamment en Afrique du Nord, mais cette hypothèse paraît difficilement défendable en regard des arguments archéologiques connus aujourd'hui. Toutefois il semble que l'utilisation du dromadaire se popularise en Inde beaucoup plus tard, lors de la pénétration des zones arides indopakistanaïses. Cependant, le dromadaire pénètre en Afrique du Nord par le Sinaï au début de l'ère chrétienne. On pense que c'est à l'époque romaine et en Afrique du Nord que la première utilisation du dromadaire pour tirer l'araire est assurée (Faye, 1997).

4- Répartition géographique des dromadaires

4.1- Distribution dans le monde

Les espèces *Camelus dromedarius*, communément appelé dromadaire ou chameau à une bosse, et *Camelus bactrianus* ou chameau de Bactrian qui n'est autre que le chameau à deux bosses sont comparables. Au-delà de leur particularité anatomique, dromadaire et chameau de Bactriane se distinguent par leur aire de répartition géographique. Tandis que le premier est l'animal des déserts chauds d'Afrique, du Proche et du Moyen-Orient jusqu'au désert du Thar en Inde, le second est celui des déserts froids d'Asie Centrale jusqu'aux confins de la Mandchourie en Chine. Toutefois, les deux espèces peuvent cohabiter en quelques rares endroits (Faye, 1997).

La localisation géographique du dromadaire se situe dans la ceinture des zones tropicales et subtropicales sèches de l'Afrique, de l'Ouest du continent asiatique et du Nord-Ouest de l'Inde (Carte 1). Une implantation massive de dromadaires a été faite au siècle dernier en Australie, des introductions très ponctuelles ont également été réalisées aux Etats-Unis, en Amérique Centrale, en Afrique du Sud et en Europe (Wilson et *al.*, 1989). Selon Faye (1997) le dromadaire est répertorié dans 35 pays originaires s'étendant du Sénégal à l'Inde et du Kenya à la Turquie. L'aire origininaire de distribution du dromadaire est bien entendu associée aux caractéristiques climatiques du milieu compte tenu de l'adaptabilité remarquable de cette espèce aux conditions d'aridité. L'aire de distribution découle aussi d'un facteur social d'importance : le dromadaire est tout d'abord l'animal du nomade, célébré comme tel par le Coran, même si son utilisation par les bédouins de l'Arabie est antérieure à l'Islam. Cependant, dans son extension à la faveur de l'expansion de l'Islam, le dromadaire du nomade a rencontré le cultivateur méditerranéen ou oasien, et s'est donc sédentarisé. Il n'en demeure pas moins que son aire de répartition recouvre celle des populations pastorales nomades ou transhumantes qui au cours de leur histoire l'ont adopté comme auxiliaire incontournable dans la mise en valeur des zones arides.



Carte 1 : Distribution géographique des dromadaires

4.2- Distribution en Afrique

Il est difficile de connaître avec exactitude la population caméline mondiale, cela est lié à plusieurs facteurs comme l'absence de vaccination obligatoire pour cette espèce et la nature même des écosystèmes dans lesquels elle évolue, ce qui rend difficile le recensement de ces effectifs. Les chiffres proposés par la FAO s'appuient sur des estimations qu'un recensement exhaustif. La répartition mondiale de l'espèce caméline est fortement inégale, et elle est confinée dans la ceinture désertique et semi-aride d'Afrique et d'Asie. Cependant, près de 80% de la population de dromadaire se situe en Afrique. Les pays de la Corne de l'Afrique (Somalie, Soudan, Ethiopie, Kenya, Djibouti) abritent seuls 60% du cheptel camelin mondial. La Somalie contient environ 6,5 millions de dromadaires, ce qui est proche de 50% du cheptel africain (Faye, 1997).

4.3- Densité des dromadaires

En fonction de l'effectif de dromadaires par rapport à la Biomasse des Herbivores Domestiques (BHD) quatre catégories ont été distinguées (Faye, 1997).

4.3.1- Densité très faible

Cette catégorie concerne les pays qui ont effectivement une population caméline peu nombreuse (effectif < 1% de la BHD) et dans lesquels l'élevage camelin constitue une activité mineure.

En Afrique, il s'agit du Nigeria, du Sénégal et du Burkina-Faso qui se situent plutôt à la périphérie de l'aire de l'existence de l'espèce.

En Asie, il s'agit de la Turquie, de la Syrie, de l'Iran et du Liban, pays dans lesquels l'élevage des petits ruminants (notamment ovins) s'avère prépondérant.

4.3.2- Densité faible

Elle concerne essentiellement les pays où l'effectif est compris entre 1 et 8 % de la BHD et dans lesquels l'élevage camelin représente une part importante de l'activité économique pour certains groupes de population.

En Afrique, tous les pays d'Afrique du Nord, excepté la Tunisie, sont concernés (Maroc hors Sahara, Algérie, Libye, Egypte) ainsi que le Mali, l'Éthiopie et le Kenya.

En Asie, les pays de cette catégorie sont le Pakistan, l'Afghanistan, l'Irak et Oman.

4.3.3- Densité moyenne

Cette catégorie renferme les pays dans lesquels l'élevage camelin constitue une part importante de l'économie agricole et l'effectif est compris entre 8 et 20% de la BHD.

En Afrique du Nord seule la Tunisie est concernée. Mais on y retrouve surtout les pays sahéliens : Niger, Tchad et Soudan.

En Asie, ce sont les pays de la péninsule arabique, berceau de l'espèce qui relèvent de ce groupe : Arabie Saoudite, Jordanie, Bahreïn, Koweït et Yémen.

4.3.4- Densité forte

Ce sont des pays, peu nombreux, où la place culturelle du dromadaire est centrale et l'effectif est supérieur à 20% de la BHD. Parmi les grands pays :

En Afrique, la Somalie, la Mauritanie et dans les provinces sahariennes du Maroc et Djibouti.

En Asie, ce sont les Emirats Arabes et Qatar qui relèvent de ce groupe. Bien entendu, l'économie caméline est dérisoire dans ces Etats par rapport à l'extraction pétrolière, mais le dromadaire est culturellement indéboulonnable en dépit des évolutions sociologiques liées à l'enrichissement de la population.

5- Milieu naturel du dromadaire

Peyre (1989) a signalé que de tous les animaux, le dromadaire est le plus adapté aux régions chaudes à climat subdésertique et désertique des domaines méditerranéen, tropical et subtropical. Ces régions sont caractérisées par la rareté de ressources hydriques et par une végétation spontanée tributaire des aléas climatiques. Ce milieu a une vocation pastorale d'autant plus exclusive que l'agriculture y est impossible. Les climats de l'aire de répartition du dromadaire sont caractérisés par :

- une pluviosité faible et très variable d'une année à l'autre,
- une longue saison sèche et,
- une grande amplitude thermique nyctémérale et saisonnière.

6- Morphologie générale du dromadaire

Wilson (1989) a rapporté que le dromadaire est très distinct des autres animaux domestiques, notamment par la présence d'un long cou, de la bosse et de la callosité au niveau de sternum. La tête est large, le cou large et fin, coussinet sternal maintenant l'abdomen légèrement au-dessus du sol, le dromadaire ne possède pas de cornes, les oreilles sont petites, les yeux larges et saillants, les narines longues peuvent être réformées pour les besoins de l'animal, la lèvre supérieure est divisée, fondue, poilue, extensible et très sensitive, la lèvre inférieure est large et pendante, les membres sont puissants. L'animal a des glandes derrière la tête qui servent à la transpiration. La peau est souple recouverte de poils. Le rallongement est souvent au niveau des épaules et de la bosse, la couleur des poils est généralement brune variant au chocolat foncé à presque noir à rouge ou rouille fauve à presque blanche chez quelques types. La femelle a quatre quartiers au niveau de la mamelle, les testicules du mâle sont positionnés haut derrière les cuisses (comme chez le chat et le chien) et le début du fourreau est dirigé vers l'arrière. Ces particularités morphologiques et anatomiques pourraient expliquer la capacité d'adaptation du dromadaire en milieu désertique que les autres

herbivores domestiques. A propos de l'anatomie digestive du dromadaire (Kayouli et *al.*, 1995; Jouany, 2000) ont signalé que celle-ci diffère de celle des autres ruminants quant à la forme, la structure et la fonction. Elle a la particularité de valoriser les ressources végétales naturelles de zones désertiques.

7- Une physiologie générale orientée vers l'adaptation

Sur les plans anatomique et physiologique, les études entreprises dans ce sens visent l'exploration anatomique de tous les organes et les appareils et leurs fonctionnements. Il s'est avéré que l'espèce cameline, bien que classée parmi les ruminants, présente certaines analogies avec les équidés et les porcins ainsi que les particularités spécifiques à cette espèce. Certaines de ces particularités ont permis l'explication de phénomènes physiologiques d'adaptation chez les dromadaires (Faye et *al.*, 1995).

7.1- Adaptation du dromadaire à la chaleur

La bosse du dromadaire, n'est pas une réserve d'eau, mais d'énergie. Elle s'agit d'un amas de graisse blanchâtre qui peut atteindre les 90 kg pour un animal engraisé (Faye, 1997). Bengoumi et *al.* (2005) a signalé que la teneur de la bosse en matière grasse varie de 53 à 68 g pour chaque 100g. Cette accumulation localisée évite la dissémination du gras en région sous-cutanée dans les autres parties du corps. Sa présence sur le dos de l'animal lui assure également un rôle dans la thermorégulation. L'animal se refroidit mieux car il est moins gras. Il est le seul animal à pouvoir transformer la graisse en eau par des réactions physiologiques d'oxydation. En effet, la concentration des réserves adipeuses limite leur répartition sous la peau et donc facilite la dissipation cutanée de la chaleur. Le dromadaire a la capacité de faire varier sa température interne en fonction de la chaleur externe dans une proportion importante de l'ordre de 8°C (34-42°C) ce qui autorise à considérer que cet animal n'est pas un strict homéotherme (Faye et *al.*, 1995). Lorsque la température ambiante décroît, la température interne du dromadaire peut descendre à 34°C. Cependant, durant les heures les plus chaudes, la température peut atteindre une valeur maximale de 42°C (Bengoumi et Faye, 2002 ; Jianlin, 2005). Un tel écart de température corporelle est fatal pour la plupart des mammifères. En saison chaude, il peut rester sans boire 2 à 3 semaines et en saison fraîche 4 à 5 semaines. Après une longue période de privation le dromadaire est capable de consommer 200 litres d'eau en quelques minutes. C'est le seul mammifère capable de boire autant d'eau en si peu

de temps. En effet, chez les autres animaux, l'absorption d'une trop grande quantité d'eau entraîne l'éclatement des globules rouges, donc la mort (Bengoumi et Faye, 2002).

7.2- Adaptation à la sous-alimentation

Le milieu désertique se caractérise aussi par la faiblesse des ressources alimentaires, leur grande dispersion et une forte variabilité temporelle. Le dromadaire présente une meilleure capacité à digérer les fourrages pauvres que les ruminants domestiques. Cette supériorité s'explique par une plus grande rétention des particules solides dans les pré-estomacs, se traduisant par un temps de contact plus long des aliments avec les micro-organismes qui les digèrent (Kayouli et *al.*, 1995; Jouany, 2000). Chez toutes les espèces de mammifères, les lipides de réserve constituent la forme la plus concentrée du stockage d'énergie dans l'organisme concentré chez le dromadaire dans la bosse. Contrairement aux autres ruminants qui assurent l'essentiel de leurs besoins énergétiques à partir de la production d'acides gras volatiles et génèrent ainsi une faible quantité de glucose, le dromadaire présente une glycémie comparable à celle de l'homme (Bengoumi et Faye, 2002 ; Faye, 1997). Il présente une glucogenèse très active tant au niveau du foie que du rein, ce qui lui permet de maintenir une glycémie presque normale en cas de privation de nourriture, sans céto-genèse. Toutefois et surtout qu'en situation de déshydratation, l'urine du dromadaire est très concentrée, ce qui lui permet de d'économiser un maximum d'eau (Bengoumi et Faye, 2002). Le foie est aussi un organe qui diminue les rejets liquides en recyclant son urine soit en protéines soit en eau. Lorsque le dromadaire dispose d'une ration déficitaire en protéines, la quantité d'urée excrétée devient très faible. En situation de déficit protéique, il excrète 1% seulement de son urée, contre 23% chez le mouton. De fait, le dromadaire a la capacité de recycler de façon remarquable l'urée, ce qui permet de répondre aux déficits protéiques d'origine alimentaire et de maintenir la protéosynthèse ruminale (Kayouli et *al.*, 1995; Jouany, 2000; Faye et Bengoumi, 2000; Bengoumi et Faye, 2002).

Faye et Bengoumi (2000) ont rapporté qu'à propos des minéraux, tout se passe chez le dromadaire comme si son métabolisme était tourné vers une anticipation des périodes de sous-nutrition minérale. Il signe son adaptation à ces périodes de restriction alimentaire par divers mécanismes : augmentation des capacités d'absorption en cas de pénurie, plus grande capacité de stockage de certains éléments minéraux, plus grande tolérance à certains électrolytes, maintien des activités enzymatiques de base en dépit des situations déficitaires.

7.3- Physiologie de la reproduction

Zarrouk et *al.* (2003) ont fait une revue de synthèse qui vise à actualiser les connaissances sur la physiologie de la reproduction chez la femelle dromadaire en vue d'une meilleure application des biotechnologies de la reproduction. Ces auteurs rappellent que la femelle dromadaire présente plusieurs particularités de physiologie de la reproduction qui se caractérise par une puberté et un âge de mise à la reproduction tardifs. La gravidité dure en moyenne une année avec un intervalle entre les mises bas qui peut dépasser deux ans (Wilson, 1989). A propos de l'activité sexuelle (Zarrouk et *al.*, 2003) ont signalé qu'elle se produit en général durant la période où les températures sont basses et les pluies abondantes, et où l'herbe est de qualité. Ainsi, la saison sexuelle s'étend du mois de mars au mois d'août au Soudan, et du mois de novembre au mois d'avril en Arabie Saoudite et en Tunisie. Les femelles de camélidés appartiennent à une espèce à ovulation provoquée et qui ne peut ovuler qu'en réponse à un accouplement. En effet, chez ces animaux, le réflexe neuroendocrinien impliquant la libération de l'hormone lutéotrope (LH) est provoqué par l'accouplement. Pour cette raison, les follicules tendent à croître, à avoir une période de maturité durant laquelle ils sont capables d'arriver à déhiscence et régressent de nouveau si l'ovulation n'est pas induite suite à un accouplement. C'est pour cela qu'il s'agit plutôt de modifications se produisant au niveau des follicules, comme étant un profil de vagues folliculaires, que de cycles oestriques.

L'ovulation chez les camélidés se produit 24-48 h après l'accouplement (Jianlin, 2005). Il est bien établi maintenant que l'accouplement avec un mâle complet ou vasectomisé induit l'ovulation chez les camélidés, mais le mécanisme précis n'est pas encore bien connu. Chez la femelle dromadaire, le déterminisme de l'ovulation est une combinaison de stimulus incluant des facteurs chimiques du plasma séminal, des réponses neurohormonales liées au coït et des effets des phéromones mâles.

CHAPITRE II : IMPORTANCE DE L'ELEVAGE CAMELIN ET SYSTEMES DE PRODUCTION

1- Introduction

Lhoste (2004) a rapporté que les zones sèches représentent de très vastes étendues dans le monde et elles couvrent près de 40 % de la surface globale des terres émergées, elles sont souvent consacrées principalement à des activités pastorales. L'élevage des herbivores domestiques, dans des systèmes pastoraux extensifs, y joue en effet un rôle essentiel pour exploiter des ressources naturelles limitées et pour permettre la survie des populations concernées. Ces régions sont aussi sujettes à des évolutions importantes liées à l'accroissement démographique humain et animal et aussi à divers enjeux économiques et politiques. La pression anthropique et les charges animales tendent en effet à y augmenter rapidement malgré la précarité et la fragilité des ressources naturelles, entraînant un impact parfois négatif sur l'environnement. C'est pourquoi les menaces de désertification sont particulièrement aiguës dans ces régions. Ces zones font aussi l'objet de compétitions quand à l'utilisation des ressources naturelles entre différents groupes (conflits éleveur-agriculteur et fonciers, etc.). Ce qui constitue, une autre source d'insécurité qui s'ajoute au risque climatique et écologique pour les sociétés pastorales. Par ailleurs, Le Houerou (2005) a signalé que la viabilité des activités pastorales dans ces zones sèches pose des problèmes de nature diverse politique, sociologique, agraire, commerciale, économique, organisationnelle, législative, technique et environnementale. Ce chapitre est consacré aux aspects relatifs à l'importance du dromadaire et aux systèmes d'élevage camelin.

2- Importance socio-économique du dromadaire

Le secteur de l'élevage constitue en Tunisie un pilier essentiel de l'économie nationale, à travers la création d'emplois et surtout la satisfaction des besoins en produits animaux des populations rurales et urbaines. L'élevage représente la part la plus importante de la production agricole. Il a contribué en 2001 pour 37,5% de la valeur de la production agricole totale (Ministère de l'agriculture, 2001). Cet élevage a toujours représenté un important moyen de subsistance pour les populations des régions sèches. En effet, l'élevage du dromadaire a joué un rôle important dans la vie sociale et économique de populations des zones arides et désertiques d'Afrique et d'Asie. L'image du dromadaire, reste symbole de la

survie de l'homme dans le désert, est attachée à l'histoire des grandes civilisations nomades des régions sèches et chaudes caractérisées par une longue période défavorable souvent supérieure à huit mois et par des précipitations rares et faibles comprises entre 50 et 550 mm par an. Le dromadaire représente l'un des fondements de la culture et de l'agriculture des sociétés concernées. D'une manière générale, le dromadaire est très estimé et il représente pour son propriétaire la concrétisation de sa réussite sociale (Ramet, 1993). L'élevage camelin a connu un essor important avec le transport caravanier qui lui a valu la dénomination de "vaisseau du désert". Cependant, en raison des progrès réalisés dans la mécanisation et la sélection génétique chez les autres ruminants, l'élevage camelin fut non rentable et abandonné dans plusieurs régions. Néanmoins, durant ces dernières décennies, avec la sécheresse et l'avancée du désert, l'élevage du dromadaire ne cesse de progresser et les effectifs augmentent régulièrement. Pour bien appréhender l'importance numérique du cheptel camelin, il peut être utile de le rapporter à l'ensemble du cheptel d'herbivores domestiques (bovins, ovins, caprins, et camelins) comme est consigné dans le chapitre précédent. Ainsi, si on considère le poids total des herbivores domestiques ou la Biomasse d'Herbivores Domestiques (BHD), la part représentée par les dromadaires selon (Wardeh, 2004) est plus de 26 % de la BHD en Mauritanie, 42 % en Somalie et de 37 % aux Emirats Arabes Unis. Dans les deux premiers pays, les dromadaires ont maintenu leur rôle socio-économique important et constituent une grande part des exportations animales. Alors que, aux Emirats Arabes Unis, les dromadaires sont devenus insignifiants économiquement en comparaison avec le secteur pétrolier, mais restent significants en terme social. En revanche, les dromadaires ne représentent que 10 % de la biomasse animale au Niger, 11 % au Soudan, 16 % dans le Royaume de l'Arabie Saoudite, et 9 % en Tunisie. La biomasse de dromadaires dans les autres pays est au-dessous de 10 %.

Les atouts du dromadaire ne se limitent pas seulement à la dimension socio-économique, car cet animal joue aussi un rôle d'équilibre écologique important dans les écosystèmes arides et semi arides.

3- Importance écologique du dromadaire

La présence des dromadaires est nécessaire au maintien de l'équilibre écologique des zones pastorales arides et à la préservation de certains écosystèmes, grâce à leurs atouts spécifiques :

La morphologie et la physiologie du dromadaire lui permettent de s'adapter avec les écosystèmes désertiques (Narjisse., 1989). En effet, ses soles plantaires, mous et plats, préservent la structure des sols et leur piétinement a une faible incidence sur le couvert végétal contrairement aux autres ruminants qui possèdent des sabots durs. Le dromadaire, par son mode de préhension, évite le surpâturage. Ainsi, il contribue à conserver les écosystèmes extrêmement fragiles que sont les déserts.

Le dromadaire s'accommode des ressources alimentaires de faible valeur pastorale. Il ménage la végétation grâce à son broutage rationnel et par les prélèvements sélectifs des espèces et de très faible quantité de prises. Il peut également valoriser des plantes ligneuses et épineuses rejetées par les autres herbivores bien que les prises soient lentes et de faible quantité. Ceci permet le maintien de certaines espèces végétales capables de stabiliser et de fixer les dunes et de lutter ainsi contre l'ensablement. Ould Taleb (1999) a raconté que les dromadaires transportent les semences extrêmement loin. L'auteur a constaté des plants de plusieurs genres pousser sur les crottes de dromadaire. Se déplaçant sur de longues distances, le dromadaire comme beaucoup d'herbivores véhicule ainsi les semences plus loin que leur lieu d'origine et par conséquent, il participe à la dissémination des graines de certaines espèces pastorale. Il est aussi l'animal qui consomme le moins alors que les réserves d'eau commencent à être un problème mondial. Ceci représente un atout majeur sur le plan écologique. Le dromadaire est, sinon utile pour lutter contre la désertification, du moins ne la favorise-t-il pas vu le caractère extensif de son élevage traditionnel, à l'inverse des troupeaux de bovins, de caprins et d'ovins, beaucoup plus destructeurs de couvert végétal (piétinement, broutage, etc.).

Le dromadaire peut rester de longues périodes sans boire et peut de ce fait pâturer à des endroits où l'herbe est abondante mais où les points d'eau font défaut. Cela permet au dromadaire de se déplacer sur un rayon de plus de 80 km autour d'un point d'eau contrairement aux bovins qui sont contraints, eux, de se tenir au maximum à 40 km d'un puits du fait de leurs abreuvements rapprochés (environ tous les 2 jours au maximum). Cette aptitude évite la concentration du cheptel camelin aux alentours des puits et dans les parcours d'où une meilleure répartition de l'habitat en dehors de la saison sèche qui entraîne un effet bénéfique sur la végétation des zones non pâturées.

4- Modes et systèmes d'élevage du dromadaire

La Tunisie est un pays de tradition pastoralisme qui était prédominé par le système d'élevage pastoral extensif. Ce système a connu une évolution considérable depuis quelques années. Du système pastoral nomade, on a assisté à la mise en place de systèmes pastoraux transhumants, semi sédentaires ou des systèmes agropastoraux à élevage sédentaire associé à l'agriculture, et même des systèmes extensifs urbains et des systèmes intensifs ou semi-intensifs (Abaab et *al.*, 1995). Mais, si on se réfère à la littérature, on se rend compte que la typologie attribuée aux systèmes d'élevage est complexe et très diversifiée en ce qui concerne la terminologie. Dans ce contexte, des définitions données aux termes "pastoralisme", "nomadisme", "transhumance" ou "agro-pastoralisme" sont très variables et renvoient, selon les cas, à des systèmes ou des pratiques d'élevage. Pour la compréhension du fonctionnement des systèmes d'élevage, et a fortiori des systèmes d'exploitation des ressources, cette confusion permet rarement une clarification des débats et des enjeux. Il est donc nécessaire de s'entendre préalablement sur les définitions utilisées (Kaufmann, 1998). La classification des systèmes de production animale se fait généralement selon la quantité de consommation des intrants et par le matériel génétique utilisé (systèmes extensif, semi-intensif et intensif). Mais ici dans cette section la caractérisation est faite selon le mode de contrôle, la mobilité et les niveaux de performances.

Il existe en Afrique deux types de systèmes d'élevage suivant le mode de contrôle des troupeaux (Sgheir, 2005). Le système libre où les troupeaux restent une longue période sans gardiennage. Les éleveurs attendent leurs troupeaux aux points d'eau fixes, souvent en saison de naissance ou la période de contrôle sanitaire. Le système contrôlé où le troupeau est gardé et assisté par un chamelier. Les déplacements et le choix du parcours sont contrôlés par le gardien. Les pratiques de naissances, les traitements sanitaires et l'abreuvement sont aussi assistés. Dans le système contrôlé la moyenne de taille du troupeau varie d'un pays à l'autre en Afrique de 20 à 100 têtes par troupeau. En général, le chamelier garde en moyenne 50 à 80 têtes. Ce système d'élevage est pratiqué dans les pays où le parcours est limité et l'élevage joue un rôle économiquement intéressant. L'exemple de ce système est celui existant en Afrique du Nord (Tunisie, Libye et Maroc).

Naturellement et historiquement les systèmes d'élevages sont extensifs et migratoires. En effet, l'élevage permet de maintenir les populations pastorales dans des zones qualifiées marginales, où les opportunités économiques sont souvent limitées. La vulnérabilité et la fragilité du milieu imposent aux pasteurs de mettre en pratique des systèmes d'élevage

pastoraux extensifs avec un haut degré de mobilité, en suivant les ressources fourragères et l'eau là où elles sont disponibles. Les systèmes d'élevage sont déterminés généralement, par les conditions climatiques, la topographie, le couvert végétal, les ressources en eau, les normes socio-culturelles (Jasra et Mirza, 2005). Ainsi, le système d'élevage a été défini par (Landais, 1987) comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées (lait, viande, travail...) ou pour répondre à d'autres objectifs.

Les dromadaires sont élevés selon les trois systèmes d'élevage existants tel que sédentaire, nomade et transhumant. Compte tenu des zones écologiques dans lesquelles ils vivent, les deux derniers systèmes sont les plus fréquents avec toutefois la prédominance du mode transhumant (Ben Aissa, 1989). La principale contrainte climatique dans les zones arides et semi-arides est la très longue période de sécheresse. Les écosystèmes se caractérisent également par de fortes variabilités dans le temps et dans l'espace et par conséquent une variation de la production de biomasse. Les systèmes pastoraux et agropastoraux des régions marginales du Maghreb connaissent des changements fondamentaux qui agissent à la fois sur l'économie et les écosystèmes (Abaab et *al.*, 1995). Les conséquences sur l'élevage sont la très faible production de biomasse pour les pâturages, l'incertitude locale au sujet de la disponibilité des pâtures et la rareté des points d'eau. Ces facteurs imposent aux pasteurs de mettre en pratique des systèmes d'élevage extensifs avec un haut degré de mobilité, en suivant le pâturage et les ressources en eau partout où elles sont disponibles. Le pastoralisme maghrébin quand on le compare au pastoralisme du Nord de la Méditerranée, reste encore fortement marqué par la mobilité des troupeaux et des hommes d'une part et par la persistance des vastes territoires à usage collectif d'autre part (Bourbouze, 2006).

4.1- Systèmes migratoires

Le terme "pastoralisme" fait référence aux modes de conduite des troupeaux en dépendance des ressources herbagères naturelles. Donc aux systèmes où l'élevage est pratiqué, comme activité principale, de manière extensive avec faible intrant, sans pratiques de cultures fourragères. Il s'agit d'une forme d'élevage en troupeaux, composés de différentes espèces (bovins, ovins, caprins, camelins, ânes, chevaux), mélangées ou non. Le mode d'alimentation constitue la référence principale où le pastoralisme correspond à une exploitation extensive des pâturages naturels entraînant des déplacements d'ampleur variable.

Dans le système pastoral, l'éleveur hérite les pratiques rituelles, nonobstant les nouvelles technologies et l'évolution des conduites d'élevage, ce dernier maintient les habitudes transmises par ses ancêtres. Alors que le terme "agro-pastoralisme" désigne la coexistence entre activités agricoles et activités pastorales. Ces activités peuvent avoir lieu à différentes échelles : pays, région, village, unité de production. A chacune de ces échelles, différents niveaux d'intégration de ces activités existent avec des incidences foncières spécifiques (Kaufmann, 1998).

Les systèmes d'élevage mobiles se caractérisent par des déplacements annuels ou saisonniers d'une partie ou de tout le groupe familial avec le bétail vers de nouveaux pâturages selon les disponibilités en eau et les ressources pastorales. La mobilité doit être considérée comme une technique et elle est en fait le principe de base du pastoralisme. La mobilité est basée sur des acquis techniques dont l'expérience et le savoir-faire du berger. Il y a deux types de mobilité du bétail tel que le nomadisme et la transhumance.

4.1.1- Nomadisme

Les pasteurs nomades n'ont pas d'habitat fixe permanent et toute la famille suit les déplacements du troupeau, parfois sur de longues distances. Du fait de cette mobilité, les nomades pratiquent peu d'activité agricole, voire aucune. Le nomadisme est défini comme un ensemble de déplacements irréguliers anarchiques entrepris par un groupe de pasteurs d'effectifs variables dans des directions imprévisibles. C'est une pratique opportuniste, dans les régions les plus arides où les précipitations sont rares. Il y a une régression de ce type de mobilité, mais parallèlement, une transformation de la nature de ces déplacements qui demeurent indispensables dans bien des systèmes (Abaab et al, 1995). On enterre trop souvent ces modes de production jugés anachroniques, sans assez mettre en valeur leur rationalité et leur capacité à s'adapter.

4.1.2- Transhumance

La transhumance fait référence à une pratique de déplacement des troupeaux, saisonnier, pendulaire, selon des parcours bien précis, répétés chaque année (Faye, 1997). Elle existe sous diverses modalités et au sein de différents types de systèmes d'élevage pastoral en fonction des objectifs donnés par les éleveurs. Parfois, les routes de transhumance sont modifiées chaque année, en fonction de la disponibilité en pâturage et des conditions d'accès aux ressources. Le système transhumant est extensif basé sur l'utilisation presque exclusive des

ressources des parcours et les troupeaux sont souvent confiés à des bergers. Le savoir-faire du berger est basé sur la tradition, ce qui est un atout en terme de connaissance d'utilisation du milieu naturel, mais qui est insuffisant en terme de zootechnie. Les problèmes sont donc liés à l'insuffisance ou à la baisse de qualité saisonnière des disponibilités fourragères, ou au défaut de suivi du troupeau, sur le plan de l'alimentation, de la reproduction et de la santé.

4.2- Systèmes sédentaires

La "sédentarisation" est parfois utilisée pour décrire un processus d'évolution et d'adaptation des populations nomades qui réduisent l'amplitude de leurs déplacements et incluent des pratiques agricoles dans leurs activités (Kaufmann, 1998). Par ailleurs, (Bourbouze, 2006) a considéré que l'élevage sédentaire signifiant que les troupeaux se déplacent, souvent sur de longues distances, mais qu'ils reviennent chaque soir au village.

Faye (1997) a signalé que les grandes agglomérations de la zone saharienne et sub-saharienne ont vu se développer de façon importante depuis quelques années, un système camelin laitier péri-urbain basé sur l'intensification de la production tel que un système sédentaire, une complémentation alimentaire importante et une intégration économique du dromadaire. En Mauritanie, la *laiterie de Mauritanie* propose à la vente du lait de chamelle pasteurisé pour le marché urbain de Nouakchott. En Arabie Saoudite, la laiterie *Mujahim* a développé une production de lait et commercialise chaque jour plus de 1500 litres de lait de chamelle. Cependant, dans ce cadre aussi, on assiste à des échanges importants entre les systèmes péri-urbains et pastoraux. Par exemple, dans la périphérie de *Laâyoune* et de *Dakhla* dans les provinces Sud Marocaines, les élevages camelins laitiers se sont multipliés depuis quelques années, à partir d'une partie des troupeaux nomades sahraouis. Les femelles laitières et les chamelons de l'année sont sédentarisés autour des villes tandis que le reste du troupeau (femelles tarées, mâles et jeunes impuberts) continue d'exploiter les vastes étendues désertiques de l'intérieur.

Par ailleurs, Ben Aissa (1989) a noté l'évolution d'un nouveau mode d'élevage ou plutôt d'exploitation des dromadaires. Il s'agit de l'engraissement dans des parcours délimités en vue d'abattage. Les exploitants s'organisent pour acquérir les dromadaires dans les zones de production et les transportent par camion vers les zones d'engraissement où ensuite ils sont abattus. Ce système semble se développer ces dernières années, suite à l'augmentation des prix des viandes rouges.

Bien que très particulier, on peut intégrer dans les systèmes intensifs, les élevages d'animaux de course. Le dromadaire est capable de céder aux exigences de la "modernité" en élevage et de subir une intensification de sa production pour satisfaire aux demandes croissantes des populations urbaines des zones désertiques et semi-désertiques. Il bénéficie de plus d'un préjugé favorable de par son image d'animal des grands espaces même si le mode d'élevage intensif le rapproche de plus en plus des autres espèces. Cette capacité à répondre aux défis alimentaires du monde moderne lui donne une place prometteuse dans les productions animales de demain (Faye, 1997).

Les systèmes d'élevage camelin n'ont fait l'objectif jusqu'à présent que d'une attention très occasionnelle de la part des chercheurs, et sont donc en général largement méconnus. Plusieurs contraintes empêchent le développement des systèmes d'élevage camelin en Afrique. Sgheir (2005) a signalé que les handicaps majeures qui entravent la modernisation de systèmes d'élevage dont, le faible intérêt économique accordé au secteur, les difficultés techniques et sociales et absence de programmes et des stratégies pour le développement des dromadaires à l'échelle, nationale, régionale et internationale. Il découle de cette situation de cause des performances assez faible dans leur ensemble.

5- Performances des troupeaux

Peu d'études se sont intéressées à l'évaluation des niveaux de performances de camelins par système d'élevage, en tenant compte des différentes sources de variation. Les données fragmentaires restent d'une portée limitée et manquent souvent de précision, à l'exception de certaines unités installées récemment et où les animaux sont soumis au contrôle de performances. Le potentiel de production des camelins diffère selon les systèmes d'élevage, comme chez les autres espèces animales d'élevage. Mais il n'est pas clair, jusqu'à présent, à quel niveau ces différences résultant de facteurs génétiques ou environnementaux. Bien que les pasteurs eux-mêmes distinguent entre les animaux de lait, de viande et de course, des types qui ne sont pas encore établies vue l'absence de sélection (Faye, 1997).

5.1- Performances reproductives

La reproduction est un créneau clé qu'il faut maîtriser pour la réussite de tout élevage. Les principaux paramètres de reproduction sont obtenus généralement à partir des enquêtes ou des études expérimentales portant sur des échantillons de petites tailles. Les femelles ne sont capables de concevoir qu'à partir de 3 ans, elles sont rarement mises à la reproduction avant 4

ans ce qui permet une mise bas vers 5 ans. Les jeunes femelles âgées de 2 ans et ayant un poids supérieur à 280 kg (70 % du poids de la chamelle adulte) peuvent être saillies et mettre bas sans aucun problème (Moslah, 1990). Chez le mâle les premières saillies peuvent être assurées à partir de 3 ans d'âge mais la pleine maturité n'est atteinte que vers l'âge de 6 ans. Khanna et al. (1990) a rapporté que l'amélioration de connaissance de base concernant les paramètres de reproduction ainsi qu'une meilleure maîtrise de l'alimentation et de pratiques permettent sensiblement de diminuer l'âge à la mise à la reproduction. Ainsi dans la région de Bikaner en Inde entre 1961-1990 l'âge de mise à la reproduction est passé de 3,8 à 3 ans alors que l'âge à la première mise bas de 5,2 ans à 4 ans. Par ailleurs, au Kenya (Karimi et Kimenye, 1990) ont observé des différences entre les troupeaux conduits en station expérimentale et les et ceux conduits traditionnellement, 36 et 38 mois respectivement pour l'âge à la mise à la reproduction et mois et pour l'âge à la première mise bas 48 et 58. Afin d'étudier l'effet de la supplémentation sur les performances de reproduction chez les dromadaires (Hammadi et al. 2001) ont utilisé dix huit chammelles gestantes soumises à deux régimes alimentaires différents. Cette dernière étude a montré que les femelles supplémentées ont gagné du poids (+11 6 g/j) alors que celles non supplémentées ont perdu plus de 200 g/j durant la période post-partum. L'intervalle post-partum au premier accouplement et le pourcentage des femelles saillies étaient de 29,5 j et 44,4% et 41,2 j et 71,4% respectivement chez les chammelles non supplémentées et les chammelles supplémentées. Ces auteurs ont conclu que dans les conditions d'élevage des dromadaires sur parcours, la supplémentation alimentaire pendant la période *post-partum* peut améliorer les performances de production et de reproduction de l'espèce cameline. La gestation dure près de 13 mois (Diallo, 1989; Khanna et al, 1990 ; Moallin et Mohamud, 1990). Dans des conditions traditionnelles, la majorité des mise bas s'espacent d'un intervalle supérieur à 24 mois (Khanna et al, 1990; Karimi et Kimenye, 1990 ; Saley, 1990; Saint-Martin et al., 1990). En revanche, pour diminuer cet intervalle (Moslah, 1990) a montré que la technique de l'allaitement artificiel est efficace, en séparant le chamelon de sa mère on obtient un intervalle entre mise bas plus réduit (403 jours). Il découle des ces considérations des taux de fécondité faibles ne dépassant que rarement 40 % (Saint-Martin et al., 1990). D'une manière générale, les performances reproductives du dromadaire restent encore faibles. Elles ne dépassent guère les 40-45 % par an, les raisons sont multiples et sont essentiellement d'ordre physiologique et nutritionnelles (Moslah et Megdiche, 1989).

5.2- Performances laitières

Faye (2004) a rapporté que les données de la littérature sur la productivité laitière de la chamelle sont relativement rares et essentiellement issues d'observations réalisées en station, beaucoup plus rarement en milieu pastoral. Par ailleurs, les règles de mesure ne sont jamais mises en oeuvre de façon homogène d'un auteur à l'autre tel que quantité moyenne quotidienne, quantité totale, quantité par an, moyenne de troupeau, etc. De ce fait les comparaisons sont quelquefois acrobatiques. On constate, par ailleurs, une très forte variabilité des productions déclarées laissant supposer un potentiel de sélection sur ce critère tout à fait envisageable, mais rarement entrepris à l'exception de travaux de l'époque soviétique en Asie centrale. Le même auteur a mentionné que la production mondiale de lait de chamelle est estimée officiellement à 1,3 million de tonnes en 2002.

Selon des différents travaux, le rendement en lait par lactation est compris entre 600 kg en Afrique du Nord-Est (Hussein, 1989) et 4500 kg en Arabie Saoudite (Sooud, 1989). Mais, il peut atteindre 7 000 à 12 000 litres selon certaines sources en Asie du Sud (Faye, 2004). La durée de lactation varie de 6 à 18 mois (Hussein, 1989; Sooud, 1989). Ces durées sont plus importantes en moyenne que chez les vaches laitières dans les mêmes conditions (Faye, 2004). La production journalière moyenne semble se situer au voisinage de 1 à 6 litres en élevage extensif traditionnel (Hussein, 1989; Ben Aissa, 1989; Saley, 1990; Diallo, 1989; Moslah et Megdiche, 1989).

Selon Faye (2004) la courbe de lactation est comparable à celle des bovins avec une persistance meilleure. Les facteurs alimentaires et saisonniers influent évidemment sur ces performances. Rapportée au poids vif de l'animal, la productivité laitière des chameaux (250 kg/Unité Bétail Tropical/an) est supérieure à celle des petits ruminants (220 kg) et à celle des zébus (100 kg). Les essais d'intensification, réalisés ici ou là, ont montré les perspectives en production laitière de cette espèce pour approvisionner les populations des zones arides de l'Ancien Monde.

Alors que dans une station expérimentale (Kamoun, 1995) a montré que la chamelle donne en moyenne 9 kg de lait par jour pendant une durée moyenne de lactation de 10 mois avec un pic de lactation vers le 3^{ème} mois. La production dépend par plusieurs facteurs tel que le type génétique, l'âge, le stade de lactation, la saison, et la fréquence d'abreuvement (Hussein, 1989 ; Diallo, 1989 ; Moslah et Megdiche, 1989). Les études concernant l'évolution de la quantité de lait produite en fonction du stade indiquent que la meilleure production est enregistrée entre le 2^{ème} et le 3^{ème} mois de lactation (Faye, 1997). Les chameaux qui mettent

bas durant la saison d'abondance pastorale donnent un rendement laitier plus intéressant et plus stable que celles mettent bas durant la saison sèche. Ce facteur est reconnu par les éleveurs et l'utilise pour leurs élevages et les activités de la sélection (Hussein, 1989).

La pratique de la traite conditionne la quantité de lait récoltée, mais également les conditions de traites dans les conditions traditionnelles sont méconnues. Généralement, le chamelon est mis à téter pendant quelques minutes en début de traite pour favoriser la montée du lait, puis il est écarté pour la suite de la traite qui est faite manuellement. Selon une étude expérimentale Kamoun (1995) a rapporté une augmentation de la production avec la fréquence de traite. Le passage de deux traites (5,24 kg/jour) à trois traites (7,12 kg/jour) augmente la production journalière de 28,5 % et celui de trois traites à quatre traites (8,19 kg /jour) n'augmente la production que de 12,5 %.

La variation de quantité produite de lait peut être expliquée par le fait que la plupart des observations ont été mesurées sur des animaux possédant un potentiel génétique non homogène et soumis à des conditions climatiques et alimentaires très différentes. Le lait de chamelles dans le milieu pastoral est simplement autoconsommé ou laissé au profil des jeunes chamelons (Faye, 1997).

5.3- Croissance et production de viande

La croissance dans l'espèce cameline fait rarement l'objectif d'une mesure objective et précise pour plusieurs raisons dont la principale est l'agressivité de l'animal. La croissance pondérale correspond à l'accroissement global du poids vif de l'animal par unité de temps. La croissance se divise en deux périodes à savoir la période fœtale et la période post-natale. Au cours de la première période la croissance pondérale est comparable à celle observée chez les bovins, le croît est faible jusqu'au 2/3 de la gestation. A partir du 8^{ème} mois, la vitesse devient intéressante, ainsi le poids du fœtus passe de 7 kg à 35 kg à la naissance (Kamoun, 1989). Cependant, la deuxième période, commence dès la naissance. Le poids à la naissance varie peu, semble-t-il en fonction des conditions alimentaires de la mère (Kamoun, 1989), mais dépend surtout du génotype, 24 à 48 kg, avec un poids observé sensiblement plus élevé chez les mâles (Kamoun, 1995). Il s'avère aussi selon (Al Mutairi, 2000) que le poids à la naissance dépend de l'âge de la mère et de la saison de naissance. En Tunisie, Khorchani et *al.* (1998) ont rapporté un poids moyen des chamelons à la naissance de 31,1 kg. Ainsi, Hammadi et *al.*, (1998) ont trouvé pour un lot de 9 chamelons dont les mères recevaient pendant trois mois avant la mise bas une supplémentation d'aliment concentré, un poids

moyen à la naissance de 30,3 kg. Alors que pour le lot témoin, le poids moyen à la naissance est de 23,4 kg. La supplémentation alimentaire a affecté significativement le poids du nouveau-né et le GMQ 0–90 du chamelon (806 g et 430 g respectivement chez les femelles supplémentées et celles non supplémentées) (Hammadi et *al.*, 2001). Par ailleurs (Khanna et *al.*, 2004) ont rapporté des poids à la naissance différents selon le sexe et en fonction du type génétique. En milieu traditionnel, la croissance pondérale a été faible, les gains moyens quotidiens étaient respectivement de 318 et 289 g/j en saisons favorable et défavorable (Pacholek et *al.*, 2000). Alors que dans des conditions améliorées en station expérimentale, le GMQ était de l'ordre de 420 g/j entre 1 et 2 ans d'âge (Kamoun, 1989) et peut atteindre 600 g avant le sevrage et dépasse 1000 g dans les conditions les plus favorables d'alimentation pendant la phase d'élevage proprement dite (Kamoun, 1995). Le tableau 1 résume quelques paramètres de croissance, d'un échantillon des chamelons suivis de la naissance jusqu'au 180 jours d'âge. Le GMQ des chamelons allaités en double est comparable à la valeur de 539 g obtenue par (Hammadi, 1995) chez les chamelons allaités artificiellement. Guerouali (2004) a signalé, en comparant les potentiels de production en viande de chamelons âgés de 10 mois appartiennent à deux races différentes, des GMQ de 410 et 320 g respectivement chez Guerezni et Marmouri.

La courbe de croissance comprend une phase initiale accélérée allant de la naissance jusqu'à un poids voisin de 380 kg pour les mâles et 350 kg pour les femelles, suivie d'une phase lente qui progressivement tend vers un poids adulte de 650 kg pour les mâles et 550 kg pour les femelles. Le rendement en carcasse varie selon les types d'animaux abattus de 55 à 70 %. Il diminue avec l'âge et surtout l'état d'engraissement. Il est un peu plus faible pour les femelles, la carcasse contient en moyenne 57 % de viande, 25,5 % d'os et 16,9 % de gras (Kamoun, 1989 et 1995).

Tableau 1 : Poids aux âges types et GMQ des chamelons selon le mode d'allaitement

Poids et GMQ aux âges types	Effectif total	Moyenne (kg)	Mode d'allaitement			
			Simple		Double	
			N	Moyenne	N	Moyenne
PN	19	31,1	7	30,7	12	31,3
P30	19	47,4	7	50,8	12	45,4
P90	19	82,9	7	90,4	12	78,6
P120	19	100,5	7	108	12	96,1
P180	19	121,3	7	130,6	12	115,8
GMQ0-90	19	0,576	7	0,663	12	0,525
GMQ90-180	19	0,426	7	0,447	12	0,414
GMQ0-180	19	0,501	7	0,555	12	0,469

(Source : Khorchani *et al.*, 1998)

5.4- Performance Sportive

Dans les pays du Golf, en particulier les Emirats Arabes Unis, la course de dromadaires est une véritable institution de façon similaire aux chevaux Pur-sang destinés à la même activité en Occident. Les écuries de course sont entretenues avec grand soin, l'alimentation des animaux, leur entraînement, les moyens mis en oeuvre pour leur protection ou leur sélection relèvent dans tous les cas des principes d'intensification, la production de ces élevages étant la performance sportive (Faye, 1997; Seboussi *et al.*, 2004). L'intensification de l'élevage de dromadaires de course nécessite de plus en plus le recours aux biotechnologies appliquées à la reproduction. La parfaite connaissance des particularités physiologiques est indispensable pour optimiser les interventions dans l'espèce cameline, espèce dont les mérites ne sont pas des moindres si on les compare à ceux du cheval, considéré comme l'espèce noble des pays du nord du bassin méditerranéen (Zarrouk *et al.*, 2003).

Quoiqu'il en soit, ces données fragmentaires ne reflètent pas les niveaux réels de performance ou de production (lait, viande, etc.), et restent insuffisants pour pouvoir juger ou analyser les niveaux de performances des populations camelines dans l'ensemble des systèmes d'élevage.

CHAPITRE III : RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES

1- Introduction

Les ressources génétiques constituent le bien le plus précieux et le plus important d'un point de vue stratégique. Dans de nombreux pays, il y a des espèces et des races animales indigènes qui pourraient éventuellement contribuer beaucoup plus qu'elles ne le font actuellement à la production alimentaire et ainsi satisfaire les besoins humains qui ne cessent d'augmenter suite à la croissance démographique et à l'urbanisation. L'utilisation des ressources génétiques agricoles appropriées pour atteindre et assurer la durabilité des systèmes de production qui soient capables de répondre aux besoins de l'homme est indispensable pour la sécurité alimentaire au niveau national.

Le danger d'érosion génétique, touchant à la fois le patrimoine végétal et animal, s'est exprimé par des pertes considérables en biodiversité. L'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) en 1994 a distingué des causes directes et des causes indirectes de la perte de la biodiversité. L'altération et la destruction des habitats résultant de la croissance démographique, la surexploitation à des fins commerciales ou de subsistance et l'introduction d'espèces ou de races exotiques non indigènes constituent autant de facteurs directs qui sont à l'origine de cette érosion génétique. Les causes indirectes sont inhérentes aux défaillances du marché, à l'intervention des pouvoirs publics (faiblesse des institutions et intégration incomplète des politiques) et de l'information, de même qu'à la structure des droits de propriété.

Concernant les ressources génétiques animales (RGA), la stratégie qui a guidé le développement du secteur de l'élevage au cours des 30 dernières années doit être évaluée pour continuer à profiter à l'humanité au cours des siècles prochains. Cette stratégie s'est appuyée sur l'identification, le développement et la diffusion dans le monde entier de quelques races hautement spécialisées, à besoins élevés et à forte productivité, et ce pour la plupart des espèces domestiques. Pourtant, la plus grande partie de l'élevage du monde restera à des niveaux d'intrants faibles ou modérés et les besoins élevés de ces types hautement spécialisés ne pourront généralement pas être satisfaits (FAO, 2000). Dans le passé, trop peu d'attention a été accordée au maintien et à l'amélioration de l'adaptation aux conditions et contraintes spécifiques et les races indigènes des zones marginales ont été sérieusement sous-estimées. Dans les zones à fort potentiel de production, la prédominance de races productives

semble logique, mais il faudrait aussi préserver les races traditionnelles. Celles-ci constituent un réservoir de la diversité biologique et présentent des caractères originaux qui pourraient devenir intéressants si les conditions ou les critères de production venaient à changer. En zones marginales, à faible potentiel de production, l'application du modèle productiviste a très souvent reposé sur la levée des contraintes entravant l'intensification conventionnelle des systèmes de production par l'adoption de technologies conçues initialement pour les zones à fort potentiel de production.

Néanmoins, les expériences réalisées dans le domaine de développement local, durant les deux dernières décennies, ont montré l'inadéquation de ce modèle dans les zones marginales (Macdonald et *al.*, 2000; Yarwood et *al.*, 2003). C'est pour cela la mise en place de politiques de développement fondées sur la valorisation et la préservation des ressources naturelles s'est trouvée justifiée. En liant les aspects de production et ceux relatifs à la conservation de la biodiversité, cette approche met en avant le concept de développement durable qui convient mieux aux spécificités des zones marginales.

La caractérisation de ces ressources génétiques animales révèle un intérêt considérable ces dernières années. Elle repose sur plusieurs méthodes et ensemble de caractères selon les objectifs fixés. Ces caractères regroupent ceux de production (rendement laitier, vitesse de croissance) et ceux phénotypiques (robe, taille, conformation, pelage). Récemment, en parallèle de la caractérisation à base des traits de production et des traits phénotypiques, l'utilisation de marqueurs moléculaires a connu un progrès spectaculaire en matière de la caractérisation des espèces, des populations et des races animales d'élevage (Mendelson, 2003). Les traits adaptatifs comme la tolérance aux trypanosomes et la résistance à la sécheresse doivent être aussi impliquées dans la caractérisation des ressources génétiques animales (Anderson, 2003).

2- Situation mondiale de la biodiversité animale

La biodiversité est un terme récemment introduit pour remplacer l'expression de diversité biologique. La définition officielle proposée par la Convention sur la Diversité Biologique a été largement adoptée en tant que point de départ des analyses de la biodiversité : « *Variabilité des organismes de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes* ». Convention de la diversité biologique, Article 2.

Depuis longtemps, les scientifiques ont accumulé des connaissances sur la nature sans se préoccuper de la conservation des systèmes naturels et de leur diversité biologique (Lévêque, et Mounolou, 2001). Ce n'est qu'à partir du début des années 80 que l'attention a été orientée vers la valeur économique de la diversité biologique tant au niveau des ressources génétiques pour l'agriculture que des utilisations dans le domaine industriel. Dans ce contexte, la diversité biologique est apparue comme une source potentielle de revenus, notamment pour les pays en développement, ce qui justifie que l'on s'intéresse à sa conservation.

Les progrès réalisés par les programmes de sélection ont permis de créer des cultivars et des races très productifs qui connaissent un grand succès. Cette recherche de la productivité a entraîné une baisse du nombre d'espèces utilisées en agriculture dans le monde entier. L'étendue de l'érosion génétique et la vulnérabilité qui en résulte varient selon l'espèce et la région, mais le capital génétique utilisé régulièrement en agriculture continue de s'appauvrir.

L'agriculture industrialisée favorise l'uniformité génétique. Typiquement, de vastes superficies sont plantées en une unique variété à haut rendement, pratique connue sous le nom de monoculture, en recourant à des intrants coûteux tels que l'irrigation, les engrais et les pesticides pour maximiser la production. Les rendements ont strictement augmenté, mais au détriment de la diversité biologique.

L'érosion de la diversité génétique des plantes cultivées et des espèces animales représente une grave menace pour les approvisionnements alimentaires. Les ressources génétiques peuvent représenter la clé de la durabilité de l'agriculture car ce sont elles qui ont la résistance génétique aux ravageurs et aux stress environnementaux. Elles constituent également la matière première de tout écosystème (des gènes ayant des caractéristiques particulières comme les gènes d'adaptation).

La prise de conscience d'un risque d'appauvrissement de la variabilité génétique animale n'est apparue qu'à la fin des années soixante, alors que chez les végétaux, ce problème a été identifié 40 ans plutôt (De Rochambeau, 1998). Le nombre d'espèces animales domestiques est faible, environ 40, dont 14 au plus assurent environ 82% de la contribution totale des Ressources Génétiques Animales dans l'alimentation et la production agricole (FAO, 1999). L'analyse d'une enquête mondiale a révélé que les races domestiques s'éteignent progressivement à un rythme de 1% par an (FAO, 2000). Cette enquête dispose de données sur 6379 races recensées à travers 170 pays.

La taille des populations n'est disponible que pour 4183 races dont 740 sont déjà enregistrées comme disparues, et 1335 (soit 32%) sont classées à haut risque d'extinction et en voie de disparition. Compte tenu du nombre élevé de races actuellement en danger

d'extinction et des ressources financières limitées disponibles, il n'est pas possible de soutenir des programmes de conservation pour toutes ces races (Ruane, 2000).

En matière de politique de conservation, la problématique centrale se situe au niveau de la conciliation des impératifs de préservation de la diversité des ressources génétiques animales, d'une part, et du caractère fini des ressources financières disponibles, d'autre part. En effet, aucune race ne peut survivre indéfiniment et des choix de conservation doivent être opérés en vue de maintenir la diversité des Ressources Génétiques Animales à un niveau permettant d'assurer les besoins des générations présentes et futures.

3- Rôles de la biodiversité animale

Il est admis que l'agriculture contribue significativement à la croissance économique et la sécurité alimentaire dans le monde. Toutefois, l'agriculture joue aussi des rôles essentiels dans le domaine de l'environnement ainsi que dans les domaines social et culturel. Certains de ces rôles peuvent être analysés en tant qu'externalités et en tant que contributions à des biens ou services publics (loisir, etc.). Ces derniers revêtent une importance capitale lorsqu'il s'agit d'appréhender globalement le développement durable. Toutefois, ils sont restés pendant longtemps négligés dans les politiques et les efforts de développement.

L'émergence du concept de développement durable et la tenue de la Conférence Internationale de Rio de Janeiro (Brésil) en 1992, avec les conventions qui ont été signées à cette occasion, constituent un tournant décisif dans la prise de conscience de l'ensemble des rôles de l'agriculture. En effet, en plus des rôles économiques et alimentaires traditionnellement reconnus, les stratégies sur le développement à long terme de l'agriculture ont commencé à intégrer dans leurs fondements les autres rôles social, environnemental et culturel du secteur agricole. Cette évolution notable représente une reconnaissance explicite de la multifonctionnalité des cultures et de l'élevage. Cette section présente les fonctions que les animaux d'élevage assurent sur les plans économique, alimentaire, environnemental et socioculturel dans le contexte mondial.

3.1- Fonctions économique et alimentaire

Les animaux domestiques contribuent de façon essentielle à la production alimentaire pour 30 % de la valeur totale de la production agricole et alimentaire (FAO, 1999). Ils sont, particulièrement, indispensables pour les communautés rurales et la durabilité des systèmes de production. L'importance des animaux domestiques vient de leur capacité à convertir

fourrages et sous-produits de l'agriculture en nourriture de haute qualité et de leur rôle en tant que source locale d'aliments (protéines et micro nutriments), de fibres, de force de travail et autres pour répondre aux besoins des communautés.

On estime que 12 % de la population mondiale vit dans des zones où l'homme dépend presque entièrement des produits issus de ruminants (FAO, 1999). Dans ces zones, le bétail constitue non seulement une source d'alimentation, mais aussi la principale activité génératrice de revenus, permettant ainsi aux populations de s'approvisionner en biens de consommation alimentaire et en intrants agricoles. Le bétail transforme le fourrage et les sous-produits agricoles non comestibles pour l'homme en produits agricoles ayant une importance nutritionnelle. A titre d'exemple, environ 40 % des terres disponibles dans les pays en voie de développement ne peuvent être utilisées que pour une forme ou pour une autre de production fourragère.

3.2- Fonctions environnementales

Au delà des rôles économiques et alimentaires, les ressources génétiques animales remplissent aussi des fonctions environnementales. Il est à noter, pourtant, que les externalités que l'élevage inflige à l'environnement sont toujours perçues, analysées et évaluées sous l'angle des incidences négatifs de l'élevage sur l'environnement sans pour autant s'intéresser aux effets positifs et aux biens d'intérêt public produits conjointement. Seré et Steinfeld (1996) selon le degré d'intégration élevage-agriculture ont classé les systèmes d'élevage en trois classes. Il s'agit des systèmes pastoraux, mixtes et industriels.

Les systèmes pastoraux reposent sur la production animale avec peu ou pas d'intégration avec l'agriculture exclusivement sur l'utilisation des pâturages naturels. La dégradation des ressources est un phénomène qui se développe actuellement sur une grande partie des terres de pâturage. Néanmoins, ces systèmes contribuent à l'enrichissement organique du sol et offrent la possibilité d'améliorer la couverture végétale ainsi que la biodiversité végétale et animale. Dans ces systèmes, les déchets sont réutilisés et ne présentent aucun fardeau pour l'environnement.

Les systèmes les plus répandus sont les mixtes. Ils sont généralement autosuffisants dans la mesure où les flux d'éléments nutritifs et d'énergie transitent en circuit fermé des cultures à l'élevage et vice versa. Etant donné leur capacité de recyclage, ces systèmes sont plus avantageux sur le plan des effets qu'ils peuvent provoquer sur l'environnement et sur la protection des ressources naturelles.

Les systèmes industriels concernent plusieurs espèces l'élevage. Mais ils sont jugés présentant un impact direct sur les sols, l'eau, l'air et la biodiversité par la production d'effluents, et la modification des ressources génétiques animales qu'ils impliquent (ces systèmes industriels s'intéressent à des races homogènes aux caractéristiques génétiques, ce qui favorise un appauvrissement de la diversité).

3.3- Fonction socioculturelle

Le rôle social des Ressources Génétiques Animales porte sur la réduction de la pauvreté et par conséquent la réduction des flux d'immigration inter et intra pays. A l'échelle mondiale, plus de 1,3 milliards de personnes (environ 30% de la population des pays en voie de développement vivent en dessous du seuil de pauvreté). Trois quarts des pauvres sont des ruraux. Selon les projections des Nations Unies, la population mondiale va atteindre près de 8 milliards de personnes à l'horizon 2020. Ces projections correspondent à un taux de croissance annuel moyen de 1,2 % pour la période s'étalant entre 1995 et 2020. Les approvisionnements alimentaires doivent alors augmenter, au moins, à un niveau similaire pour maintenir les rythmes de consommation alimentaires courants par personne.

Environ 95 % de l'augmentation prévue de la population se produira dans les pays en voie de développement qui doivent faire face à une demande en expansion des produits de consommation de base. Pour ces pays, les prévisions des accroissements des niveaux de consommation sont estimées à 114 % et 133 % respectivement pour la viande et le lait, alors que pour les pays développés, les projections demeurent marginales (Rege et *al.*, 2003). Pour satisfaire cette demande en expansion (ILRI, 2000) a estimé que la production devrait augmenter de 108% pour la viande et de 145% pour le lait. Dans les pays en voie de développement, les systèmes d'exploitation mixtes sont prédominants et concernent surtout la population rurale pauvre. Certaines estimations considèrent que 70% des pauvres ruraux dépendent, directement ou indirectement, des activités d'élevage (FAO, 1999). L'accès à la terre et au capital constitue la principale contrainte qui limite les opportunités d'accroissement des revenus de la population rurale pauvre. L'augmentation de la demande des produits d'élevage, suite à l'accroissement de la population, leur offre une opportunité pour bénéficier de retombées positives d'un marché en expansion (ILRI, 2000).

Les Ressources Génétique Animales jouent aussi un rôle d'épargne pour le financement de la production agricole (achat de semences et d'autres intrants agricoles) et permettent de maintenir et de renforcer les relations sociales. Dans les zones caractérisées par une absence

de systèmes financiers, l'investissement dans le capital animal constitue une forme sûre et durable pour maintenir l'équilibre et la reproduction des systèmes de production agricoles.

Pour ce qui est de la composante culturelle des Ressources Génétique Animales, elle se manifeste par plusieurs formes. En effet, certaines races locales ont des fonctions culturelles tels que les fêtes religieuses et les dots. A titre d'exemple, dans les pays musulmans, l'espèce ovine tient une place dans le calendrier rituel des musulmans et notamment pour le sacrifice d'Aid al-Adha (fête religieuse) qui perpétue le geste d'Ibrahim.

Dans les pays développés, la possession et l'élevage des animaux domestiques sans objectifs strictement utilitaires ne sont pas récents. Les animaux de compagnie sont particulièrement développés de nos jours, ceux d'ornement ont souvent une longue tradition, quoique de nouvelles espèces soit apparues à l'époque moderne. Les animaux peuvent être les supports d'une activité sportive, ce qui est le cas des chevaux depuis l'antiquité (souvent en association avec la chasse). On note encore d'autres destinations des animaux domestiques comme le spectacle, le paysage, la gastronomie, le folklore voire même les formes d'expressions artistiques (Gandini et Villa, 2003).

4- Conservation de la biodiversité animale

Il existe deux approches pour la conservation des Ressources Génétiques Animales : la conservation *in situ* et la conservation *ex situ*. La première consiste à préserver les animaux dans leurs milieux naturels et la seconde porte sur deux variantes, la première, conduite *in vitro*, s'appuie sur les techniques de cryopréservation (de spermatozoïdes, d'ovocytes, d'embryons). Contrairement aux plantes, la cryopréservation n'est techniquement faisable que pour très peu d'espèces animales d'élevage (Rege et *al.*, 2003). La seconde variante, conduite *in vivo*, consiste à préserver les ressources génétiques menacées dans des localités déterminées (fermes étatiques, stations de recherche). Le principe de la conservation *in situ* consiste à préserver, *in vivo*, les populations à risque d'extinction, dans l'environnement dans lequel elles se sont développées. Cette approche intéresse des écosystèmes entiers.

La participation des populations locales est l'une des clés de la conservation *in situ*, dont l'objectif ne se limite pas seulement à la conservation des gènes d'une race en danger mais aussi au maintien des processus qui permettent de préserver les systèmes de production. La convention sur la biodiversité préconise de préserver la biodiversité dans le contexte dans lequel elle s'est développée. Dans le cas des animaux d'élevage, la conservation *in situ* présente de nets avantages par rapport à la conservation *ex situ*. D'une part, les races locales

sont les produits d'environnements écologiques et culturels spécifiques et on modifierait leur constitution et leur intégrité génétique si on les retirait de leur milieu d'origine. Le transfert de populations d'animaux domestiques dans des milieux contrôlés constitue un danger potentiel dans la mesure où leur faculté d'adaptation risque de s'éroder graduellement. D'autre part, les races animales ne sont pas statiques mais sont en permanence soumises à des processus d'adaptation à des conditions écologiques et économiques changeantes (Audiot, 1998).

La conservation *in situ* requiert nécessairement le soutien actif, moyennant des mesures d'incitations des exploitants qui possèdent et utilisent ces animaux. Dans la perspective globale du maintien de la diversité génétique des animaux d'élevage en vue de conserver certains caractères génétiques, on trouve de solides arguments pour justifier la préservation *in situ* (à base communautaire) des ressources génétiques animales (Khler-Rollefson, 2001). Le choix entre les deux approches dépend des objectifs et des coûts de conservation (Gandini et Oldenbroek, 1999). Actuellement, l'approche *in situ* est considérée comme la meilleure solution car elle maintient la capacité d'évolution et d'adaptation des populations. Néanmoins, la cryoconservation présente aussi l'avantage de réduire les risques associés aux maladies infectieuses et pourrait être utilisée de façon complémentaire à la conservation *in situ* pour contrôler les processus de dérive génétique (Gandini et Pizzi, 2003). Alors que, Oldenbroek (1999) a suggéré que la problématique de conservation soit raisonnée selon une vision intégrée qui tiendrait compte les deux approches simultanément. En matière de priorité de conservation, beaucoup d'efforts ont été consacrés aux analyses des distances génétiques entre les races. A ce titre, la FAO a proposé la mise en place d'un programme global pour établir les rapports génétiques entre les races de chaque espèce domestique (Barker et al., 1993). Certes, la spécificité génétique d'une race est importante, mais elle ne constitue pas l'unique critère de décision (Ruane, 1999). D'autres facteurs complexes, y compris l'utilité présente et future des races, leur importance environnementale, culturelle et historique, devraient également être pris en compte à ce niveau.

5- Elevage : une biodiversité à gérer et une richesse à valoriser

La Tunisie, avec sa position géographique et ses divers étages bioclimatiques et écologiques, possède une réserve animale et végétale considérable. En effet, cette diversité de populations animales et végétales doit être préservée et gérée rationnellement et durablement dans le but de maintenir la sécurité alimentaire et les équilibres écologiques, parfois fragiles. A propos de l'élevage, la Tunisie offre un mélange extraordinaire des principales espèces

rencontrées dans le monde. Ces espèces animales sont élevées pour leurs productions et pour les services qu'elles procurent à l'homme. En terme de biodiversité relative à cet élevage, les espèces domestiques ovine, bovine, caprine, cameline, volaille, équine, lapin, asine, etc. sont présentes dans le pays. A titre d'information, dans ce paragraphe nous présentons brièvement des caractéristiques particulièrement chez les quatre premières espèces composées de plusieurs populations et races :

5.1- Population ovine

Quatre races ovines essentielles sont rencontrées dans le pays. Barbarine présente dans tout le pays, le mâle pèse 55 à 75 kg alors que la femelle pèse 40 à 50 kg. Queue Fine de l'Ouest est une race répartie dans le quasi totalité du pays, les poids adultes pour les femelles et mâles les sont de l'ordre de 50 à 55 kg et 70 à 75 kg, respectivement. Noire de Thibar se trouve dans les régions céréalières du pays avec des poids adultes allant de 55 à 60 kg et 80 kg respectivement pour les femelles et les mâles. Les trois races précitées sont à vocation bouchère. Sicilo-Sarde se trouve à Beja et Bizerte et c'est l'unique race laitière par excellence avec le poids de 40 kg pour la femelle et 55 à 60 kg pour le mâle (Bello, 2002).

5.2- Population caprine

Elle est composée de Chèvre locale élevée dans toutes les zones bioclimatiques du pays avec une variation de poids adulte respectivement de 30 à 35 kg et 40 à 45 kg pour les femelles et les mâles. Boer localisée à Zaghouan, Nabeul et Bizerte les poids varient de 50 à 60 kg et 75 à 90 kg chez les femelles et les mâles, respectivement. Alpine se trouve dans certaines régions du Sud et du centre. Les femelles pèsent environ de 60 kg alors que les mâles pèsent 80 kg. Maltaise répartie dans toute la République, le poids des femelles est de 40 à 50 kg et celui de mâles varie de 40 à 60 kg. Damasquine cantonnée au Sud, centre et le Nord du pays avec 60 kg de poids chez les femelles et 80 kg chez les mâles. Murciana se trouve surtout à Médenine, le poids atteint 50 kg pour les femelles et 70 kg pour les mâles (Bello, 2002).

5.3- Population bovine

Le cheptel bovin est constitué de la population bovine locale, de la population bovine croisée et des races pures. La population locale est constituée de Brune de l'Atlas et Blonde du Cap Bon avec l'hauteur au garrot 110 à 120 cm et le poids vif 300 à 350 kg pour les mâles

et 200 kg pour les femelles. Les races pures représentent 57% de l'effectif total, avec 95% Holstein, 4% Brune des Alpes et 1% Tarentaise et autres (Djemali, rapport de la Tunisie sur les RGA pour FAO, 2003).

5.4- Population cameline

Population élevée est dite Maghrebi se trouve essentiellement au centre et au Sud du pays, cette population se caractérise par des poids adultes de 400 et 450, respectivement pour les femelles et les mâles (DAD-IS, 2004).

6- Notion de race en élevage

Pellegrini (1999) a signalé que depuis le début de la domestication des animaux d'élevage, l'homme a essayé par divers moyens d'identifier et de conserver les animaux présentant des capacités supérieures. Très tôt dans l'histoire de la domestication, on voit en effet apparaître l'idée de n'élever que les animaux plus adaptés aux besoins humains et de les faire reproduire entre eux. La diversité des milieux dans lesquels ces animaux ont été élevés et les multiples utilisations auxquelles les destinait l'homme (viande, lait, travail), ont conduit les espèces d'élevage à des voies d'évolution multiples. Les systèmes d'élevage anciens avaient pour principal objectif de fournir des animaux résistants, adaptés aux milieux dans lesquels ils évoluaient et aux utilisations auxquelles l'homme les destinait. A cette époque l'instabilité économique et politique freinait une sélection dirigée et concertée, et la sélection naturelle était le principal moteur de l'évolution des populations. Au XV^{ème} siècle, les populations animales se différençaient en "Types" régionaux plus ou moins homogènes adaptés à un milieu et à un mode d'élevage. Le terme race ne s'est généralisé qu'entre le XIV^{ème} et XVI^{ème} siècle. Lush (1948) a défini la race dans son document "*The Genetics of Population*" comme suit :

"A breed is a group of domestic animals, termed such by common consent of the breeders, ... a term which arose among breeders of livestock, created one might say, for their own use, and no one is warranted in assigning to this word a scientific definition and in calling the breeders wrong when they deviate from the formulated definition. It is their word and the breeders common usage we must accept as the correct definition".

Pellegrini (1999) a relaté que la notion de race correspondait alors à « une population locale ou régionale adaptée à une production donnée et présentant un certain nombre de caractères communs ». La notion moderne de races d'animaux domestiques prend ses racines

avec le début d'une population animale destinée à la commercialisation. C'est lors de la révolution industrielle d'Angleterre au XVII^{ème} siècle que l'on voit apparaître pour la première fois la notion de standard de race. Durant cette période la nécessité d'un élevage intensif pour pouvoir au développement, conduit à une sélection intensive et organisée, et à une spécialisation des animaux en vue d'accroître les productions. A partir de ce moment de nombreux groupes d'éleveurs coordonnent leurs efforts de sélection et tentent d'affirmer l'originalité de leur population animale en réclamant la reconnaissance de leurs races. En règle générale, chaque race d'élevage est définie par un standard, c'est-à-dire un ensemble de critères qui définissent l'individu idéal. Ces sous ensembles d'espèce ou "races" se fondent notamment sur la taille de l'animal, la conformation, la couleur, la longueur et la texture du poil, ses aptitudes à produire et son adaptation à des conditions climatiques ou autres. Toutefois, à travers de la littérature, la notion de race moderne est un concept difficile à définir précisément et qui peut signifier différentes choses selon les lieux et les espèces. Maudet (2001) a signalé que la définition récente de la race moderne fait généralement appel aux concepts suivants :

Homogénéité morphologique : en élevage la notion de **race** s'applique à des populations individualisées d'une même espèce ayant des caractères morphologiques et physiologiques héréditaires bien distincts des autres populations. Des populations ayant un génotype moyen individualisé et que l'homme s'est attaché à maintenir parfois depuis très longtemps, mais qu'il peut faire évoluer dans le temps en fonction d'impératif économique ou de mode. Les éleveurs ont aussi une tendance vers une spécialisation morphologique des animaux afin d'identifier la race et de la distinguer des autres races. Néanmoins, certaines races présentent une grande variation de ces caractéristiques, alors que des animaux de races différentes peuvent être morphologiquement très similaires.

Héritabilité des caractères : les traits distinctifs d'une race doivent être stables dans le temps, et donc que ces caractères soient transmissibles d'une génération à l'autre.

Intérêt économique : le but initial de la création des races était effectivement une reconnaissance des caractéristiques d'une population d'animaux dans un but commercial. Dans la pratique, définir des races en nombre donné suppose donc implicitement qu'on se fixe un critère pour les définir. Ce critère correspondra en général à un but, et les classifications pourront être différentes pour des buts différents. Par ce point, on voit que la race est une notion subjective, liée à des exigences commerciales et ne correspondant pas forcément à une réalité biologique. Dans le même ordre d'idées, ces races ne sont pas des entités statiques, ni mêmes des données naturelles. Elles sont les résultats d'une histoire durant laquelle sont

intervenues des nombreux facteurs : migrations d'animaux, mutations des gènes, modifications des contextes économiques et sociaux (Audiot, 1995). La définition adoptée par la FAO en 1999 est la suivante :

“Either a subspecific group of domestic livestock with definable and identifiable external characteristics that enable it to be separated by visual appraisal from other similarly defined groups within the same species or a group for which geographical and/or cultural separation from phenotypically similar groups has led to acceptance of its separate identity”.

7- Sélection chez le dromadaire

La sélection est un important créneau de gestion d'élevage pour améliorer sa productivité. Cependant, l'amélioration génétique du dromadaire reste problématique parce que peu exploitée. Les producteurs distinguent bien des "**racés**" mais les critères sont purement phénotypiques et la sélection a rarement été poussée, sauf pour les dromadaires de course dans les Emirats Arabes et probablement dans les pays d'Asie centrale pour la production laitière (Mburu et *al.*, 2003; Faye, 1997). En Afrique du Nord-Est (Hussein, 1989) ont signalé que la sélection est pratiquée essentiellement pour maintenir ou améliorer la productivité, l'endurance ou la résistance à la sécheresse. Les éleveurs de cette région pratiquent une sélection sévère pour les mâles. Ils accordent une grande attention à l'apparence, au comportement et aux caractéristiques des ancêtres des animaux sélectionnés. La sélection des futurs pères se fait justement après le sevrage, les mâles écartés à ce stade seront vendus, égorgés ou castrés. L'objectif principal de la castration est d'éviter l'élevage non désiré de certains sujets et pour le développement corporel des animaux. Dans la région du golf Isam et Osman (2005) ont rapporté que les éleveurs sélectionnent leurs animaux en se basant sur des critères subjectifs qui ne reflètent pas le potentiel héréditaire de l'animal, la physionomie, le comportement et les performances constituent les principaux critères de choix. Cependant, certains éleveurs évitent dans leurs élevages, certaines robes et performances. Généralement, les éleveurs retiennent les généalogies de leurs troupeaux. Le choix de femelles se base sur l'allure, la taille, la couleur de la robe et le rendement laitier. Alors que le mâle produisant des chamelons qui lui sont similaires sera gardé comme "**Fort**" génétiquement. Faye (1997) a rapporté que la sélection du mâle géniteur est le premier facteur d'amélioration génétique du troupeau, les éleveurs arrivent à différencier ceux qui transmettent leur conformation aux produits. Un mâle pour 30 femelles est préférable à un mâle pour 50, ratio souvent pratiqué par les éleveurs. Dans les petits troupeaux cependant,

l'éleveur conserve par nécessité un étalon et son remplaçant, ce qui diminue le nombre de femelles par reproducteur. Par ailleurs, il est difficile dans les grands troupeaux de conserver plusieurs mâles qui deviennent agressifs entre eux à la période du rut, la solution parfois adoptée est de conserver, à côté d'un adulte dominant, un jeune mâle, celui-ci évite la confrontation directe mais peut saillir les femelles délaissées par le premier. L'entretien du mâle ne doit pas être négligé entre les saisons de reproduction, une alimentation équilibrée, provenant d'un entretien sur un parcours naturellement diversifié, ou de la distribution d'un complément énergétique et azoté, lui permettra de récupérer de la saison de reproduction précédente et d'affronter la suivante avec la capacité de supporter les 20 ou 30 % de chute de poids observés pendant cette période où le géniteur s'alimente peu.

8- Etat des ressources génétiques camelines dans le monde

Blanc et Ennesser (1989) ont rapporté qu'en absence d'études précises sur la caractérisation des races, plusieurs enquêtes se sont intéressées à la description des populations camelines dans des zones géographiques et présentant des caractéristiques différentes. Il n'existe pas en effet, de descripteurs standardisés, précis et pertinents et encore moins d'études portant sur des marqueurs génétiques. Face à cette situation, il est difficile de distinguer des entités bien définies "**race**". Les mêmes auteurs ont signalé que les races décrites sont plus proches des populations naturelles que des produits issus de sélection poussée. Les éleveurs ne sont intervenus qu'en orientant la sélection pour des objectifs spécifiques (transport, lourd ou rapide) et les formes morphologiques pour le bât ou la selle. Cependant, compte tenu des contraintes écologiques, les éleveurs ont dû tirer profil des adaptations aux divers habitats (Montagne, plaine). C'est cette classification qui est généralement retenue, plutôt qu'une distinction selon les finalités zootechniques (lait, viande, course). A partir de quelques descripteurs morphologiques (taille, poids, conformation, robe, pelage), l'utilisation principale (bât, selle, trait, lait) et l'habitat (types de plaine, montagne). Ainsi ils ont proposé un schéma de filiation de races des dromadaires d'où se dégage trois types et 8 sous-types ou groupes dans le monde dont la taille représente l'un des facteurs les plus discriminants.

8.1- Types de grande taille

Comprenant trois catégories : (G₁) les individus caractéristiques des races de plaines fluviales ou côtières, peu rustiques, lourdes et médiolignes, utilisées pour le bât (la race

Fleuve au Mali), (G₂) des individus assez hétérogènes regroupant des races de conformation, de pelage, mais surtout d'habitat et de mode d'utilisation très variés (Arab, Soudani, Targi, Adrar) et (G₃) les animaux des plaines désertiques, rustiques, longilignes, à pelage ras et de coloration variable, utilisés pour la selle et souvent appelés Méhara (Reguibi).

8.2- Types de taille moyenne

Ils sont regroupés en deux catégories : (M₁) des animaux soudanais, longilignes, à la robe claire, servant de monture et (M₂) des bêtes de somme médiolignes, à robe très variée, assez lourdes, vivant en plaine (par exemple Manga, Azmiyah).

8.3- Types de petite taille

Comprenant également trois catégories d'animaux : (P₁) les races de plaines fluviales ou côtières élevées essentiellement en Afrique de l'Est, légères, utilisées pour le bât, plutôt rustiques, médiolignes et de couleur fauve (par exemple le Guban en Somalie). (P₂) les races du Maghreb, rustiques, médiolignes et de robe foncée, d'utilisation mixte et préférentiellement vivant dans les plaines désertiques (par exemple la race Ouled Sidi Cheikh en Algérie). (P₃) les races brévilignes de montagne, à pelage long et foncé, très rustiques, rarement montées, tel que le Bari au Pakistan.

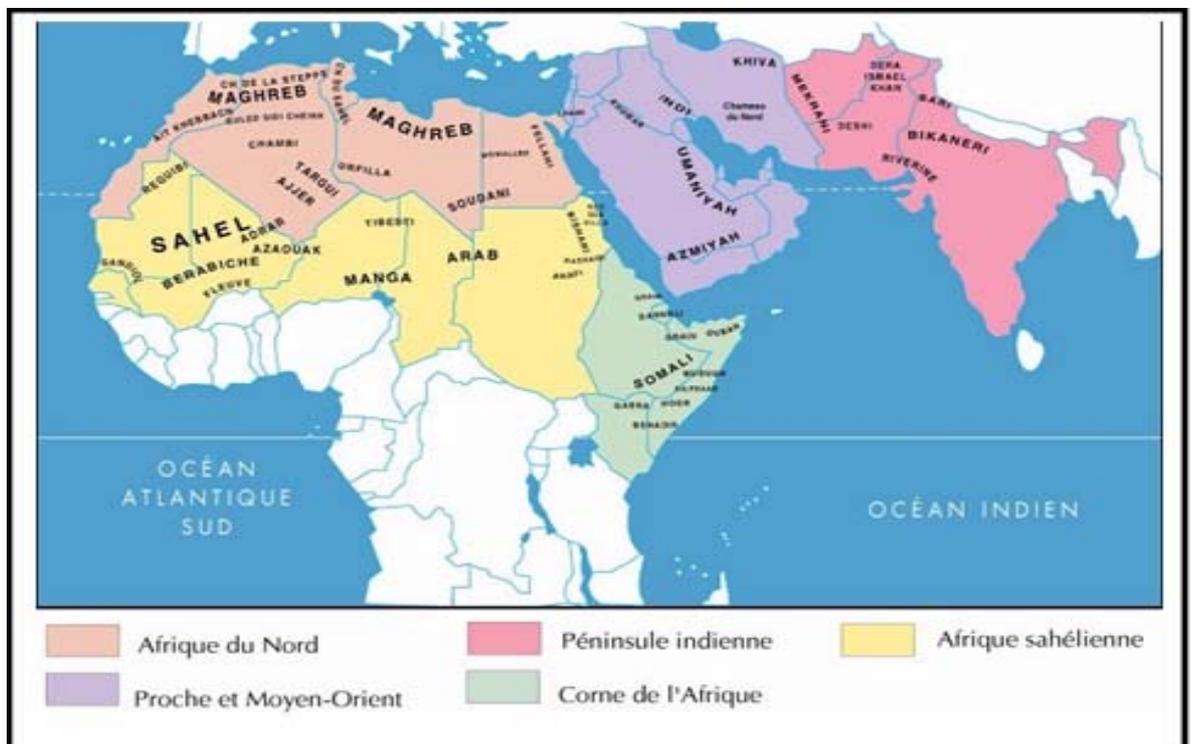
Faye (1997) a signalé que cette distinction demeure bien évidemment discutable. Car elle ne s'appuie que sur quelques arguments morphologiques et écologiques, ne prenant pas en compte les qualités zootechniques des animaux. Actuellement, on peut inventorier 52 races principales de dromadaires dans le monde et près d'une centaine de races assimilées. La carte 2 montre la distribution des principales races des dromadaires dans le monde.

9- Etat des ressources génétiques camelines en Tunisie

En Tunisie, le patrimoine zoogénétique autochtone constitue une richesse d'une grande importance. La population cameline communément appelée Mahgrebi fait partie intégrante de cette richesse nationale. Toutefois, le cheptel camelin a connu une réduction spectaculaire passant de 200.000 têtes en 1955 à 80.000 en 1989 (Khorchani et *al.*, 1996; Moslah et Megdich, 1989). A l'époque de l'indépendance, l'espèce cameline contribuait à la formation du revenu et à la couverture des besoins en protéines animales (viande et lait) d'une large couche de la population tunisienne. Elle assurait l'approvisionnement en matières premières (peaux, cuir, poils,) de l'artisanat, le transport, la traction et le labour nécessaires pour les

activités agricoles. Les facteurs de régression alarmante de l'effectif camelin peuvent être liés aux mutations socio-économiques qu'a connues la société tunisienne, ainsi qu'aux facteurs liés à la faible productivité du dromadaire. Particulièrement, la mécanisation dans le milieu rural et la tendance des éleveurs à la sédentarisation ont été, parmi d'autres, les causes qui ont changé profondément le rôle du dromadaire dans le transport et les travaux agricoles et repoussé son élevage au centre et au Sud du pays (Khorchani et *al.*, 1996).

Le cheptel a été fortement influencé par la sécheresse et les changements socio-économiques dans le pays. A partir des années 1990, les efforts de reconstitution du cheptel ont permis de redresser les effectifs (Nasr et *al.*, 2000) suite aux importations massives de la Libye. Actuellement, les dromadaires sont estimés à 231.000 têtes en 2004 (FAOSTAT, 2005). L'élevage camelin a repris le regain d'intérêt ces dernières années par les communautés politiques et scientifiques, son intégration aux programmes de développement est actuellement un objectif national. Le domaine de recherche sur le dromadaire est récent et ne date que des années 1980. Les recherches visant l'amélioration de la productivité de cette espèce et de son élevage ont enregistré des résultats concluants quant à la réduction de l'intervalle entre mise-bas, la vitesse de croissance, la production laitière et la maîtrise des bases physiologiques du dromadaire.



Carte 2 : Localisation des principales races des dromadaires dans le monde

Les travaux de l'institut des régions arides en témoignent (Khorchani et *al.*, 1998; Khorchani et *al.*, 1996 ; Hammadi, 1995). L'handicap majeur de l'élevage camelin demeure, désormais, la longue durée de gestation et sa conduite extensive. Concernant, la santé, les études faites ont visé particulièrement des maladies parasitaires externes, et certaines maladies infectieuses et nutritionnelles ont été identifiées (Jemli et *al.*, 1995). Ces recherches ont contribué significativement à la connaissance de l'espèce dans des zones arides et désertiques. Toutefois, des efforts sont encore nécessaires pour améliorer et diversifier les productions et mieux valoriser les produits.

10- Classification des dromadaires selon la vocation

Selon Khouri (2000) les chameaux arabes sont originaires de la péninsule arabe. Leur dispersion dans l'espace et dans le temps est accompagnée par l'accumulation de variations qui les distinguent selon leurs milieux d'habitat. La non spécialisation des races camelines peut être attribuée à l'uniformité des conditions difficiles où les animaux sont élevés, afin de répondre aux différents besoins (viande, lait, laine, transport) des populations pastorales (Wardeh, 2004). Traditionnellement, les noms de certains types de dromadaires sont relatifs aux noms de leurs tribus propriétaires (Faye, 1997). C'est le cas des types camelins *Elkebachi*, *Erchaydia*, *Elbechari* élevés par ces tribus au Sudan (ACSAD, 2002).

Selon Isam et Osman (2005), une récente tentative de classification a été considérée dans certains pays pour catégoriser les dromadaires suivant le type de production (viande, lait, mixte et course). Ce nouveau système de classification se base sur le fait que le dromadaire est une composante importante des systèmes agropastoraux dans les zones pastorales hostiles et soutient la survie des millions de personnes en Asie et en Afrique (Wardeh, 2004).

10.1- Dromadaires à vocation viande

Ce sont des animaux caractérisés par une taille large avec un long cou, gros muscles, une large bosse et un taux de croissance rapide. La meilleure viande vient de jeunes chamelons. La viande cameline commence à prendre une place de plus en plus importante avec l'industrialisation dans certains pays comme ceux du Golf. Certaines études montrent que ces animaux possèdent une excellente aptitude d'engraissement sous des conditions améliorées (tableau 2).

Tableau 2 : Exemples de races camelines à viande

Race	Pays d'élevage	Caractéristiques
<i>El jandawel</i>	Mauritanie	-Grande taille -Poids lourds -Couleurs foncées
<i>Delta</i>	Egypte	-Grande taille -Muscles développés -Supporte les charges lourdes
<i>El fellahi</i>	Egypte	-Grande taille -Squelette lourde -Pas lent

(Source : Wardeh, 2004)

10.2- Dromadaire à vocation lait

Les chamelles laitières sont caractérisées généralement, par une production laitière supérieure à 2500 litres/lactation. Le lait de chamelle comparé au lait de vache est moins riche en matière grasse et en lactose et plus riche en potassium, en fer et en vitamine C. Dans plusieurs pays du Golf l'élevage des femelles est essentiellement pour la production laitière. Le tableau (3) résume des caractéristiques de quelques races laitières.

Tableau 3 : Exemples de races camelines laitières

Race	Pays d'élevage	Production en (Kg)
<i>Hoor</i>	Somalie	800-2800 par lactation
<i>Rachaida</i>	Soudan	2000-3000 par lactation
<i>Challageea</i>	Soudan	15-18 par jour
<i>Sirtawi</i>	Libye	3000-4000 par 305 jours
<i>Ouled Sidi Cheikh</i>	Algérie, Maroc et Mauritanie	2000-3500 par 305 jours
<i>Fakhreya</i>	Libye	3500 par lactation

(Source : Wardeh, 2004)

10.3- Dromadaire à vocation mixte

Ce sont des animaux médium ou de grande taille. Ces animaux peuvent produire une quantité importante du lait (1000-1500 kg/lactation). Ils ont aussi une croissance relativement élevée. Dans le tableau (4) figurent quelques caractères des races mixtes.

10.4- Dromadaire de course

La sélection et l'élevage de dromadaire de course ont pris une place prépondérante, par les propriétaires individuels des animaux, dans les traditions de ces zones. Cependant, après plusieurs années de l'élevage traditionnel de dromadaires dans les régions arides aux pays arabes du golf, cet élevage a évolué d'une manière spectaculaire afin de produire un animal typique de course (Faye, 1997; Isam et Osman, 2005).

Tableau 4 : Exemples de races camelines mixtes

Race	Pays d'élevage	Caractéristiques
<i>Maghrebi</i>	Egypte, Maroc, Algérie, Libye et Tunisie	-Taille variable -Couleur variée
<i>Tibisti</i>	Libye et Tchad	-Petite taille -coureur
<i>El majaheem</i>	Arabie Saoudite	-Grande taille -Couleur noire -Production laitière élevée
<i>El khawar</i>	Syrie et l'Iraq	-Poids adulte 665Kg pour le mâle et 540 kg pour la femelle. -Production du lait : 1800-2000 par 15-18 mois.

(Source : Wardeh, 2004)

CHAPITRE IV : BIOTECHNOLOGIE ET CARACTERISATION DES RESSOURCES GENETIQUES ANIMALES

1- Introduction

Bidanel *et al.* (2003) a regroupé sous le terme de biotechnologies animales un ensemble de techniques mises au point à partir des connaissances acquises sur le génome, la reproduction et le développement embryonnaire. Les biotechnologies de la reproduction incluent des techniques comme l'insémination artificielle, le transfert d'embryons, le sexage et la cryoconservation de gamètes et d'embryons, la fécondation *in vitro*, le clonage ou la transgénèse. La génétique moléculaire désigne les techniques issues d'analyse de la structure du génome (sélection ou introgression de gènes directe ou assistée par marqueurs, contrôle de filiation, étude et gestion de la diversité génétique, etc.) ou de l'étude de son fonctionnement. En effet, durant les dernières décennies, les progrès réalisés dans les domaines de l'élevage et de la sélection ont été impressionnants. Des programmes d'élevage basés sur les principes de la génétique quantitative, d'insémination artificielle ou de transfert d'embryon, ont créé des progrès génétiques considérables. De plus, les nouvelles découvertes en matière de biotechnologie laissent prévoir une accélération de ces évolutions. Devant telle transformation, il est important de mieux appréhender les mécanismes de la domestication et d'évaluer les répercussions des pratiques d'élevage modernes sur les animaux et leur génome. En effet, plusieurs études indiquent que la domestication ainsi que la sélection humaine, ont conduit à de nombreuses modifications du génome des animaux domestiques. Ainsi, l'une des conséquences les plus redoutées de la sélection est la perte de diversité génétique causée par la consanguinité et la dérive génétique (Maudet, 2001).

La génétique s'est définie comme la discipline qui étudie la transmission de l'information héréditaire et son utilisation dans le développement et le fonctionnement des organismes. Grosclaude *et al.* (1996) ont relaté que le texte, paru en 1866, fondateur de la génétique moderne remonte aux travaux de Gregor Mendel (1822-1884). Ce texte rapporte des résultats obtenus sur ce qu'on appellerait aujourd'hui une plante "d'intérêt agronomique", le petit pois. Par la suite, des découvertes significatives furent encore faites sur des plantes, mais l'essentiel des bases fondamentales de la discipline provient de travaux sur des "espèces modèles" comme la drosophile, introduite dès 1913 par Morgan. A l'époque peu d'avancées novatrices ont été faites chez des animaux d'élevage. Peters en 1961 dans son ouvrage, qui

regroupe les grands textes classiques de la génétique parus jusqu'à cette époque, 3 études seulement sur 28, d'ailleurs anciennes, portent sur des caractères animaux celle de Bateson et Punnett (1908) sur la forme de la crête de la poule, et celles de Wright (1917) et de Dunn (1921) sur la couleur du pelage des mammifères. Après 1960, la suprématie des espèces modèles ne fera que s'affirmer, en permettant l'essor de la génétique moléculaire et le décryptage des mécanismes fondamentaux du vivant.

La plupart des caractères exploités chez les animaux d'élevage sont des caractères à variation continue. La génétique quantitative s'est donc naturellement imposée, sous l'impulsion des travaux de Fisher et surtout de Lush (1937), comme le fondement théorique de l'amélioration génétique animale, permettant les progrès que l'on sait aujourd'hui. Mais le contraste entre ces progrès et l'indigence des connaissances sur les génomes des espèces d'élevage n'en est devenu que plus criant.

2- Révolution de la génétique moléculaire

Les généticiens des espèces d'élevage restèrent attentifs aux progrès de leur discipline mère, une perception claire de cette lacune et le souci de la combler. Un épisode est à ce titre significatif lorsque, pendant la seconde guerre mondiale, le groupe de R. Irwin, immunogénéticien américain de notoriété internationale, mit en évidence 30 antigènes de groupes sanguins bovins à déterminisme mendélien, il crut un moment avoir trouvé un marqueur pour chacun des chromosomes de l'espèce et envisagea la recherche de ce que l'on appellerait aujourd'hui des QTL! Cette vision était sans doute bien naïve, mais elle témoigne d'une attention déjà forte pour la cartographie du génome des espèces d'élevage. Un nouvel espoir naquit avec l'apparition des techniques d'électrophorèse en gel, qui permettaient la mise en évidence du polymorphisme des protéines, en particulier l'électrophorèse en gel d'amidon, introduite en 1955 par Smithies, qui commença à se répandre au début des années soixante. Elles donnèrent lieu à une profusion d'études, sur les protéines sanguines surtout. C'est ainsi que les travaux sur les enzymes érythrocytaires d'une dizaine d'espèces animales ont permis, dès 1975, d'analyser le polymorphisme de 40 systèmes enzymatiques, contrôlé par 50 loci. Mais ces chiffres ne doivent pas faire illusion. Ces loci ne sont pas polymorphes dans toutes les espèces, et l'analyse du polymorphisme existant exige la mise en oeuvre de techniques variées, coûteuses et parfois délicates. En définitive, ces résultats permettaient bien d'allonger la liste des systèmes marqueurs potentiels, mais cette liste était encore bien trop réduite pour permettre un véritable développement de la cartographie des espèces d'élevage.

C'est finalement la mise au point des techniques de détection du polymorphisme de l'ADN, celui des fragments de restriction d'abord (Botstein *et al.*, 1980), celui des minisatellites ensuite (Jeffreys, 1985) et surtout celui des microsatellites (Weber et May, 1989; Litt et Luty 1989) qui donna accès à un nombre de marqueurs suffisant pour entreprendre une cartographie systématique et raisonnée du génome des espèces d'élevage, préalable à l'analyse génétique de caractères ou de fonctions. Ainsi, les récentes techniques de génétique moléculaire permettent de visualiser certains traits du patrimoine héréditaire des individus et offrent des perspectives d'identification et de traçabilité des individus et de leurs produits sous forme d'empreintes génétiques (Portetelle *et al.*, 2000).

3- Techniques moléculaires

Avec le développement de la biologie moléculaire, les techniques liées à l'étude de l'ADN offrent des perspectives nouvelles de développement pour l'élevage. Dans le domaine de la sélection, le décodage de l'ADN des espèces domestiques et la mise en évidence de plus en plus fréquente de marqueurs génétiques associés à une production, une fonction physiologique ou à une maladie va probablement contribuer à améliorer la quantité et la qualité des produits animaux. Toutefois, il ne faut pas oublier que la génétique ne représente qu'une partie des effets phénotypiques observés, le reste résulte des pratiques et du savoir faire des éleveurs. En effet, pour obtenir une expression optimale des gènes recherchés, ils doivent veiller au développement harmonieux de l'animal en respectant sa physiologie, les règles d'alimentation et son bien-être.

3.1- Historique de l'ADN

Le premier phénomène qui allait permettre de progresser dans l'identification du support de l'hérédité est celui de la transformation bactérienne, rapporté en 1928 par l'anglais Griffith. Ce phénomène représente alors un test d'activité biologique, grâce auquel il est possible de déterminer la nature du matériel génétique. Ce test ne sera pas mis à profit par Griffith lui-même, mais par Avery en 1944 qui l'a utilisé pour élucider la nature biochimique du matériel génétique : il s'agit de l'ADN. Cette découverte est toutefois accueillie avec beaucoup de scepticisme. Il faudra de nombreux autres travaux pour que cette réalité soit acceptée : en particulier ceux de Hershey en 1946 et Chargaff en 1950. L'acceptation définitive ne viendra qu'avec l'élucidation de la structure de l'ADN.

La structure en double hélice de l'ADN est élucidée par Watson et Crick en 1953. Watson a décrit dans son ouvrage *La double hélice* (1968) le récit de la formidable découverte réalisée avec Crick. Les deux chercheurs disposent alors les éléments suivants: la composition chimique de l'ADN (désoxyribose, bases azotées, et groupements phosphate) et les travaux de Chargaff en 1950, qui avaient montré que pour toute molécule d'ADN, le nombre de molécules d'Adénine est égal au nombre de molécules de Thymines, et que celui de Cytosine est égal à celui de Guanine.

C'est en élaborant successivement plusieurs modèles moléculaires que Watson et Crick en 1953 réussissent à proposer une structure qui satisfasse à l'ensemble des données biochimiques disponibles. Cette structure est aujourd'hui connue de tous, elle est devenue l'emblème de la biologie moléculaire : deux brins constitués des groupements phosphates et de sucres forment une double hélice où les orientations de chacun des brins sont opposées. Sur les sucres de chacun des deux brins sont liées les bases azotées, chaque base d'un brin étant maintenue en vis-à-vis d'une base de l'autre brin par des liaisons hydrogène. Une Cytosine fait toujours face à une Guanine, et une Adénine à une Thymines. Les deux brins d'une molécule d'ADN sont dits complémentaires (Figure 3).

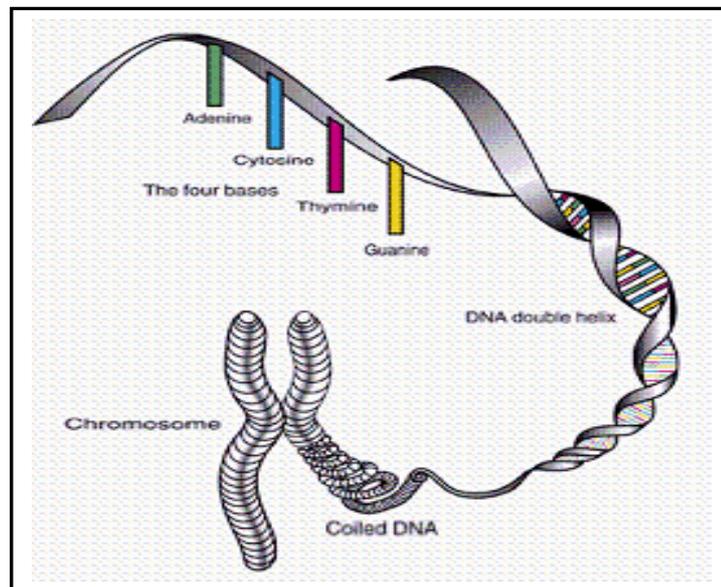


Figure 3 : Eléments de l'ADN génomique

3.2- Purification de l'ADN

Chez les procaryotes, l'ADN est simplement contenu dans la cellule, sans autre compartimentation. Par contre, chez les eucaryotes l'ADN est contenu par 3 types de compartiments à l'intérieur des cellules, le noyau et les mitochondries chez les animaux et les champignons, mais aussi les chloroplastes chez les plantes et les algues (figure 4). Ainsi, pour

accéder à l'ADN, les membranes (cellulaire, nucléaire, mitochondriale ou chloroplastique selon les cas) doivent être franchies. De plus, chez les organismes pluricellulaires, les cellules sont organisées en tissu qui doit être dissocié pour accéder à l'ADN.

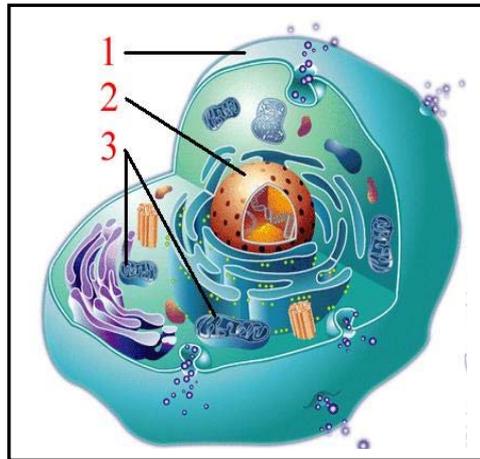


Figure 4 : Organisation d'une cellule

1 : membrane cellulaire, 2 : noyau, 3 : mitochondries

Au niveau moléculaire, l'ADN est associé de façon plus ou moins directe à toutes sortes de molécules protéiques, glucidiques, et nucléiques. Ces interactions peuvent être particulièrement fortes, comme par exemple avec les histones, des protéines qui permettent à l'ADN de s'enrouler sur lui-même ainsi, l'ADN est la plupart du temps sous forme compactée. D'autres molécules interagissent avec l'ADN, comme d'autres protéines et des acides nucléiques, liées à la régulation de l'expression des gènes, la duplication de l'ADN, sa transcription en ARN.

L'objectif de la purification est donc d'isoler la molécule d'ADN, c'est-à-dire la séparer de tous les autres constituants d'un tissu, y compris les molécules fortement liées à l'ADN, et d'en obtenir un échantillon suffisamment pur et en quantité suffisante pour permettre toutes les manipulations de biologie moléculaire liées à la phylogénie et la génétique des populations. Une bonne préservation des tissus est indispensable, ce qui rendra facile l'extraction de l'ADN.

3.3- Electrophorèse

C'est une technique de séparation des molécules chargées en fonction de leur taille. Tous les fragments d'ADN sont chargés négativement par perte de H^+ en milieu tamponné basique. L'application d'un champ électrique va les faire migrer vers le pôle positif de la cuve. Les fragments vont se déplacer dans l'épaisseur d'un support, dans ce cas un gel d'agarose dont la maille est assez régulière et adaptée à la taille des fragments à séparer. Cette

migration sera facilitée d'autant plus que la taille du fragment sera petite, ce dernier migrera plus loin. La lecture d'un électrophorégramme nécessite une coloration ou une révélation. Dans le cas de l'agarose, la visualisation des fragments d'ADN sur le gel nécessite la présence de bromure d'éthidium, agent intercalant de l'ADN, Il doit être manipulé avec d'extrêmes précautions. Fixée à la double hélice d'ADN, cette molécule a la propriété d'émettre un rayonnement lumineux suite à une irradiation par les UV. Alors que dans le cas du gel de polyacrylamide, la coloration se fait généralement avec la nitrate d'argent ou l'utilisation de radio-isotopes, ou par l'intermédiaire de séquenceurs automatiques, en utilisant des amorces marquées préalablement avec des fluorophores.

3.4- Amplification en Chaîne par Polymérase (PCR)

Au cours du dernier siècle, les progrès de la science notamment ceux enregistrés en biologie moléculaire ont été considérables. En effet, la découverte de l'ADN et de l'ARN et le développement de la technique de polymérisation en chaîne (PCR) permettant d'obtenir de grandes quantités d'ADN ont profondément marqué les sciences animales. Maudet (2001) relate qu'en 1986 Mullis et al., ont développé un procédé permettant une application spécifique d'un fragment d'ADN grâce à une enzyme polymérase thermo-résistante bactérienne (la Taq polymérase) : la PCR. La PCR est une technique de biologie moléculaire mise au point en 1985, par Karry Mullis. C'est une technique d'amplification génique, c'est-à-dire qu'elle permet de repérer un fragment d'ADN ou de gène précis, même présent en quantité infime dans un mélange, puis de le multiplier rapidement. Auparavant, une telle opération nécessitait impérativement le clonage de la séquence, son isolement, son amplification dans une cellule hôte et sa purification. Cette méthode extrêmement lourde et longue a été dès que possible abandonnée au profit de la PCR qui a certainement connu le développement le plus spectaculaire et le plus rapide dans l'histoire de la biologie. Le principe de la technique PCR est bien illustré dans la figure (5). Pour initier le processus de réplication de l'ADN, deux oligonucleotides complémentaires des extrémités du fragment d'ADN à amplifier (amorces), ainsi que des nucléotides (dNTP) sont utilisés. La reproduction (ou amplification) d'une portion d'ADN peut alors être obtenue en utilisant une répétition de cycles de température comprenant trois phases : une dénaturation de l'ADN double brin (94°C), une hybridation spécifique des amorces (selon la composition des amorces) et une synthèse de l'ADN (72° C). Ce procédé est exponentiel (en fait, sigmoïde) et permet d'obtenir des millions de copies d'un fragment d'ADN en quelques dizaines de cycles d'amplification.

La complémentarité des amorces avec les extrémités du fragment cible assure la spécificité de l'amplification au seul fragment désiré. La découverte de la PCR a révolutionné la biologie moléculaire et a ouvert la porte à de nombreuses méthodes d'investigation de l'ADN.

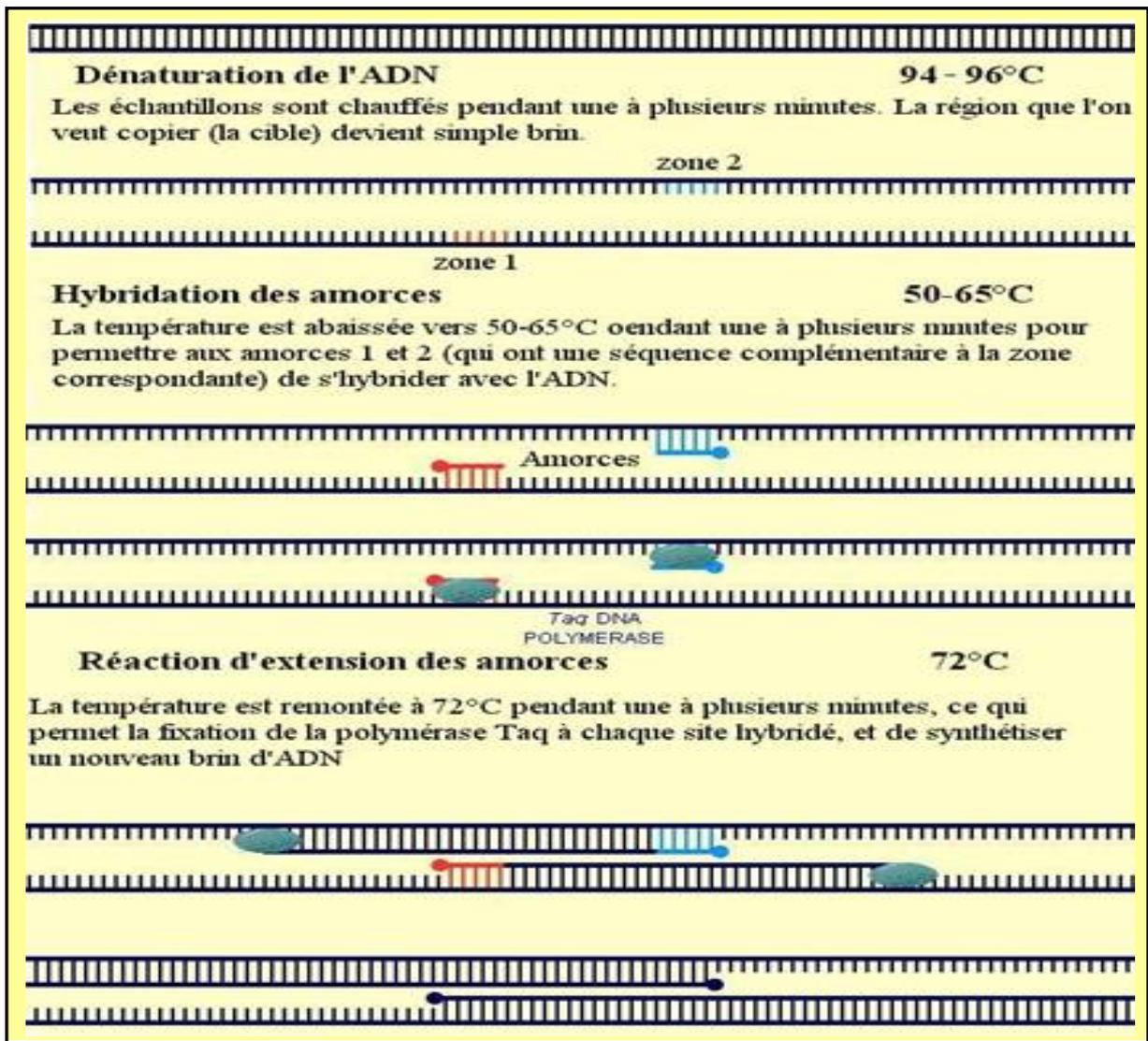


Figure 5 : Principe de la Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR)

3.5- Séquençage

Depuis, les années 1970 une autre découverte notable dans le domaine de la biologie moléculaire a été développée « méthode de lecture de la séquence d'un fragment d'ADN ». L'analyse des séquences d'ADN est l'une des bases de la compréhension de l'évolution moléculaire. A ses débuts, le séquençage nécessitait une procédure laborieuse de clonage dans des vecteurs bactériens, et le temps et le coût de ces manipulations limitaient son utilisation. Il faudra attendre la découverte de l'amplification de fragments d'ADN par PCR pour que le séquençage prenne la place qu'il occupe de nos jours dans les études des mécanismes

d'évolution. La réaction de séquence est basée sur une amplification PCR au cours de laquelle une certaine proportion de dideoxynucleotides (ddNTP ou "nucléotides stop") stoppant l'élongation du fragment sont utilisés, en plus des dNTP. Les cycles d'amplifications sont similaires à ceux employés pour une amplification "classique", mais seule une amorce est utilisée pour chaque réaction. La synthèse d'ADN débute à l'extrémité 3' de l'amorce et, à chaque cycle d'amplification un certain pourcentage de fragments est stoppé par l'incorporation d'un ddNTP lors de l'élongation. Il en résulte une amplification unidirectionnelle, dont la cinétique n'est pas sigmoïde (comme pour une amplification "classique"), mais linéaire. Selon que le marquage des ddNTP est radioactif ou fluorescent, l'amplification des séquences se fait dans une ou quatre réactions PCR. Le séquençage est bien évidemment, la principale technique de détection du polymorphisme de l'ADN. Il est très largement utilisé, notamment pour des études phylogénétiques au travers du séquençage de l'ADN mitochondrial (ADNmt). Dans le cadre des espèces domestiques, Loftus *et al.* (1994) et Luikart *et al.* (2001) ont mis en évidence plusieurs centres de domestication des races bovines et caprines, au travers du séquençage de portions de l'ADNmt. Le séquençage selon (Klungland et Vage, 1999 ; Lagziel *et al.*, 2000) est bien évidemment un passage obligé pour obtenir la séquence de gènes économiquement importants et pour mettre en évidence leur polymorphisme.

4- Marqueurs génétiques

Le développement de la biologie moléculaire et l'étude fine des génomes a permis le développement d'outils adaptés aux études de génétique. Les marqueurs les plus anciens, les isozymes, présentent le défaut de ne pas être toujours suffisamment polymorphes pour permettre l'étude des populations. Les marqueurs nucléaires, dont le nombre va croissant des Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP), Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD), Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP), aux microsatellites et récemment les Polymorphismes simples des nucléotides (SNP). Ces marqueurs ont fini par faire un large consensus en matière de génétique, en fonction de leurs avantages respectifs. Bien que perçus initialement comme un outil ouvrant des perspectives dans l'amélioration génétique chez les plantes (Lefort-Buson *et al.*, 1990a et 1990b), via la cartographie et la détection des QTL. Les marqueurs ont aussi trouvé leur utilisation pour toutes les études de génétique des populations et d'écologie, la génétique de la conservation et la recherche sur les ressources génétiques (Haig, 1998). Parmi les marqueurs moléculaires, les

microsatellites sont aujourd'hui très utilisés parce qu'ils présentent certains avantages, notamment la facilité d'emploi une fois que les amorces leurs donnant naissance ont été définies, polymorphisme élevé, codominance et hérédité mendélienne.

La variabilité génétique d'une population peut se mesurer par trois approches. Les coefficients de consanguinité et de parenté. Ces deux paramètres résument l'information généalogique. L'estimation de l'héritabilité d'un caractère synthétise la variabilité génétique restante dans la population. L'étude du polymorphisme, avec ses différentes variantes, décrit la variabilité génétique au niveau du génome. Ces critères servent à construire des outils de gestion de la variabilité génétique dans les populations (Rochambeau et *al.*, 2000). Durant les dernières décennies, il est apparu évident que les outils biochimique et moléculaire fournissaient des techniques de choix pour étudier les structures génétiques et l'histoire évolutive des organismes. La variabilité génétique existant dans la population peut être mesurée par les techniques biochimiques et moléculaires (Audiot, 1995) appliquées à l'analyse des polymorphismes non visible à l'éleveur sélectionneur et dont la mise en évidence est permise par la caractérisation des groupes sanguins, des protéines du sang et du lait, des enzymes ou des nucléotides. Elles permettent d'observer de façon plus ou moins fine, le polymorphisme de séquences de l'ADN au niveau d'un certains nombre de sites ou de loci repartis sur le génome. Les marqueurs biochimiques révèlent le polymorphisme de séquences de certaines protéines et donc, de façon indirecte le polymorphisme des séquences d'ADN à partir desquelles les protéines sont traduites. Alors que les marqueurs moléculaires révèlent directement le polymorphisme de l'ADN, les séquences ciblées correspondant ou non à des séquences codantes. L'application des méthodes développées de la génétique des populations, a ouvert de nombreux champs d'investigations dans le cadre des études des populations vivantes. Dans cette section l'accent sera mis sur les principes et les applications de marqueurs moléculaires.

4.1- Marqueurs biochimiques

C'est grâce à la technique de l'électrophorèse sur gel qu'il a été possible de mettre en évidence les variantes protéiques (allozymes). Cette technique est basée sur une migration différentielle des protéines à travers un gel sous l'effet d'un champ électrique. La migration est alors fonction de la conformation et du poids moléculaire des protéines et de la charge électrique globale. Les études des allozymes deviennent alors un outil standard pour l'analyse de la variation biochimique et fournissent le premier moyen non biaisé d'estimer la variabilité

du génome. Ces marqueurs ont été et sont encore largement utilisés pour des études de génétique des populations. Grosclaude et *al.* (1990) ont étudié 13 allozymes dont 11 loci des groupes sanguins afin d'analyser les relations génétiques entre 18 races bovines françaises. Cette étude a permis la distinction entre quatre sous-groupes de races cohérents avec les données historiques et géographiques. De même Randi et *al.* (1991) ont utilisé la technique des allozymes pour préciser les relations évolutives entre différentes espèces animales d'élevage.

4.2- Polymorphisme de Longueur des Fragments de Restriction (RFLP)

La découverte d'enzymes de restriction bactériennes (endonuclease) a permis le développement de nouvelles techniques d'exploration de l'ADN, basées sur la coupure spécifique de séquences nucléiques par ces endonucleases (Bostein et *al.*, 1980). Ces enzymes, dont plusieurs centaines ont été découvertes, coupent l'ADN au niveau de sites présentant une séquence spécifique. A partir de cette approche, la technique appelée RFLP a été développée. Cette méthode est basée sur la digestion de l'ADN, une séparation par taille des fragments d'ADN sur gels d'électrophorèse et une visualisation de séquences spécifiques d'ADN en utilisant des sondes marquées par radioactivité ou par des molécules fluorescentes. La méthode des RFLP initialement, n'a été utilisée que très rarement dans le cadre des espèces domestiques. Il fallait attendre l'association de cette technique avec la PCR pour que cette méthode prenne la place qu'elle occupe aujourd'hui dans l'étude du polymorphisme (Klungland et *al.*, 1995 ; Lagziel et *al.*, 2000).

4.3- Amplification Aléatoire d'ADN Polymorphe (RAPD)

Williams et *al.*, (1990) ont défini la RAPD comme un autre type de marqueurs moléculaires récemment développé reposant sur la mise en évidence du polymorphisme généré par l'amplification aléatoire de fragments d'ADN grâce à des amorces dont les séquences ont été définies arbitrairement. Son principe repose sur l'utilisation d'amplification PCR d'amorces d'une dizaine de bases de séquence aléatoire et pouvant s'hybrider en plusieurs endroits du génome. Cette méthode est utilisée couramment en cartographie génétique des plantes et ont été employés chez les animaux pour des études de diversité génétique (Pitel et Riquet, 2000). Rincon et *al.* (2000) ont utilisé cette technique pour l'étude de la variabilité génétique des races bovines.

4.4- Polymorphisme de Longueur des Fragments Amplifiés (AFLP)

Les AFLP sont des marqueurs moléculaires nucléaires dominants qui mettent en évidence un polymorphisme de sites de restriction et un polymorphisme d'hybridation d'amorce arbitraire. Ils sont reproductibles et révèlent un grand nombre de locus, régulièrement répartis sur le génome et très polymorphes. La technique des AFLP a été mise au point en 1995 (Vos et *al.*, 1995). Elle est apparentée à la technique des RAPD et basée sur une amplification sélective de fragments de restriction obtenus par digestion d'ADN génomique. Le principe général de cette technique repose sur trois phases successives : une digestion-ligation, une amplification pre-sélective et une amplification sélective. Dans un premier temps, l'ADN total est digéré à l'aide de deux enzymes de restriction. La première de ces deux enzymes sectionne fréquemment l'ADN, la deuxième de façon plus rare. Des adaptateurs double brin, spécifiques des extrémités issues des coupures enzymatiques, sont ensuite fixés aux extrémités cohésives de l'ADN grâce à une ADN ligase. Afin de réduire le grand nombre de fragments d'ADN engendrés par la digestion, deux amplifications sélectives successives sont ensuite réalisées. La première, dite amplification pre-sélective est effectuée grâce à des amorces complémentaires des adaptateurs et du site de coupure des amorces auxquelles ont été ajoutés en 3' une base sélective (nucléotide supplémentaire arbitraire). Ces amorces se fixent sur les extrémités pourvues d'un adaptateur et permettent une amplification par PCR et une réduction par 16 du nombre de fragments. Le produit de l'amplification pre-sélective est à nouveau amplifié (amplification sélective) grâce à deux types d'amorces présentant la même organisation que celles utilisées lors de la phase précédente, mais possédant deux bases sélectives supplémentaires (soit trois au total). Cette seconde amplification réduit de nouveau par 256 le nombre de fragments de restriction. L'amorce spécifique du site de l'enzyme EcoRI présente en 5' une extension fluorescente détectable sur séquenceur automatique. Après migration sur un gel de polyacrylamide, entre 30 et 200 fragments de 50 à 500 pb sont visibles (fragments ayant au moins un site de coupure EcoRI). En faisant varier la composition des bases sélectives, un grand nombre de couples d'amorces sélectifs est disponible. Tout comme la technique des RAPD, celle AFLP ne requiert aucune connaissance préalable du génome étudié, synthèse d'amorces ou caractérisation de sondes. Elle permet ainsi une mise au point rapide, présente une bonne reproductibilité et génère une grande quantité de marqueurs (Vos et *al.*, 1995 ; Ajmone-Marsan et *al.*, 1997). Ajmone-Marsan et *al.* (1997) montrent qu'au travers l'utilisation du couple enzymatique EcoRI/MseI, les AFLP peuvent générer des marqueurs codominants et un très fort polymorphisme au sein

des races bovines. Ils suggèrent d'utiliser ces marqueurs pour les études de diversité génétique et de parenté des races domestiques.

4.5- Minisatellites

Jeffreys *et al.* (1985) ont découvert au niveau du génome un type de marqueurs moléculaires polymorphes connus sous le nom de minisatellites hypervariables. Ces marqueurs sont constitués des répétitions en chaîne d'un motif formé de 15 à 70 nucléotides. Les minisatellites appartiennent à la classe des VNTR (Variable Number Tandem Repeat), et présentent un polymorphisme de taille dû à la variation du nombre d'unités de répétition qui les constituent. L'évolution du nombre de copie du motif constituant le minisatellite est relativement rapide et s'explique par des crossing-over inégaux durant la méiose. Ces éléments sont très largement représentés et distribués dans le génome des mammifères avec une fréquence moyenne d'apparition d'un minisatellite tous les 100 kb. La technique permettant d'étudier ces éléments a été nommée empreinte génétique (DNA fingerprinting) et a été largement employée dans des problèmes de génétique des populations. Ainsi (Trommelen *et al.*, 1993) proposent les minisatellites comme outil d'identification des paternités chez les bovins. Néanmoins, des difficultés concernant les quantités d'ADN requises, la visualisation et l'identification des marqueurs ont rapidement limité l'utilisation de cette technique.

4.6- Microsatellites

Généralement, le polymorphisme au niveau de l'ADN peut être classé en trois types, les variations ponctuelles, les réarrangements de séquence et les variations de nombre de répétitions de séquences anonymes ou les VNTRs. Une part considérable (30 à 40%) du génome des mammifères est composée de séquences répétées. Ces dernières sont aussi classées en trois catégories : les LINES (long interspersed elements), les SINES (short interspersed elements) et les ADN satellites. Ces derniers présentent une organisation particulière de motifs variants en taille d'un à plusieurs nucléotides et répétés un certain nombre de fois en tandem. Empiriquement, quatre classes de séquences d'ADN satellites sont distinguées en fonction de la longueur de l'unité répétée : les satellites (des milliers de bases), les midisatellites (quelques centaines de bases), les minisatellites (quelques dizaines de base) et enfin les microsatellites (quelques nucléotides). Ce sont des séquences de 2 à 6 bases, présentes par dizaines de milliers dans tout le génome (Weber et May, 1989). La figure (6)

montre le détail d'un microsatellite ou STR (Simple Tandem Repeats). Ces marqueurs sont notamment considérés comme outils pour estimer la ségrégation aux loci (déficit ou excès d'hétérozygotes) ou la recombinaison entre les loci, processus fortement affectés par les systèmes de reproduction pratiqués chez les populations naturelles. Canon et *al.* (2001) mentionnent au moins trois avantages de ce type de marqueurs : i) ils sont largement disponibles, ii) ils sont en général très polymorphes, et iii) ils sont supposés être neutres vis-à-vis du processus de sélection, la diversité génétique observée étant la conséquence de deux forces : dérive génétique et mutation. Ils sont localisés, pour la grande majorité, dans les régions non codantes du génome, dont le nombre de répétition s'avère être très variable selon les individus. Il existait environ 35.000 de ces séquences dans le génome humain et qu'elles étaient réparties avec une fréquence d'une fois tous les 100 kb (Weber, 1990). Au sein du génome des mammifères, le motif microsatellite le plus répandu est le dinucléotide CA/GT. Ces régions peuvent être amplifiées par PCR et les variations de longueur des fragments amplifiés peuvent être mises en évidence par des techniques d'électrophores. De cette façon, les microsatellites fournissent des marqueurs codominants et pouvant présenter un très grand nombre d'allèles. Le taux moyen de mutation pour un microsatellite de mammifère a été évalué à plus d'une mutation par locus et pour 1000 générations (Weber et Wong, 1993). Depuis quelques années, un très grand nombre de loci microsatellites est disponible dans les banques de séquences d'ADN, plusieurs milliers de ces marqueurs ont été publiés chez les races domestiques. Depuis quelques années, différents programmes européens ont développé des "kits" microsatellites pour chacune des races domestiques à forte importance économique. Ces loci ont été sélectionnés à partir de banques de données génétiques, en fonction de leur polymorphisme, de leur facilité d'amplification et de leur niveau informatif. Ainsi, une trentaine de loci microsatellites a été sélectionnée pour chacune des espèces étudiées (Luikart et *al.*, 1999). Pitel et Riquet (2000) ont signalé que ces marqueurs interviennent dans la plupart des domaines de la génétique moléculaire animale, à la caractérisation des ressources génétique animales, à l'établissement des cartes génétiques et à la recherche des QTL.

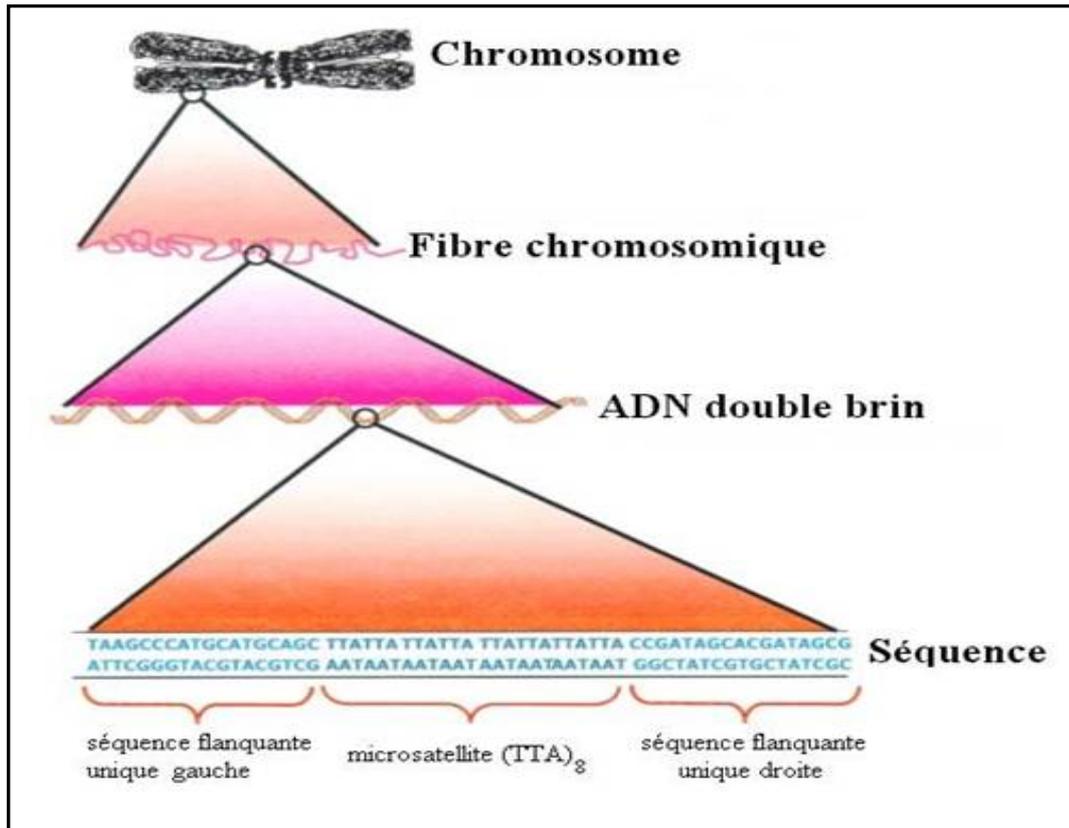


Figure 6 : Détail d'un microsatellite

4.7- Polymorphisme de simple nucléotide (SNP)

Les SNP ce sont des marqueurs moléculaires constituant la forme la plus abondante de variations génétiques dans le génome humain. Ils représentent plus de 90% de toutes les différences entre individus. C'est un type de polymorphisme de l'ADN dans lequel deux chromosomes diffèrent sur un segment donné par une seule paire de bases. De nombreux SNP ont été mis en évidence lors de l'étude de sujets sains et malades portant des allèles différents d'un gène donné. Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes pour mettre en évidence des différences d'un nucléotide. Une des plus performante actuellement et qui paraît offrir de grandes que la traçabilité est un sujet de préoccupation majeur dans l'industrie agro-alimentaire. Dans ce cadre, les technologies liées à l'ADN peuvent être utiles. En effet, d'une part, toutes les cellules d'un animal possèdent la même information génétique et, d'autre part, celle-ci est propre à l'individu. En plus, l'ADN possède des régions polymorphes qui servent de marqueurs génétiques (China et *al.*, 2001). Parmi ceux-ci, deux sont particulièrement utilisés en matière de traçabilité génétique : il s'agit des microsatellites et des mutations ponctuelles (SNP). Les inconvénients des SNP sont leur faible degré de polymorphisme par

rapport aux microsatellites, ce qui implique de tester plus de SNP que de microsatellites pour avoir la même information, mais aussi le caractère population-spécifique des SNP.

CHAPITRE V : CARACTERISATION DE L'ELEVAGE CAMELIN EN TUNISIE

I- INTRODUCTION

En milieu aride, le dromadaire est un animal domestiqué, au même titre que d'autres animaux d'élevage (ovin, caprin, équin, etc.) pour ses productions. Sa rusticité au milieu à faible productivité, son lait, sa viande et son travail sont très appréciés par les éleveurs, dont la vie en dépend dans le milieu désertique (Faye, 1997). En effet, le dromadaire est particulièrement adapté à ces types de milieux, qui, en dépit des maigres ressources alimentaires et des conditions éco-climatiques très hostiles, s'avèrent productifs. Malgré son incontestable intérêt pour la valorisation des zones désertiques, le dromadaire était resté une espèce négligée (Narjisse, 1989). Depuis quelques décennies, de nombreux chercheurs scientifiques de différentes régions du monde (australiens, asiatiques, méditerranéens, africains, américains, les pays du Golf) se sont intéressés à l'étude du dromadaire dans son milieu d'élevage.

En Tunisie, l'élevage constitue un des maillons importants de l'économie, en raison de sa multifonctionnalité. L'élevage du dromadaire fait partie intégrante de la production animale, son amélioration demeure un enjeu majeur, notamment pour assurer l'approvisionnement des populations en protéines animales. Les connaissances acquises sur les dromadaires demeurent toutefois insuffisantes pour optimiser leur production. Cet état de fait devrait nous inciter à rechercher la promotion des pratiques d'élevages inspirées des savoir-faire des éleveurs et mobiliser des moyens en vue de faire développer notre population cameline et accroître leur production et productivité. Il nous paraît tout d'abord indispensable, dans ce chapitre de caractériser l'élevage du dromadaire à partir des données recueillies sur terrain dans les zones de notre étude. Les axes de cette caractérisation s'articulent autour des :

- Différents types camelins élevés selon leur répartition socio-géographique dans leurs systèmes et modes d'élevage.
- Pratiques des éleveurs régissant les activités d'élevage.
- Potentialités productives et des perspectives prometteuses de l'espèce cameline.
- Majeures contraintes de l'épanouissement de cet animal.

Cela pour mettre en relief les atouts que constitue cette espèce animale dans les zones arides et semi arides au Sud tunisien.

II- MATERIEL ET METHODES

1- Présentation et choix des zones de l'étude

Cette étude a été réalisée sur des troupeaux camelins se trouvant dans les parcours de régions (Tataouine, de Kebili et de Médenine) à densité cameline élevée. Ces trois régions constituent les berceaux principaux de l'élevage camelin dans le pays (figure 9). Les éleveurs dans ces zones détiennent 83% de l'effectif national, respectivement 22091 (43%) unités femelles 10938 (22%) unités femelles et 9237 (18%) unités femelles pour Tataouine, de Kebili et de Médenine. Sgheir (2003) a signalé que plus de 70% des éleveurs se concentrent à Tataouine, Kebili et Médenine respectivement avec les pourcentages 45%, 11% et 15%. D'où notre choix pour ces trois régions qui s'est basé essentiellement sur l'importance de l'effectif et la masse des éleveurs.

Sur le plan éco-climatique, les régions arides tunisiennes s'étendent de la mer méditerranéenne jusqu'au grand Erg oriental. Dans cette zone limitée par la mer méditerranée et le désert, en passant par Jbels Matmata à Tataouine, se trouve une large gamme de variantes de ressources naturelles affectant l'état des parcours et par la suite les élevages spécifiques à ces écosystèmes marqués par l'aridité de son climat et par la dominance de l'activité agro-pastorale (Nasr, 1995). D'une manière générale, la zone aride tunisienne est occupée par des paysages steppiques, dont le trait commun est l'aridité (Firchichi, 1996). Les principaux parcours collectifs de la zone aride s'étendent sur la plaine Djefara, d'El-Ouara et le plateau du Dhahar recevant entre 50 et 150 mm de pluie par an (Nasr et *al.*, 2000).

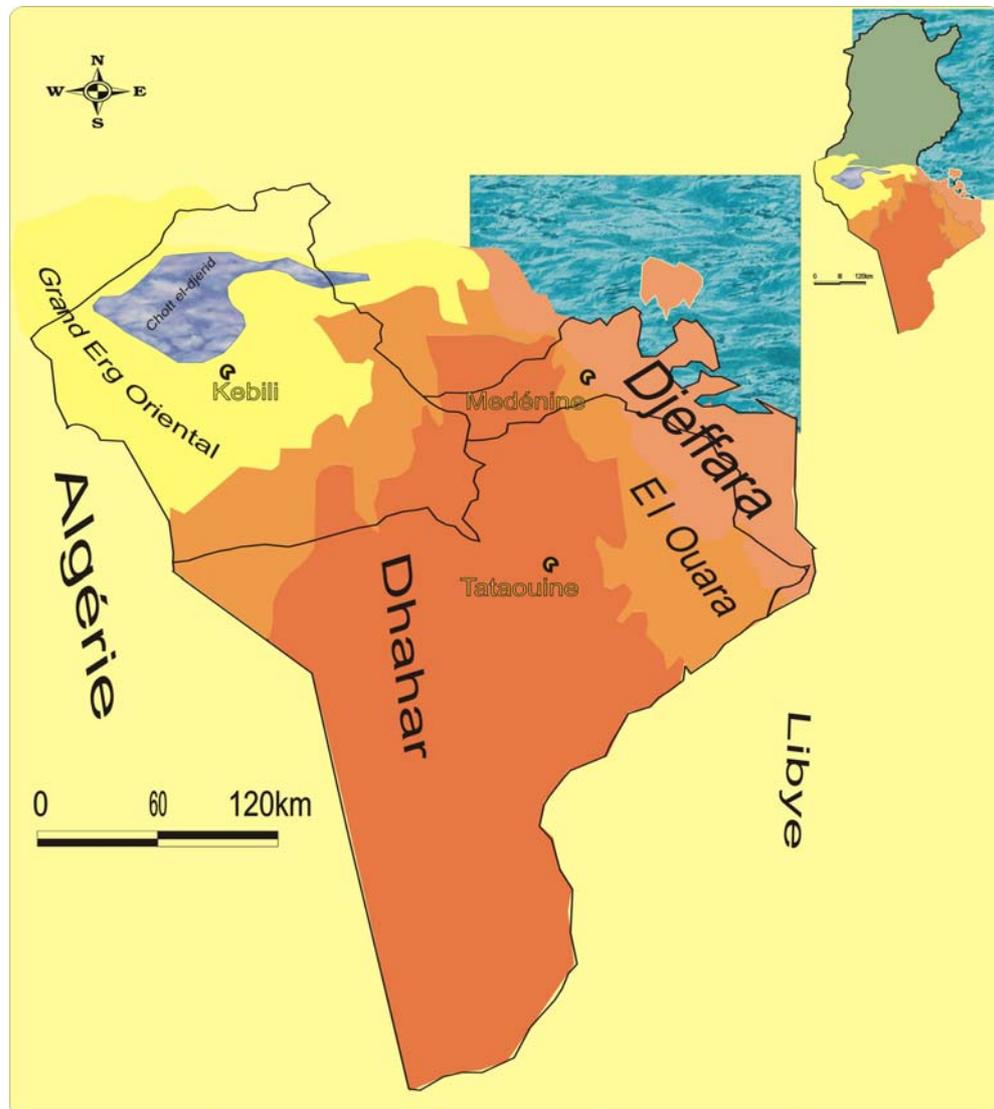
Plaine Djefara : La plaine de la Djefara forme une langue de terre de faible altitude, 100 mètres en moyenne. Elle s'étend sur 400 kilomètres, du Sud de la ville de Gabès jusqu'en Libye, bordée à l'Est par la mer Méditerranée et à l'Ouest par la chaîne des Matmata. Ce massif montagneux est orienté du Nord au Sud et son altitude varie entre 400 mètres et 682 mètres en son point culminant. Il présente à l'Est des reliefs abrupts et fortement érodés, offrant un paysage de canyons et de piémonts. Dans sa partie Ouest, la cuesta descend progressivement jusqu'au grand Erg Oriental ce qui lui confère l'appellation de *Dhahar* (Cialdella, 2005).

Plateau Dhahar : s'étale du Nord de Matmata au grand Erg Oriental à l'Ouest dont la limite septentrionale a été matérialisée par la ligne virtuelle reliant Matmata à Bir Sultane, et les Erg des M'razigues sa limite méridionale, il couvre environ 1 235 500 hectares répartis entre les quatre gouvernorats du Sud (Tataouine 980 500 ha, Kebili 118 000 ha, Médenine 75 000 ha et

Gabès 62 000 ha). Le Dhahar est un grand espace pastoral dont les limites physiques sont imprécises. Ces parcours peuvent être classés dans la catégorie des parcours à rythme saisonnier d'utilisation. Cette situation est due à plusieurs facteurs qui sont, le schéma pluviométrique de l'année et les conditions écologiques et la proximité des points d'eau.

(Elloumi et *al.*, 2001).

Plaine d'El Ouara : Située au Sud de la Tunisie, à la frontière Tuniso-libyenne, la plaine d'El Ouara constitue avec le plateau du Dhahar les principaux parcours collectifs du Sud-Est tunisien. Ces parcours couvrent ensemble plus de 1000.000 hectares dont environ 400.000 hectares à El Ouara. Ces parcours collectifs sont exploités par les agropasteurs du gouvernorat de Tataouine, de Médenine, de Kebili et parfois par des éleveurs des autres régions (Gabès, etc.).



Carte 3 : Localisation géographique de parcours

2- Collecte des données

A l'heure actuelle, les données disponibles sur les camelins et leurs propriétaires sont élémentaires et fragmentaires. Donc les enquêtes zootechniques et socio-économiques s'avèrent actuellement un moyen indispensable pour générer une quantité importante d'informations relatives aux dromadaires et leurs propriétaires en Tunisie. Cette étude a reposé sur l'investigation auprès des éleveurs à travers des questionnaires d'enquêtes. Le questionnaire est complété par des observations occasionnelles directes sur terrain et des informations recueillies de différentes sources (Vétérinaires et techniciens d'élevage, abattoirs et marchés).

Méthodologiquement, l'étude des dromadaires et leurs performances zootechniques présente une complexité de mise en œuvre de certaines mesures due essentiellement à la grande mobilité des animaux et parfois à l'agressivité de l'animal. Sachant que l'obtention des résultats expérimentaux fiables nécessite la mise en place d'un dispositif protocolaire lourd.

Les enquêtes habituelles proposent les questions et en même temps les réponses à choisir. Au-delà de l'habituel, dans cette étude la collecte des données a consisté à un dialogue où le chercheur d'informations (enquêteur) ne reste pas prisonnier d'un guide pré-établi. Il est plutôt orienté par les réponses de son interlocuteur (éleveur ou enquêté), tout en restant pleinement dans le sujet de l'étude. L'enquête a été menée auprès des élevages camelins dans les zones de l'étude précitées. Au total 75 éleveurs ont été enquêtés sur une durée de trois mois (Mars, Avril et Mai, 2005). Des observations directes ont été faites en plus des dialogues effectués avec les éleveurs. Cela pour mieux comprendre les pratiques de gestion des dromadaires dans leurs systèmes d'élevage et identifier les majeures contraintes de cet élevage. Le questionnaire élaboré couvre des aspects de la production, la conduite des troupeaux, les pratiques socioculturelles d'élevage (santé, alimentation, commercialisation) et des informations sur les ressources génétiques camelines. La connaissance de ces paramètres aidera à orienter l'établissement d'un schéma de conservation et d'utilisation rationnelle des ressources camelines en Tunisie. Ce qu'il faut souligner c'est que l'enquête n'a pas été facile surtout au départ, vue la réticence des éleveurs, mais petit à petit et avec la présence des techniciens d'élevage et vétérinaires les contacts sont devenus plus aisés et plus sereins. Lors de nos sorties sur terrain nous avons bénéficié de l'appui logistique des agences régionales de l'Office de l'Elevage et des Pâturages.

3- Traitement des données

C'est l'étape la plus délicate de ce travail puisqu'elle consiste à un croisement de deux sources d'informations: les connaissances séculaires des éleveurs et le savoir scientifique. Ce croisement n'est qu'un rapprochement de ces deux visions, afin de comprendre les raisons et la logique de mise en œuvre des pratiques. En dépit de quantité des informations collectées, il était apparu nécessaire d'en faire une élimination afin de ne retenir que des informations pertinentes qui pourraient présenter un intérêt aussi bien pour le développement que pour la recherche. Les données ont été analysées en utilisant le logiciel SAS pour calculer les moyennes arithmétiques, les écarts types et les distributions de fréquences de différentes variables.

III- RESULTATS ET DISCUSSION

1- Caractéristiques générales de l'élevage camelin

Dans les systèmes d'élevage camelin au Sud tunisien les éleveurs sont souvent pluriactifs et les interventions sur les troupeaux et sur les pâturages sont minimales. La reproduction se fait par monte naturelle et le choix des reproducteurs mâles se porte préférentiellement sur l'adaptation au milieu et aux conditions faiblement artificialisées. Une minorité d'éleveurs ayant recours à des techniques d'élevage modernes (par exemple 13% seulement des éleveurs enquêtés pratiquent le sevrage précoce des chamelons pour être engraisés).

1.1- Taille du troupeau

L'effectif total des dromadaires analysé est de l'ordre de 5882 têtes détenues par 75 éleveurs. Les tableaux 5 et 6 résument les répartitions des effectifs des dromadaires et des éleveurs selon la région.

Tableau 5 : Répartition de l'effectif selon la région

Région	Effectif (tête)	Pourcentage	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Kebili	2924	49,7	86	63	14	250
Médenine	1638	27,8	78	36	09	120
Tataouine	1320	22,5	66	39	10	125
Total	5882	100	79	50		

Tableau 6 : Répartition des éleveurs selon la région

Région	Nombre des éleveurs	Pourcentage
--------	---------------------	-------------

Kebili	34	45
Médenine	21	28,5
Tataouine	20	26,5
Total	75	100

Les tableaux 5 et 6 montrent que l'effectif et le nombre des éleveurs sont plus importants dans la région de Kebili que les deux autres régions de l'étude. Cette différence s'explique par la facilité d'accès à l'information à Kebili.

Pour l'ensemble de l'échantillon, la taille du troupeau présente une grande variation entre les éleveurs de toutes régions confondues, il y a des troupeaux qui vont de 9 à 250 têtes la taille moyenne est de l'ordre de 79 têtes. La taille moyenne du troupeau par région est de 66, 78 et 86 têtes à Tataouine, Médenine et Kebili, respectivement. Figure 7 montre que selon la taille des troupeaux quatre strates peuvent être distinguées à l'intérieur de chaque région (≤ 15 têtes, 15 à 50 têtes, 50 à 100 têtes et >100 têtes). La répartition des troupeaux selon la taille laisse voir des situations diversifiées. Dans la région de Kebili la répartition du cheptel montre une majorité (36%) des éleveurs qui détiennent des troupeaux ayant une taille de 15 à 50 têtes avec une importante proportion des éleveurs (32%) ayant des troupeaux de taille supérieure à 100 têtes. Pour Tataouine la répartition est plus ou moins déséquilibrée avec une majorité (38%) des éleveurs ayant des troupeaux de taille allant de 15 à 50 têtes. Alors que Médenine le pourcentage majoritaire (43%) des éleveurs possède des troupeaux de tailles plus importantes de 50 à 100 têtes.

Il se dégage de cette stratification selon la taille des troupeaux camelins les remarques suivantes:

L'appartenance des troupeaux de la première (≤ 15 têtes) et la deuxième strate (15 à 50 têtes) concernent essentiellement, la catégorie des bergers-éleveurs qui constituent leurs propres troupeaux en parallèle du gardiennage du cheptel de leurs employeurs. Ainsi, certains éleveurs "investisseurs" qui ont constitué leurs troupeaux camelins par achat des animaux et les confient aux bergers.

Les deux dernières strates (50 à 100 têtes) et (> 100 têtes) regroupent les troupeaux de grande taille surtout ceux des éleveurs qui ont hérité leurs camelins de leurs ancêtres et ceci peut remonter jusqu'à plusieurs générations.

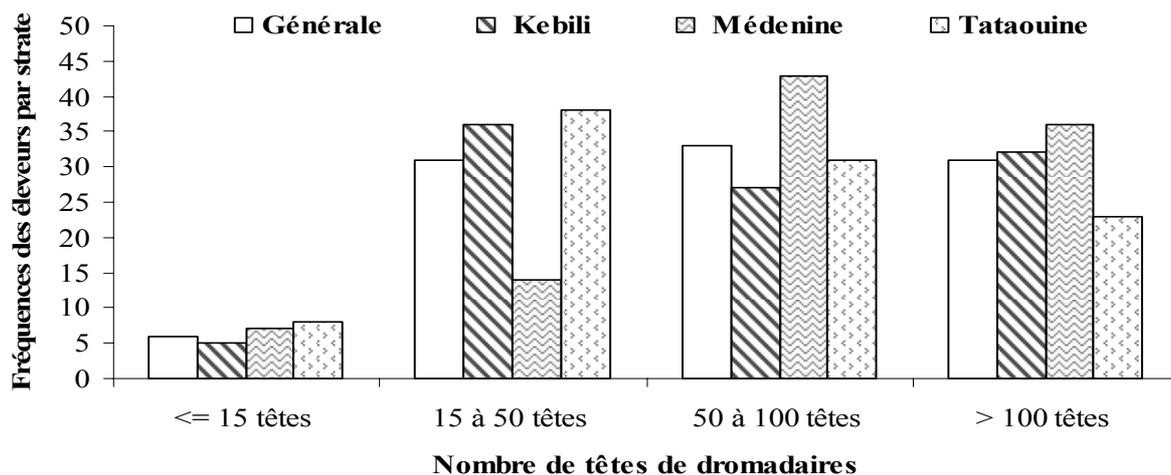


Figure 7 : Distribution des éleveurs selon la strate

1.2- Gardiennage du troupeau

L'élevage camelin est conduit d'une manière extensive, suivant deux types de gardiennage. Le gardiennage salarié où l'éleveur recrute un berger salarié qui s'occupe du troupeau contre un salaire variable de 250 à 300 DT/mois. Dans le gardiennage salarié on peut trouver deux formules. Dans la première formule, les éleveurs de gros troupeaux confient leurs animaux à un berger, alors que dans la deuxième formule, de nombreux éleveurs recrutent un berger qu'ils prennent en charge pour assurer le gardiennage de leurs troupeaux. Le berger peut, parfois, être propriétaire des dromadaires dans le troupeau qu'il garde. Le gardiennage familial, ce type est rencontré chez certains éleveurs, qui chargent généralement, un ou plusieurs membres de la famille pour le gardiennage et la gestion du troupeau.

1.3- Conduite et gestion des troupeaux camelins

L'étude a révélé que 88 % des éleveurs associe à l'espèce cameline les petits ruminants. Les éleveurs des régions enquêtées visent à ce propos la diversité et la complémentarité de la production, ainsi que l'exploitation des différentes ressources fourragères disponibles. Les résultats de l'enquête montrent que la gestion des troupeaux camelins dans le Sud tunisien reste fortement soumise à la tradition et à l'expérience séculaire des éleveurs, ce qui peut être considéré comme un atout, mais qui constitue également un frein au développement de la production cameline. Le dromadaire est conduit de façon (faibles intrants) permettant d'exprimer des performances zootechniques acceptables et exploitables par les éleveurs. Cette étude a montré que dans tous les élevages camelins nous retrouvons les types locaux choisis en raison de leurs aptitudes à vivre et à se développer dans des conditions climatiques et

sanitaires difficiles. La finalité de l'élevage fut longtemps et reste encore une affaire de positionnement social et une forme de capitalisation. En effet, la vente des animaux ne correspond pas habituellement à un raisonnement économique rigoureux mais doit permettre de faire face à des besoins exceptionnels (mariages, etc.) ou quotidiens. L'éleveur parfois vend les chamelons n'ayant pas atteint l'âge de commercialisation ou même des femelles adultes ou futures reproductrices. Cette manière de gestion influence la structure et la composition du troupeau. De ces considérations découle une dissociation entre les fonctions de gestion du troupeau et celles relatives à l'exploitation des produits camelins. Cette dissociation constitue un frein sérieux à l'intensification de la production cameline.

1.4- Sources des revenus des éleveurs

Les niveaux de revenus sont variés entre les régions et même intra région. Cette diversité s'explique par la diversification des sources de revenu (agricole et non agricole) et par leur importance dans la formation du revenu familial global. Ainsi le revenu peut être en majorité d'origine agricole ou inversement c'est-à-dire d'origine non agricole ou les deux à la fois. Dans certains cas c'est le revenu non agricole qui couvre le déficit occasionné par l'activité agricole étant donné les conditions climatiques difficiles. Une distinction nette est visible entre les éleveurs de dromadaires, concernant la contribution des productions végétales. Elle est insignifiante chez certains, alors qu'elle constitue une part considérable du revenu pouvant atteindre plus de 50 % dans la région de Nefzawa, vu le développement de l'activité phœnicicole dans la zone. Cette région se distingue aussi par l'importance des produits d'origine végétale en relation avec l'existence des cultures irriguées des oasis, tandis que les produits d'origine animale ne sont pas négligeables non plus. En général, et concernant la production animale, le Sud tunisien a connu des changements dans ce secteur surtout avec l'avènement de l'aviculture et l'extension de l'élevage bovin. Néanmoins, les effectifs des ovins, caprins et camelins demeurent les plus dominants dans les régions de l'étude et plus représentatif en terme de revenu familial. Les changements observés dans le secteur et dans les habitudes alimentaires plaident pour une croissance de la demande des produits d'origine animale. Les objectifs nationaux en matière d'élevage visent l'autosuffisance en produits d'origine animale, d'améliorer la qualité des produits, d'optimiser la gestion et la conservation des ressources génétiques animales avec une meilleure utilisation de l'espace tout en veillant à la protection de l'environnement.

2- Description des ressources camelines exploitées

La connaissance de notre patrimoine de dromadaires et l'identification des écotypes de cette espèce ont nécessité en premier temps une prospection des populations dans les zones d'élevage, sachant que, l'élevage camelin est très ancien en Tunisie. Cependant, les dromadaires restent encore sous-exploités et subissent des pressions liées entre autres à la croissance démographique, les exigences et la demande des marchés en produits d'origine animale et à des modes d'exploitation qui leurs sont préjudiciables. Ces différentes constatations et faits malheureusement réels nous ont incité à entreprendre un travail d'inventaire et d'évaluation préliminaire des ressources génétiques de cette espèce, bien que cette opération reste complexe et délicate. Cette complexité revêt de l'ambiguïté de la notion de race qui n'est pas encore définie chez les dromadaires, contrairement chez les autres espèces animales domestiques.

En Tunisie, les ressources camelines se présentent sous forme d'une mosaïque de types très hétérogènes n'ayant pas connu de sélection ou de travail d'amélioration génétique réfléchi. Cette population est un mélange des génotypes des croisements complexes entre les différents types. Certains éleveurs citent 2 ou 3 types dans la composition de leurs troupeaux. Mais, il existe toute une palette de situation où le génotype est mal déterminé. Les éleveurs parlent aussi de croisements tout venant non contrôlés. Ces métissages, les processus de sélection naturelle, les pratiques d'élevage et les orientations des éleveurs ont forgé cette population originale. Les dromadaires sont représentés par la population Maghrebi, qui existe dans tout l'Afrique du Nord (Ben Aissa, 1989 ; Hermas et *al.*, 1998). Maghrebi est représentée en Tunisie par différents types, qui sont polyvalents, élevés généralement pour la viande, le lait, la selle et d'autres services. Notons que les critères de classification ne sont pas encore standardisés chez les dromadaires. Mais, habituellement, la classification se fait en fonction de : taille (lourde ou légère), zone d'habitat (plaine ou montagne), couleur de la robe comme en Arabie Saoudite, Tribu comme au Soudan. Ils sont généralement, divisés en trois types à savoir les dromadaires de course, de transport et mixtes (Islam et Osman, 2005). Dans cette étude, les dromadaires sont décrits selon la couleur de la robe et classés suivant la dénomination, l'appartenance sociale et la localisation géographique.

2.1- Couleur de la robe

La couleur de la robe entre dans les standards de certaines races animales, chez le bovin est souvent une caractéristique de l'appartenance raciale d'un animal (Girardot et *al.*, 2003).

De plus, elle joue incontestablement un rôle esthétique et il existe une préférence pour certaines couleurs dans les élevages et même sur le marché. Al Motairy et Hashimi (1988) ont signalé que chez beaucoup de tribus arabes, la couleur de la robe représente un critère de distinction entre les dromadaires. Ainsi, en Arabie Saoudite, le type *Maghateer* (مغاتيير) regroupe des dromadaires de robe blanche claire et le type *Mejaheem* (مجاهيم) regroupe des couleurs sombres. Dans ce cadre, il nous a paru important de préciser les principales couleurs de robe rencontrées dans les élevages camelins en Tunisie. Sur un échantillon de 128 individus sur lesquels des prélèvements sanguins ont été faits, les principales couleurs de la robe rencontrées dans les élevages se répartissent comme dans le tableau 7.

Table 7 : Principales couleurs rencontrées dans les élevages camelin dans le Sud Tunisien

Couleur	Nombre des individus (têtes)	Pourcentage
Hamra	60	47
Safra	37	29
Chegra	14	11
Zarga	8	06
Beydha	06	05
Hajla	03	02
Total	128	100

2.1.1- Hamra : حمراء

Les éleveurs qualifient la couleur de poils de cette robe rouge foncée ou brune et uniforme (Photo 1). C'est la robe dominante (47%), très appréciée et très demandée par les éleveurs. La préférence de celle-ci est justifiée chez certains éleveurs par des raisons esthétiques et parfois religieuses (la chamelle du prophète a été de couleur rouge). Chez d'autres éleveurs, le dromadaire ayant la robe rouge est considéré comme le plus adapté à l'environnement (résistance aux maladie et tolérance à la sécheresse). La robe de Hamra est très appréciée pour la qualité de ses poils surtout pour la confection des objets traditionnels.

2.1.2- Safra : صفراء

De couleur jaunâtre blondâtre et uniforme (Photo 2). Elle est fréquente (29%) dans les élevages de toutes les régions étudiées et parmi les robes les plus préférées par les éleveurs.

2.1.3- Chegra : شقراء

A pelage rougeâtre claire (Photo 3). Elle est rencontrée dans tous les élevages et dans toutes les régions du Sud tunisien (11%). Cette robe est plus ou moins appréciée par les éleveurs.

2.1.4- Hajla: حجلة

Elle se caractérise des autres robes par une tête et des membres de couleur blanche, elle est aussi très appréciée esthétiquement, mais sa fréquence est réduite dans les élevages (Photo 4). Considérée par certains éleveurs, un porte bonheur du troupeau.

2.1.5- Beydha : بيضاء

A pelage blanchâtre (grise très claire ou blanche) dans sa totalité (Photo 5). Elle est rare à trouver dans les troupeaux camelins (5%). Ce type est caractérisé par son comportement vif et parfois agressif et par sa sensibilité aux maladies.

2.1.6- Zarga : زرقاء

En réalité c'est la robe totalement noirâtre (Photo 6), mais souvent appelée Zarga celle ci est d'une préférence moindre par rapport aux autres couleurs. Certains éleveurs l'éliminent carrément de leurs troupeaux. Les individus ayant cette robe ne sont pas sensibles aux maladies.

Ces importantes variations observées dans la couleur de la robe (Hamra, Safra, Beydha, Chegra, Zarga etc.) et la structure du poil (ras et dur, mi-long et dur, ras et lisse, mi-long et lisse) de ces dromadaires montrent que la population des dromadaires en question est un mélange de sang qui n'est pas encore purifiée par sélection. La dominance de la couleur rouge, semble constituer un critère d'adaptation des dromadaires aux conditions environnementales arides tunisiennes selon les citations locales. Cette hypothèse mérite d'être bien étudiée, afin de mettre une relation entre l'adaptation et les mécanismes de coloration de robe chez les dromadaires.



Photo 1: Nega Hamra



Photo 2: Nega Safra



Photo 3: Nega Chegra



Photo 4: Nega Hajla



Photo 5: Nega Beydha



Photo 6: Nega Zarga

(Photos prises par Ould Ahmed 2005)

2.2- Dénomination sociogéographique

Plusieurs noms sociogéographiques ont été identifiés dans chaque région pour la distinction entre les différents types camelins exploités. Les noms des races sont liés à la zone géographique ou la tribu qui leur est attachée. En effet, les populations camelines dans les zones de l'étude appartiennent à deux rameaux géographiques: Nefzawa et l'Aaradh, qui compte toutefois chacun plusieurs noms.

2.2.1- Rameau de Nefzawa

2.2.1.1- Merzouguia : مرزوقية

Distribution géographique : C'est le type élevé par la tribu de M'razig. Cette tribu est reconnue par l'élevage de dromadaires dans la région de Nefzawa. C'est l'animal le plus répandu dans la zone (Photo 7).

Utilisation et aptitudes : Ce type est utilisé principalement pour la production de viande et du lait et secondairement pour divers services comme la selle, le bât et l'attraction. La femelle a une aptitude laitière moyenne environ 2 à 3 kg de lait par jour. Ce type a aussi une aptitude moyenne en production de viande. C'est un type qualifié de multifonction.



Photo7: Nega Merzougua (*Photo Ould Ahmed 2005*)

2.2.1.2- G'oudia: قعووديةة

Distribution géographique : Ce type est relatif à la tribu de G'oud "Ghrib" dans la région de Kebili (Photo 8). L'actuelle "G'oudia", s'agissant en réalité d'un hybride issu d'un croisement entre les femelles "G'oudia", reconnues par leur fertilité et leur productions satisfaisantes en viande et en lait, et les mâles "Targui". Selon les éleveurs, ce croisement a eu lieu après l'installation d'un centre de monte par les français à Douz au cours des années 40 dans le but d'une amélioration de ce type local.

Utilisation et aptitudes : Son allure est trapue, il a des poils durs et mi-longs avec parfois des touffes sur la bosse, la croupe, les épaules et aux cuisses. Ce type est reconnu par sa résistance à la sécheresse et par l'abondance de sa production en viande, lait et laine "Oubar".



Photo 8: Mâle G'oudi et Nega G'oudia (*Photo Ould Ahmed 2005*)

2.2.1.3- Mehari ou Targui : مهاري أو تارقي

C'est un animal fin avec des membres musclés et une petite bosse (Photo 9). Il est considéré comme excellent animal de course, comme son nom l'indique il est originaire de Touareg, sa robe est généralement claire (Safra ou Beydha). Il est introduit par les pasteurs de l'Algérie. Ce type est élevé pour les activités touristiques, surtout autour de la délégation de Douz. Il est parfois utilisé comme reproducteur chez certains éleveurs.



Photo 9: Mâles Targui (*Photo Ould Ahmed 2005*)

2.2.2- Rameau de l'Aaradh

2.2.2.1- Maghrebi : appelé aussi Ardhwai ou Arbi : مغربي أو عرضاوي أو عربي

Localisation géographique : Ardhwai désigne le type local élevé dans la zone de l'Aradh qui délimite essentiellement Médenine, Tataouine et Gabes.

Utilisation et aptitudes : C'est un type qualifié polyvalent ou mixte pour ses aptitudes moyennes en viande et en lait. Ce type se caractérise par diverses variantes de taille (légère à lourde) et des poils (mi-long au ras). Sa production laitière varie entre 2 à 5 litres par jour durant 8 à 12 mois de lactation. Il est le plus répandu dans toute la région (Photo 10). Il est le plus préféré par les éleveurs et considéré comme le véritable patrimoine génétique autochtone. L'attachement des éleveurs à ce type peut se justifier par son excellente adaptation aux conditions éco-climatiques hostiles et ainsi à sa multifonctionnalité.



Photo 10: Mâle Maghrebi et Nega Maghrebia (*Photo Ould Ahmed 2005*)

2.2.2.2- Khaouar: خوار

Localisation géographique: Ce type se trouvant reparti dans tous les élevages camélins dans les régions du Sud tunisien, mais il est de nombre très réduit (2 à 4) par troupeau.

Utilisation et aptitudes : C'est le type laitier par excellence (Photo 11), il est connu par une production laitière de quantité intéressante dépassant les 5 litres par jour dans les conditions extensives. Cet animal n'a encore jamais bénéficié d'une sélection rationnelle. L'utilisation des mâles reproducteurs de hautes valeurs génétiques de production laitière pourra augmenter significativement le rendement laitier de ce type. Il est caractérisé par une finesse extraordinaire de ses poils.

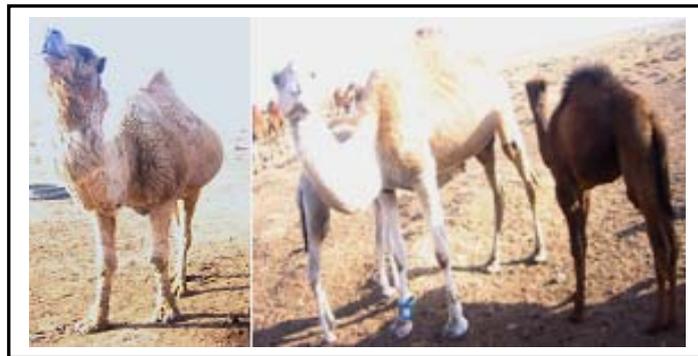


Photo 11: Mâle et Nega Khaouar (Photo Ould Ahmed 2005)

La reconnaissance d'un type peut être compliquée à cause du phénomène de métissage très fréquent dans les zones de l'étude, surtout dans la région de Kebili là où cohabitent plusieurs types. Il découle de cette constatation que la population cameline tunisienne est le résultat de plusieurs types génétiques principalement d'origine tunisienne (مغربية أو عربية), libyenne (شرفاوية), algérienne (تارقي أو مهاري), et soudanaise (سودانية) et d'autres. Les résultats de l'enquête montre que 85 % des géniteurs sont issus du troupeau, ce qui par conséquent expose la population au risque de la consanguinité. S'ajoute à l'origine du géniteur, l'utilisation des mâles dans les troupeaux pendant plusieurs campagnes consécutives (cette durée varie de 2 à 12 ans avec une moyenne de 7 ans) ce qui augmente les liens de parentés au sein des troupeaux. Ces résultats concordent avec ceux de (Moslah et Meghdiche, 1989) qui ont mentionné qu'en Tunisie, la pression la plus importante que subissent les ressources génétiques camelines est le mélange du sang entre les différents types conduisant à la formation de populations plus ou moins consanguines avec les défauts et les affectations qui en découlent. Cependant, (Faye, 1997) a signalé qu'un géniteur provenant de l'extérieur garantit l'introduction d'une certaine variabilité génétique dans le troupeau. Alors qu'un mâle issu du troupeau risque de féconder des femelles qui lui sont apparentées, cette consanguinité

pouvant être cause de stérilité ou de malformations. Par ailleurs, (Audiot, 1995) a signalé que l'objectif, pour la gestion des populations surtout à taille limitée, est d'éviter une élévation trop rapide de la consanguinité et la réduction concomitante de la variabilité génétique qui sont des conséquences aujourd'hui bien connues de la limitation des effectifs sur la structure génétique d'une population.

3- Systèmes et pratiques d'élevage camelin

Pour mieux évaluer les marges de manœuvre possibles en matière de développement de l'élevage camelin, il semble important de faire le bilan des connaissances sur les conditions d'élevage et les modes de conduite du cheptel camelin dans son ensemble et sur sa diversité tant du point de vue des structures et des exploitations que des logiques de productions poursuivies.

3.1- Systèmes d'élevage camelin dans le Sud tunisien

En examinant le mode de conduite des dromadaires en Tunisie, particulièrement dans son aspect alimentaire et sa finalité commerciale, on s'aperçoit qu'il y a deux types de systèmes d'élevage dans les régions de cette étude:

- Un système pastoral transhumant extensif.
- Un système intensif temporaire ou d'embouche.

3.1.1- Système pastoral transhumant extensif

Il est indéniable que l'élevage camelin demeure un trait culturel qui contribue à la vie socio-économique des éleveurs chameliers. En effet, la vie de certaines familles est inséparable de celle des dromadaires. Cela se justifie par la nature même de leur élevage qui est qualifié polyvalent. On comprend donc aisément les raisons qui font des dromadaires, un patrimoine cher pour les éleveurs, dont l'héritage constitue le principal mode de transfert d'une génération à une autre (Figure 8).

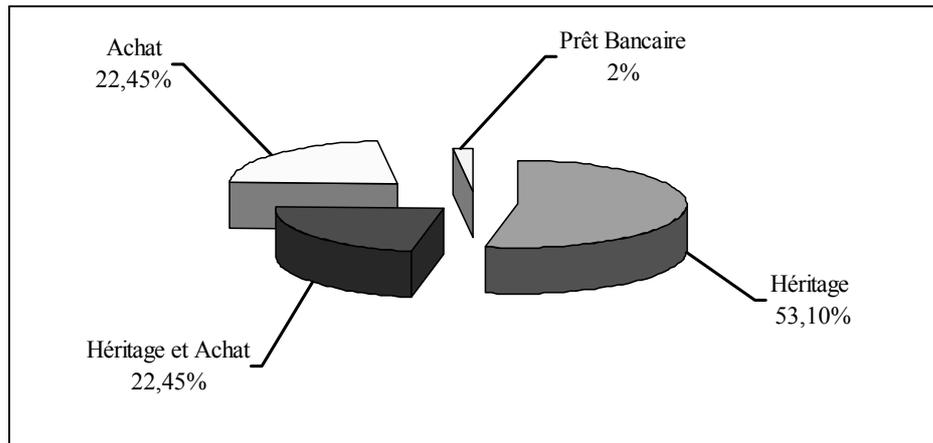


Figure 8 : Formule de propriété des troupeaux

L'héritage en terme ici n'est pas forcément les biens obtenus après la mort des parents. Lorsque l'homme atteint l'âge adulte, et dans la majorité des cas lorsqu'il est marié, le responsable de la famille prélève quelques têtes d'animaux qu'il lui donne pour constituer son propre élevage et devenir ainsi indépendant.

Dans ce système pastoral le cheptel est mixte chez 88 % des éleveurs, comprenant les camélins, les ovins et les caprins. Les ovins sont généralement, plus importants en nombre que les caprins. Les chamelles dominent largement les troupeaux car l'élevage camelin mise essentiellement sur la vente des chamelons pour la satisfaction des besoins sociaux. Hormis quelques bons géniteurs, qui sont maintenus dans les troupeaux. Ces considérations montrent que l'exploitation des mâles est beaucoup plus importante que celle de femelles dans ce système. Le système pastoral est un système entièrement extensif. Il se caractérise par la mobilité des animaux, pendant l'année à la recherche des pâturages naturels, dont les régimes et les ressources sont tributaires des conditions climatiques. En effet, la transhumance leur permet de riposter aux irrégularités climatiques grâce à un ajustement cyclique des déplacements des animaux aux rythmes des variations saisonnières des pâturages dans l'espace. Cependant, dans ce système pastoral transhumant les parcours peuvent aller au-delà des frontières du pays, notamment en Libye. Généralement, les propriétaires utilisent des moyens modernes pour s'informer sur l'état des troupeaux, du parcours et les points d'eau, des moyens de transports (camionnettes) pour acheminer des aliments du bétail ou approvisionner les bergers en denrées alimentaires.

3.1.2- Système intensif temporaire : l'embouche

Notre étude a révélé que l'embouche ne constitue pas un système d'élevage à part entière. Plutôt, elle s'associe au précédent système et semble bien en extension autour des

agglomérations urbaines. Ce système est "intensif" où des méthodes plus modernes de conduite sont pratiquées. Du point de vue pratique, il se caractérise d'une part, par un apport raisonné d'une alimentation soutenue quantitativement et qualitativement, permettant au chamelon un gain de poids rapide pendant un temps court et, d'autre part, par des conditions d'hygiène générale assez améliorées. De ce fait, elle ne concerne qu'un nombre limité des animaux, compte tenu des faibles moyens des éleveurs. Nous avons remarqué qu'en particulier, l'embouche s'adresse aux mâles qui, naturellement ont une croissance plus précoce et une aptitude à l'engraissement plus marquée que les femelles, chez les dromadaires (Xavier, 2000). Ces résultats positifs sur l'exploitation des chamelons traduisent véritablement la capacité des éleveurs à changer les conditions d'élevage pour passer d'un type très traditionnel à un type plus ou moins moderne et plus productif. Les perspectives de ce système en Tunisie, vont en parallèle avec les résultats rapportés par Faye (1997). Cet auteur a signalé que les tentatives d'embouche intensive de dromadaires en vue d'obtenir une production de viande de qualité restent fort limitées. La viande de dromadaire est appréciée et les capacités d'engraissement de l'espèce sont réelles, bien que sa productivité pondérale comparée à celle des petits ruminants ou même des bovins soit nettement inférieure.

En Tunisie, ce système, à l'heure actuelle, est le lieu d'une véritable intégration de l'élevage camelin dans une logique commerciale. C'est là que les ateliers d'engraissement des chamelons ont été créés. Ces ateliers ne s'agissent pas de bâtiments modernes, mais plutôt une sorte de grouper une catégorie d'animaux (chamelons) pour une période donnée de l'année avant d'être commercialisé. L'orientation vers ce système semble se développer ces dernières années suite au développement de la motorisation, la sédentarisation des populations pastorales et l'orientation de l'élevage vers la production de viande dont le prix ne cesse d'augmenter.

Concernant les possibilités d'amélioration des performances camelines (Faye et *al.*, 2004) ont signalé que l'intensification se traduit par un phénomène de substitution d'un facteur de production par un autre. Les voies de l'intensification animale peuvent combiner des actions sur l'ensemble de ces facteurs (la terre, l'homme ou l'animal). En élevage camelin, se sont développés en plusieurs endroits au monde, des systèmes de production que l'on pourrait qualifier d'intensif, c'est-à-dire des systèmes s'appuyant sur un ensemble de techniques et de moyens visant à optimiser les capacités de production de l'animal, de la terre ou de la main d'oeuvre. C'est par exemple le cas des élevages laitiers périurbains à la périphérie de villes sahariennes comme Nouakchott en Mauritanie, ou en Asie centrale

comme à Almaty au Kazakhstan. C'est également l'exemple des dromadaires de course dans les pays du Golfe où les biotechnologies les plus modernes se sont développées (insémination artificielle, transfert d'embryons) par des montures raisonnées (Skidmore *et al.*, 2000). Les travaux réalisés en Tunisie dans le domaine de la production de viande sont à cet égard un excellent exemple de moyens mis en oeuvre pour formaliser des systèmes intensifs de production (Faye *et al.*, 2004). Différentes pratiques ont été proposées pour améliorer la productivité zootechnique de l'espèce. Elles consistent essentiellement à agir sur les points:

- une meilleure performance de reproduction de la chamelle par une diminution de la durée des cycles de reproduction et une meilleure fécondité des femelles,
- une meilleure capacité de survie des chamelons afin de limiter l'érosion de la productivité numérique,
- une alimentation complémentaire raisonnée pour améliorer la croissance des jeunes conduisant à une bonne productivité dans la production de viande,
- une valorisation de la production laitière permettant d'appuyer une sélection raisonnée des meilleures productrices.

Toutes ces pratiques ne peuvent être profitables que si on tient en compte un plan d'action regroupant des considérations génétiques, des composantes techniques et des aspects organisationnels de l'élevage de dromadaires (Djemali et Alhadrami, 1998).

3.2- Pratiques d'élevage camelin

Les pratiques se rapportent aux façons dont les éleveurs interviennent sur les troupeaux et les milieux pastoraux en vue d'atteindre leurs objectifs d'élevage. Elles se définissent comme des construits sociaux, fortement marqués par les cultures locales, qui se transforment au sein d'un environnement complexe, à l'interface entre technologie et biologie. Les pratiques peuvent être appréhendées selon plusieurs angles, celui de leur modalité (correspondant à la description), de leur efficacité (à travers des résultats) et celui de leur opportunité, se rapportant aux raisons de leur mise en oeuvre (Landais, 1987). Telle diversité de situation est la conséquence des conditions environnementales locales combinées aux stratégies d'élevage des populations pastorales dont elles gèrent leurs troupeaux. Ces populations manipulent la composante génétique animale en fonction des conditions spécifiques de leur environnement, de leurs systèmes de production et de leurs propres préférences ou objectifs d'élevage. En effet, le choix et la promotion d'un schéma d'amélioration est une action collective et concertée, doit prendre en compte les pratiques des

éleveurs en relation avec les systèmes de production. D'où la nécessité de la connaissance et de l'analyse des pratiques d'élevage, afin d'évaluer leurs impacts sur la diversité des ressources camelines.

3.2.1- Association élevage – agriculture

L'élevage occupe une place extrêmement importante dans la vie socio-économique des populations du Sud tunisien, en raison notamment des multiples rôles qu'il joue, aussi bien dans sa relation de complémentarité avec l'agriculture que dans la satisfaction des multiples besoins de populations pastorales. La sécurisation des populations pastorales vis à vis des incertitudes climatiques est la fonction la plus généralement, dévolue à l'élevage dans toutes les régions du Sud tunisien.

Comme il est mentionné précédemment, le système d'élevage camelin est essentiellement de type pastoral extensif, associé généralement aux activités agricoles et aux élevages des petits ruminants (ovin et caprin). Pour l'ensemble de l'échantillon, 84% des éleveurs ont des terres agricoles. Les cultures pratiquées sont généralement des arbres fruitiers (olivier, pistachier, figuier et palmier dattier) et d'autres cultures marginales (céréales en irrigué). Ce type des produits agricoles constitue une source de revenu à court terme de cette couche sociale et lui permettant de s'approvisionner en denrées de base (huile, dattes, etc.). Par ailleurs, 88 % des éleveurs camelins pratiquent l'élevage des petits ruminants (Photo12). Cette association est justifiée par sa flexibilité sur le plan économique, social et culturel. L'élevage de dromadaires constitue pour eux une garantie contre les aléas en cas de catastrophes majeures (la sécheresse, etc). Les petits ruminants (ovins et caprins) sont élevés à côté des dromadaires pour couvrir les besoins courants de la famille. Mais ils contribuent également à la sécurité de l'élevage camelin. Ces éleveurs privilégient l'augmentation des effectifs du cheptel camelin, dont le niveau de production, la pérennité et la sécurité sont ainsi tributaires, en partie, des petits ruminants.

Les élevages dans les zones étudiées sont composés principalement de trois espèces animales (ovins, caprins, camelins), les bovins sont retrouvés dans 4 % des élevages enquêtés. Il faut signaler que les dromadaires ne sont vendus qu'en cas des besoins majeurs comme le mariage. Cependant, les éleveurs peuvent disposer d'autres sources de revenu autres que la production animale et végétale. Ces sources financières sont généralement des activités commerciales.



Photo 12 : Association de dromadaires et des petits ruminants (*Photo Ould Ahmed 2005*)

3.2.2- Alimentation

L'alimentation des dromadaires reste basée essentiellement sur le pâturage (Photo13). Le parcours dans le sud tunisien se divise en deux zones différentes, qui sont exploitées et valorisées par les dromadaires. L'une est caractérisée par des plantes halophytes et l'autre par des plantes tendres et ligneuses. Pendant les années pluvieuses, le parcours forme un bon couvert végétal qui permet l'entretien des troupeaux en deux périodes. L'hiver, les animaux peuvent valoriser les parcours halomorphes, durant le printemps et l'été la végétation tendre et sèche peut entretenir les troupeaux camelins pour une longue durée. Par contre, pendant les années sèches, la majorité des éleveurs supplémentent leurs animaux. La supplémentation est de 3 mois dans l'année pluvieuse et 9 à 12 mois pendant les années sèches. Cette complémentation joue un rôle de sauvegarde du cheptel en cas de sécheresse et elle peut être pratiquée comme stratégie d'amélioration de la performance des dromadaires (Nasr, 1995). Plusieurs types de produits alimentaires sont utilisées par les éleveurs enquêtés pour faire la complémentation alimentaire, à savoir l'orge, les grignons d'olive, le foin, les dattes délaissées et le son de blé. La complémentation est souvent réservée pour les chamelons et les femelles pendant la fin de gestation et la naissance. Hammadi et *al.* (2001) ont rapporté que dans les conditions d'élevage des dromadaires sur parcours, la supplémentation alimentaire pendant la fin de gestation (10^{ème} mois) peut améliorer les performances de production et de reproduction de cette espèce.



Photo 13 : Animaux sur un point d'eau et dans le parcours (Photo Ould Ahmed 2005)

L'alimentation en année sèche est en relation avec des stratégies de lutte contre les aléas climatiques et notamment à la sécheresse. Ces stratégies diffèrent d'un éleveur à l'autre. Chez certains éleveurs, la stratégie est la réduction de la taille du troupeau allant de la vente rapide des jeunes et parfois la vente des reproductrices suite à l'absence de production fourragère et la sensibilité du parcours à la sécheresse. Alors que pour d'autres, il s'agit soit de l'achat d'aliment soit de l'absence d'une stratégie bien définie. En relation avec ces stratégies il faut signaler le recours aux expériences et technicité des chameliers. En effet dans les parcours du Sud tunisien, l'étendue et la complexité de la conduite des dromadaires dans un milieu parfois hostile, exigent la présence de bergers spécialisés qui ont une connaissance approfondie des ressources et de leur répartition dans l'espace et dans le temps.

3.2.3- Pratiques vétérinaires

Les résultats de l'enquête montrent que les élevages camelins souffrent de différentes maladies, telles que les parasitoses (trypanosomose, gale, tique), les maladies infectieuses (variole, nécrose cutanée) et nutritionnelles (Kraft, coliques, diarrhée). La gale est la plus fréquente dans les élevages des dromadaires. Elle est signalée dans 70 % des élevages. La trypanosomose animale est signalée seulement par 15 % des éleveurs enquêtés, mais elle est la plus redoutable. Ces maladies sont responsables de mortalités dans leurs formes aiguës et des pertes économiques importantes dans leurs formes chroniques (chute de la production laitière, retard de croissance, etc.). Deux modes de traitement sont pratiqués par les éleveurs, le mode traditionnel et le mode moderne (souvent sous forme de vaccination et déparasitage). Ces modes sont parfois combinés par certains éleveurs. Sans être exhaustif, la faible couverture sanitaire des dromadaires en Tunisie peut s'expliquer par des multiples raisons à savoir, i) l'éloignement des troupeaux de structures vétérinaires pendant une grande partie de l'année, ii) les éleveurs ne sont pas conscients de l'efficacité de traitements modernes en plus ils ont des difficultés à prendre en charge ces traitements, iii) l'actuelle structuration de la

filière cameline n'incite pas à produire plus et de meilleure qualité et iv) les structures d'approvisionnement en matière de produits vétérinaires sont peu développées dans les zones pastorales.

3.2.4- Reproduction et sevrage

La reproduction est un indicateur d'une bonne ou mauvaise gestion d'élevage. Chez les dromadaires, la reproduction se déroule durant la période où les températures sont basses et les pluies abondantes, et où l'herbe est de qualité. La saison sexuelle s'étend du mois de novembre au mois d'avril en Tunisie, mais réellement elle est intense du Décembre au Février. Les éleveurs des dromadaires ont mis au point des stratégies de reproduction leur permettant d'optimiser la qualité génétique de leurs animaux en fonction des contraintes que leur impose l'environnement dans lequel ils vivent. La gestion de la reproduction est caractérisée par l'élevage d'un ou des reproducteurs permanents dans le troupeau camelin. Pour les éleveurs qui n'en possèdent pas, à l'approche de la période sexuelle, l'éleveur emprunte un mâle reproducteur qu'il introduit dans son troupeau pour la saillie. Cette pratique n'est pas payante, mais s'inscrit dans le cadre de bonne relation sociale. Le troupeau des femelles en période de chaleur, est constamment gardé par le mâle reproducteur et les maintient groupées pour pouvoir les saillir quand elle viennent en chaleur.

Selon les éleveurs, un seul mâle reproducteur suffit pour un troupeau de 20-30 chamelles. Pour ceux qui possèdent des troupeaux importants, la présence de 2 à 3 mâles reproducteurs est souvent remarquée.

Le sevrage des chamelons est pratiqué dans une fourchette d'âge allant de 8 à 18 mois, et une moyenne de l'ordre de 12 mois. Ce paramètre dépend aussi de la mère et son alimentation, car le petit a tendance de rester auprès de sa mère le plus longtemps, au moins un an ou plus surtout si la chamelle n'est pas gravide le deuxième an. Le sevrage volontaire des chamelons est rare dans ces régions. En effet, le chamelon est dans la plupart des cas sevré par sa mère très souvent à l'âge d'un an ou plus. Néanmoins le résultat indique que 13% des éleveurs pratiquent le sevrage volontaire des chamelons contre 87% qui n'en pratiquent pas.

Les éleveurs gardent en mémoire tous les détails relatifs aux généalogies de leurs dromadaires, et c'est parfois jusqu'à plusieurs générations. Tandis que, les animaux sont souvent considérés comme les descendants de lignées femelles.

3.2.5- Production laitière

L'étude a montré que la durée de lactation pouvait atteindre 18 mois en année humide. Alors qu'en année sèche la disponibilité alimentaire est limitée, dans ce cas les femelles ont du mal à faire reconstituer leurs réserves pour assurer une longue lactation. Mais en moyenne elle est de l'ordre de 12 mois avec des niveaux de production variables allant de 1 à 6 litres selon le type génétique et la richesse du parcours. Les réponses des éleveurs indiquent aussi, que le pic de production est atteint au printemps lorsque les chamelles pâturent sur des parcours riches en plantes annuelles tendres et ligneuses. Pour la production il n'y a pas de normes ou standards, tout se passe comme si seulement les facteurs alimentaires qui déterminent le niveau de la production laitière. A ce propos il est important de signaler que jusqu'à présent, il n'est pas clair à quel niveau la génétique et l'environnement affectent la variation des caractères laitiers.

3.2.6- Sélection de reproducteurs

La gestion traditionnelle de la reproduction prend en compte seulement la sélection des mâles. Peu de sélection est opérée sur les femelles, où elle s'appuie sur des caractères très variables (reproduction, qualités maternelles, conformation). Toutes les femelles sont considérées des reproductrices à garder pour le maintien et l'accroissement du troupeau et l'attention se concentre sur les mâles. Une fois qu'un mâle a été sélectionné, il est utilisé aussi longtemps que possible, généralement 2 à 12 ans avec une moyenne de 7 ans. Selon Faye (1997), la durée d'utilisation idéale est de 6 ans (de 6 à 12 ans d'âge), trop jeune, l'affaiblissement de la période de rut ne lui permet pas d'assurer sa fonction de reproduction, trop âgé, son pouvoir fécondant peut être limité et ses préférences l'amener à délaisser certaines femelles. Cependant, les femelles sont fertiles jusqu'à plus de 25 ans et peuvent produire 7 à 9 chamelons dans leur vie, mais les éleveurs commencent généralement, à reformer les femelles les moins fertiles vers l'âge de 15 ans.

Les objectifs de sélection intègrent de nombreux aspects autres que le rendement élevé des produits commerciaux (viande, lait). Ils peuvent inclure des préférences esthétiques (couleur de la robe et répartition des couleurs) et des aspects comportementaux, tels que bon instinct maternel, aptitude à vivre en troupeau et aptitude à parcourir de longues distances. L'aptitude du dromadaire à supporter des conditions climatiques extrêmes (sécheresse, etc.), est un autre aspect revêtant davantage d'importance qu'une productivité élevée.

Les éleveurs pratiquent une sélection phénotypique consistant à rechercher parmi les mâles candidats, ceux qui sont meilleurs. La sélection de géniteurs se base sur les informations disponibles sur leurs parents (sélection en famille) et sur eux-mêmes (sélection individuelle). Selon les éleveurs enquêtés, les critères prépondérants à prendre en compte dans la sélection de géniteurs étaient:

Pour le choix du futur géniteur les éleveurs tiennent en compte les critères à considérés et relatifs à sa mère qui sont essentiellement le type génétique, la grande taille avec une grande bosse et bon rendement laitier avec une grande mamelle (le géniteur généralement issu d'une bonne laitière), bon statut sanitaire avec bonne résistance aux maladies et tolérance à la sécheresse. Certains critères sont aussi, à prendre en considération comme la fertilité, la durée de lactation, la qualité de descendance et couleur de la robe. Egalement, les éleveurs tiennent en compte certains critères relatifs au père du futur géniteur et qui sont principalement le type génétique, la grande taille avec une grande bosse (conformation), la qualité de sa progéniture, le bon statut sanitaire avec une bonne résistance aux maladies et tolérance à la sécheresse et fertilité. Alors que pour le choix du futur géniteur proprement dit, il doit se caractériser par une grande taille et bonne conformation, la beauté (allure élancée et finesse de poils), la docilité (les chamelons qui montrent une agressivité précoce sont souvent éliminés de la sélection), une résistance aux maladies et tolérance à la sécheresse, couleur de la robe (généralement uniforme, si possible rouge ou jaune).

3.2.6.1- Indicateurs de résistance aux maladies et tolérance à la sécheresse

La reproduction de dromadaires s'appuie sur les savoirs locaux des éleveurs. Les reproducteurs mâles sont choisis en fonction de leur capacité à survivre aux fluctuations climatiques, aux parasites et aux maladies. Parmi les indicateurs de la résistance aux maladies et la tolérance à la sécheresse, selon les éleveurs : conditions du corps, historique de parents, couleur de la robe, taille du corps et de bosse.

3.2.6.2- Indicateurs d'une bonne laitière

Par analogie avec les indicateurs de la résistance aux maladies et la tolérance à la sécheresse pour la sélection des mâles, les éleveurs ont aussi des indicateurs de jugement de l'aptitude laitière. Une chamelle est généralement considérée une bonne laitière, si elle exhibe certains caractères morphologiques, particulièrement : grande mamelle, longs trayons, grande

taille, grande bosse inclinée vers la gauche, grand abdomen, long cou avec une petite tête, veine abdominale développée (veine fontaine de lait) (Photo14).

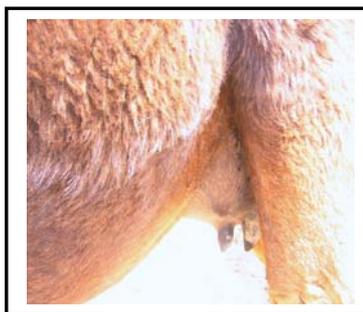


Photo 14 : Chamelle laitière (Photo Ould Ahmed 2005)

En absence d'études détaillées de différents paramètres zootechniques et de connaissances de génotypes de différents types camelins, les éleveurs choisissent ses animaux reproducteurs sur la base des critères phénotypiques.

3.2.7- Reforme et renouvellement

La réforme des dromadaires dépend essentiellement du niveau de leur productivité surtout de reproduction. Pour les mâles, la durée d'utilisation pouvait atteindre 12 ans, l'éleveur surveille soigneusement l'état et le comportement reproductif du reproducteur dans le troupeau durant la saison sexuelle. Une fois l'éleveur constate une régression de nombre des femelles saillies par ce reproducteur, il le remplace immédiatement par un autre jeune sélectionné et préparé à l'avance. La technique de préparation du reproducteur commence depuis le sevrage, et elle constitue un investissement pour l'éleveur. Pour cette raison les performances de reproduction déterminent l'âge à la réforme. Alors que pour la femelle sa vie sexuelle peut atteindre 25 ans avec environ 9 produits. Dès que l'intervalle chamelage-chamelage commence à dépasser 3 ans, l'éleveur procède au renouvellement de ces reproductrices. Généralement, les éleveurs commencent à reformer les animaux à l'âge de 15 ans pour les mâles et les femelles. Les réformes sont, alors, généralement dues à l'âge, mais quelquefois pour un problème de reproduction. Le renouvellement se fait, souvent, à partir du troupeau lui-même et dans tous les cas, ce sont les critères phénotypiques qui guident l'éleveur.

Il ressort de ces résultats que les paramètres technico-culturels ajoutés aux contraintes climatiques (manque de ressources pastorales surtout en saison sèche, ...) et économiques (difficultés de commercialisation de produits camelins, ...) maintiennent la production à un niveau bas.

4- Potentialités des productions

4.1- Production laitière

Le dromadaire (*Camelus dromedarius*) est l'animal adapté par excellence aux parcours des zones arides qui ne cessent de s'élargir sous l'effet de l'avancement du désert. Dans les régions désertiques, la production laitière de la chamelle est maintenue en quantité et en qualité acceptables au moment où les autres ruminants cessent toute production et ne parviennent pas à survivre (Siboukeur et *al.*, 2005). Généralement, la traite de la femelle se fait deux fois par jour, le matin et le soir avec la présence de son petit qui joue le rôle de stimulus pour la descente du lait dans la mamelle. Le chamelier met les caches mamelles "*Chmel*" pour empêcher l'allaitement du chamelon. Le lait prélevé est destiné totalement à l'autoconsommation. La quantité obtenue par traite varie de 1 à 6 litres. Le lait de chamelle ne manque pas d'atouts, ses valeurs nutritives et médicales souvent évoquées dans la littérature (Faye, 1997). Selon les éleveurs enquêtés, ses propriétés spécifiques permettent de traiter certaines maladies comme le diabète et les problèmes de foie. Les recherches commencent à mettre en évidence le fondement scientifique de ces propriétés. Récemment une équipe de l'université de Bikaner en Inde atteste que le lait de chamelle est efficace contre les diabètes insulino-dépendants (carence en insuline : diabète type 1) (Agawal et *al.*, 2003). En Tunisie, la production laitière, n'est pas à l'heure actuelle un enjeu majeur. Le développement des élevages péri-urbain autour des agglomérations peut constituer un véritable noyau laitier dans l'avenir. Désormais, le lait de chamelle, qui a contribué, dans le temps à la survie des populations autochtones des régions arides, est appelé à se développer et à être confronté à des procédés technologiques visant une diversification de son utilisation. La production laitière cameline doit s'engager dans une intensification orientée vers le marché. En effet, dans des villes sahariennes comme Nouakchott (Mauritanie), Agadez (Niger), Laâyoune (Maroc), l'installation de nombreux élevages laitiers camelins en zones péri-urbaines traduit un changement et une orientation de cette activité vers une économie réelle de marché (FAO, 2004). Le développement de la filière laitière cameline en Tunisie, nécessite la réflexion davantage sur certains points à savoir : une meilleure maîtrise de la reproduction, promotion des races laitières et l'infrastructure nécessaire pour la collecte, la conservation et la transformation de lait.

4.2- Production de viande

Les déclarations des éleveurs confirment que l'exploitation des productions est représentée essentiellement par la vente des animaux. Ainsi que, la production de viande constitue la véritable finalité pour l'éleveur car le chamelon est le seul produit commercialisé actuellement en Tunisie (Photo 15).



Photo 15 : Ateliers d'engraissement de chamelons à Nefzawa (Photo Ould Ahmed 2005)

4.2.1- Age et saison de vente des chamelons

Les résultats illustrés sur la figure (9) montrent que la distribution des éleveurs en fonction de l'âge de vente des chamelons présente trois groupes. Le groupe, qui opte pour un âge de vente entre 8 à 10 mois (18,4 %), représente essentiellement les petits éleveurs. Cette catégorie est la plus vulnérable et opte à cet âge puisque chez cette classe, les productions ne sont guère satisfaisantes quelque soit l'excellence de la campagne agricole. En ce qui concerne les éleveurs peu et moyennement vulnérables (âge de vente supérieur ou égal à 12 mois), la vente de chamelons constitue pour eux un revenu de garantie. De ces résultats ressort que l'âge du chamelon à vendre dépend de la taille du troupeau mais également de l'urgence du besoin de vente.

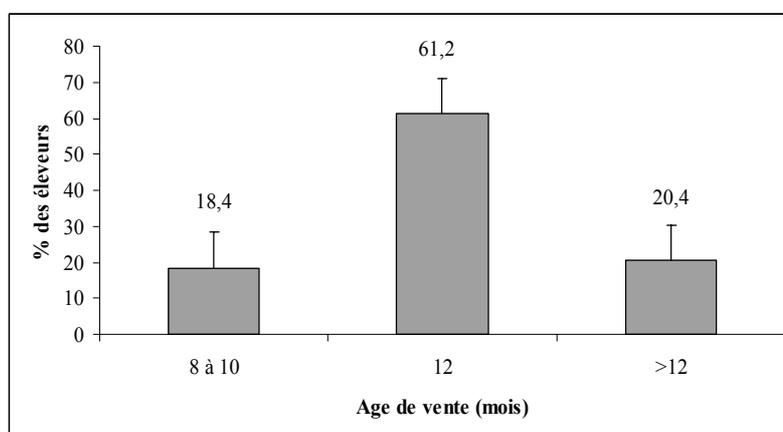


Figure 9 : Distribution des éleveurs selon l'âge de vente de chamelons

La période de vente des chamelons est souvent la saison estivale. La vente se fait plus fréquemment dans les parcours et parfois au marché. La viande des dromadaires est bien appréciée dans le centre et le sud du pays (Kamoun, 1995) où sa consommation est très fréquente. La consommation de viande cameline est accentuée surtout pendant la période chaude de l'année vue sa pauvreté en graisse à l'égard de la viande ovine, et sa disponibilité sur le marché. Plusieurs études ont montré que la viande de dromadaires contient un taux relativement important de protéines et un taux faible en matière grasse (Kamoun et *al.*, 2009; El Hatmi et *al.*, 2009).

4.2.2- Marchés et commercialisation des chamelons

Les marchés bestiaux sont souvent des espaces ouverts, accessibles par plusieurs endroits. Les dromadaires sur lesquels, l'enquête a été portée étaient détenus soit par des vendeurs intermédiaires soit par des vendeurs éleveurs. Les animaux séjournent sur le marché et sont nourris avec des fourrages et des aliments achetés généralement, sur place. Les acheteurs sont surtout des bouchers ou des commerçants et rarement des particuliers ou des éleveurs. Après quelques jours de présence sur le marché, les vendeurs peuvent déplacer leurs animaux vers d'autres marchés de la région. En général, si les animaux ne sont pas vendus les éleveurs les ramènent aux élevages au bout d'un séjour au marché. Chaque jour des animaux pouvaient ainsi arriver sur le marché et d'autres en repartir.

La détermination du prix de l'animal en vente semble se baser sur une appréciation visuelle de l'état corporel, sur l'âge du dromadaire et sur des critères relatifs au phénotype de l'animal (couleur de la robe) dont certains sont recherchés par l'acheteur. En plus de ces facteurs liés à l'animal, s'ajoutent certains événements sociaux (mariage) augmentant la demande, ce que le vendeur prend souvent en compte. Le prix de l'animal sera plus élevé si l'acheteur indique imprudemment que l'animal est destiné à un usage social (mariage). Les prix sont très variables en fonction des zones de consommation, de la nature du produit et de la saison.

Les ventes des chamelons s'exercent à travers deux principales formes comme la montre la figure (10) : (i) la forme traditionnelle (C1) exclusivement réservée aux producteurs et (ii) la forme intégrée (C2) avec les producteurs et les intermédiaires chargés d'approvisionner les bouchers. La complexité des circuits dépend du système d'élevage (extensif ou embouche), du nombre des intermédiaires et de la nature même du chamelon (âge et état corporel).

C1: c'est le circuit traditionnel simple avec vente directe du producteur au boucher sans intermédiaire.

C2 : c'est le circuit dans lequel existe un ou plusieurs intermédiaires entre le producteur et le boucher. C'est le circuit le plus fréquent dans le Sud tunisien. Cet intermédiaire est un fournisseur qui achète les chamelons au niveau d'un commerçant ou d'un ou de plusieurs producteurs pour le revendre ensuite au boucher.

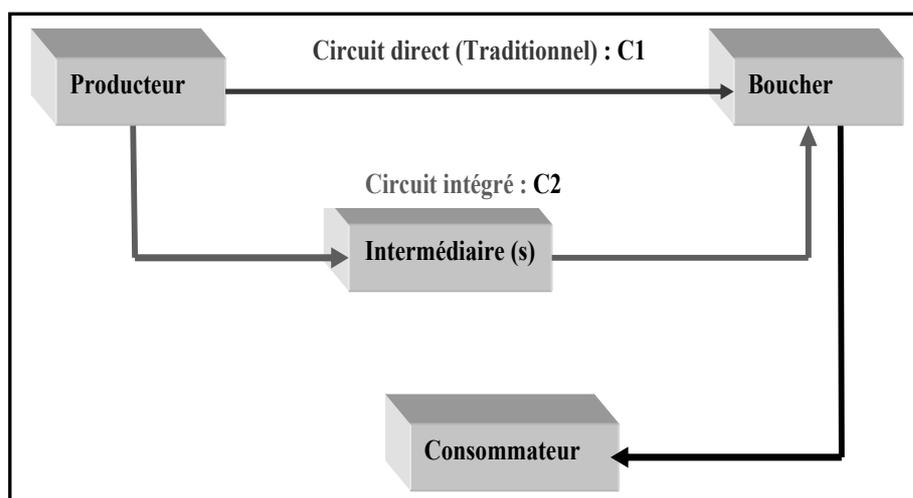


Figure 10 : Circuits de commercialisation de chamelons

Le processus de commercialisation suit en général des étapes à travers lesquelles l'animal passe du producteur au commerçant ou au boucher. Toutefois, la plupart des producteurs vendent leurs animaux directement aux commerçants ou aux bouchers, à des prix relativement bas. Un nombre réduit des éleveurs vend leurs animaux aux marchés locaux. L'éloignement des marchés, les mauvaises pistes et le manque d'aires de stationnement créent des conditions défavorables, forçant les producteurs à vendre à bas prix. Les prix ne sont pas déterminés par le poids et la qualité des animaux, mais en fonction d'un éreintant marchandage entre vendeurs et acheteurs. En raison de ce système de vente et des prix décourageants pour les vendeurs, ceux-ci ne sont pas incités à investir à améliorer la qualité et la quantité de produits du troupeau.

4.3- Autres productions

4.3.1- Production lainière

La laine "*Oubar*" est considérée comme une production secondaire ou une filière oubliée. Les éleveurs utilisent la laine pour la confection de Burnous, tentes et les caches mamelles de chameaux. Les éleveurs ne sont pas conscients de la valeur marchande de la

laine cameline et surtout comme un produit pour la fabrication des objets artisanaux (tapis, vêtements, éléments de décoration, etc.) pouvant être destinés à l'exportation. La valorisation de ce produit peut construire une ouverture de ce secteur sur l'industrie artisanale qui a une haute valeur commerciale.

4.3.2- Excréments

Les excréments constituent également des fertilisants naturels pour les parcours pastoraux, ainsi que les urines ont un rôle thérapeutique car elles entrent dans le traitement de certaines maladies. Etant donné que les animaux se déplacent dans le parcours au long de l'année, il est difficile d'exploiter leurs déchets. La seule occasion pour exploiter les déchets de dromadaires est lorsque les animaux sont dans les agglomérations urbaines pendant l'engraissement des chamelons par exemple.

En tenant compte de cet aperçu, on s'aperçoit que dans son ensemble, le secteur camelin recèle d'importants "gisements" de production sous-exploité. L'encadrement des éleveurs conduira à une gestion plus rationnelle. La mise en œuvre des techniques d'élevage appropriées permettra de dégager le potentiel des dromadaires dans les conditions agro-climatiques arides. C'est sans doute la voie la plus prometteuse pour asseoir la filière cameline en Tunisie, mais il faudra également envisager la mise en place des infrastructures nécessaires à la production et à la commercialisation de produits camelins.

5- Contraintes de l'élevage camelin en Tunisie

Bien que les régions de notre étude sont marquées par l'aridité et la précarité des ressources naturelles, l'élevage y est relativement important. Cependant, l'élevage camelin se heurte à de nombreuses contraintes comme les autres élevages dans les régions arides et désertiques. Les observations faites sur terrain et les interviews menées avec les éleveurs nous ont permis d'identifier plusieurs contraintes qui préoccupent les éleveurs dans ces zones. Ces contraintes sont liées essentiellement au milieu difficile, aux conditions de vie des éleveurs, à la succession des années de sécheresse et à la productivité animale. Tous ces problèmes engendrent le découragement des investisseurs et l'absence de nouveaux promoteurs dans ce type d'élevage. Ces raisons et d'autres parfois obligent l'éleveur à abandonner l'activité cameline et investir dans d'autre activité plus rentable à son avis tel que le l'élevage des autres ruminants ou le commerce. Les principales contraintes peuvent être regroupées en deux

catégories: des contraintes socio-économiques et celles relatives à la zootechnie. Les premières sont liées à l'environnement institutionnel. Les secondes concernent essentiellement la santé animale, l'alimentation et les ressources génétiques animales.

5.1- Contraintes socio-économiques

L'élevage camelin fait partie intégrante des ressources nationales qui mérite d'être bien géré et valorisé. Cet élevage est fortement influencé par la politique gouvernementale, sur les plans économique et sociale. Les principales questions politiques et institutionnelles s'articulent autour des points suivants:

5.1.1- Infrastructures

Les infrastructures disponibles actuellement n'encouragent pas une rationnelle exploitation de l'espèce. Par exemple, l'état du réseau routier dans les zones pastorales oblige les propriétaires à faire de longs et pénibles trajets pour y accéder. Ainsi, les routes non aménagées rendent difficile les visites et le suivi des troupeaux camelins localisés aux parcours. La commercialisation des animaux sur pieds est entravée par le manque d'infrastructures et d'équipement pour le transport. Lors des longs parcours effectués, du fait de l'absence de routes aménagées et le manque d'aires de repos et d'ombrage et de points d'abreuvement et d'alimentation, l'animal perd un poids substantiel avant même d'atteindre le marché.

5.1.2- Services

Les services sont aussi importants que les infrastructures. Parmi les contraintes institutionnelles majeures, citons la non vulgarisation des techniques adéquates à l'élevage camelin, cela est dû essentiellement au faible lien entre la recherche et l'assistance sur terrain, l'absence de programmation participative et de formation visant à améliorer la productivité et les revenus des éleveurs. Le manque de points d'eau dans le parcours, leur distribution ainsi que leur entretien posent de sérieux problèmes pendant la période d'abreuvement, aux éleveurs ainsi qu'aux animaux et entravent par conséquent le développement de l'élevage. A toute cette gamme de contraintes s'ajoutent celles d'ordre social, l'analphabétisme en milieu rural (particulièrement chez les éleveurs), l'âge moyen (dépassant 55 ans) constituent un handicap sérieux à la modernisation et à la rationalisation du mode d'élevage. Les contraintes

socioprofessionnelles résident en faiblesse de niveau technique des éleveurs pour la conduite des troupeaux, organisations professionnelles limitées et non encore représentatives.

5.2- Contraintes zootechniques

La productivité de l'élevage camelin tunisien est faible dans son ensemble. Le rendement en carcasse varie selon les types d'animaux abattus de 55 à 70 % et le GMQ est de l'ordre de 420 g/j entre 1 et 2 ans d'âge (Kamoun et *al*, 1989 et Kamoun, 1995). Les chamelles n'atteignent pas la maturité avant l'âge de 4 à 5 ans, elles mettent bas tous les deux ans et ne produisent que 1 à 6 litres de lait par jour pendant 8 à 18 mois de lactation. L'état de santé, les ressources alimentaires limitées et le potentiel génétique sont des principaux handicaps à l'amélioration de la productivité de l'élevage dans le pays.

5.2.1- Parasitoses et maladies

Les maladies réduisent considérablement la production des ressources génétiques animales. L'assistance vétérinaire a une influence sur la santé de l'animal et par conséquent sur ses productions. Il y a des épidémies de maladies infectieuses avec des taux de mortalité élevés, qui pourraient être contrôlées grâce à la vaccination, on trouve aussi des maladies apportées par d'autres vecteurs (plantes toxiques, sous-alimentation, etc.). Ainsi, les maladies provoquent une forte mortalité et morbidité et entravent l'épanouissement du potentiel productif.

5.2.2- Alimentation

Nous avons déjà vu que l'alimentation des troupeaux est fondée, dans l'ensemble, sur une exploitation maximale des ressources naturelles. Les troupeaux pâturent, de façon extensive sur parcours et les compléments alimentaires ne sont apportés que dans les situations les plus difficiles, comme en période de sécheresse par exemple. Les aliments complémentaires utilisés sont la plupart du temps du foin, avec parfois d'orge ou des dattes, etc. En effet, Il est évident que l'amélioration de la productivité des animaux dépend avant tout de leurs caractères génétiques, il est tout aussi incontestable que l'alimentation en quantité et qualité joue un rôle primordial dans l'extériorisation du potentiel génétique des animaux. L'exposition des parcours à des pratiques agricoles (labour, plantation, etc.) limite les zones de distribution et de pâturage des dromadaires. Par exemple, le développement remarquable de plantation en arboriculture (palmeraies, cultures irriguées), dans les zones de

pâturage, pour nourrir une population humaine en augmentation incessante, a considérablement diminué le parcours naturel de dromadaires (cas de Rjim Maatoug) dans la région de Kébili. Le manque de l'alimentation et les insuffisances en substances nutritives deviennent plus aigus durant la saison sèche. Sachant que, les cultures fourragères intensives ne sont pas adoptées et l'utilisation d'aliments commerciaux coûte cher pour l'éleveur.

5.2.3- Matériel génétique

Il s'agit en fait d'une population (mosaïque) hétérogène phénotypiquement n'ayant pas connu de sélection ou de travail d'amélioration génétique réfléchi. Les dromadaires évoluent dans des conditions naturelles, leur production est faible, relativement à leur potentiel, mais susceptible d'être améliorée si de meilleures circonstances sont aménagées. Cette immense ressource génétique est très méconnue en termes de génotypes des races, et il y a une grande confusion dans la terminologie.

Tous ces problèmes, bien qu'ils soient cités de manière intuitive par la plus part des éleveurs, semblent cohérents à la fois avec la situation de ces éleveurs, leurs objectifs et les caractéristiques des troupeaux qu'ils exploitent. Ils définissent bien les différentes orientations qui semblent devoir s'articuler au sein d'un programme de développement, amélioration de la croissance et les aptitudes bouchères, la production laitière et maintien des qualités d'adaptation.

L'ensemble de ces éléments (ressources, pratiques, potentialités et contraintes) amène à s'interroger sur les chances d'amélioration de cet élevage pastoral et sur les limites de son intégration à toute la dynamique agricole et écologique observée dans les régions. A ce propos, il sera utile de redresser un schéma de développement relatif à l'élevage camelin tenant compte de l'environnement de production, la structuration et la diversification de la filière, l'organisation et la participation des éleveurs.

VI- CONCLUSIONS

L'élevage camelin garde encore dans le Sud tunisien son caractère traditionnel, mais une tendance timide vers l'amélioration des systèmes d'élevage a été observée ces dernières années, se traduisant par l'adoption de certaines pratiques d'élevage modernes comme la complémentation alimentaire, le sevrage précoce, l'utilisation du lait artificiel pour l'allaitement des chameçons et le recours parfois aux produits vétérinaires. L'élevage des dromadaires n'est pas une activité spécialisée dans l'économie agricole de la Tunisie, mais il

est associé à la production végétale, à l'élevage de petits ruminants ou à d'autres activités. Il est important à signaler que l'élevage des petits ruminants joue un rôle vital dans la pérennité et la durabilité de l'élevage camelin. Ce dernier peut contribuer à améliorer significativement le revenu des populations rurales dans la mesure où l'organisation de la filière cameline peut être développée. Pour développer cette activité et améliorer davantage la vie économique des exploitants, des actions d'accompagnements (formation, sensibilisation, structuration, encouragement) en direction des éleveurs sont nécessaires voire indispensables.

Cette étude préliminaire a dégagé des éléments de caractérisation peut être classiques mais aussi fondamentaux pour des études approfondies ultérieures. Elle a permis de décrire les principales couleurs de pelage existantes dans les élevages camelins tunisiens et identifier aussi cinq types camelins dans les régions étudiées. Nous avons essayé de préciser des descripteurs des différents types des dromadaires élevés dans le Sud tunisien. On se rend compte à travers cette étude que l'approfondissement de la caractérisation ethnique des dromadaires est indispensable afin d'établir des critères pertinents de classification. Cependant, les données issues d'observations directes sur le terrain peuvent être complétées par des outils modernes de génétique moléculaire. Dans cette optique il serait intéressant de faire un typage d'ADN via des marqueurs moléculaires, qui nous semble un moyen efficace pour détecter et clarifier la relation entre les différents types camelins exploités en Tunisie. Il est donc primordial de porter une attention particulière à la question de ce type de caractérisation. Afin de mieux concevoir les intérêts et les possibilités de l'utilisation de ces outils pour la conservation et la gestion de l'espèce cameline, qui sont à cet égard majeurs.

CHAPITRE VI : ANALYSE DE LA DIVERSITE GENETIQUE CAMELINE EN TUNISIE

I- INTRODUCTION

La disponibilité d'information sur l'histoire des animaux d'élevage et les données sur les rapports génétiques entre les races fournissent un support important au processus de prise de décision pour la conservation des ressources génétiques dans une région donnée. Dans le passé proche, les inférences sur l'histoire des races ont été essentiellement fondées sur des considérations ethnographiques, anthropologiques et archéologiques. Actuellement, ces considérations sont de plus en plus remplacées par les techniques modernes de la génétique moléculaires (Rege et *al.*, 2003). A l'aide de ces techniques moléculaires, le polymorphisme de l'ADN est devenu plus accessible et les méthodes de mesure de ce polymorphisme se sont multipliées : variabilité génétique, consanguinité et flux génétiques (Buchanan et *al.*, 1994 ; Moazami-Goudarzy et *al.*, 1997), identification de gènes d'intérêt économique, empreintes génétiques et cartographie (Bishop et *al.*, 1994). Les marqueurs phénotypiques, biochimiques et plus récemment des marqueurs moléculaires, au niveau de l'ADN, constituent les principales sources de données pour caractériser la diversité génétique et les filiations entre les races. Dernièrement, les marqueurs moléculaires ont constitué de nouveaux outils pour analyser la diversité génétique. Parmi ces derniers, les microsatellites qui ont vite acquis le statut de marqueurs privilégiés en génétique des populations en raison des avantages qu'ils offrent notamment en matière de conservation (Canon et *al.*, 2001). La séquence nucléotidique que constitue un microsatellite est composée de répétitions en tandem de trimères, dimères ou même monomère. Très nombreuses, bien réparties sur le génome, ces séquences se caractérisent par un polymorphisme important dû à la variation du nombre de répétitions selon les allèles (Boichard et *al.*, 1998). Vu, leur informativité élevée et leur quasi-uniforme distribution dans le génome, les microsatellites représentent les marqueurs idéaux pour la recherche de gènes et l'étude de la diversité génétique. Mis à part leurs propriétés génétiques, les microsatellites présentent des intérêts techniques considérables. En effet, le génotypage des microsatellites est basé sur l'utilisation de la technique PCR, procédure relativement simple et rapide. Enfin, la technique demande une quantité d'ADN très faible. Ces caractéristiques techniques favorisent ainsi la réalisation d'études de populations à grande échelle. L'utilité des microsatellites pour l'évaluation de la diversité

génétique et les études de conservation des races des animaux d'élevage a été confirmée par de nombreux travaux de recherche (Mburu *et al.*, 2003 ; Boichard *et al.*, 1998). Toutefois, les microsatellites sont des marqueurs neutres qui ne correspondent à aucune fonction connue donc probablement à aucun caractère sélectionné. Certains auteurs (Mburu *et al.*, 2003 ; Buchanan *et al.*, 1994 ; MacHugh *et al.*, 1997 ; Hanotte *et al.*, 2000 ; Hanslik *et al.*, 2000 ; Saitbekova *et al.*, 1999) suggèrent l'emploi de ce type de marqueurs comme l'outil le plus approprié pour différencier les races animales et mettre en évidence la diversité génétique.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la diversité génétique au sein de la population des dromadaires en Tunisie à l'aide des marqueurs microsatellites.

II- MATERIEL ET METHODES

1- Stratégie d'échantillonnage

Au total, 128 dromadaires ont été échantillonnés de diverses localités dans le Sud tunisien de chaque région (Kebili, Médenine et Tataouine), pendant les mois de mars et avril 2006. Les populations, issues de ces trois régions prédéfinies, ont été séparées selon leur distribution géographique et la dénomination sociogéographique des types génétiques. Au niveau de chaque région, les prélèvements ont été pris au hasard et les animaux échantillonnés ne sont pas apparentés selon les éleveurs. Nous avons pu analyser 90 individus dont 30 de Kebili, 30 de Médenine et 30 de Tataouine. Vu l'absence de généalogie officielle, les animaux ont été choisis des troupeaux les plus éloignés possibles les uns des autres, en sélectionnant un nombre réduit par troupeau (2 à 7 individus). Les populations étudiées présentent potentiellement des origines communes et des échanges du matériel génétique. La consanguinité et les échanges auxquelles sont exposées ces populations, peuvent induire une forte déviation de l'équilibre de Hardy Weinberg.

2- Prélèvement du sang

Le dromadaire est souvent difficile à maîtriser, en particulier les mâles. Il peut être nécessaire, notamment pour les prélèvements du sang, d'assurer une contention sévère de l'animal (Photo 16). La position naturelle de repos du dromadaire est celle dite du baraqué, l'animal étant placé en décubitus sternal, les membres repliés sous lui. Le sang a été prélevé sur des animaux adultes dans les parcours et particulièrement dans les stations touristiques pour les mâles dans la région de Kebili. Le prélèvement du sang s'est fait sur l'animal baraqué cou tendu tiré vers l'avant pour faciliter une stase veineuse et éviter tout risque. Faye (1997) a

signalé que sur l'animal baraqué, la prise du sang est rendue plus aisée sur le cou replié contre le corps de l'animal. La zone de prélèvement sur la veine jugulaire est facilement repérable surtout après une pression même légère exercée à la base du cou ou à mi-distance entre le thorax et la tête. Le point de prélèvement le plus aisé est situé près de la tête.



Photo 16 : Contention de l'animal et prélèvement du sang

L'emploi des tubes stériles sous vide avec bouchons en caoutchouc transperçable permet l'utilisation des aiguilles stériles plus fines et moins traumatisantes pour l'animal. Le sang est collecté dans des tubes contenant l'acide éthylène-diamine-tétra-acétique (**EDTA**) produit permettant la conservation des acides nucléiques du sang pour une longue durée. Pour la collecte proprement dite, l'aiguille est insérée dans la veine jugulaire de l'animal, une fois l'aiguille est en place l'écoulement du sang commence. L'aiguille est introduite dans le tube pour le rempli du sang (photo 16).

3- Extraction et évaluation de la qualité et la quantité de l'ADN génomique

Le matériel biologique de base pour ce travail est constitué du sang collecté dans des tubes EDTA puis congelé à -20°C . Les leucocytes (globules blancs) sanguins représentent la source majeure des acides nucléiques dans le sang. L'extraction de l'ADN génomique a été faite à partir de ce sang entier et congelé. Après une décongélation on fait éclater les globules rouges du sang par choc osmotique en les mélangeant à une solution hypotonique ou solution de lyse de globule rouge (SLR). La récupération des globules blancs est faite par centrifugation (photo 17). Un mélange de détergent de Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) est ajouté pour détruire les membranes et de protéinase K pour digérer les protéines associées à l'ADN. La purification de l'ADN de protéines s'est faite par le chloroforme en ajoutant le sel (NaCl) pour augmenter la force ionique puis on précipite l'ADN par l'alcool absolu au froid. L'ADN se précipite sous forme de filaments (méduse), visibles à l'oeil nu, qui sont récupérés dans un tube eppendorf par une conne fixée sur une micropipette. La dissociation de

l'ADN s'est faite dans une solution tamponnée et conservatrice (TE) puis on le stocke à +4°C (voir le protocole détaillé d'extraction d'ADN annexe1).

L'estimation de la quantité et la qualité d'ADN étaient indispensables après son extraction. Elle s'est effectuée par spectrophotométrie (photo 18) à une longueur d'onde de 260 nm. Il était aussi également, indispensable de mesurer l'absorption à 280 nm, afin de pouvoir calculer le rapport (R) = DO₂₆₀/DO₂₈₀. Ce rapport renseigne sur la pureté de l'ADN et sa contamination éventuelle par des protéines. Un rapport compris entre 1,8 et 2 indique que l'ADN est propre.

L'absorption se définit par l'unité de densité optique (DO) mesurée à 260 nm. Une unité de densité optique correspond à l'absorption d'une solution d'ADN double brin à la concentration de 50 µg/ml ou à l'absorption d'une solution d'ADN ou d'ARN simple brin à la concentration de 25 µg/ml. Par la suite la concentration de l'ADN est calculée de la manière suivante :

1DO-----> 50 µg /ml

$$[\text{ADN}] = 50 \times \text{facteur de dilution} \times \text{DO}_{260}$$

Facteur de dilution = V_f/V_i , $V_f = 1990\mu\text{l H}_2\text{O} + 10\mu\text{l ADN} = 2000\mu\text{l}$, $V_i = 10\mu\text{l ADN}$

4- Dilution de l'ADN

Après avoir calculé la concentration de l'ADN mère, et dans le but de les utiliser ultérieurement, nous avons fait des dilutions selon la formule (1) :

$$C_i V_i = C_f V_f \Leftrightarrow V_i = \frac{C_f V_f}{C_i} \quad (1)$$

V_i = Volume à prélever de l'ADN mère pour la dilution

$C_f = 10 \text{ ng } / \mu\text{l}$, $V_f = 300 \text{ ml}$ le volume suffisant pour les PCR

C_i = concentration initiale d'ADN mère

Donc la dilution s'est faite comme : **X µl ADN + (300-X) µl H₂O**, pour chaque échantillon.

5- Optimisation de la réaction PCR

Durant ces dernières années, les progrès en biologie moléculaire notamment les études concernant le matériel génétique grâce au développement de la technique de polymérisation en chaîne (PCR) ont grandement contribué au développement de la génétique moléculaire dont les informations s'intègrent de plus en plus aujourd'hui dans les schémas de sélection.

Cette technique permet d'amplifier des séquences d'ADN et d'augmenter considérablement la quantité d'ADN dont on dispose initialement. Elle nécessite de connaître la séquence des régions qui délimitent l'ADN à amplifier. L'amplification est réalisée dans des tubes PCR de 0,2 ml en utilisant un thermocycleur Biorad (photo 19).

Les conditions d'amplification sont les suivantes : une première dénaturation à 95°C pendant 10 minutes suivie de 35 cycles successifs, chaque cycle comprend une succession de trois phases : une dénaturation à 94°C (45 secondes), une phase d'hybridation à la température optimale déterminée entre 50-65°C (1 minute) selon l'amorce et une élongation à 72°C (1 minute). Enfin, une dernière étape d'élongation à 72°C (15 minutes) est programmée et une phase de refroidissement à 4°C. Ces conditions des cycles sont celles utilisées par Mburu et *al.* (2003). Ainsi, l'optimisation a été faite en fonction d'autres paramètres à savoir la concentration et le volume. Le volume réactionnel utilisé pour chaque échantillon est de 25 µl avec les concentrations et les volumes des réactifs résumés dans le tableau (8).

Tableau 8: Réactifs et paramètres des réactions PCR pour chaque individu

Réactifs	Concentration initiale	Concentration finale	Volume à prélever (µl)
Tampon	5X	1X	5
MgCl ₂	25 mM	2,5 mM	2,5
dNTP	2 mM	0,2 mM	2,5
Amorce droite	20 µM	0,5µM	0,625
Amorce gauche	20 µM	0,5µM	0,625
Taq	5U/µl	1U	0,2
ADN	10 ng/µl	50 ng/µl	8
Total			19,45
H ₂ O bidistillée			5,55
Total			25



Photo 17 : Centrifugeuse



Photo 18 : Spectromètre



Photo 19 : Thermocycleur

6- Loci microsatellites étudiés

Dans le cadre de ce travail, 8 marqueurs microsatellites ont été considérés pour caractériser la variabilité génétique des dromadaires en Tunisie. Ces marqueurs ont été choisis tout en considérant des microsatellites retenus dans d'autres projets de recherche ainsi que certains recommandés par la FAO (2004) pour analyser la diversité génétique des camélidés. La liste de ces marqueurs est reportée dans le tableau (9). Au total 8 paires d'amorces ont été utilisées : CVRL01, CVRL02, CVRL05, CVRL06 et CVRL07 (Mariasegaram et *al.*, 2002; Sasse et *al.*, 2000), VOLP03 et VOLP32 (Obreque et *al.*, 1998) et YWLL02 (Lang et *al.*, 1996). Ils ont été étudiés par PCR puis électrophorèse en gel dénaturant de polyacrylamide (PAGE) à 6% qui permet de distinguer les allèles en fonction de leur taille en utilisant un séquenceur du type (Bio Rad: Sequi-Gen@ GT).

Tableau 9 : Caractéristiques des microsatellites étudiées

Amorces	Séquences	Locus	Ta
A 1	5' GAA GAG GTT GGG GCA CTA C 3'	CVRL01	57
A 2	5' CAG GCA GAT ATC CAT TGA A 3'		
A 3	5' TGT CAC AAA TGG CAA GAT 3'	CVRL02	60
A 4	5' AGT GTA CGT AGC AGC ATT ATT T 3'		
A 5	5' CCT TGG ACC TCC TTG CTC TG 3'	CVRL05	60
A 6	5' GCC ACT GGT CCC TGT CAT T 3'		
A 7	5' TTT TAA AAA TTC TGA CCA GGA GTC TG 3'	CVRL06	60
A 8	5' CAT AAT AGC CAA AAC ATG GAA ACA AC 3'		
A 9	5' AAT ACC CTA GTT GAA GCT CTG TCC T 3'	CVRL07	58
A 10	5' GAG TGC CTT TAT AAA TAT GGG TCT G 3'		
A 11	5' AGA CGG TTG GGA AGG TGG TA 3'	VOLP03	64
A 12	5' CGA CAG CAA GGC ACA GGA 3'		
A 17	5' GTG ATC GGA ATG GCT TGA AA 3'	VOLP32	66
A 18	5' CAG CGA GCA CCT GAA AGA A 3'		
A 19	5' GTG CAC TCA GAT ACC TTC ACA 3'	YWLL02	62
A 20	5' TAC ATC TGC AAT GAT CGA CCC 3'		

Ta : Température de fusion

7- Electrophorèse sur gel de polyacrylamide

La résolution en gel d'agarose est satisfaisante pour mettre en évidence l'ADN génomique, mais ne permettra cependant pas d'avoir une sensibilité suffisante nécessaire pour étudier le polymorphisme de l'ADN microsatellite. Les différences attendues entre les fragments de loci amplifiés chez les différents individus sont en effet minimales (quelques paires de bases), il sera donc nécessaire d'augmenter la sensibilité de discrimination. Pour cela, l'utilisation d'un gel de polyacrylamide augmentera la résolution et la sensibilité de la lecture ce qui peut mettre en évidence de très légères variations de poids moléculaire, les fragments les plus lourds migrants moins vite. Tous les individus sont alors criblés, par microsatellite. En effet, l'étude de cette variabilité des poids moléculaires de ces marqueurs renseigne sur la dynamique de la population: fréquence des allèles, répartition plus ou moins homogène des variations observées au sein des populations présentes dans les différentes régions, diversité génétique. En effet, la migration sur gel de polyacrylamide est une matrice de séparation utilisée en électrophorèse verticale des fragments d'ADN. Morgante et Olivieri (1993) ont signalé que cette technique permet de séparer des fragments d'ADN même avec une seule base nucléotidique de différence tel le cas des marqueurs microsatellites. La solution de polyacrylamide à 6% de volume de 120 ml a été préparée à partir d'une solution à 40% d'acrylamide qui est l'unité de base et de bisacrylamide (19 :1), urée et le TBE. Ces trois solutions sont mélangés et chauffés jusqu'à la dissolution complète de l'urée. La réaction de polymérisation proprement dite, se fait grâce à l'ajout de deux substances réactives : le TEMED et le persulfate d'ammonium. Le tableau (10) résume la composition du gel :

Tableau 10: Composition du gel polyacrylamide

Produits ou solution stocks	Quantité ou volume pour 120 ml du gel
Acrylamide-bisacrylamide (38 :2) à 40 %	18 ml
Urée	50,2 g
TBE 5x	24 ml
TEMED	70 µl
Persulfate d'ammonium à 10%	400 µl

Le volume réactionnel final est ramené à 120 ml par l'ajout de l'eau distillée. La polyacrylamide est un gel finement réticulé, que l'on fabrique au moment de l'emploi en mélangeant de l'acrylamide ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$), qui polymérise en donnant des chaînes linéaires, et du bis-acrylamide ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}_2$) qui forme des ponts entre

les chaînes, on obtient ainsi un réseau, dont les mailles sont de taille variable en fonction des proportions d'acrylamide et de bis-acrylamide utilisées, le gel obtenu se comporte donc comme un tamis moléculaire (les macromolécules migrent d'autant moins vite qu'elles sont plus grosses). La migration s'est faite comme dans le dispositif (Photo 20) pendant 2 heures sous 75 wats. La coloration se fait selon les étapes résumées dans le tableau 11 (Benbouza et *al.*, 2006).



Photo 20 : Dispositif de migration sur gel de polyacrylamide

Tableau 11 : Etapes de la méthode de coloration au nitrate d'argent utilisée (Annexe 2)

Etape	Produits et quantités
1- Fixation	2 litres : 10% acide acétique sous agitation douce pendant 20 min
2- Rinçage	H ₂ O froide trois fois
3- Imprégnation	2 g NO ₃ Ag dans 2 litres d'eau plus 3 ml de HCOH sous agitation douce pendant 30 min
4- Rinçage	H ₂ O froide une fois pendant 20 s
5- Développement	60 g Na ₂ CO ₃ dans 2 litres d'eau, 3 ml HCOH et 400 µl de (0,1 g Na ₂ SO ₃ dans 1 ml H ₂ O) pendant 2-5 min
6- Stop	10 % acide acétique pendant 5 min
7- Rinçage	H ₂ O 3 min

8- Méthodes statistiques et analyses moléculaires

La diversité génétique au sein de la population des dromadaires (Kebili, Médenine et Tataouine) a été analysée entre et au sein de ces populations. Ces deux niveaux d'analyse complémentaires ont mobilisé des outils différents. Généralement, l'analyse de données issues d'étude de polymorphisme de marqueurs de types microsatellites nécessite une approche

statistique particulière. Avant de décrire les paramètres de variabilité, il nous paraît utile de rappeler le principe de l'Équilibre de Hardy Weinberg utilisé comme référence afin de bien comprendre les forces agissant sur les structures génétiques des populations.

9- Loi d'Équilibre de Hardy Weinberg

L'équilibre de Hardy Weinberg demeure le modèle central en génétique des populations. Sa mise en évidence remonte au début du XX^{ème} siècle par un mathématicien anglais G.H.Hardy et un médecin allemand et W. Weinberg. Ce modèle stipule que : les fréquences alléliques restent stables de génération en génération dans une population diploïde idéale et ne dépendent que des fréquences de la génération initiale. La notion d'équilibre dans ce modèle repose sur les hypothèses suivantes: i) la population est panmictique (croisement au hasard, fertilité des gamètes et viabilité des zygotes sont égales), ii) la population est de grande taille, iii) il ne doit y avoir ni sélection, ni mutation, ni migration, et iv) les générations ne sont pas chevauchantes (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de croisement entre individus appartenant à différentes générations). En matière de conservation, l'équilibre de Hardy Weinberg présente des implications importantes. En effet, il est possible de prédire, dans une population en équilibre de Hardy Weinberg, les fréquences des différents génotypes à partir des seules fréquences alléliques. De plus, la ségrégation mendélienne aléatoire des chromosomes préserve la variabilité génétique des populations. Puisque les fréquences alléliques demeurent stables au cours du temps, une population diploïde idéale n'évolue pas. Seules les violations des hypothèses déjà mentionnées permettent un changement des fréquences alléliques au sein de la population. Une perturbation de l'équilibre de Hardy Weinberg donne des indications sur la divergence génétique des populations. Celle-ci dépend de quatre facteurs évolutifs i) la sélection, ii) les mutations aléatoires, iii) la dérive génétique, et iv) le flux génique (migration). Les trois premiers facteurs, considérés comme des forces évolutives peuvent provoquer, soit individuellement soit en combinaison, la différenciation des populations. Par contre, le flux génique entre populations tend à contrebalancer les processus de diversification et à causer une certaine ressemblance génétique dans les populations. La conséquence de l'action des facteurs évolutifs est de faire varier le taux d'hétérozygotes de la population par rapport à l'équilibre de Hardy Weinberg. Donc il est logique de quantifier ces écarts entre le taux d'hétérozygotes observés et le taux à l'équilibre.

Dans ce travail, on a utilisé la statistique χ^2 pour tester si une population est en équilibre de Hardy Weinberg. Cette statistique est basée sur la disparité des effectifs de

génotypes observés aux effectifs de génotypes théoriques. Le calcul a été effectué à l'aide du logiciel PopGene version 1.31 (Yeh, 1999).

10- Paramètres de la diversité génétique

Le calcul des paramètres permettant de quantifier la variabilité génétique intra et inter populations a impliqué plusieurs logiciels.

10.1- Diversité intra population

Pour décrire la diversité génétique intra-population, nous avons calculé six paramètres. Ils sont estimés pour chaque locus et la moyenne est prise sur tous les loci, à l'aide du logiciel PopGene version 1.31 (Yeh, 1999). En termes de variabilité génétique intra-population, la comparaison directe des fréquences alléliques n'est pas facile à réaliser. Toutefois, il existe des paramètres susceptibles de synthétiser, moyennant une valeur globale, les informations les plus importantes comme le nombre moyen d'allèles par locus (A), taux de polymorphisme (P), le taux moyen d'hétérozygotie observé (H_O), le taux moyen d'hétérozygotie attendu (H_E), le taux moyen d'hétérozygotie attendu non biaisé (H_{nb}) et indice de fixation F_{IS} .

10.1.1- Nombre moyen d'allèles par locus (A)

Ce paramètre traduit la richesse en allèles d'une population, il est calculé selon la formule (2) :

$$A = \frac{1}{l} \sum a \quad (2)$$

Où a représente le nombre d'allèles à un locus et l le nombre des loci étudiés.

10.1.2- Taux de polymorphisme (P)

C'est le pourcentage des loci polymorphes dans l'échantillon étudié. Autrement dit, c'est la probabilité d'observer au moins deux allèles au même locus, cette probabilité dépend des fréquences respectives des allèles et aussi de la taille de l'échantillon (Fouley et Ollivier, 2006). Dans le présent travail, un locus est considéré polymorphe dans le cas où l'allèle le plus fréquent a une fréquence inférieure ou égale à 0,95.

10.1.3- Taux d'hétérozygote observé (H_O)

C'est la proportion d'individus hétérozygotes au locus K comme dans la formule (3) :

$$H_{OK} = \sum_{i,j=1}^{ak} P_{ij} \quad (i \neq j) \quad (3)$$

P_{ij} est l'estimation de la fréquence du génotype ij au locus k et a_k le nombre d'allèles au locus k . si on considère l locus le taux d'hétérozygote observé (H_O) est la moyenne de (H_{OK}) suivant l'équation (4):

$$H_O = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l H_{OK} \quad (4)$$

10.1.4- Taux d'hétérozygote attendu (H_E)

Un taux d'hétérozygotie attendu (H_E) peut être calculé, sous l'hypothèse de l'équilibre de Hardy Weinberg, à partir des fréquences alléliques déterminées pour chaque locus à l'aide de la formule (5) :

$$H_E = 1 - \sum P_i^2 \quad (5)$$

où p_i est la fréquence du $i^{\text{ème}}$ allèle à ce locus.

Le taux moyen d'hétérozygotie (H_O) est l'indice le plus satisfaisant de la diversité génétique. Sa valeur numérique dépend du nombre de loci polymorphes et de la structure génotypique de chacun d'eux (Laliberté, 1998). Nei (1978) a proposé d'utiliser un estimateur non biaisé (H_{nb}), ou la diversité génique, lorsque le nombre d'animaux testés est faible. Celle-ci est définie comme étant la probabilité de tirer, au hasard, deux allèles différents à un même locus.

L'estimation non biaisée est calculée selon la formule (6):

$$H_{nb} = \frac{2n(1 - \sum P_i^2)}{2n - 1} \quad (6)$$

Où n est le nombre d'individus étudiés.

Les paramètres ainsi définis peuvent décrire, jusqu'à un certain niveau, la diversité génétique des populations ainsi que celle des individus qui les composent. Certes, la variabilité génétique d'un individu demeure inchangée tout au long de sa vie, à l'exception

d'éventuelles mutations. Toutefois, la constitution génétique d'une population présente une possibilité de variation dans le temps. En effet, les populations subissent des forces qui déterminent leur constitution génétique et tendent à la maintenir ou à la modifier. La conséquence de ces forces évolutives est de faire varier le taux d'hétérozygotie de la population par rapport à l'équilibre de Hardy Weinberg. De plus, deux populations d'une même espèce peuvent être soumises à des facteurs évolutifs différents et voir leur constitution génétique se différencier l'une de l'autre, ce qui peut produire un effet à la fois sur les fréquences alléliques et sur la relation entre l'hétérozygotie observée et celle attendue. Les écarts par rapport à l'équilibre de Hardy Weinberg sont quantifiés à l'aide de la statistique hiérarchique des coefficients F.

10.1.5- Indice de Fixation F_{IS}

Ce paramètre mesure l'écart entre hétérozygote H_O et le taux d'hétérozygote attendu d'une population d'individus trouvés à l'écart de l'équilibre de Hardy Weinberg, il est appelé aussi l'écart à la panmixie et se calcule comme il est mentionné dans la formule (7) :

$$F = 1 - \frac{H_o}{H_E} \quad (7)$$

A un locus donné, dans une population d'individus diploïdes l'association de deux gamètes pour former les individus se fait au hasard par rapport aux génotypes de ces gamètes, la structure génétique de cette population est appelée structure de Hardy Weinberg. L'indice de fixation est l'écart à la structure de Hardy Weinberg, il varie de -1 à +1 et permet de connaître le déficit en hétérozygote par population, par locus et pour l'ensemble de locus. F est positif quand la population présente un déficit en hétérozygote par rapport à l'équilibre panmictique et négatif dans le cas contraire. Un certain nombre de facteurs contribue à cet écart comme la consanguinité, la dérive, la sélection, la différenciation génétique, etc.

10.2- Diversité génétique inter populations

Pour décrire la diversité génétique entre les populations nous avons utilisé dans la présente étude trois paramètres.

10.2.1- Distance génétique

La distance génétique entre deux échantillons est définie comme la proportion d'éléments génétiques qu'ils n'ont pas en commun. $D = 1$ si et seulement si les deux échantillons n'ont pas d'éléments génétiques en commun.

Dans le cadre de ce travail, les distances génétiques entre paires de populations ont été calculées selon l'approche classique basée sur les fréquences alléliques dans chaque population en retenant la distance de Nei (1978). Cette distance présente des propriétés spécifiques et reste appropriée pour un modèle particulier d'évolution. Elle considère un modèle mutation-dérive et elle est destinée à mesurer le nombre moyen de différences de codons entre populations après leur divergence. Cette distance est la plus utilisée dans les recherches sur la diversité génétique.

10.2.2- F statistiques ou F de Wright

Dans une population subdivisée, il existe trois niveaux de complexité : les individus (I), les sous-populations (S) et la population totale (T). Dans ce travail, les populations relatives aux régions représentent les sous-populations et l'ensemble des populations représente la population globale. Pour mesurer l'organisation de la diversité génétique dans une population Wright (1978) a défini l'hétérozygotie de chacun de ces trois niveaux respectivement par les paramètres suivants : H_I , H_S et H_T . Le premier paramètre H_I correspond à l'hétérozygotie moyenne des individus sur l'ensemble des sous-populations. Il représente également l'hétérozygotie moyenne observée pour l'ensemble des gènes (ou loci) d'un individu. C'est aussi la probabilité d'hétérozygotie en un locus pris au hasard. Ainsi, si H_i est l'hétérozygotie observée dans la $i^{\text{ème}}$ sous-population, on aura, pour X sous-populations selon la formule (8) :

$$H_I = \sum_i^k H_i / X \quad (8)$$

Le second paramètre H_S indique l'hétérozygotie attendue par individu pour chaque sous-population en la supposant à l'équilibre de Hardy Weinberg. Il représente aussi l'hétérozygotie attendue dans une sous-population supposée à l'équilibre de Hardy Weinberg où p_i est la fréquence du $i^{\text{ème}}$ allèle. Soit pour la $S^{\text{ème}}$ population (formule 9) :

$$H_S = 1 - \sum_i^k P_{i,s}^2 \quad (9)$$

On notera H_S^* la moyenne des H_S sur les X sous populations (formule 10) :

$$\boxed{H_S^* = 1 - \sum_i^k H_S / X} \quad (10)$$

Enfin, le dernier paramètre H_T représente l'hétérozygotie attendue par individu, en supposant la population globale à l'équilibre de Hardy Weinberg. En d'autres termes, c'est l'hétérozygotie attendue si toutes les sous-populations étaient regroupées en une seule unité panmictique. Si l'on note p_i^* la fréquence moyenne de l'allèle A_i sur l'ensemble des X sous-populations, on obtient (formule 11) :

$$\boxed{H_T = 1 - \sum_i^k p_i^{*2}} \quad (11)$$

Trois indices sont générés à partir de ces hétérozygoties : F_{IS} , F_{ST} et F_{IT} . Ces derniers mesurent l'écart de l'hétérozygotie par rapport à l'équilibre de Hardy Weinberg à différents niveaux. Le premier indice F_{IS} est défini par la relation (12):

$$\boxed{F_{IS} = \frac{H_S^* - H_I}{H_S^*}} \quad (12)$$

Cet indice, appelé coefficient de consanguinité, mesure la réduction éventuelle de l'hétérozygotie des individus à l'intérieur de leur sous-population. En cas de consanguinité, cet indice est positif et indique un déficit en hétérozygotie. Evidemment, il prend la valeur zéro si les sous-populations sont à l'équilibre de Hardy Weinberg. En revanche, s'il est négatif, les populations présentent un excès d'hétérozygotie.

Entre les sous-populations et la population totale, l'effet de la subdivision est exprimé par un indice similaire (formule 13) :

$$\boxed{F_{ST} = \frac{H_T - H_S^*}{H_T}} \quad (13)$$

Ce paramètre, appelé indice de fixation, correspond à la réduction de l'hétérozygotie dans les sous-populations liée aux différences de fréquences alléliques moyennes. Cet indice renseigne sur la différenciation et l'effet de subdivision des populations. Il prend la valeur zéro lorsque toutes les sous-populations ont les mêmes fréquences alléliques et sont à l'EHW. Dans le cas contraire, l'effet Wahlund implique que H_T soit plus grand que H_S^* et donc F_{ST}

sera positif (Laliberté, 1998). Enfin, la réduction de l'hétérozygotie globale entre l'individu et la population globale théorique est donnée par la formule (14) :

$$F_{IT} = \frac{H_T - H_I}{H_T} \quad (14)$$

Ces trois indices sont liés par la relation (15) :

$$(1 - F_{IT}) = (1 - F_{IS})(1 - F_{ST}) \quad (15)$$

Si toutes les sous-populations sont bien à l'équilibre de Hardy Weinberg, on aura $F_{IS}=0$ et par conséquent $F_{ST}=F_{IT}$. Par ailleurs, si elles sont toutes à l'équilibre de Hardy Weinberg et ont les mêmes fréquences alléliques, alors les trois indices seraient nuls. Dans ce cas, la division en sous-populations n'existe pas et la population globale est à l'équilibre de Hardy Weinberg. Comme il a été souligné, l'indice de fixation F_{ST} permet de quantifier le degré de diversification génétique entre les populations. Les paramètres F_{IT} , F_{IS} et F_{ST} désignent respectivement les indices de fixation d'un individu de la population, individu d'une sous-population et d'une sous-population. F_{IT} et F_{IS} mesurent la corrélation entre les gamètes d'un même individu tiré au hasard respectivement dans une sous-population et dans la population totale. F_{IS} permet de mesurer le déficit local moyen d'hétérozygote par rapport à la structure de Hardy Weinberg. F_{IT} permet de mesurer le déficit global d'hétérozygote dans l'ensemble de la population. Alors que F_{ST} représente la corrélation entre deux gamètes tirés au hasard dans deux sous-populations différentes et renseigne sur le niveau de différenciation ou l'individualisation des sous-populations, déficit connu sous le nom « effet de Wahlund », $0 \leq F_{ST} \leq 1$ (Nei, 1973). Le logiciel Fstat version 2.9.3.2 (Goudet, 2001) a été utilisé pour le calcul de ces indices, le niveau du test de signification est $\alpha = 0,05$.

10.2.3- Flux des gènes

La différenciation génétique entre populations est favorisée par la dérive et limitée par les flux génétiques entre les populations. Le nombre de migrants effectifs par génération (N_m) est relié à la différenciation génétique F_{ST} par la relation (16). Ce paramètre a été calculé à l'aide du logiciel Genetix version 4.05.2 (Belkhir et al., 2004).

$$N_m = \frac{(1 - F_{ST})}{4 F_{ST}} \quad (16)$$

III- RESULTATS ET DISCUSSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la caractérisation moléculaire de la population de dromadaires en Tunisie. Elle porte sur un ensemble de marqueurs microsatellites étudiés sur des individus échantillonnés et représentatifs de cette population dans les régions de l'étude.

1- Extraction, quantité et qualité de l'ADN

Une importante quantité d'ADN est en effet extraite. Afin d'évaluer la qualité de l'extraction le rapport $R = DO_{260} / DO_{280}$ a été calculé, et les rapports ont été au voisinage de l'intervalle 1,7 et 2 ce qui indique une très bonne pureté de l'ADN. La qualité de l'ADN génomique a été aussi testée par électrophorèse sur gel d'agarose (0,8%) mis à migrer, pendant 1 heure et sous 120 voltes, avec un marqueur de taille permettant d'estimer le poids moléculaire de l'ADN, puis est visualisé lors d'une exposition aux rayons ultraviolets (UV). Signalons que le gel est traité par le Bromure d'Ethidium (BET) qui se fixe et s'intercale entre les brins de la molécule de l'ADN. Il a de plus la propriété de devenir fluorescent lorsqu'il est soumis aux UV. Le BET fixé sur l'ADN fluoresce en révélant l'ADN. Cette étape a permis de s'assurer de la présence de l'ADN. Un système de prise d'image (Transluminateur pourvu d'un appareil photo) connecté à un ordinateur permettant de réaliser une vue du gel.

2- Diversité génétique

2.1- Diversité génétique intra population

2.1.1- Fréquences alléliques

D'une manière générale, la distribution des allèles dont le nombre varie de 2 pour les loci CVRL02 et VOLP32 à 7 pour le locus VOLP03, il est assez identique dans la plus part des cas, les allèles les plus fréquents étant toujours les mêmes. C'est notamment le cas de l'allèle A qui apparaît souvent, sinon toujours le plus abondant dans les différents loci de toutes les populations étudiées. Les fréquences alléliques calculées pour chaque locus et chaque population varient de 0,017 pour plusieurs allèles dans quelques populations à 0,95 pour l'allèle A du CVRL02 au niveau de la population de Médenine. Le tableau 12 présente les fréquences et les tailles des allèles des différentes populations. Au niveau du locus CVRL02 qui compte deux allèles, la dominance de l'allèle A est assez remarquable et sa fréquence est supérieure à 0,850 dans toutes les populations. Quant à VOLP32, il exhibe deux allèles, qui ne sont présents que dans les populations de Médenine et de Tataouine. Ces

dernières régions sont géographiquement très proches l'une de l'autre. Le schéma de distribution de ces deux allèles présente une similarité dans les deux populations. La présence exclusive du locus YWLL02 avec ses 4 allèles chez la population de Tataouine a été notée, avec une légère différence des fréquences de ces 4 allèles en faveur de l'allèle C.

L'examen de des fréquences alléliques dans le tableau 12 permet d'identifier les allèles abondants dans chaque population, les allèles rares qui présentent des fréquences inférieures ou égales à 0,05 et les allèles privés ou spécifiques qui sont présents exclusivement dans une population.

2.1.2 - Richesse allélique

La richesse allélique d'une population, définie comme le nombre d'allèles présents à un locus donné, est connue pour dépendre de la taille de l'échantillon, puisque les chances de découvrir un nouvel allèle augmentent chaque fois qu'un nouvel individu est observé (Foulley et Ollivier, 2006). Dans ce travail, le nombre moyen d'allèle par locus varie de 3,33 pour Kébili à 3,87 pour Tataouine. Il est de 4,25 pour la population globale, ce qui est relativement important.

2.1.3- Taux de loci polymorphe

Tous les loci sont révélés polymorphes 100% au seuil de 95% dans les trois populations. Ce résultat indique l'efficacité des loci microsatellites utilisé pour l'étude de la diversité génétique des populations étudiées.

2.1.4- Hétérozygotie

Les taux d'hétérozygotie observée et attendue ont été calculés pour chaque locus et population sous l'hypothèse d'équilibre de Hardy Weinberg. Afin d'estimer l'importance du polymorphisme génétique nous avons comparé les deux taux d'hétérozygotie. Pour la population totale sur la base de multilocus, l'hétérozygotie attendue non biaisée (0,61) est supérieure à celle observé (0,52), traduisant un écart positif suggérant un déficit en hétérozygotie dans la population (tableau 13). La valeur de ($H_{nb} = 0,61$) est comparable à celle de dromadaires en Afrique du Sud (0,604), inférieure à la valeur enregistrée chez la population soudanaise (0,68) (Nolte et *al.*, 2005) et elle est strictement supérieure aux valeurs trouvées chez les populations de Kenya (0,53) et Emirats Arabes (0,51) (Mburu et *al.*, 2003). Cependant, $H_o = 0,52$ est moins importante que d'autres valeurs trouvées dans d'autres études

comme Vijnh *et al.* (2007) qui ont signalé que les valeurs de H_O pour les races camelines indiennes sont respectivement 0,58, 0,57, 0,56, et 0,60 pour Bikaneri, Jaisalmeri, Kutchi et Mewari.

Tableau 12: Fréquences alléliques dans chaque population (allèles abondants, rares et privés)

Loci	Population	N	Fréquences alléliques						
			A	B	C	D	E	F	G
CVRL01	Kebili	30	0.100	0.516	0.317	0.017	0.050	0	
	Médenine	30	0.517	0.217	0.133	0.017	0	0.116	
	Tataouine	30	0.317	0.116	0.250	0.017	0	0.300	
Tailles des allèles (pb)			253	249	240	235	220	210	
CVRL02	Kebili	30	0.850	0.150					
	Médenine	30	0.950	0.050					
	Tataouine	30	0.883	0.117					
Tailles des allèles (pb)			210	200					
CVRL05	Kebili	30	0.767	0.117	0.116				
	Médenine	30	0.617	0.250	0.133				
	Tataouine	30	0.450	0.450	0.100				
Tailles des allèles (pb)			170	165	150				
CVRL06	Kebili	30	0.517	0.267	0	0.216			
	Médenine	30	0.417	0.300	0.033	0.250			
	Tataouine	30	0.517	0.217	0.033	0.233			
Tailles des allèles (pb)			205	200	195	180			
CVRL07	Kebili	30	0.533	0.117	0	0.350	0	0	
	Médenine	30	0.267	0.466	0.033	0.234	0	0	
	Tataouine	30	0.383	0.133	0	0.300	0.134	0.050	
Tailles des allèles (pb)			315	310	300	280	270	265	
VOLP03	Kebili	30	0	0.017	0	0.183	0.233	0.567	0
	Médenine	30	0.084	0.250	0.200	0.050	0.383	0.033	0
	Tataouine	30	0.017	0.083	0.100	0.15	0.367	0.133	0.150
Tailles des allèles (pb)			180	170	165	160	155	145	140
VOLP32	Kebili	0	0	0					
	Médenine	09	0.444	0.556					
	Tataouine	30	0.483	0.517					
Tailles des allèles (pb)			260	258					
YWLL02	Kebili	0	0	0	0	0			
	Médenine	0	0	0	0	0			
	Tataouine	15	0.200	0.233	0.367	0.200			
Tailles des allèles (pb)			310	306	302	298			

N : Nombre d'individus génotypés

Tableau 13 : Richesse allélique et hétérozygotie dans la population totale

Locus	N	NA	Ho	Hnb	He
CVRL01	90	6	0,46	0,75	0,759
CVRL02	90	2	0,21	0,19	0,18
CVRL05	90	3	0,43	0,55	0,54
CVRL06	90	4	0,89	0,65	0,64
CVRL07	90	6	0,14	0,70	0,69
VOLP03	90	7	0,60	0,78	0,78
VOLP32	39	2	0,92	0,51	0,49
YWLL02	15	4	0,53	0,76	0,73
Moyenne		4,25	0,52	0,61	0,60

N : Nombre d'individus analysés, NA : Nombre d'allèles, Ho : Hétérozygotie observée, H_{nb} : Hétérozygotie calculée (non biaisée), He : Hétérozygotie attendue.

Le tableau (14) résume la richesse allélique et les taux d'hétérozygotie pour les populations individuelles.

Tableau 14 : Nombre d'allèles et hétérozygotie par locus et par population

Locus	Kebili					Médenine					Tataouine				
	N	NA	Ho	Hnb	He	N	NA	Ho	Hnb	He	N	NA	Ho	Hnb	He
CVRL01	30	6	0,53	0,64	0,63	30	6	0,47	0,66	0,65	30	6	0,37	0,75	0,73
CVRL02	30	2	0,30	0,26	0,25	30	2	0,10	0,09	0,09	30	2	0,23	0,21	0,21
CVRL05	30	3	0,27	0,39	0,38	30	3	0,13	0,25	0,62	30	3	0,73	0,59	0,58
CVRL06	30	4	0,90	0,62	0,61	30	4	0,77	0,68	0,67	30	4	1,00	0,64	0,63
CVRL07	30	6	0,10	0,59	0,58	30	6	0,067	0,68	0,67	30	6	0,27	0,74	0,72
VOLP03	30	7	0,47	0,51	0,50	30	7	0,80	0,76	0,74	30	7	0,53	0,77	0,76
VOLP32						09	2	1,00	0,53	0,50	09	2	0,90	0,51	0,50
YWLL02											15	4	0,53	0,76	0,73
Moyenne		3,33	0,43	0,50	0,50		3,71	0,50	0,57	0,55		3,87	0,57	0,62	0,61

N: Nombre d'individus analysés, NA : Nombre d'allèles, Ho : Hétérozygotie observée, Hnb : Hétérozygotie calculée (non biaisée), He : Hétérozygotie attendue

Remarquons que certains loci sont en écart significatif par rapport à l'équilibre de Hardy Weinberg, le tableau 15 montre les résultats du test d'équilibre vérifié par le logiciel Popgene (Yeh, 1999). Notons que tous les loci sont en déséquilibre dans la population totale, à l'exception du locus CVRL02, qui vérifie aussi bien l'équilibre dans toutes les populations individuelles.

Tableau 15: Test de l'équilibre de Hardy-Weinberg

Locus	Populations			
	Kebili	Médenine	Tataouine	Totale
CVRL01	-	***	***	***
CVRL02	-	-	-	-
CVRL05	**	***	***	***
CVRL06	***	***	***	***
CVRL07	***	***	***	***
VOLP03	-	***	***	***
VOLP32		**	***	***
YWLL02			**	**

** : P<0,05

*** : P<0,01

- : P>0,05

2.1.5- Indice de fixation F_{IS}

Cet indice est la mesure de l'écart entre la population d'individus trouvés à l'état hétérozygote (H_O) et l'hétérozygote attendu (H_E). Les trois populations présentent des indices de fixation (F_{IS}) positifs plus ou moins élevés compris entre ($F_{IS} = 0,083$) pour Tataouine et ($F_{IS} = 0,153$) pour Kebili, alors que Médenine ($F_{IS} = 0,114$) prend une valeur intermédiaire entre les deux. Ces indices positifs traduisent aussi un déficit en hétérozygote dont le loci CVRL07 et CVRL01 sont en partie responsables, car les dits loci présentent des F_{IS} sont souvent supérieurs à 0,35 dans toutes les populations analysées. Les coefficients de consanguinité sont respectivement 15,3%, 11,4% et 8,3% pour Kebili, Médenine et Tataouine. Mis à part le hasard, trois principaux facteurs pourraient expliquer ce déséquilibre observé. Il s'agit de facteurs génétiques, l'existence d'allèles nuls et l'effet de Wahlund (Jordana et *al.*, 2003). En ce qui concerne les causes génétiques, il est bien connu que la consanguinité (accouplement entre un individu et ses ascendants, ses collatéraux et/ou ses descendants) modifie les fréquences génotypiques. La conséquence en est une perte de variabilité génétique au cours des générations. Le second facteur pourrait être inhérent à l'existence d'allèles nuls,

allèles ne donnant lieu par PCR à aucune amplification. Une délétion au niveau des amorces ou une mutation dans les séquences flanquantes du microsatellite pourraient entraîner la présence d'allèles nuls (Laliberté, 1998). Enfin, le dernier facteur fait référence à la présence de sous populations à l'intérieur de chaque population (région) pouvant induire l'effet de Wahlund. A l'échelle de la population totale, les loci affichent un excès d'homozygote assez important avec $F_{IS} = 0,33$ pour CVRL01 et $F_{IS}=0,78$ pour CVRL07. L'excès en homozygotie ou hétérozygotie observée par rapport à l'homozygotie ou l'hétérozygotie attendue sous l'hypothèse de Hardy-Weinberg a été testé pour chaque locus et population. Ainsi, il apparaît que certaines populations vis-à-vis certains loci présentent des excès d'homozygotes significatifs par rapport aux proportions de l'équilibre de Hardy Weinberg. D'autres populations ont des excès en hétérozygotes significativement différents des proportions de l'équilibre de Hardy-Weinberg et bien sûr, quelles populations ont montré l'équilibre panmictique au niveau de certains loci. Les valeurs moyennes du F_{IS} : 0,153, 0,114 et 0,083 pour Kebili, Médenine et Tataouine, respectivement sont toutes positives suggérant ainsi un déficit en hétérozygotes chez toutes les populations camelines étudiées. L'indice moyen pour la population globale est de 0,071 indiquant un déficit d'hétérozygote relativement modéré.

2.2- Diversité génétique inter population

2.2.1- Indice de fixation ou F statistiques

Les indices de fixation ont été calculés pour tous les loci. Les valeurs de F_{IS} varie de -0,84 pour VOLP32 à 0,78 pour CVRL07 et celle du F_{IT} varient de 0,364 au locus CVRL06 à 0,816 pour YWLL02. La valeur moyenne de $F_{IS}=0,071$ indique un déficit d'hétérozygotes moins important au niveau des sous-populations que dans la population totale ($F_{IT}=0,150$). La valeur de F_{IT} indique un déficit global d'hétérozygotes de 15% en tenant compte des trois populations étudiées. La différenciation génétique F_{ST} est relativement élevée pour YWLL02 et VOLP32. En revanche F_{ST} affiche des valeurs faibles aux loci CVRL02 et CVRL06. La différenciation moyenne entre les populations est de $F_{ST}=0,083$, ce qui peut être considéré comme une valeur globalement modérée, indiquant l'origine de la variation génétique totale dans l'espèce. Rappelons que, la diversité génétique totale est la somme de la diversité génétique intra population et de la diversité génétique inter population. La valeur $F_{ST}=0,083$ montre qu'une grande part (91,7%) de la variabilité génétique totale est expliquée par la variation intra population et que le reste de cette variabilité (8,3%) est attribuée aux différences entre populations. Ce niveau de différenciation génétique reste, globalement,

semblable à ceux reportés dans d'autres études pour d'autres espèces domestiques : 8,2 % pour les races camelines indiennes (Vijh et *al.*, 2007), 8 % pour les équidés en Espagne (Canon et *al.*, 2000) et 10 % entre les populations bovines européennes (MacHugh et *al.*, 1998). Le coefficient F_{ST} a été calculé entre les populations, le paramètre de différenciation génétique ($F_{ST}=0,031$) entre Médenine et Tataouine traduit l'absence de structuration géographique et génétique entre ces deux populations qui apparaissent homogènes. Ce net rapprochement suppose des échanges d'animaux entre ces deux régions. Cependant, on retrouve en revanche une distinction entre la population de Kebili et les deux autres régions, qui peut s'expliquer par l'isolement de cette région (tableau 16).

Tableau 16 : Les F_{ST} entre les paires des populations

	Kebili	Médenine	Tataouine
Kebili			
Médenine	0,131		
Tataouine	0,108	0,031	

2.2.2 - Distance génétique et construction des dendrogrammes

La matrice des distances estimées entre les individus de la population totale, a servi pour la construction des dendrogrammes. Ces distances varient de 0 à 0,9, ce qui montre une large variabilité génétique au sein de la population cameline étudiée. La distance nulle entre deux individus suggère une similarité vis-à-vis les loci étudiés. Par contre une distance élevée traduit l'éloignement génétique d'un individu par rapport à un autre.

Rappelons que la construction des différents arbres phylogénétiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Darwin version 5.0.155 (Perrier et Jacquemoud-Collet, 2006) selon la procédure Neighbor Joining. L'examen du dendrogramme de la population totale (figure 11), permet de distinguer trois groupes principaux et qui à leur tour présentent des sous groupes. L'analyse de l'arbre, montre que le regroupement des individus se fait indépendamment de l'origine géographique et le nom ethnique de l'écotype. Cette répartition sur l'arbre phylogénétique, peut être expliquée par l'existence d'une large base génétique commune entre les individus de différentes populations.

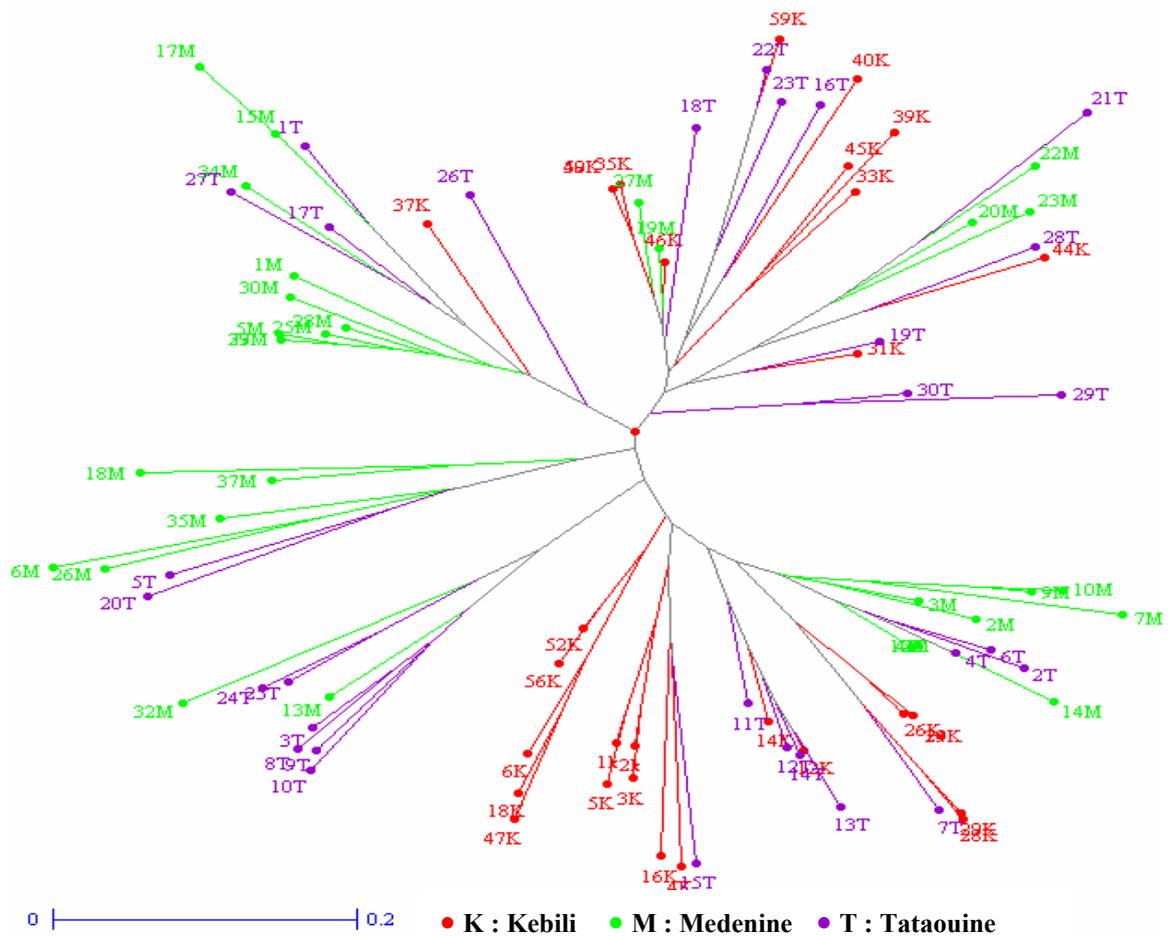


Figure 11: Arbre phylogénétique entre les individus de la population totale

Pour étudier la structuration de la diversité génétique au sein des populations, la distance de Nei (1978) a été estimée entre les paires de populations. La matrice des distances génétiques entre les populations indique une variation de 0,104 entre Médenine et Tataouine à 0,29 entre Kebili et Tataouine (Tableau 17). Ces valeurs relativement peu élevées indiquent que les populations sont génétiquement comparables et probablement appartiennent à un même groupe génétique.

Tableau 17 : Distance génétique entre les paires des populations

	Kebili	Médenine	Tataouine
Kebili			
Médenine	0,280		
Tataouine	0,290	0,104	

Le dendrogramme des populations (Figure 12) montre qu'en général les regroupements des populations sont en relation avec des proximités géographiques. Le rameau de *Nefzawa* (Kebili) constitue un groupe isolé. Cependant, le rameau de l'*Aaradh* (Médenine et

Tataouine) forme un groupe divisé en deux classes. Cette classification génétique confirme bien la classification géographique avancée dans le chapitre précédent.

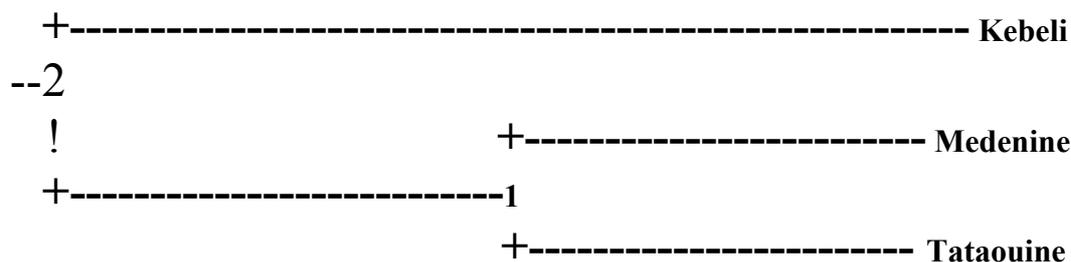


Figure 12 : Relations phylogéniques entre les trois populations

L'analyse de dendrogramme de chaque population (figures 13, 14 et 15) montre bien que les subdivisions de chaque population ne correspondent pas aux écotypes et que le regroupement se fait indépendamment de ces écotypes. Ce qui mène à l'hypothèse que les écotypes identifiés et nommés par les éleveurs ne constituent pas des entités génétiques bien individualisées. Cette hypothèse peut être consolidée par les résultats du chapitre précédent tel que les pratiques de croisements incontrôlés, le choix et l'utilisation des mâles reproducteurs (85% des géniteurs sont choisis du troupeau lui-même et utilisés pendant une durée moyenne de 7 ans) et la consanguinité. Tous ces facteurs limitent significativement la différenciation.

2.2.3- Flux des gènes

Les flux des gènes (Nm) entre les paires des populations (tableau 18) représentent une valeur relativement importante (7,73) entre Médenine et Tataouine, et peu importante entre les autres populations. En général, les valeurs traduisent un échange des gènes assez important entre ces trois populations. Ces résultats de Nm confirment ceux des distances et différenciations génétiques.

Tableau 18 : Flux des gènes entre les paires des populations

	Kebili	Médenine	Tataouine
Kebili			
Médenine	1,65		
Tataouine	2,06	7,73	

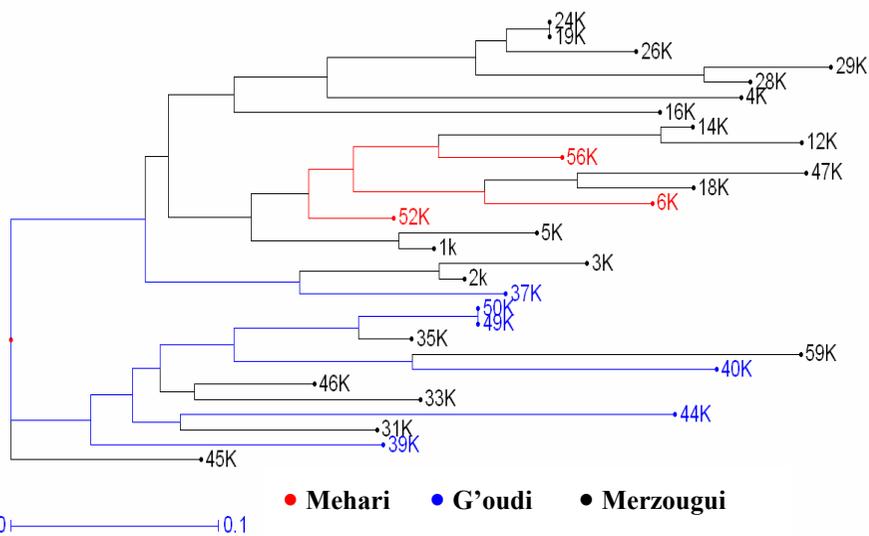


Figure 13: Dendrogramme de la population de Kebili

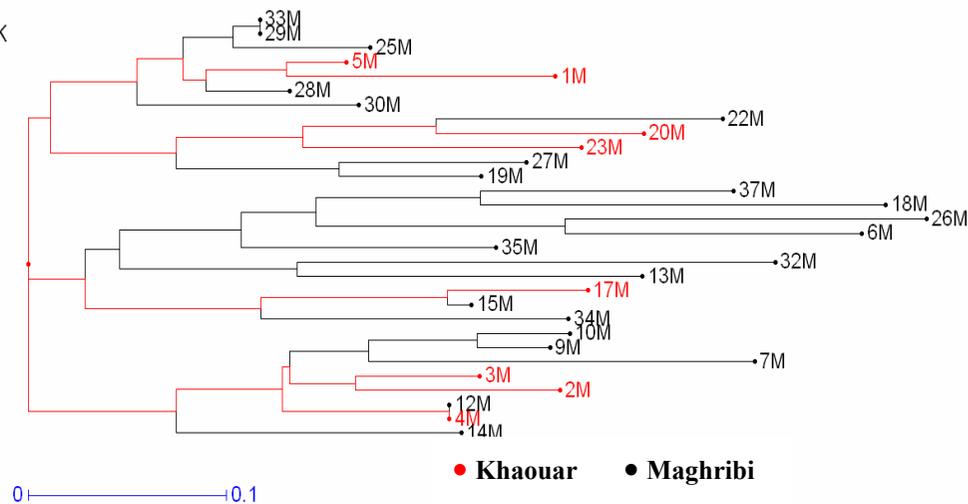


Figure 14: Dendrogramme de la population de Médenine

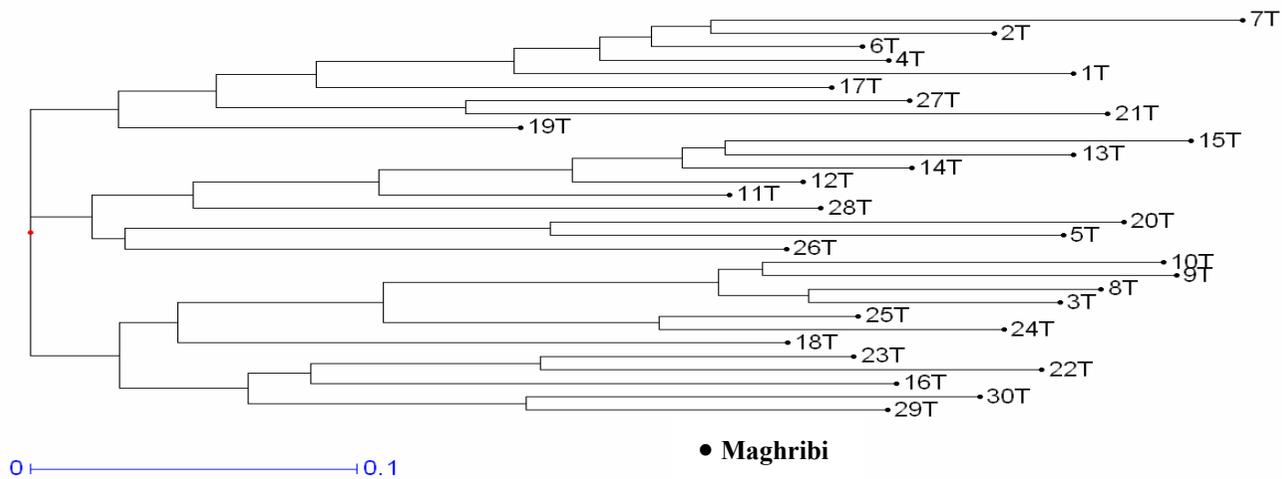


Figure 15 : Dendrogramme de la population de Tataouine

VI- CONCLUSION

Les résultats de génotypage présentés dans ce chapitre se sont basés sur huit loci polymorphes. Même si le nombre de locus que nous avons étudiés est peu important et si d'autres études sont nécessaires, les résultats de cette étude offrent une première estimation de la diversité génétique de dromadaires en Tunisie. Certes, ces résultats présentés ne constituent qu'une modeste contribution à la caractérisation des dromadaires en Tunisie, également, ils représentent autant d'acquis pour la mise en œuvre d'un programme de conservation de l'espèce dans le pays. D'une manière générale, la présente étude aura permis de mettre en évidence chez les dromadaires en Tunisie, un niveau élevé de diversité génétique, principalement d'origine intra population. Bien qu'elle présente un taux de consanguinité de 15% loin d'être nul. Les résultats montrent que la population étudiée partage une grande base génétique, malgré l'apparition de différences régionales. En effet, la population semble menacée par l'absence de gestion des généalogies dans les troupeaux et par des croisements consanguins qui pourraient entraîner une évolution de sa structure génétique vers l'homozygotie. Plusieurs facteurs dont les pratiques des éleveurs, le statut actuel de l'espèce et son histoire évolutive expliquent sa structuration génétique actuelle. Le maintien de la diversité génétique existante au sein de l'espèce constituera une étape importante dans le cadre de la conservation des ressources génétiques animales.

CHAPITRE VII : CONSERVATION DES DROMADAIRES EN TUNISIE

I- INTRODUCTION

Comme déjà mentionné, l'espèce cameline a des fonctions multiples, elle contribue au développement socio-économique des populations rurales et urbaines en Tunisie. Mais, sous l'effet conjugué de la pression de certains facteurs dont la croissance démographique, l'évolution socio-économique et les aléas climatiques, certains éleveurs considèrent l'élevage camelin comme une activité secondaire et parfois ils l'abandonnent. Paradoxalement, l'espèce comme réservoir génétique doit contribuer significativement à combler les besoins des consommateurs en produits animaux de plus en plus pressants. La solution à ce dilemme passe nécessairement par la mise en œuvre d'actions concertées entre les communautés locales, les structures techniques et scientifiques et les institutions politiques en vue d'une meilleure conservation et utilisation durable des ressources génétiques animales d'une manière générale et camelines particulièrement dans les régions arides. Cependant, la préservation et l'utilisation durable de la biodiversité exigent des données, des informations et des connaissances complètes sur l'espèce. Les résultats présentés dans les chapitres précédents, dans le cadre de cette thèse, apportent des renseignements sur l'élevage des dromadaires en Tunisie.

La convention mondiale de la biodiversité impose la conservation des ressources génétiques par deux scénarios (*in situ* et *ex situ*). En premier lieu, la conservation de la diversité génétique doit se baser sur la conservation *in situ*, c'est-à-dire la protection des espèces dans leur milieu naturel. Cette stratégie conduit à une conservation durable, notamment pour la sauvegarde des espèces et le maintien de leur diversité. L'importance de conservation *in situ* est soulignée dans les conventions et législations internationales, elle constitue l'une des bases de conception du développement durable. En effet, conserver des populations au sein de leur milieu requiert des actions plus ciblées qu'une simple protection : cela demande un investissement plus conséquent mais indispensable pour freiner la disparition des espèces (études sur la biologie et la génétique des populations, rédaction de plans d'action, mesures sur le terrain, coordination entre de nombreux partenaires, etc.). La conservation *in-situ* d'une espèce cible dans une localité donnée vise à conserver le milieu associé ainsi que d'autres espèces typiques, végétales ou animales. C'est pourquoi toutes ces

actions doivent s'intégrer en aspect multidisciplinaire, tant au niveau scientifique que technique.

Lorsque la conservation *in situ* s'avère insuffisante, notamment dans les cas où une espèce est au bord de l'extinction (effectif d'individus très réduit) dans une région donnée, on recourt à la conservation *ex-situ*, c'est-à-dire hors du milieu naturel de l'espèce. Il s'agit d'un dernier recours pour éviter une disparition définitive. La conservation *ex-situ* est un processus onéreux qui demande du temps et de l'expérience et ne se substitue pas à la protection *in-situ*, elle la complète dans les cas les plus problématiques.

Les dromadaires en Tunisie sont loin d'être une population en état de taille réduite. Dans ce cas le scénario approprié est de promouvoir la conservation *in situ*.

II-EBAUCHE D'UN SCHEMA DE DEVELOPPEMENT ET DE CONSERVATION

Les résultats de ce travail se sont focalisés sur la caractérisation de l'élevage camelin dans le Sud tunisien, à la fois sur la base des modes de conduite et des pratiques des éleveurs et de leur orientation et sa diversité génétique, permettant d'aborder la question des programmes de développement de l'élevage dans les régions de l'étude. En se basant sur ces résultats, certains volets (organisation, protection, valorisation et recherche) ont pu être identifiés et peuvent orienter le schéma général de la conservation et de développement de l'espèce cameline en Tunisie. Ces volets constituent une ébauche d'une vision globale pour la conservation et le développement durable de l'espèce, qui possède réellement des aptitudes potentielles et favorables pour l'élevage dans les zones arides.

1- Organisation du secteur camelin

La FAO estime que la reproduction pour les systèmes de production à faibles intrants demeurera une responsabilité du secteur public, mais pourrait être appuyée par des coopératives de producteurs ou des initiatives communautaires. Néanmoins, nombreux sont les pays qui n'ont aucun cadre juridique pour l'enregistrement des animaux de races autochtones ou pour la création d'associations de production animale. La mise en place de tels programmes, en particulier au sein des communautés ayant peu ou pas d'expériences de conservation, exige un important renforcement des capacités d'organisation. L'organisation du secteur camelin préalablement, doit s'articuler autour des points suivants :

1.1- Registres de données

L'enregistrement des performances est un élément essentiel dans les programmes d'amélioration des races spécialisées dans le monde. Cependant, il peut être difficile de motiver les éleveurs à enregistrer les performances individuelles des dromadaires, et les approches allant dans ce sens ne sont viables que dans des milieux où les éleveurs possèdent un certain niveau d'éducation. Or, la majorité des éleveurs chameliers au Sud tunisien est illettrée (Figure 16).

Par ailleurs, les savoir faire locaux tiennent leur importance dans la conservation des ressources génétiques camelines ainsi que dans la valorisation des produits. Cependant, il est constaté que ces savoirs faire sont peu valorisés pour les raisons suivantes :

- Manque d'organisation professionnelle des éleveurs.
- Manque de coopératives pour la collecte et la transformation des produits et sous produits camelins.
- Absence des normes et des standards de qualité dans le secteur.
- Manque de technologies adaptées et manque d'information et de formation pour les éleveurs.

La levée de ces contraintes permettrait une meilleure valorisation des savoir faire existants. Laquelle valorisation serait à même de contribuer à la conservation de la biodiversité et d'améliorer les ressources de revenus des éleveurs par la vente des produits issus de l'espèce.

La situation actuelle suggère des stratégies de communication spécialisées et le développement de techniques d'enregistrement appropriées. L'adoption de techniques participatives parmi les professionnels (vétérinaires, zootechniciens, etc.) travaillant avec les éleveurs constituerait un pré-requis essentiel pour établir un protocole simple et opérationnel de contrôle des performances. Toutefois, l'intensification des actions de vulgarisation sera nécessaire pour sensibiliser et inciter les éleveurs à participer vivement au développement de l'élevage. Il est évident que le contrôle des performances individuelles nécessite préalablement un système efficace d'identification des animaux à contrôler. Ce système d'identification, sera une excellente alternative pour le système traditionnel "*Sima*" ou marquage par le feu.

Pour créer un noyau représentatif de contrôle de performances plusieurs scénarios sont possibles et peuvent être proposés comme suit :

A court terme, instaurer des formules simples (contrat, incitations, etc.) avec des éleveurs ayant des troupeaux de taille importante peut constituer un élément crédible dans ce sens. L'objectif principal de ces formules est de permettre l'accès au contrôle des performances individuelles des animaux (vitesse de croissance, production laitière, paramètres de reproduction). Les formules adoptées doivent ainsi préparer tous les éleveurs à s'inscrire dans un programme de développement du secteur pour l'avenir (contrôle de performance et amélioration génétique qui vont ensemble, etc.).

A moyen et à long terme, il faut créer des sociétés modèles spécialisées en élevage des dromadaires intensifié, à l'instar des bovins au nord du pays et des dromadaires au Golfe. En premier lieu, ces sociétés peuvent être initiées par l'Etat et en second lieu inciter et encourager les éleveurs privés à multiplier ces modèles. L'utilisation des technologies pour la conduite des troupeaux sera un atout pour ces sociétés. L'intervention de l'Etat à ce niveau est primordial en soutenant les éleveurs investisseurs en matière de : vulgarisation, soins vétérinaires, commercialisation, prêts avec des conditions raisonnables, etc. Ces sociétés peuvent servir à la diffusion du matériel génétique amélioré et à la sélection des types qui s'adaptent avec les conditions intensives.

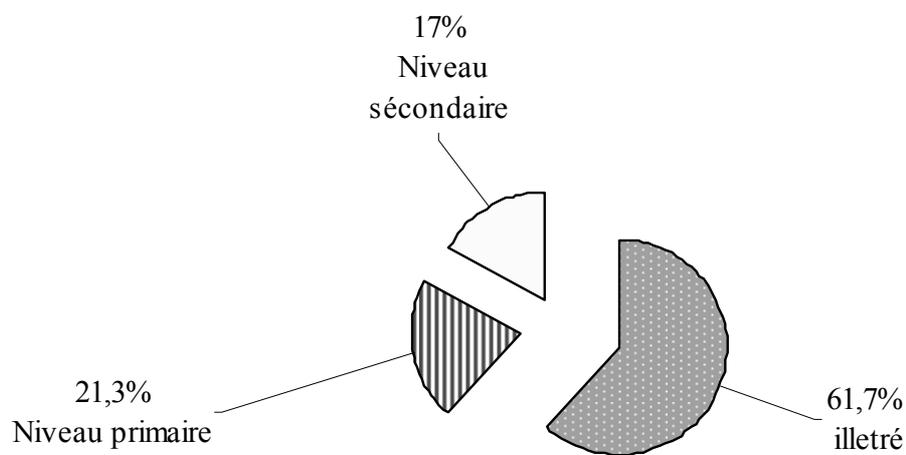


Figure 16 : Niveau d'instruction des éleveurs camelins

1.2- Associations des éleveurs

L'organisation des éleveurs en associations est une étape importante dans le développement de l'espèce. Ces associations se sont avérées efficaces dans les pays développés ainsi que dans certains pays en développement (cas de la Tunisie). Le principal enseignement tiré de l'expérience de l'association de la race ovine Sicilo Sarde en Tunisie semble avoir été le fait que les objectifs de développement devaient être définis en étroite

coopération avec les éleveurs. Toutefois, la conservation et le développement des ressources camelines doivent s'appuyer sur les pratiques et les connaissances traditionnelles. La mobilisation et le renforcement des pratiques et connaissances traditionnelles doivent servir de point de départ à toutes les interventions mises en oeuvre dans ce domaine. Les éleveurs peuvent à cet égard beaucoup apprendre des méthodes participatives, que se soit au niveau des programmes d'amélioration génétique ou de commercialisation.

1.3- Organisation en réseaux

La gestion et la préservation des ressources génétiques camelines dans le pays constituent un principal défi. Ce dernier doit être gagné par l'organisation en établissant des liens de partenariat entre les associations des éleveurs, ONG et des institutions de développement (CRDA, OEP, etc.) et de recherche scientifique (ENMV, INAT, INRAT, IRA, etc.) et à instaurer des mécanismes facilitant leur coopération. L'approche axée sur la mise en réseau, s'avère être un modèle approprié. Parmi les rôles de la banque nationale des gènes est de coordonner et de regrouper tous ces acteurs en réseau pour la meilleure caractérisation et conservation des ressources génétiques nationales.

2- Protection de l'espèce cameline

Plusieurs facteurs de nature diverse contribuent à l'extinction et à la marginalisation de certaines ressources génétiques animales, facteurs génétiques, économiques, politiques, institutionnels, environnementaux, démographiques, etc. Par ailleurs, Tisdell (2003) a signalé que le facteur le plus déterminant de la diversité génétique des animaux d'élevage est la mondialisation des échanges. En effet, la demande pressante en produits d'élevage est satisfaite, en grande partie, par des systèmes de production intensifs basés sur quelques espèces et races d'animaux à haut niveau d'intrants et de performance. Cette tendance mondiale associée à des règles sanitaires plus rigoureuses excluent les éleveurs (surtout les petits) qui détiennent l'essentiel des ressources zoogénétiques autochtones. De ces faits, le dromadaire est toujours décrié. Qualifié de passéiste ou encore de peu productif et non rentable, il est considéré incompatible avec les formes modernes d'élevage, tant il est souvent associé aux modes de conduite les moins techniques. Les résultats du chapitre V montrent que plus de 88% des éleveurs camelins élèvent des petits ruminants. Il est important de signaler que la pérennité et la durabilité de l'élevage camelin sont fortement liées à l'élevage des petits ruminants. L'atténuation ou la minimisation de cette liaison de dépendance requiert la mise en

œuvre de certaines mesures institutionnelles (incitations, législations, etc.) et politiques économiques prenant en compte l'autonomie et la modernisation des dromadaires comme une activité économique spécialisée à l'instar d'autres espèces d'élevages en Tunisie. De telles mesures permettraient de réduire les écarts de rentabilité économique entre les espèces spécialisées et les dromadaires.

3- Valorisation des produits camelins

Parmi les résultats relevés dans le chapitre V, il s'est avéré que la production de viande est la finalité majeure de l'élevage camelin. Un tel constat suggère que la diversification de production de l'espèce devrait être élargie en vue de bien asseoir la filière cameline. Les efforts de valorisation aux mécanismes économiques détermineront la viabilité et l'utilité de l'espèce, et devront être bien travaillés.

La valorisation est une perspective s'inscrivant dans une démarche globale visant non seulement à conserver l'espèce, mais aussi à l'intégrer dans des réseaux économiques rentables. La mise en valeur des produits de l'espèce serait réalisable à travers certains points dont :

- Caractérisation des performances économiques des dromadaires.
- Amélioration des infrastructures et de l'assistance technique des éleveurs.
- Optimisation des systèmes de production camelins.
- Amélioration génétique des dromadaires.
- Exploration des possibilités permettant d'accroître les valeurs marchandes des produits issus de l'espèce (typicité des produits, labels, produit de terroir, attraction touristique, industrielle et même médicale et circuits de commercialisation performants).

Incontestablement, l'intégration de ces aspects dans la stratégie de conservation engendrerait une augmentation des coûts à court et moyen terme. Toutefois, cette approche pourrait être plus efficace à long terme car les coûts de conservation sont censés diminuer au fur et à mesure que l'espèce acquiert une certaine autonomie dans son développement et sa pérennité. En effet, dans le contexte actuel des produits industrialisés et standardisés, il existe un réel engouement pour les produits dits biologiques traditionnels qui s'appuient sur la notion de terroir pour affirmer leur typicité. Le lait des chamelles est considéré par la population locale comme produit plus savoureux et nutritif que les autres laits, en plus de sa valeur médicale. La commercialisation de ce lait sous une marque distincte permettrait certainement de stimuler la demande de ce produit. L'enquête réalisée dans le cadre de cette étude nous a permis

d'identifier un éleveur à Djerba qui commercialise le lait frais des chamelles avec un prix satisfaisant et une forte demande. A Douz l'utilisation des mâles pour des tournés touristiques constitue une ouverture du secteur sur le Tourisme génératrice de revenu, extension mérite d'être encouragée. Ces exemples permettent de consolider cette vision. Via ces réelles opportunités, il paraît évident que l'espèce cameline pourrait conforter sa valeur ajoutée et sûre à travers une forte valorisation de ses produits et services, moyennant des filières de valorisation ciblées, qui constituent des alternatives potentielles pour dégager un revenu économique non négligeable.

A l'image des races locales européennes, bien valorisées dans le cadre de filières commerciales, le dromadaire pourrait ainsi représenter une ressource authentique pour la mise en place des nouveaux schémas de développement en Tunisie. Le dromadaire bénéficie de nombreux atouts pour répondre à une telle demande, du fait de son adaptation aux conditions extensives d'élevage et sa capacité à valoriser les fourrages rares et pauvres, ainsi qu'à sa résistance aux maladies. Il bénéficie également d'une dimension culturelle forte, du fait de son ancrage dans la tradition agricole tunisienne. Ces considérations permettront de préciser les axes majeurs pour la production de viande produite localement, à partir des dromadaires et les possibilités de valorisation dans une filière labellisée, autour d'un cahier des charges et en conformité avec les attentes et les préférences des consommateurs. Ainsi, les éleveurs pourront certainement être intéressés et tirer profit d'un programme d'amélioration génétique de cette espèce. L'amélioration des aptitudes de croissance et de production de viande des dromadaires permettra d'améliorer la valorisation des produits camelins, à condition qu'elle soit couplée avec une conduite d'élevage adéquate.

4- Recherche scientifique

L'objectif premier de mener une recherche scientifique appliquée sur les dromadaires doit être d'une part, de maximiser la rentabilité des éleveurs, d'autre part contribuer à la conservation de l'espèce à travers une combinaison de diverses mesures dont notamment l'amélioration génétique et conservation, l'organisation professionnelle des éleveurs et l'optimisation des réseaux commerciaux.

La conception des programmes conduits selon une approche pluridisciplinaire intégrant les éléments de la zootechnie, génétique, socio-économie et écologie est nécessaire pour l'optimisation de la gestion de l'espèce cameline.

L'environnement actuel de la recherche scientifique dans le pays est favorable et peut participer significativement à soulever certains défis et contribuer à la prise de décision au niveau des éleveurs. Toutefois, les moyens disponibles en matière du secteur de la recherche scientifique (humains, scientifiques, etc.) permettent de raisonner la problématique de conservation et de développement de l'espèce en tenant en compte les apports de chaque discipline.

III- AMELIORATION GENETIQUE

Les résultats ont montré que la sélection concentre la majeure partie de ses efforts sur les mâles, qui sont généralement choisis sur la base de leurs performances vis-à-vis des femelles, de leur puissance et de leur vitalité ainsi que de leur phénotype, et non pas sur leurs valeurs génétique. En effet, il n'est pas rare d'entendre, par des éleveurs, dire que la qualité des dromadaires se dégrade. Ils observent une dégradation des qualités d'adaptation, voir même des performances laitières ou de croissance, qui doit probablement être attribuée aux métiçages et croisements incontrôlés et au taux de consanguinité atteignant 15%. Pour maintenir l'importante variation génétique existante au sein de l'espèce (principalement d'origine intra population environ 92%), une vision claire d'amélioration génétique, dans le cadre de la conservation des ressources génétiques, doit se dessiner et avoir lieu. Avec le niveau, relativement élevé, de la diversité génétique, dans une première étape, l'accent doit être mis sur la sélection. La sélection est définie comme étant l'utilisation des reproducteurs ayant les valeurs génétiques les plus élevées pour des caractères d'intérêt économique aux éleveurs. Elle doit être participative dans sa démarche en associant les éleveurs aux différentes étapes de conception, de réalisation, de suivi et d'évaluation. Elle doit être une partie intégrante d'un programme plus vaste qui va au-delà de la simple fourniture de matériel génétique amélioré et qui comporte une composante de renforcement des capacités des éleveurs au triple plan de la gestion du cheptel, de la commercialisation et de la promotion de races camelines. La mise en place d'un programme de sélection cameline présente une solution à la question, même partielle, de l'encadrement et de l'organisation des éleveurs. Ce programme de sélection devrait s'appuyer sur un certains nombre d'éleveurs possédant un cheptel de taille importante. Pour ces élevages, la mise en place d'un programme d'amélioration génétique peut représenter un atout et leur donner l'accès à une assistance technique et des soutiens publics.

La mise en œuvre d'un tel programme de sélection n'est pas sans poser problèmes, dans la mesure où beaucoup de ses rouages n'existent pas concrètement et sont méconnus, et où les options possibles ne sont pas encore totalement évaluées. A l'heure actuelle, les objectifs de sélection sont difficiles à définir. Ils doivent être considérés avec attention car ils peuvent différer en fonction de la situation particulière de chaque éleveur. Mais, il reste le but global de la sélection est d'obtenir un dromadaire désirable, c'est-à-dire un animal qui donne au producteur une rentabilité la plus élevée possible. Certes, pour atteindre cet objectif il faut choisir les meilleurs géniteurs disponibles pour la reproduction et le meilleur marché pour progresser vers les buts génétiques. Actuellement, l'association race-système d'élevage forme un tout et conduit à la fourniture de produits présentant des caractéristiques particulières destinés à des marchés cibles. C'est la raison qui fait que, de plus en plus, dans le cadre du développement de productions de qualité, on trouve une association entre la race dans son système de production mis en œuvre, les produits fournis et le marché cible. Le slogan **Race - Produit - Marché** résume bien ce constat : la génétique qui est en amont est le premier signe de qualité du produit d'aval. La notion de traçabilité, qui relie l'animal producteur au consommateur en passant par toute la chaîne de transformation et de distribution, part ainsi de l'animal, identifié le plus souvent dans une race, c'est-à-dire une notion à base génétique.

Pour la viande attire actuellement, l'attention de plusieurs acteurs dans le secteur (atelier d'engraissement, abattoir moderne à la région de Mehdiya destiné à accueillir et traiter la viande des dromadaires, la vente de viande cameline dans les grandes surfaces avec l'augmentation de la demande). Tous ces facteurs encouragent les éleveurs à promouvoir les types à viande et évoluer leurs productions pour les rendre sur le marché.

Pour le lait actuellement est destiné à l'autoconsommation et rarement commercialisé suite à plusieurs motifs : sociaux, faible productivité des chamelles, difficulté de collecte et de transport. Mais, l'état actuel de ce produit ne veut pas dire sa faible valeur socio-économique au contraire c'est un produit potentiellement important à raison de ses valeurs commerciale, nutritionnelle et médicale. La promotion de la sélection des races laitières camelines représente une voie prometteuse pour ce produit et renforcera la relation race-produit-marché.

Pour mettre tous les éléments proposés pour la conservation des dromadaires en relation, un schéma de développement regroupe des aspects techniques et organisationnels a été proposé par Djemali et Alhadrami (1998) dans le tableau (19).

Tableau 19 : Aspects de schéma de développement des dromadaires

Aspects organisationnels	Aspects techniques
1- Créer une association nationale ou régionale pour les races sélectionnées.	1- Identifiez les types de races <ul style="list-style-type: none">• Effectif• Système de production• Préférence de la société
2- Organisation en réseau les associations et les institutions nationales de recherche et de développement concernées.	2- Développer une stratégie d'amélioration pour chaque race importante <ul style="list-style-type: none">• Objectif de sélection• Système d'enregistrement fiable et simplifié• Méthodes d'évaluation génétiques fiables• Plan pour dissémination des résultats et des gènes d'intérêt• Évaluation de progrès de gestion et tendances génétiques dans les troupeaux enregistrés par an
3- Programmes de renforcement de capacités et de formation pour les éleveurs et les professionnels auront la responsabilité de gestion de l'élevage.	3- Mettez en oeuvre un programme de gestion spécifique à chaque stratégie d'amélioration proposée. <ul style="list-style-type: none">• Reproduction• Nutrition• Santé

VI- CONCLUSION

Ce chapitre a soulevé un certain nombre de questions et perspectives autour des enjeux de la conservation et de développement des dromadaires. Pour l'espèce, ces questions sont prioritaires et doivent être à l'ordre du jour. C'est une nécessité pour le secteur camelin dans la mesure où la diversité génétique sera toujours utile pour répondre aux besoins spécifiques de certaines filières (de qualité, etc.) ou pour l'exploitation de milieux difficiles, et dans la mesure où il est prudent de maintenir la diversité de l'espèce, afin de préserver ses capacités futures de s'adapter à d'éventuels changements de conjoncture.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'élevage de l'espèce cameline en Tunisie demeure essentiellement extensif caractérisé par une productivité relativement faible et tardive. La transhumance ou les déplacements programmés entre les parcours en fonction de la saison constitue une principale composante de conduite alimentaire de l'élevage camelin dans le Sud tunisien. Cette étude a montré la dominance de la forme traditionnelle de cet élevage (la gestion des dromadaire reste dominée par les pratiques séculaires des éleveurs), mais elle a montré également, sa place dans une combinaison élevage ovin-caprin et camelin pour tirer profit d'un écosystème désertique. Une tendance vers l'amélioration de production et des techniques de conduite a été observée se traduisant par l'adoption de certaines pratiques nouvelles comme la complémentation pour l'engraissement, le sevrage précoce et les soins vétérinaires.

La génétique cameline reste problématique et peu exploitée dans les élevages et parmi les contraintes majeures du secteur. Chez les éleveurs, la génétique des dromadaires se base sur des critères phénotypiques et sociogéographiques (en relation avec les groupes ethniques des éleveurs dans les différentes régions). A la base de ces considérations la population cameline présente une variabilité au niveau de certains traits phénotypiques et morphologiques comme le format, la couleur de la robe et la structure de poils et adaptatifs comme la rusticité (résistance aux maladies et tolérance à la sécheresse) des animaux qui sont en relation avec les traits morphologiques (couleur de la robe et finesse des poils). La population étudiée se classe géographiquement en deux rameaux principaux à savoir le rameau de Nefzawa (Kebili) dans lequel se cohabitent les écotypes Merzougui, G'oudi et M'hari et celui de l'Aaradh qui regroupe Médenine et Tataouine et dans lequel se trouvent Maghribi et Khaouar. Dans ces deux rameaux identifiés on trouve les principales robes rencontrées dans les élevages camelins au Sud tunisien avec la dominance assez remarquable de la couleur rouge dans toutes les régions.

L'analyse moléculaire de la diversité génétique et les relations phylogéniques a montré que la population des dromadaires étudiée présente une variabilité génétique totale (inter et intra) satisfaisante en tenant en compte les conditions de son élevage (stratégies de reproduction). Cette diversité est essentiellement d'origine intra population (92%) et seulement environ 8% de la diversité totale est attribuée à la différenciation entre les populations étudiées.

Le niveau de consanguinité dans la population totale a été estimé à 15%. Il semble que la population est menacée par l'absence de gestion des généalogies dans les troupeaux, et par des croisements consanguins qui pourraient entraîner l'évolution progressive de la structure génétique vers l'homozygotie, ce qui conduira certainement à la réduction du niveau de la diversité génétique dans la population cameline.

Les résultats moléculaires confirment la séparation géographique de la population en deux groupes à savoir Nefzawa et Aaradh. Les marqueurs utilisés dans cette étude n'ont pas montré la différenciation entre les cinq écotypes nommés et identifiés par les éleveurs comme des entités génétiques bien individualisées. L'utilisation de plus de marqueurs et plus des génotypes de chaque écotipe, pourrait rendre la séparation entre les types plus claire et plus fiable.

Le niveau de diversité enregistré dans la population pourrait servir comme base d'aménager des programmes de développement durable de l'espèce surtout en matière de l'amélioration génétique.

Cette étude peut servir aussi comme base pour d'autres études plus précises de caractérisation génétique dans l'espèce cameline. Par exemple, nous avons constaté sur le terrain au cours de nos visites que les éleveurs parlent de dégradation de qualité des dromadaires (adaptation et performances zootechniques). A ce propos une évaluation, moyennant des outils modernes et précis de génétique moléculaire (marqueurs moléculaires liés à des caractères désirables) de caractères d'adaptation et de production mérite d'être entreprise dans le but d'une mise en action d'un programme d'amélioration génétique. La mise en œuvre d'une démarche globale, misant sur la sélection des dromadaires dans leur milieu d'élevage permettrait de mieux valoriser leurs caractères d'adaptation en améliorant ses performances de production pour une filière de qualité.

Dans l'optique de renforcer la conservation des dromadaires, la considération de certains aspects dans une stratégie de développement implique la valorisation de l'espèce et son intégration dans des réseaux économiques rentables. Les points suivants sont prioritaires : (i) caractérisation des performances économiques et amélioration des infrastructures et de l'assistance technique des éleveurs, (ii) optimisation des systèmes de production existants (iii) amélioration génétique tout en se basant sur l'identification et le contrôle des performances des dromadaires, (iv) exploration des possibilités permettant d'accroître les

valeurs marchandes des produits camelins. La conservation par l'utilisation durable des dromadaires fait appel aussi à une collaboration renforcée entre les différents intervenants (profession, structures de développement et de recherche scientifique). Cette vision de conservation des dromadaires devrait se concentrer préalablement sur quatre points à savoir (i) l'organisation du secteur, (ii) protection de l'espèce et ça concerne essentiellement des mesures institutionnelles (incitations, législations, politiques économiques à entreprendre, etc.), (iii) valorisation et utilisation des produits et sous-produits camelins et (iv) recherche scientifique afin de répondre aux questions posées pour aider les éleveurs à bien gérer leurs élevages et raisonner leurs objectifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abaab, A., S. Bédrani et J. Chiche. 1995.** Les politiques agricoles et la dynamique des systèmes agropastoraux au Maghreb. Les agricultures Maghrébines à l'aube de l'an 2000. *Options Méditerranéennes*. 14:140-165.
- Aberle, K.S., H. Hamann, C. Drogemuller and O. Distl. 2004.** Genetic diversity in German draught horse breeds compared with a group of primitive, riding and wild horses by means of microsatellite DNA markers. *Animal Genetics*. 35: 270-277.
- ACSAD. 2002.** The Socio-Economic of camel Herders in Sudan. The camel Applied Research and Development Network CARDN/ACSAD/Camel/P102/2002.
- Ajmone-Marsan, P., A.Valentini, M. Cassandro, G. Vecchiotti-Antaldi, G. Bertoni and M. T. R. Kuiper. 1997.** AFLP markers for DNA fingerprinting in cattle. *Animal Genetics*. 28: 418-426.
- Agrawal R.P., S.C. Swami, R. Beniwal, D.K. Kochar, M.S. Sahani, F.C. Tuteja and S.K. Ghouri. 2003.** Effect of camel milk on glycemic control, risk factors and diabetes quality of life in type-1 diabetes: a randomised prospective controlled study. *J. camel res. pract.* 10: 45-50.
- Al Mutairi, S.E. 2000.** Evaluation of Saudi camel calves' performance under an improved management system. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.* 53 : 219-222.
- Al Mutairi, S.E and A. Hashimi. 1988.** Studies on milk production and growth rate of camels in Saudi Arabia. In FAO proc. The camel: Development Research. Kuwait. Seminar 20-23 octobre, 1985.
- Anderson, S. 2003.** Animal genetic resources and sustainable livelihoods. *Ecological Economics*. 45: 331-339.
- Audiot, A. 1995.** Races d'hier pour l'élevage de demain. Editions INRA, Paris, 229 p.
- Belkhir, K., P. Borsa, L. Chikhi, N. Raufaste and F. Bonhomme. 2004.** GENETIX 4.05.2, Logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5000, Université de MontpellierII (France) <http://www.univ-montp2.fr/~genetix/genetix/constr.htm#download>
- Bello, A. A. 2002.** Inventaire de la diversité ovine et caprine en Tunisie. Mémoire de mastere de l'INAT.
- Ben Aissa. 1989.** Le dromadaire en Algérie. *Options Méditerranées*. 2 :19-28.

- Benbouza, H., J. Jean-Marie, B. Jean-Pierre and M. Guy. 2006.** Optimization of a reliable, fast, cheap and sensitive silver staining method to detect SSR markers in polyacrylamide gels. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10 : 77 – 81.
- Bengoumi, M et B. Faye. 2002.** Adaptation du dromadaire à la déshydratation. *Sécheresse.* 13:121-129.
- Bengoumi, M., Y. Faulconnier, A. Tabarani, A. Sghiri, B. Faye and Y. Chilliard. 2005.** Effects of feeding level on body weight, hump size, lipid content and adipocyte volume in the dromedary camel. *Anim. Res.* 54: 383–393.
- Bidanel, J. P., J. Riquet, P. Chardon, F. Hatey, P. Leroy et D. Milan. 2003.** Apport des nouvelles biotechnologies aux programmes d'amélioration génétique du porc. *Journées Recherche Porcine.* 35 : 355-368.
- Bishop, M. D., S. M. Kappes, J. W. Keele , R. T. Stone, S. L. F. Sunden and G. A. Hawkins. 1994.** A genetic linkage map for cattle. *Genetics,* 136 : 619–639.
- Blanc, C. P et Y. Ennesser. 1989.** Approche zoogéographique de la différenciation intraspecificue chez les dromadaires (*Camelus dromedarius*) Linné 1766 (Mammalia, camelidae). *Revue Elev.Med. Pays Trop.* 42 : 573-587.
- Boichard, D., P. Leroy, H. Leveziel et J-M. Elsen. 1998.** Utilisation des marqueurs moléculaires en génétique animals. *INRA Prod. Anim.* 11: 67-80.
- Botstein, D., R. L. White, M. Skolnick and R. Davis. 1980.** Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *American Journal of Human Genetics.* 32 : 314-331.
- Bourbouze, A. 2006.** Systèmes d'élevage et production animale dans les steppes du nord de l'Afrique : une relecture de la société pastorale du Maghreb. *Sécheresse.* 17 : 31-39.
- Bradley, D. G., D. E. MacHugh, P. Cunningham and R. T. Loftus. 1996.** Mitochondrial DNA diversity and the origins of African and European cattle. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* 93(10): 5131–5135. In the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture FAO Rome, 2007.
- Buchanan, F. C., L. J. Adams, R. P. Littlejohn, J. F. Maddox and A. M. Crawford. 1994.** Determination of evolutionary relationships among sheep breeds using microsatellites. *Genomics.* 22: 397-403.

- Canon, J., P. Alexandrino, I. Bessa, C. Carleos, Y. Carretero, S. Dunner, N. Ferran, D. Garcia, J. Jordana, D. Laloe, A. Pererira, A. Sanchez and K. Moazami-Goudarzi. 2001.** Genetic Diversity Measures of Local European Beef Cattles for Conservation Purposes. *Genetics, Selection and Evolution*. 33 : 311-332.
- Canon, J., M. L. Checa, C. Carleos, J. L. Vega-Pla, M. Vallejo and S. Dunner. 2000.** The genetic structure of Spanish Celtic horse breeds inferred from microsatellite data. *Animal Genetics*. 31: 39–48.
- Casellas, J., N. Jiménez, M. Fina, J. Tarrés, A. Sánchez and J. Piedrafita. 2004.** Genetic diversity measures of the bovine Alberes breed using microsatellites : variability among herds and types of coat colour. *J. Anim. Breed. Genet*. 121 :101-110.
- China, B., A. Clinquart et G. Daube. 2004.** Développement d'un système de traçabilité génétique chez le porc basé sur le séquençage de régions riches en SNP. *Journées Recherche Porcine*. 36 : 289-292.
- China, B., V. Evrard, R. Noirfalise, A. Clinquart et G. Daube. 2001.** La traçabilité dans la filière viande. Les marqueurs génétiques. *Ann. Méd. Vét.* 145 : 15-24.
- Cialdella, N. 2005.** Stratégies d'élevage dans les projets familiaux en milieu aride Usages des ressources locales pour gérer l'incertain, cas de la Jeffara (sud-est tunisien). Thèse de Doctorat, 291p, l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, France.
- Colin de Verdière. 1990.** Allocution d'ouverture. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.
- Domestic Animal Diversity Information System (DAD-IS). 2004.**
- De Rochambeau, H., F. F-Hanocq and J. V. T. Khang. 2000.** Measuring and managing genetic variability in small population. *Ann. Zootech.* 49:77-93.
- De Rochambeau H. 1998.** La diversité génétique chez les animaux domestiques: Description et gestion. *Comptes rendues de l'académie d'agriculture de France*, 84(6):81-95.
- Diallo, B.C. 1989.** L'élevage du dromadaire en Mauritanie. *Options Méditerranéennes*. 2 : 29-32.
- Djemali, M. 2003.** Rapport national de la Tunisie sur les ressources génétiques animales pour la FAO, 40 p.
- Djemali, M and G. Alhadrami. 1998.** The Future of Camels is their present. *Proceedings of the Third Annual Meeting for Animal Production Under Arid Conditions, United Arab Emirates University Vol. 1: 1-8.*

- El hatmi, H., T. Khorchani, R. Ghorbel, A. Chibani, M. Louhichi, B. Thabet, M. Tlig, M. EIMokhtar, A. Barmat, S. Aroum and N. Jarray. 2009.** Study of chemical composition and quality of camel and goat meat. Second conference of the international society of camelid research and development. Djerba, Tunisia 12-14th 2009.
- El Khasmi, M., F. Riad, A. Safwate, N. El Abbadi, M. Farh, B. Faye et V. Coxam. 2005.** La chamelle allaitante face au stress calcique : une fonction endocrine adaptée aux conditions désertiques. *Sécheresse*. 16 : 261-267.
- Elloumi, M., N. Nasr, S. Selmi, S. Chouki, F. Chemak et N. Raggad. 2001.** Options de gestion des parcours et stratégies individuelles et communautaires des agroopasteurs du centre et du Sud tunisien. The International Conference on Policy and Institutional Options for the Management of Rangelands in dry Areas, Mai 7 - 11, 2001, Hammamet- Tunisia.
- FAO, 1999.** The Global Strategy for the management of Farm Animal Genetic Resources. FAO, Rome, Italy.
- FAO, 2000.** World Watch List for Domestic Animal Diversity (third ed.), FAO, Rome, Italy.
- FAO, 2004.** Lait de chamelle pour l'Afrique. Atelier sur la filière laitière caméline en Afrique Niamey, 5 – 8 Novembre, 2003.
- FAO, 2004.** Measurement of Domestic Animal Diversity (MoDAD): Recommended Microsatellite Markers, 58p.
- Faye, B. 1997.** Guide de l'élevage du dromadaire. CIRAD-EMVT, Montpellier, première édition, 126 p.
- Faye, B et M. Bengoumi. 2000.** Le dromadaire face à la sous nutrition minérale : un aspect méconnu de son adaptabilité aux conditions désertiques. *Sécheresse*. 11 : 155-161.
- Faye, B., S. Grech et T. Korchani. 2004.** Le dromadaire, entre féralisation et intensification. *Anthropozoologica*. 39 : 7-14.
- Faye, B., J. P jouany, J. P Chacornac et M. Ratovonahary. 1995.** L'élevage des grands camélidés:analyse des initiatives réalisées en France. *INRA prod. Anim.* 8:3-17.
- Ferchichi, A. 1996.** Proposition d'un nouvel indice de subdivision climatique des étages méditerranéens arides saharien. *Revue des régions arides*. Numéro spécial : 13-25.
- Gandini, G. C. and E. Villa. 2003.** Analysis of the cultural value of local livestock breeds: a methodology. *J. Anim. Breed. Gent.* 120 :1-11.

- Girardot, M., S. Guibert, M. P. Laforet, H. Leveziel, R. Julien et A. Oulmouden. 2003.**
Exploitation des gènes de la coloration de la robe pour une traçabilité raciale des produits d'origine bovine. Renc. Rech. Ruminants. 10 : 33 – 36.
- Goudet, J. 2001.** FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3.2). <http://www.unil.ch/izea/software/fstat.html>.
- Guerouali, A. 2005.** Identification and characterization of Moroccan camels. FAO-ICAR Seminar on camelid, Sousse, Tunisia may 30th, 2004.
- Grosclaude, F., R. Y. Aupetit, J. Lefebvre et J. C. Meriaux. 1990.** Essai d'analyse des relations génétiques entre les races bovines françaises à l'aide du polymorphisme biochimique. Genetic Selection and Evolution. 22: 317-338.
- Grosclaude, F., J. C. Mercier, M. Vaiman, H. Leveziel et J.Gellin. 1996.** La génétique moléculaire des espèces d'élevage : des groupes sanguins à la cartographie du génome. INRA Prod. Anim., hors série, 57-69.
- Haig, S. M. 1998.** Molecular contributions to conservation. Ecology. 79: 413-425.
- Hammadi, M. 1995.** L'allaitement artificiel des chameçons : une technique pour améliorer la productivité de l'élevage camelin. Options Méditerranéennes. 13 : 137-141.
- Hammadi, M., T. Khorchani, G. Khaldi, H. Abdouli, N. Slimane, D. Portetelle and R. Renaville. 1998.** Feeding supplement and productive performances of dromedary females under arid Tunisian range conditions. The international meeting on camel production and future perspectives. United Arab Emirates, May 2-3, 1998.
- Hammadi, M., T. Khorchani, G. Khaldi, A. Majdoub, H. Abdouli, N. Slimane, D. Portetelle and R. Renaville. 2001.** Effect of diet supplementation on growth and reproduction in camels under arid range conditions. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 5: 69–72.
- Hanotte, O., C. L. Tawah, D. G. Bradley, M. Okomo, Y. Verjee, J. Ochieng and J. E. O. Rege. 2000.** Geographic distribution and frequency of a taurine *Bos taurus* and indicine *Bos indicus* Y specific allele amongst sub-Saharan African cattle breeds. Molecular Ecology. 9: 387-396.
- Hanslik, S., B. Harr, G. Brem and C. Schlotterer. 2000.** Microsatellite analysis reveals substantial genetic differentiation between contemporary New World and Old World Holstein Friesian populations. Animal Genetics. 31: 31-38.
- Henry-Noël Le Houerou. 2005.** Problèmes écologiques du développement de l'élevage en région sèche. Sécheresse. 16 : 89-96.

- Hermas, S.A., H. Abushuashi and F. Abusaud. 1998.** A Primary Investigation on Heritabilities of Growth Measures in the Magrabi Camel in Libya. Proceedings of the Third Annual Meeting for Animal Production Under Arid Conditions, United Arab Emirates University Vol. 1: 65-70.
- Hussein, A. M. 1989.** Husbandry and management of camels in Somalia, Ethiopia, Kenya and Djibouti. Options Méditerranéennes. 2 :37-44.
- ILRI (International Livestock Research Institute). 2000.** Livestock strategy to 2010: Making the livestock Revolution for the poor. ILRI, Nairobi, Kenya.
- Issam, T.K and M. Osman. 2005.** Camelid Genetic Resources: reports on three Arabian Gulf countries. FAO-ICAR Seminar on camelids, Sousse, Tunisia May 30th, 2004.
- Jasra1, A. W and M. A. Mirza. 2005.** Camel production systems in Asia. FAO-ICAR Seminar on camelids, Sousse, Tunisia may 30th, 2004.
- Jeffreys, A. J., V. Wilson and S. L. Thein. 1985.** Hypervariable "minisatellite" regions in human DNA. Nature. 314: 67-73.
- Jemli, M.H., M. Zrelli, M. Aridhi et M. M'zah. 1995.** Contraintes pathologiques majeures du développement de l'élevage du dromadaire en Tunisie. Options Méditerranéennes.13 : 131-136.
- Jianlin, H., J. Quau, Z. Men, Y. Zhang and W. Wang. 1999.** Three unique restriction fragment length polymorphisms of *EcoR* I, *Pvu* II and *Sca* I digested mitochondrial DNA of wild Bactrian camel (*Camelus bactrianus ferus*) in China. Journal of Animal Science. 77: 2315–2316.
- Jianlin, H., D.N. Mburu, J. W. Ochieng, B. Kaufmann, O. Reger and O. Hanotte. 2000.** Application of new world Camelidae microsatellite primers for amplification of polymorphic loci in Old World Camelids. Animal Genetics. 31: 404-406.
- Jianlin, H. 2005.** Camelids. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. Encyclopedia of Animal Science, 187-190.
- Jordana, J., P. Alexandrino, A. Beja-Pereira, I. Bessa, J. Canon, Y. Carretero, S. Dunner, D. Laloe, N. Ferrand, K. Moazami-Goudarzi, A. Sanchez and N. Ferrand. 2003.** Genetic structure of eighteen local South European beef cattle breeds by comparative F-statistics analysis. J. Anim. Breed. Genet. 120: 73–87.
- Jouany, J. P. 2000.** La digestion chez les camélidés ; comparaison avec les ruminants INRA Prod. Anim. 13 : 165-176.

- Kamoun, M., R. Bargaoui et P. Girard. 1989.** Alimentation et croissance du chamelon : étude de la phase d'adaptation à un système de production intensive. Options Méditerranéennes. 2 :159-161.
- Kamoun, M. 1990.** Reproduction et productions des dromadaires Maghrebis entretenus sur parcours de physionomie Méditerranéenne. Allocution d'ouverture. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.
- Kamoun, M. 1995.** Le lait du dromadaire : production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. Options Méditerranéennes. 13 :81-102.
- Kamoun, M. 1995.** La viande du dromadaire : production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. Options Méditerranéennes. 13 :105-130.
- Kamoun, M., B. Rekik, M. Bouzazi and L. Tayechi. 2009.** Quality of camel meat marketed by butchers in Tunisia. Second conference of the international society of camelid research and development. Djerba, Tunisia 12-14th 2009.
- Kaufmann, B. 1998.** Analysis of pastoral camel husbandry in Northern Kenya. Hohenheim tropical. Margraf Verlag, Germany. 194p.
- Khorchani, T., M. Ismail, M. Hammadi, M. Moslah et M. Chemmem. 1996.** Sauvegarde du dromadaire et amélioration de sa productivité : Bilan de principales recherches menées l'institut des régions arides de Médenine (Tunisie). Revue des régions arides N° spécial. : 368-376.
- Kayouli, C., J.P. Jouany, C. Dardillat, J.L. Tisserand. 1995.** Particularités physiologiques du dromadaire : conséquences pour son alimentation. Options Méditerranéennes. 13 : 143-155.
- Khanna, N.D., A.K. Rai and S.N. Tandon. 2004.** Camel Breeds of India. J. Camel Science. 1:8-15
- Klungland, H., D. I .Vage, L. Gomez-Raya, S. Adalsteinsson and S. Lien. 1995.** The role of melanocyte-stimulating hormone (MSH) receptor in bovine coat color determination. Mammalian Genome. 6: 636-639.
- Kohler-Rollefson, 1991.** *Camelus dromedarius*. In: Mammalian Species. No. 375.
- Konuspayeva, G. 2007.** Variabilité physico-chimique et biochimique du lait des grands camélidés (*Camelus bactrianus*, *Camelus dromedarius* et hybrides) au Kazakhstan. Thèse de Doctorat, 256p, Université Montpellier II, France.

- Lagziel, A., S. DeNise, O. Hanotte, S. Dhara, V. Glazko, A. Broadhead, R. Davoli, V. Russo and M. Soller. 2000.** Geographic and breed distribution of an Msp I PCR-RFLP in bovine growth hormone (bGH) gene. *Animal Genetics*. 31 : 210-213.
- Landais, E. 1987.** Recherche sur les systèmes d'élevage. Questions et perspectives. Document de travail de l'INRA-SAD : 68 p.
- Lang, K.D.M., Y. Wang and Y. Plante. 1996.** Fifteen polymorphic dinucleotide microsatellites in llamas and alpacas. *Animal Genetics*. 27 : 285–94.
- Lefort-Buson, M., F. Rodolphe et A. Charcosset. 1990a.** Des nouvelles perspectives pour l'analyse génétique des caractères quantitatifs : A la recherche des locus importants. *Biofutur*. 91: 30-37.
- Lefort-Buson, M., F. Rodolphe et A. Charcosset. 1990b.** Des nouvelles perspectives pour l'analyse génétique des caractères quantitatifs : La sélection assistée par marqueurs. *Biofutur*.
- Le Houerou, H.N. 2005.** Problèmes écologiques du développement de l'élevage en région sèche. *Sécheresse*. 16 : 89-96.
- Loftus, R.T., D.E. MacHugh, D.G. Bradley, P.M. Sharp, P. Cunningham. 1994.** Evidence for two independent domestication of cattle. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91: 2757–2761. In the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture FAO Rome, 2007.
- Lhost, P. 2004.** Pastoralisme et désertification. Quel avenir pour les sociétés pastorales sahéniennes? (Conférence donnée à l'Agropolis Museum le 8 octobre 2004). La 53^{ème} réunion de la Fédération européenne de Zootechnie (FEZ), Egypte septembre 2002. Les systèmes d'élevage des zones sèches. Les conditions de la durabilité.
- Luikart, G., M.P. Biju-Duval, O. Ertugrul, Y. Zagdsuren, C. Maudet and P. Taberlet. 1999.** Power of 22 microsatellite markers in fluorescent multiplexes for parentage testing in goats (*Capra hircus*). *Animal Genetics*. 30 : 431-438.
- Lush, J.L. 1948.** The Genetics of Populations. Mimeo. Iowa State University, cited by www.ansi.okstate.edu/breeds/ "Breeds of Livestock" page of the department of Animal Science – Oklahoma State University, Oklahoma, USA.
- Macdonald, D., J. R. Crabtree, G. Weisinger, T. Dax, N. Stamou, P. Fleury, J. Gutierrez Lazpita, A. Gibon. 2000.** Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy responses. *Journal of Environmental management*. 59: 47-69.

- MacHugh, D.E., R.T. Loftus, P. Cunningham and D.G. Bradley. 1998.** Genetic structure of seven European cattle breeds assessed using 20 microsatellite markers. *Animal Genetics*. 29: 333–40.
- MacHugh, D. E., M. D. Shriver, R. T. Loftus, P. Cunningham and D. G. Bradley. 1997.** Microsatellite DNA variation and evolution, domestication and phylogeography of taurine and zebu cattle (*Bos taurus* and *Bos indicus*). *Genetics*, 146: 1071-1086.
- Mahamadou, S. 1990.** Performances de reproduction du dromadaire (*Camelus Dromedarius*) au Niger : perspectives d'amélioration. Allocution d'ouverture. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.
- Mariasegaram, M., S. Pullenayegum, M. A. Jahabar, R. S. Shah, M.C.T. Penedo, U. Wernery and J. Sasse. 2002.** Isolation and characterisation of eight microsatellite markers in *Camelus dromedaries* and cross-species amplification in *C. bactrianus* and *Lama pacos*. *Animal Genetics*. 33: 385-387.
- Maudet, C. 2001.** Diversité et caractérisation génétique des races bovines et caprines originaires de la région Rhône-Alpes. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble France.
- Mburu, D.N., J.W. Ochieng, S.G. Kuria, H. Jianlin, B. Kaufmann, O. Reger and O. Hanotte. 2003.** Genetic diversity and relationships of indigenous Kenyan camel populations: implications for their classification. *Animal Genetics*. 34: 26-32.
- Mendelson, R. 2003.** The challenge of conserving indigenous domesticated animals. *Ecological Economics*. 45: 501-510.
- Mongi, S. 2003.** La commercialisation des produits d'élevage camelin en Tunisie /ACSAD /CARDN/ OEP, 60 p.
- Mongi, S. 2005.** Camel production systems in Africa. FAO-ICAR Seminar on camelid, Sousse, Tunisia may 30th, 2004.
- Morgante, M and A. M. Olivieri. 1993.** PCR-amplified microsatellites as markers in plant genetics. *The Plant Journal*. 3 : 175–182.
- Moslah, M et F. Megdiche. 1989.** L'élevage camelin en Tunisie. *Options Méditerranéennes*. 2 :33-36.
- Moslah, M. 1990.** L'amélioration de la productivité du dromadaire en Tunisie par la séparation précoce du chamelon et l'allaitement artificiel. Allocution d'ouverture. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.

- Narjisse, H. 1989.** Nutrition et production laitière chez les dromadaires. Options Méditerranéennes -Série Séminaires. 2 : 163-166.
- Nasr, N. 1995.** Les systèmes d'élevage et gestion des parcours en zones aride (sud est tunisien). Revue des régions arides. 8 :57-77.
- Nasr, N., M. Ben Salem, Y. L. Rachidi, J. Benissad et Y. Medouni. 2000.** Mutation des systèmes d'élevage et de gestion des parcours collectifs en zones arides : El Ouara de Tataouine (Tunisie). Sécheresse.11 : 93-100.
- Nolte, M., A. Kotze, F.H. Van der Bank and J.P. Grobler. 2005.** Microsatellite markers reveal low genetic differentiation among South American Camelus dromedarius populations. South African J Anim Sci; 35:152–161.
- Obreque, V., L. Coogle, P. J. Henney, E. Bailey, R. Mancilla, J. Garcia-Huidobro, P. Hinrichsen and E. G. Cothran. 1998.** Characterisation of 10 polymorphic alpaca dinucleotide microsatellites. Animal Genetics. 29: 461-462.
- OCDE. 1994.** Incitations économiques à la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique : Cadre conceptuel et lignes directrices pour les études de cas. Monographie de l'environnement n° 97. Paris.
- Ould Taleb, M.H. 1999.** Généralités sur l'élevage du dromadaire en Mauritanie. FAO-EMPRES-GCP/INT/651/NOR.
- Pacholek, X., R. Lancelot, M. Lesnoff et S. Messad. 2000.** Performances de croissance des chamelons élevés dans la zone pastorale nigérienne Revue Elev. Méd. vét. Pays trop., 53 : 189-197.
- Pellegrini, P. 1999.** De l'idée de race animale et de son évolution dans le milieu de l'élevage. Association des ruralistes français.5. Ruralia n° 1999-05, Varia.
- Penedo, M.C.T., A. R. Caetano and K. Cordova. 1999.** Eight microsatellite markers for South American camelids. Animal Genetics. 30: 161-168.
- Perrier, X and J. P. Jacquemoud-Collet. 2006.** DARwin software version 5.0.155. <http://darwin.cirad.fr/darwin>.
- Peters, J., D. Helmer, A. Von Den Driesch and S. Segui. 1999.** Animal husbandry in the northern Levant. *Paléorient*, 25: 27–48. . In the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture FAO Rome, 2007.
- Peyre, D.F. 1989.** Le dromadaire dans son milieu naturel. Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop., 1 : 127-132.
- Pitel, F et J. Riquet. 2000.** Les marqueurs anonymes et la détection de leur polymorphisme. INRA Production Animale, hors série : 45-53.

- Portetelle, D., V. Haezebroeck, F. Mortiaux et R. Renaville. 2000.** Traçabilité dans la filière animale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 4 : 233–240.
- Ramet, J.P. 1993.** La technologie des fromages au lait de dromadaire (*Camelus dromedarius*). *FAO production et santé animales.* 113.
- Randi, R., G. Fusco, R. Lorenzini, S. Toso et G. Tosi. 1991.** Allozyme divergence and phylogenetic relationships among *Capra*, *Ovis* and *Rupicapra* (Artyodactyla, Bovidae). *Heredity.* 67 : 281-286.
- Rege, J. E. O and J. P. Gibson. 2003.** Animal genetic resources and economic development: issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics.* 45: 319-330.
- Rincon, G., M. D'Angelo, R. Gagliardi, L. Kelly, S. Llambi and A. Postiglioni. 2000.** Genomic polymorphism in Uruguayan Creole cattle using RAPD and microsatellite markers. *Research in Veterinary Science.* 69: 171-174.
- Ruane, J. 1999.** A Critical review of the value of genetic distance studies in conservation of animal genetic resources. *J. Anim. Breed. Gent.* 116: 317-323.
- Ruane, J. 2000.** A Framework for Prioritising Domestic Animal Breeds for Conservation Purposes at National Level: a Norwegian Case Study. *Conservation Biology.* 14:1385-1393.
- Saint-Martin, G., A. Maillard, F. Roy et B.E. Musa. 1990.** Performances de reproduction des camelins en milieu naturel : exemple d'une enquête dans le Butana, au Sudan. Allocution d'ouverture. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.
- Saitbekova, N., C. Gaillard, G. Obexer-Ruff and G. Dolf. 1999.** Genetic diversity in Swiss goat breeds based on microsatellite analysis. *Animal Genetics.* 30 : 36-41.
- Saley, M. 1990.** Performances de reproduction du dromadaire (*Camelus dromedarius*) au Niger. Atelier peut-on améliorer les performances de reproduction des camelins ? Paris 10-12 Septembre 1990.
- Samman, M.A., A.A. Al-Saleh and K. Sheth. 1993.** The Karyotype of the Arabian Camel, *Camelus dromedarius*. *J. King Saud Univ., Science.* 5 : 57-64.
- Sasse, J., M. Mariasegaram, R. Balu, J. Kinne and U. Wernery. 2000.** South American camelid microsatellite amplification in *Camelus dromedaries*. *Animal Genetics.* 31: 75-76.
- Seboussi, R., B. Faye et G. Alhadrami. 2004.** Facteurs de variation de quelques éléments trace (sélénium, cuivre, zinc) et d'enzymes témoins de la souffrance musculaire

dans le sérum du dromadaire (*Camelus dromedarius*) aux Emirats arabes unis. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 57: 87-94.

- Séré et Steinfeld. 1996.** World livestock production systems: current status, issues and trends (Systèmes de production animale dans le monde : état actuel, problèmes et tendances). Animal production and health , article n°127. FAO. Rome.
- Siboukeur, O., A. Mati et B. Hesas. 2005.** Amélioration de l'aptitude à la coagulation du lait cameline (*Camelus dromedarius*) : utilisation d'extraits enzymatiques coagulants gastriques de dromadaires (Etude originale). Cahiers Agricultures. 5 : 473-478.
- Skidmore, J. A., M. Billah and W.R. Allen. 2000.** Using modern reproductive technologies such as embryo transfer and artificial insemination to improve the reproductive potential of dromedary camels. Rev. Élev. Méd. Vét. Pays trop. 53 : 97-100.
- Trommelen, G. J., J. H. Den Daas, J. Vijg and A. G. Uitterlinden. 1993.** DNA profiling of cattle using micro- and minisatellite. Animal Genetics. 24 : 235-241.
- Vijh, R. K., M. S. Tantia, B. Mishra, and S. T. Bharani Kumar. 2007.** Genetic diversity and differentiation of dromedarian camel of India. Animal Biotechnology. 18: 81-90.
- Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper and M. Zabeau. 1995.** AFLP: a new techniques for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research. 23: 4407-4414.
- Xavier, P., G. Vias, B. Faye et O. Faugère. 2000.** Elevage camelin au Niger. Référentiel Zootechnique et sanitaire. Première édition, 93 p.
- Wardeh, M. F. 2004.** Classification of the Dromedary Camels. J. camel Science, 1: 1-7.
- Weber, J. L. 1990.** Informativeness of human (dC-dA)_n-(dG-dT)_n polymorphisms. Genomics. 7 : 524-530.
- Weber, J. L and P. E. May. 1989.** Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. American Journal of Human Genetics. 44: 388-396.
- Weber, J. L and C. Wong. 1993.** Mutation of human short tandem repeats. Human Molecular Genetics. 2: 1123-1128.
- Wendorf and F. R. Schild. 1994.** Are the early Holecene cattle in the Eastern Sahara domestic or wild? Evolutionary Anthropology. 3: 118-128.

- Williams, J. G. K, A. R. Kubelik, J. Livak, J. A. Rafalski and S. V. Tingey. 1990.** DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic makers. *Nucleic Acids Research*. 18: 6531-6535.
- Wilson, R.T. 1998.** *The Tropical Agriculturalist: Camels*. Macmillan Education Ltd. London and Basingstoke.
- Wilson, R.T. 1989.** The one-humped camel in the word. *Options Méditerranéennes -Série Séminaires*. 2 :15-17.
- Wilson, R.T. 1989.** Reproductive performance of the one-humped camel. The empirical base. *Revue Elev.Med. Pays Trop* 42 : 117-125.
- Yarwood, R and N. Evans. 1999.** The changing geography of rare livestock breeds in Britain. *Geography*. 84:80-87.
- Zarrouk, A., O. Souilem et J. F. Beckers. 2003.** Actualités sur la reproduction chez la femelle dromadaire (*Camelus dromedarius*). *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop*. 56: 95-102.
- Zeder, M.A and B. Hesse. 2000.** The initial domestication of goats (*Capra hircus*) in the Zagros mountains 10,000 years ago. *Science*, 287(5461): 2254–2257. . In the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture FAO Rome, 2007.

ANNEXE I

Protocole d'extraction d'ADN

Hémolyse

1^{er} lavage

- Ajouter au volume de sang le même volume de solution d'hémolyse ou 2V
- Equilibrer le poids entre les tubes
- Incubation pendant 10mn dans la gélose
- Centrifugation 10mn, à 2500t/mn et à 4°C
- Jeter le surnageant

2^{ème} lavage

- Ajouter un peu (V=2,5ml) de solution d'hémolyse
- Vortexer
- Compléter jusqu'à 2V (5ml) puis agiter
- Centrifuger 10mn à 2500t/mn et à 4°C

3^{ème} lavage : même protocole

! Si le culot reste ± rouge, laver le légèrement avec un peu de solution d'hémolyse et aspirer sans toucher le culot.

Lyse des globules blancs

Pour chaque échantillon

- H₂O stérile : 445µl (ou 600µl) d'eau distillée autoclavée
- NaCl : 5µl 3M
- Tris : 5µl
- EDTA : 5µl 0,5 M, pH8
- Vortexer pour faire descendre le culot
- Ajouter 30µl de SDS 10pc. Vortescer chaque tube juste après l'ajout de l'SDS

! Pour mieux faire la lyse on utilise deux fois les volumes précédents pour une deuxième lyse.

Digestion des protéines

- Ajouter 5µl de pk puis une légère agitation
- Incubation pendant une minute à 37°C.

Précipitation des protéines

- Ajout 170µl NaCl (5M)
 - Incuber à 4°C entre 15mn et 1h
 - Centrifuger pendant 15mn, 3000t/mn à 4°C
- ! Si le surnageant n'est pas transparent on fait une 2^{ème} digestion

2^{ème} digestion

- Transfert de l'interphase dans un autre tube
- On ajoute les mêmes ingrédients de la digestion
- Incubation pendant une minute à 37°C
- Ajout 170µl NaCl (5M)
- Centrifuger pendant 15mn, 3000t/mn à 4°C
- Récupération du surnageant dans un autre tube

Extraction au chloroforme

- Ajout même volume de chloroforme que le sérum
- Bien agiter jusqu'à l'obtention de la couleur blanche
- Vortexer
- Centrifuger pendant 15mn, 3000t/mn à la T° ambiante
- Transférer le surnageant dans un autre tube

Ne pas prendre l'interphase

! On peut refaire l'extraction au chloroforme

- Ajout 2,5 x V de l'éthanol absolu
- ! les cônes sont à usage unique
- Agité un peu ⇄ ; on obtient la méduse
- On récupère la méduse avec le bâton du cône
- On met la méduse dans 100ml d'alcool 70% puis centrifuger immédiatement pendant 5mn
- L'ADN forme le culot, on jette l'alcool, on laisse l'ADN se sécher puis ajouter 100µl de TE si la méduse est petite. Si la méduse est grande, on fait des aliquotes (3 tubes) puis on ajoute 150µl de TE
- Conserver à moins 20°C

ANNEXE II

Protocole d'électrophorèse sur le gel de polyacrilamide

1- Traitement des plaques

Avant les traitements, nettoyer soigneusement les deux plaque 3 fois avec l'eau distillée puis de l'alcool absolu.

a- Traitement de la plaque fixe

- ❖ Traiter la plaque avec 1450 μ l de Sigma cote pour ne pas coller le gel (en y versant 2 fois 725 μ l).
- ❖ Après 10 minutes essuyer légèrement avec papier sec (essuie tout) pour enlever l'excès du produit.

b- Traitement de la plaque mobile

- ❖ Mettre 650 μ l de solution Bind Silane pour coller le gel (1485 μ l éthanol + 7,5 μ l Acide Acétique + 7,5 μ l Bind Silane).
- ❖ Puis l'étaler rapidement (car il s'agit d'un mélange volatil) à l'aide d'un papier sec (essuie tout).
- ❖ Après 5 minutes essuyer 3 fois avec l'éthanol absolu.

2- Préparation du moule

- ❖ Mettre les espaceurs propres sur la plaque fixe, en évitant de toucher la face traitée.
- ❖ Puis poser la face traitée de la plaque mobile sur l'autre plaque (sans permettre aux deux plaques de se toucher).
- ❖ Mettre les pinces pour fixer horizontalement les deux plaques.
- ❖ Monter la plaque d'étancheté et bien vicer (de façon à ne pas laisser le gel couler vers la base de plaques).

3- Préparation et écoulement du gel

- ❖ Mettre dans un erlenmayer, 18 ml polyacrylamide (40%) = (38 g acrylamide + 2 g bisacrylamide dans 100 ml TBE (1x)) dans 50,2g urée préalablement pesé + 24 ml TBE (5x).

- ❖ Puis ajouter 20 ml eau distillée.
- ❖ Chauffer jusqu'à la dissociation complète de l'urée.
- ❖ Laisser refroidir puis compléter avec l'eau jusqu'à 120 ml.
- ❖ Pour la polymérisation on ajoute simultanément et rapidement 400 µl de Persulfate d'ammonium (0,1 g dans 1 ml eau distillée) et 70 µl TEMED.
- ❖ Verser rapidement la solution dans la seringue puis couler rapidement le gel entre les plaques en faisant attention de ne pas former des bulles d'air.
- ❖ Laisser le gel polymériser 30 - 45 minutes.
- ❖ Monter le dispositif pour une premigration 45 minutes.
- ❖ Mettre le bleu dénaturant et faire une dénaturation au thermocycleur pendant 8 minutes à une température de 95 °C puis mettre les produits PCR au moins 10 minutes à -20°C.
- ❖ Charger les produits avec un volume 10-12 µl par puit.

4- Coloration et révélation

a- Fixation du gel

- ❖ Mettre la plaque mobile dans une solution d'Acide Acétique 10% avec l'eau distillée froide.
- ❖ Laisser la plaque sur agitation douce pendant 30 minutes.
- ❖ Rincer avec la plaque 3 fois avec l'eau distillée froide.

b- Coloration nitrate d'argent

- ❖ Ajouter à la solution nitrate d'argent (2 g dans 2 litres eau distillée) 3ml de formaldéhyde et mettre la plaque dans cette solution 30 minutes sous agitation douce.
- ❖ A la fin de ces 30 minutes on ajoute 3ml de formaldéhyde et 400 ml de Thiosulfate de sodium (0,1g dans 1ml eau distillée) à la solution carbonates sodium (CaCo3) (60 g dans 2 litres eau distillée) pour révéler les bandes.
- ❖ Mettre la plaque dans cette solution et agiter doucement manuellement jusqu'à l'apparition des bandes.
- ❖ Ajouter l'Acide Acétique 10% pour fixer les bandes pendant 5 à 7 minutes.
- ❖ Rincer avec l'eau distillée 3 à 5 minute.
- ❖ Sortir la plaque pour la sécher.