

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

كلية العلوم الطبيعية و الحياة



Département des Sciences Agronomiques

قسم العلوم الزراعية

Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques Option

« Génétique et Reproduction Animale »

Présenté par Melle :

KACEM Nacéra

Sous le thème

**Evaluation morphométrique et polymorphisme génétique par
amplification du microsatellite ASB02 chez les chevaux Barbe, Arabe
Barbe et Pur-Sang Arabe du nord-ouest Algérien**

Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, Université de Mostaganem

Composition du jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
HALBOUCHE Miloud	Pr	Président	Université de Mostaganem
MOUATS Aziz	Pr	Promoteur	Université de Mostaganem
BOUDEROUA Kaddour	pr	Examineur	Université de Mostaganem
BSALAH Farid	Pr	Examineur	Université ES- SENIA ORAN
BOUSHABA Nadjet	MAB	Invitée	Université USTO d'ORAN

Remerciements

Il me faudrait certainement bien plus que ces quelques lignes pour vous remercier comme je le souhaiterais,

Pr HALBOUCHE Miloud, qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de ma thèse et aussi pour tous ce qu'il nous a apporté, Ce fut une grande chance pour nous de croiser votre chemin.

Pr BOUDEROUA Kaddour, qui m'a fait l'honneur d'accepter de juger ce travail et même pour ses innombrables services qu'il m'a toujours rendus.

M BENSALAH Farid professeur à l'université ES SENIA d'Oran, qui a bien accepté de faire part de jugement de ce travail.

Mme BOUSHABA Nadjet, Maître Assistante à l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), qui a accepté d'être parmi nous et surtout pour sa rigueur scientifique et son encadrement au niveau du laboratoire.

Mes sincères remerciements s'adressent également à Mme MEHTAR Nadhira, Professeur de biologie Moléculaire à l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), de nous accepter au sein de laboratoire de génétique moléculaire et cellulaire.

Pr MOUATS Aziz, promoteur de cette étude, pour ses encouragements, ses orientations et surtout pour la confiance qu'il m'avait fait pour diriger cette thèse.

Merci à **M^{elle} MAHAMI Fatima Zohra** pour son aide technique au niveau du laboratoire.

Merci à toute l'équipe d'Oran.

Mes profondes gratitudee vont également :

A M BENABDELMOUMENE Saïd le Directeur de la Jumenterie de Tiaret et à tous le personnel du Haras et surtout **Mme HADOUCHE Zohra** Dr vétérinaire à la jumenterie de Tiaret pour son encadrement, ses compétences et ses qualités scientifiques ;

A l'ensemble des personnes du Club Hippique de Mostaganem **CHM** et surtout **M Med Yacine** pour son aide au niveau du terrain ;

A M DAHMOUNI Saïd pour son aide, sa gentillesse et sa haute valeur humaine et scientifique ;

A M ATTOU Sahnoun qui nous a facilité l'accès à la jumenterie et aussi pour ses conseils précieux et ses encouragements ;

A tous mes enseignants pour le savoir qu'ils m'ont transmis

A mon collègue **DOUBI Abdelmalek** pour son aide dans la prise des mensurations des chevaux ;

Merci à mes collègues et mes amis ;

Merci à ma famille, pour leur amour, leur soutien et leur présence ;

Merci à mes parents ;

Merci à mes frères et mes sœurs ;

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Nacéra KACEM « Evaluation morphométrique et polymorphisme génétique par amplification du microsatellite ASB02 chez les chevaux Barbe, Arabe-Barbe et Pur – Sang Arabe du nord- ouest Algérien » (2013).

Résumé

Les races équines d'Algérie constituent un patrimoine biologique, culturel et historique inestimable, qu'il est urgent de préserver et de réhabiliter. Néanmoins, le manque de connaissances concernant la diversité et les caractéristiques du matériel génétique équin d'Algérie ne permet pas d'assurer actuellement de façon efficace sa conservation et sa valorisation ; il est donc impératif de préserver la variabilité génétique des races équines algériennes pour une meilleure conservation et une meilleure exploitation. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude où nous nous sommes intéressés à deux axes d'étude :

Le premier axe correspond à une enquête sur terrain qui vise en premier pas à contribuer à la caractérisation morphologique de trois principales races équines existantes en Algérie à savoir le Barbe, l'Arabe-Barbe et le Pur-Sang Arabe, ceci par la réalisation des 27 mensurations morphologiques et à partir de celle-ci le poids vif et 3 indices corporels ont été calculés, ainsi que l'appréciation de deux paramètres qualitatifs qui sont la couleur de la robe et la forme du chanfrein. Le Barbe présente une taille moyenne au garrot de $150,5 \pm 3,27$ cm, un poids vif de $451,36 \pm 24,47$ kg, un périmètre thoracique de $176,85 \pm 4,38$ cm et un indice de compacité de $3,00 \pm 0,199$ kg/cm. La taille au garrot de l'Arabe est de $147,25 \pm 3,43$ cm, son poids vif est de $378,57 \pm 16,22$ kg, son périmètre thoracique est de $166,54 \pm 7,59$ cm. Il présente un indice de compacité de $2,6 \pm 0,00$. La population Arabe-Barbe issue de leur croisement est très hétérogène vu qu'elle est constituée de chevaux ayant des degrés variables de sang Arabe.

Le deuxième axe porte sur l'initiation à la contribution de la caractérisation génétique du Barbe et du Pur-Sang Arabe par l'étude du polymorphisme du marqueur microsatellite ASB02 en utilisant la méthode d'amplification d'ADN *in vitro* par la PCR, suivi d'une électrophorèse sur gel d'agarose.

Ce travail nous a permis de constituer la première banque d'ADN équin au sein du laboratoire de recherche de Physiologie Animale Appliquée de l'Université de Mostaganem à partir des prélèvements sanguins d'animaux non apparentés de race Barbe et Arabe.

Mots clés : Barbe, Pur-Sang Arabe, Arabe-Barbe, morphométrie, Banque d'ADN, marqueurs microsatellites, ASB02.

Nacéra KACEM « Evaluation morphométrique et polymorphisme génétique par amplification du microsatellite ASB02 chez les chevaux Barbe, Arabe-Barbe et Pur – Sang Arabe du nord- ouest Algérien » (2013).

Summary

Equine races in Algeria, constitute an inheritance biological, cultural and historical inestimable, that it is urgent to preserve and rehabilitate.

However, the deficiency of knowledge concerning diversity and characteristics of equine genetic material in Algeria makes its conservation and its valorization difficult in an effective way, so it is imperative to preserve the genetic variability of Algerian equine races for a better conservation and a better exploitation. In this context we were interested via two axis:

First axis corresponds to an investigation which objects in first step at contributing to the morphological characterization of 3 principal equine races living in Algeria: Barb, Arab-Barb and Arabian horse, this by realization of 27 morphological measurements and from this one the body weight and 3 body indices were calculated and with appreciation of two qualitative parameters which are dress color and muzzle form. Barb has height size of $150, 5 \pm 3, 27$ cm, body weight of $451, 36 \pm 24, 47$ kg, thoracic perimeter of $176, 85 \pm 4, 38$ cm, compactness index of $3, 00 \pm 0,199$ kg/cm. Arabian height size is $147, 25 \pm 3, 43$ cm, his weight is $378, 57 \pm 16, 22$ kg, its perimeter thoracic is $166, 54 \pm 7, 59$ cm. It presents a compactness index of $2, 6 \pm 0, 00$. Arab-Barb population resulting from to their crossing is very heterogeneous because of their variable degrees of Arabian horse blood.

Second axis relates initiation to the genetic characterization of Barb and Arabian horse by study of polymorphism of microsatellite marker ASB02 using method of DNA amplification in vitro by PCR, follow-up of an agarose gel electrophoreses.

This work constitutes a first bank of equine DNA in laboratory of Animal Applied Physiology, University of Mostaganem.

Keywords: Barb, Arab, Arab-Barb, morphometry, DNA banc, microsatellites markers, ASB02.

Nacéra KACEM « Evaluation morphométrique et polymorphisme génétique par amplification du microsatellite ASBO2 chez les chevaux Barbe, Arabe-Barbe et Pur – Sang Arabe du nord- ouest Algérien » (2013).

الملخص

تكوّن سلالات الخيل في الجزائر تراثا بيولوجيا، ثقافيا وتاريخيا لا يقدر بثمن ومن الضروري الحفاظ عليه والاهتمام به.

غير أن الافتقار إلى معرفة تنوع وخصائص المادة الوراثية للخيول في الجزائر حاليا لا يضمن بصفة فعالة الحفاظ عليها، ولذلك من الضروري المحافظة على تنوعها الجيني لحسن استغلالها. وفي هذا السياق تدرج الدراسة الحالية حيث ركزنا على محورين :

المحور الأول يتمثل في دراسة ميدانية تهدف إلى تمييز الخصائص المورفولوجية لثلاثة أنواع من الخيول الرئيسية الموجودة في الجزائر و تتمثل في الحصان البربري، العربي البربري والعربي ، وذلك بتحقيق 27 قياسا مورفولوجيا تم من خلالها حساب 3 مؤشرات و وزن الجسم ، وأيضاً بتقدير صفتين نوعيتين وهما اللون و شكل الأنف. قدر معدل طول الحصان البربري بـ $150,5 \pm 3,27$ سم، ووزنه بـ $451,36 \pm 24,47$ كغ، ومحيط قفصه الصدري بـ $176,85 \pm 4,38$ سم، ومؤشر الثخانة بـ $3,00 \pm 0,199$ كغ/سم. أما طول الحصان العربي فقدر بـ $147,25 \pm 3,43$ سم، ووزنه بـ $378,57 \pm 16,22$ كغ، ومحيط قفصه الصدري بـ $166,54 \pm 7,59$ سم، يقدر مؤشر الثخانة بـ $2,6 \pm 0,00$. أما فصيلة العربي-البربري الناتجة عن تصالبيهما فهي غير متجانسة نظرا لكونها مؤلفة من أحصنة تتفاوت في درجة احتوائها على العرق العربي.

المحور الثاني يتعلق بالمساهمة في توصيف وراثي لكل من الحصان البربري و العربي الأصيل بدراسة الأشكال المتعددة للواسمات « Microsatellites » ASB02 باستخدام طريقة تضخيم الحمض النووي PCR في المختبر متبوعة بهجرة كهربائية على هلام الأغاروز.

هذا العمل مكنتنا من تكوين أول بنك للحمض النووي في مختبر أبحاث الفيزيولوجيا الحيوانية التطبيقية في جامعة مستغانم.

كلمات مفتاحية: البربري، العربي الأصيل، العربي البربري، مورفولوجية، بنك ADN، واسمات microsatellites، ASB02.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
01	Contrôle de la pureté de l'ADN extrait.....	31
02	Liste des mesures morphométriques réalisées sur les chevaux.....	40
03	Caractéristiques du microsatellite ASB02.....	46
04	Réactifs et paramètres des réactions PCR pour chaque individu.....	47
05	Résultats des paramètres relatifs aux mesures des longueurs.....	51
06	Résultats des paramètres relatifs aux mesures des circonférences.....	52
07	Résultats du calcul du poids vif et des indices.....	53
08	Résultats de la couleur de la robe des chevaux Barbes.....	53
09	Résultats de la forme du chanfrein du Barbe.....	54
10	Résultats de la couleur de la robe des chevaux A-B.....	56
11	Résultats de la forme du chanfrein du cheval A-B.....	57
12	Résultats de la couleur de la robe des chevaux PSA.....	59
13	Résultats de la forme du chanfrein du Pur-Sang Arabe.....	59
14	Résultats de l'extraction des ADN équins à partir du sang total par la technique NaCl.....	63
15	Résultat du dosage par spectrophotométrie des ADN extraits des chevaux Barbe et Pur-Sang Arabe.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre
01	Anatomie et squelette du cheval
02	Schéma des parties externes de la tête
03	Eléments de l'ADN génomique
04	Organisation d'une cellule
05	Les différentes étapes de la PCR
06	Schématisation des points des prises des mesures
07	Représentation schématique de la disposition des ADN sur le gel d'agarose
08	Test de sizing des 08 ADN extraits de la race Barbe et Pur-Sang Arabe après une migration à 100 Volts pendant 1 h
09	Test de sizing du restes des ADN extraits de la race Barbe et Pur-Sang Arabe après une migration à 100 Volts pendant 1 h
10	Résultat d'électrophorèse sur gel d'agarose de 3 ADN de race Barbe et 3 ADN de race Pur-Sang Arabe amplifiés avec le microsatellite ASB02

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Désignation
µl	Microlitre
A	Absorbance
A-B	Arabe-Barbe
ADN	Acide désoxyribonucléique
AQPS	Autre Que Pur-Sang
ARN	Acide ribonucléique
B	Barbe
BET	Bromure d'éthidium
CNRPH	Centre national des Recherches Paléontologique des ancêtres hippiques
DO	Densité optique
FAO	Food and Agriculture Organisation
FEA	Fédération Equestre Algérienne
HNT	Haras National de Tiaret
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
Kb	Kilo base
Kg	Kilogramme
LPAA	Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée
M	Molaire
mM	milli Molaire
MS	Matière Sèche
MT	Marqueur de taille
nm	Nanomètre
OMCB	Organisation Mondiale du Cheval Barbe
ONDEEC	Office National du Développement des élevages équin et Camelin
pb	Paire de bases
PCR	Réaction de polymérisation en Chaîne
PS	Pur-Sang Anglais
PSA	Pur-Sang Arabe
PV	Poids vif

QTL	Quantitative trait loci
SCHPM	Société des Courses Hippique et du Pari Mutuel
SNP	Single nucleotide polymorphism
Taq	Thermus aquaticus
UV	Ultra-violet
WAHO	World Arabian Horse Organisation

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Présentation du travail	1

Partie bibliographique

Chapitre I : Données générales sur le cheval

1. Evolution des chevaux	5
1.1 Chevaux préhistoriques.....	5
1.2 Chevaux modernes	6
2. Etude de l'extérieur du cheval	7
2.1 Position des régions du corps	7
2.1.1 Corps	7
2.1.2 Membres	8
3. Physiologie équine	8
3.1 Locomotion et allures	8
3.2 Sens du cheval	9
3.3 Alimentation	10
3.4 Reproduction	10

Chapitre II : Importance de l'élevage équin en Algérie

1. L'histoire du cheval en Algérie	13
2. Situation actuelle du cheval en Algérie	14
2.1 Utilisation en sport et loisir	14
2.1.1 Fantazia.....	14
2.1.2 Courses hippiques	14
2.1.3 Saut d'obstacle	14
2.1.4 Raids d'endurance	15
2.2 Rôle socio-économique	15
2.2.1 Consommation hippophagique	15
2.2.2 Lait	16
2.2.3 Thérapie avec le cheval	16
2.3 Emplois générés par le cheval	16
2.3.1 Métiers directement liés au cheval	17

2.3.2	Métiers dépendants du cheval	17
2.4	Races des chevaux exploités en Algérie	17
2.4.1	Barbe	17
2.4.2	Arabe – Barbe	19
2.4.3	Pur-sang Arabe	20
2.4.4	Pur-sang Anglais	21
2.4.5	Anglo-Arabe.....	21
2.4.6	Trotteur	21
2.5	Localisation des aires d'élevage	22

Chapitre III : Techniques de biologie moléculaire

1.	Historique de la biologie moléculaire	26
1.1	Précurseurs	26
1.2	La « révolution moléculaire »	26
2.	Techniques moléculaires	27
2.1	Historique de l'ADN	27
2.2	Outils de la biologie moléculaire en génétique	28
2.2.1	Propriétés de l'ADN	28
2.2.2	Purification de l'ADN	29
2.2.3	Electrophorèse	29
2.2.4	Contrôle de la pureté de l'ADN extrait	30
2.2.5	Amplification en chaîne par polymérase (PCR)	31
3.	Marqueurs	32
3.1	Marqueurs biochimiques	32
3.1.1	Les groupes sanguins	32
3.1.2	Les protéines	32
3.2	Marqueurs moléculaires	33
3.2.1	Microsatellites	33

Partie expérimentale

Chapitre IV: Matériel et méthodes

1. Présentation et choix des zones de l'étude	38
1.1 Jumenterie de Tiaret	38
1.2 Centre équestre de Sayada	38
2. Etude morphométrique	38
2.1 Mesures effectuées	39
2.2 Estimation du poids vif	41
2.3 Indices	41
2.4 Caractères qualitatifs	41
3. Etude génétique	42
3.1 Constitution d'une bibliothèque d'ADN équin	42
3.1.1 Stratégie d'échantillonnage	42
3.1.2 Prélèvement du sang	42
3.1.3 Extraction de l'ADN par la technique NaCl	42
3.1.3.2 Etapes de l'extraction des ADN	43
3.1.3.2.1 Lyse des globules rouges	43
3.1.3.2.2 Lyse des globules blancs	43
3.1.3.2.3 Précipitation de l'ADN	43
3.1.4 Dosage de l'ADN	44
3.1.5 Test de qualité de l'ADN par la technique d'électrophorèse	44
3.1.5.1 Principe de la méthode	44
3.1.5.2 Protocole expérimental	44
3.1.5.2.1 Description du dispositif	44
3.1.5.2.2 Réalisation du gel	45
3.1.6 Dilution des ADN extraits	45
3.2 Polymorphisme du microsatellite ASB02	46
3.2.1 Composition des échantillons	46
3.2.2 Choix et caractéristiques du marqueur microsatellite ASB02	46
3.2.3 Amplification de l'ADN <i>in vitro</i> par PCR	46
3.2.3.1 Principe de la PCR	46
3.2.3.2 Conditions pratiques de la PCR	47
3.2.4 Mise en évidence des produits d'amplification et étude du polymorphisme de l'ADN sur gel d'agarose	48

Chapitre V: Résultats et discussions

1. Etude Morphométrique	50
1.1 Morphométrie du Barbe	50
1.2 Morphométrie de l'Arabe-Barbe	55
1.3 Morphométrie du Pur-Sang Arabe	58
1.4 Comparaison entre les trois races étudiées	59
1.4.1 Paramètre relatif à la taille	59
1.4.2 Paramètres relatifs aux mesures des longueurs	60
1.4.3 Paramètres relatifs aux circonférences	60
1.4.4 Indices	61
1.4.5 Poids vif	61
2. Etude génétique	62
2.1 Constitution d'une bibliothèque d'ADN équin	62
2.1.1 Extraction d'ADN	62
2.1.2 Dosage de l'ADN	64
2.1.3 Test de qualité des ADN (Sizing)	66
2.2 Polymorphisme du microsatellite ASB02	66
<hr/>	
Conclusion	70
<hr/>	
Conclusion générale, recommandations et perspectives	73

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, le taux de disparition des races d'animaux domestiques et des espèces sauvages s'est avéré plus élevé que jamais. Plusieurs facteurs mettent les races en situation de péril. La cause la plus importante est due à la sélection d'un nombre limité de races à fort potentiel économique, soit par substitution des races locales soit par des croisements. C'est pour tenter de neutraliser cette tendance que les pays se sont réunis en 1992 à Rio de Janeiro sous l'égide des Nations Unies, conférence connue sous le nom de « Sommes planète Terre », avec la participation de 157 nations qui ont signés la convention sur la diversité biologique. Cet accord, dit « protocole de Rio », s'est donné pour mission de freiner cette évolution et de mettre sur pied des indicateurs socio-économiques permettant de la surveiller.

Les mesures de conservation d'une race en danger comprennent les actions mises en œuvre pour préserver un nombre suffisant d'animaux d'élevage vivants et de race pure, ainsi que la cryoconservation de tout matériel génétique - semence, cellules, ADN, etc.

L'Algérie fait partie de la région méditerranéenne considérée comme étant un centre de grande variabilité génétique, ce qui lui permet d'être la source pour de nouveaux caractères recherchés pour l'augmentation de la productivité agricole.

Mais, à l'instar des tendances observées à l'échelle mondiale, par la FAO, l'Algérie connaît un rythme de dégradation de la biodiversité qui implique la mise en place d'un système global de conservation et de gestion des ressources génétiques exploitées par et pour l'agriculture. .

En effet, il existe plusieurs techniques et méthodes de préservation de la biodiversité. A ce titre, l'outil moléculaire offre, actuellement, un grand nombre de techniques permettant de mieux étudier les bases génétiques de cette biodiversité et de réaliser la caractérisation des races domestiques, ce qui permettra d'une part de contribuer à leur préservation et à leur conservation et d'autre part d'envisager des stratégies pour leur amélioration afin qu'elles répondent mieux aux besoins économiques. C'est grâce à cet objectif que nous avons réalisé le présent travail, dans le soucis d'apporter une modeste contribution à la connaissance du profil génétique et morphologique du cheval Pur-sang arabe, Barbe et Arabe-Barbe répertoriés dans le nord- ouest Algérien.

2. Présentation du travail

Cette étude nous permettra d'une part, de contribuer à la caractérisation des trois races équines existantes en Algérie, par la mensuration et l'appréciation de 32 paramètres

morphologiques sur un échantillon de 59 chevaux dont 25 sont de race Pur-Sang Arabe, 19 de race Arabe-Barbe et 15 de race Barbe.

D'une autre part à l'initiation des techniques de biologie moléculaire et leurs applications,

- Par la constitution d'une bibliothèque d'ADN équin au sein du laboratoire de physiologie Animale Appliquée de l'Université de Mostaganem.

- Aussi ce travail est une première contribution à la caractérisation génétique par l'étude du polymorphisme du microsatellite équin ASB02, une technique fiable qui permet une très bonne discrimination génétique chez les races équines locales.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

DONNEES GENERALES SUR LE CHEVAL

Chapitre 1 : Données générales sur le cheval

Le cheval, précieux compagnon de l'homme, appartient comme lui, par sa nature, à l'embranchement des vertébrés, la classe des mammifères, la sous classe des placentaires.

Il s'en sépare au niveau de la division des ongulés, qui sont de gros animaux à sabots, herbivores ou omnivores, parfois plantigrades ; il trouve place ensuite dans l'ordre des périssodactyles, c'est-à-dire des digitigrades possédant des doigts en nombre impair, par opposition à l'ordre des artiodactyles, qui ont un nombre pair de doigts à chaque patte (ruminants et porcins).

Parmi les imparidigités, la famille des solipèdes ou équidés se caractérise par l'appui sur le seul doigt médian, particulièrement développé. Avec la grande longueur des membres, cette disposition des onguligrades témoigne de l'adaptation à la course. On compte dans la même famille les chevaux, les ânes, les hémiones, les onagres et les zèbres. Le genre cheval ne comprend qu'une seule espèce, se distinguant par la robe sans rayure et les oreilles petites (Gendry, 1973).

1. Evolution des chevaux

1.1 Chevaux préhistoriques

L'histoire du cheval est relativement bien connue et se résume en général en une évolution d'un petit animal de la taille d'un renard d'environ 40 cm au garrot et possédant quatre doigts, à un véritable cheval ou cheval moderne du genre *equus* dont les écrits relatent l'apparition en Amérique du nord.

L'évolution de cette espèce était surtout liée aux facteurs de son environnement variant. Ainsi, l'évolution du nombre de ses doigts, de quatre à un, serait due à une adaptation à la course et au poids de l'animal croissant d'une ère à l'autre. Aussi l'évolution de la table dentaire avec l'augmentation des prémolaires était liée à une adaptation au régime alimentaire, de la consommation de feuillage dans un habitat forestier les équidés se sont adaptés aux graminées des prairies. La dénomination de chevaux préhistoriques adaptée dans les documents d'histoire renvoie aux différents genres rencontrés depuis l'Eocène jusqu'au Pléistocène et à nos jours.

Ainsi, après l'Eocène - il y a 60 millions d'année - où les chevaux préhistoriques étaient représentés par l'Eohippus et l'Hyracotherium, vint l'Oligocène - 45 à 20 millions d'années - avec le Mésohippus, puis le Miocène avec le Miohippus et le Mérychippus, le Pliocène avec le Pliohippus et l'Hipparion et enfin le Pléistocène jusqu'à nos jours qui connut l'apparition du genre *Equus* correspondant aux chevaux modernes *Equus caballus* (SY, 2004 In Hellowtejiozem, 2007).

1.2 Chevaux modernes

La caractéristique anatomique la plus marquée du cheval moderne est qu'il ne possède qu'un doigt à chacun de ses quatre pieds, ce qui en fait un ongulé, périssodactyle, à nombre impair de doigts. Le doigt du cheval, qui correspond au médius de la main humaine, est très élargi et protégé par un sabot corné. Des éperons vestigiaux correspondant aux deuxième et quatrième doigts sont situés de chaque côté du pied au-dessus du sabot.

Le crâne du cheval est allongé et la mandibule, ou mâchoire inférieure, est très longue. La colonne vertébrale se compose de sept vertèbres cervicales, dix-huit vertèbres dorsales, six vertèbres lombaires, cinq vertèbres sacrées et quinze vertèbres caudales. La dentition d'un cheval adulte comprend quarante-quatre dents : trois incisives, une canine, quatre prémolaires et trois molaires de chaque côté des mâchoires. Les incisives, qui servent à brouter l'herbe, poussent en demi-cercle. Il existe un intervalle prononcé entre les canines et les prémolaires ; le mors servant à contrôler le cheval est placé dans cet intervalle quand l'animal est monté ou dirigé. Toutes les dents ont de longues couronnes et des racines assez courtes (figure 01).

Le cheval a un estomac simple et la fermentation des aliments fibreux a lieu dans une poche aveugle, le cæcum, analogue à l'appendice des humains. Il se trouve à la jonction du gros intestin et de l'intestin grêle. Chez un grand cheval, le cæcum peut avoir une capacité d'environ 38 litres (Hellowtejiozem, 2007).

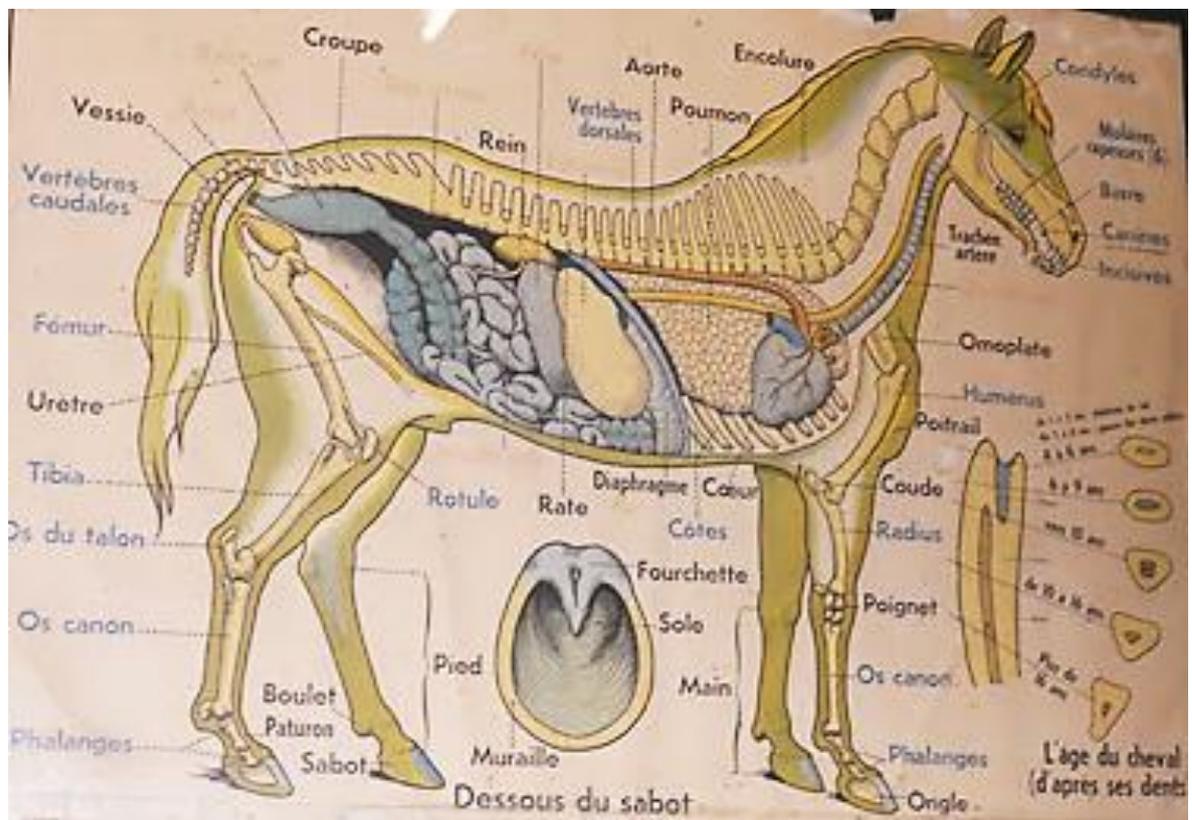


Figure 1 : Anatomie et squelette du cheval (Schéma emprunté à la jumenterie de Tiaret)

2. Etude de l'extérieur du cheval :

2.1 Position des régions du corps :

Pour l'étude de ce qu'on appelle l'extérieur du cheval, on distingue d'abord le corps et les membres. Il faut se garder de dire les pattes. On ne dira pas non plus les membres de devant ou de derrière, mais les membres antérieurs ou les membres postérieurs et encore plus simplement les antérieurs et les postérieurs. Enfin, pensant à la position de la main du cavalier sur sa monture, on divisera l'ensemble du cheval en deux parties : l'avant-main et l'arrière-main (GENDRY, 1973).

2.1.1 Corps

Le corps comprend la tête, l'encolure et le tronc. On doit attacher de l'importance à la tête tant pour juger des caractères de race du sujet examiné que pour apprécier ses qualités individuelles d'énergie, sa vitalité et son tempérament (Gendry, 1973).

La figure 02 indique les différentes parties de la tête.

L'encolure qui supporte la tête a pour base les sept vertèbres cervicales, très volumineuses ; elle est garnie de muscles puissants et protège la trachée et l'œsophage. Elle est garnie à sa partie supérieure de la crinière. Son rôle est primordial dans la locomotion du cheval ; elle sert, en effet, de balancier et de gouvernail. Chez le mâle consacré à la reproduction, la musculature de l'encolure s'épaissit et son sommet prend une légère courbe : c'est la crête de l'étalon.

L'étude du tronc se fait de profil et en bout (Gendry, 1973).

a) De profil, on distingue

- Une face supérieure comprenant, d'avant en arrière :
- Le garrot, arête plus ou moins accentuée formée par l'extrémité supérieure des huit premières vertèbres dorsales ;
- Le dos, constitué par les muscles placés de part et d'autre des dix autres vertèbres dorsales, beaucoup plus petites que les précédentes ;
- Le rein, soutenu par les six vertèbres lombaires ;
- Le sommet de la croupe, pointe formée par les angles supérieurs rapprochés des os iliaques (bien marquée, cette proéminence est « la bosse du saut » ;
- La croupe, située entre l'angle externe de l'os iliaque (pointe de la hanche) et la partie postérieure de l'ischium (pointe de la fesse). Dans le langage courant, on dit indifféremment la croupe ou les hanches pour désigner cette région.

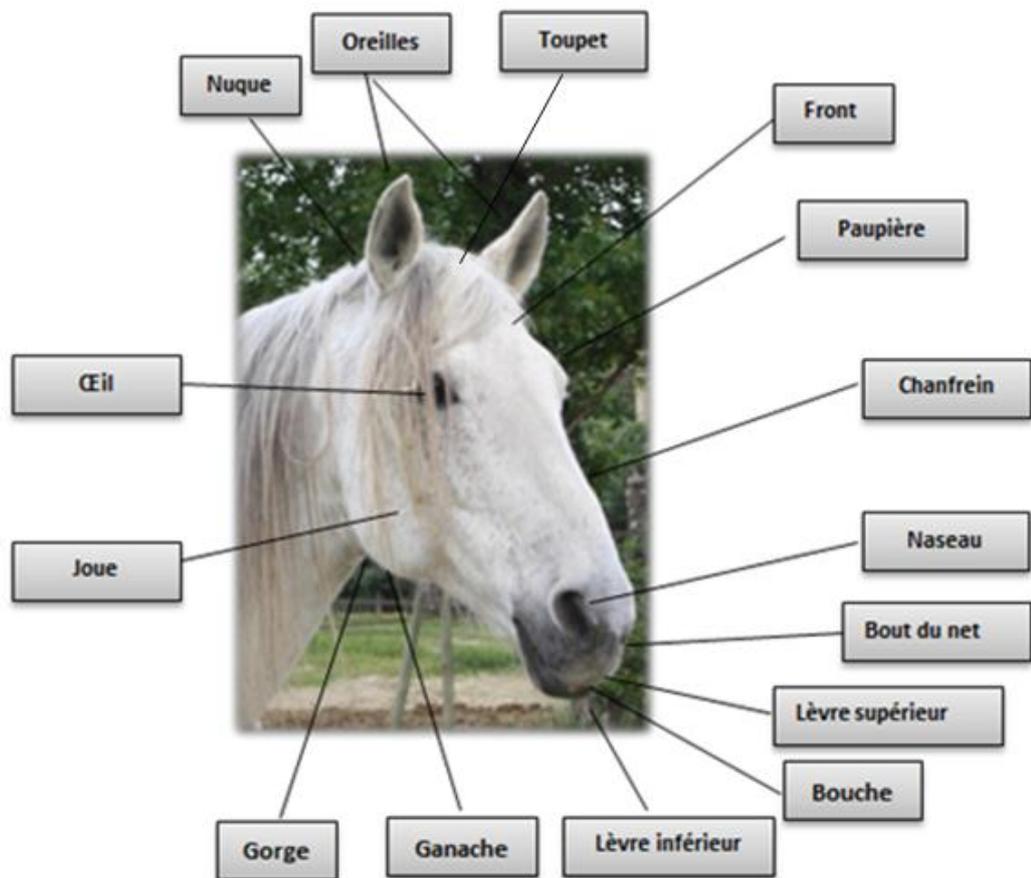


Figure 2 : Schéma des parties externes de la tête

- Une face inférieure comprenant : le passage des sangles, en arrière des coudes, dessiné par l'extrémité inférieure des côtes les plus longues et nettement distinctes du ventre ;
 - Le ventre, paroi inférieure de l'abdomen.
 - Des faces latérales où il faut distinguer : les côtes, qui forme la poitrine ;
 - Le flanc, compris entre la dernière côte et la pointe de la hanche.
- b) **Vu de devant**, le tronc présente : - le poitrail, partie comprise entre les pointes des épaules ;
- Les ars : région formée de chaque côté par la jonction de l'avant – bras avec le tronc et où la peau forme des plis très fins.
- c) **Vu par derrière**, on note sur le tronc : les pointes des fesses, qui sont des extrémités des ischions ; la queue, constituée par les dernières vertèbres, de plus en plus réduites vers l'extrémité de la colonne vertébrale et garnie de crins sur la face extérieur et les côtés ; l'anus, ouverture postérieure du tube digestif ; les organes génitaux externes.

2.1.2 Membres

Les membres support et propulseurs du cheval, ont une importance toute particulière chez un animal dont la mobilité puissante constitue la raison d'être.

La partie supérieure du système de ces leviers de locomotion est intégrée au tronc -épaules et bras pour les membres antérieurs, hanches pour les postérieurs-, et ce n'est que pour l'étude simplifiée de l'extérieur du cheval qu'on appelle :

- membres antérieur seulement la partie nettement séparée du tronc, c'est-à-dire l'avant-bras, le carpe et les phalanges,
- membre postérieur, l'ensemble mobile -à partir du col du fémur- comprend la cuisse, la jambe, le tarse et les phalanges (Gendry, 1973).

3. Physiologie équine

3.1 Locomotion et allures

Pour se déplacer, le cheval mobilise ses membres dans un certain ordre qui permet de caractériser les allures, c'est-à-dire les différentes façons de se déplacer. Les allures sont classées en trois catégories :

- allures naturelles : exécutées d'instinct par le cheval et dont font partie notamment le pas, le trot, le galop, l'amble et le tölt (pour les chevaux islandais en particulier), le reculer et le saut ;
- allures artificielles : acquises par le dressage, comme le passage, issu du trot, le pas d'école, le pas espagnol;
- allures défectueuses : qui résultent d'une douleur ou d'une mauvaise utilisation du cheval, comme l'aubin du devant (trot des postérieurs et galop des antérieurs), l'aubin du derrière (trot des antérieurs et galop des postérieurs), le traquenard (trot décousu ou désuni par dissociation des bipèdes diagonaux), le galop désuni (galop à droite des postérieurs et galop à gauche des antérieurs, ou vice-versa) et le galop à quatre temps, galop lent qui dissocie le bipède diagonal.

Outre les allures, il existe des mouvements naturels comme les mouvements de défense ou d'attaque : la ruade et le cabrer.

Les mouvements sur place sont des mouvements d'école comme le piaffer qui est un trot sur place, la courbette où le cheval se cabre et la croupade où le cheval rue (Hellowtejiozem, 2007).

3.2 Sens du cheval

Le cheval dispose de cinq sens mais parfois, on parle même d'un sixième sens. Les sens les plus développés chez le cheval sont l'odorat, l'ouïe et le toucher. Par exemple, les vibrisses de son menton composant la barbe, lui permettent de reconnaître ce qu'il ne voit pas; tandis que son odorat lui permet d'identifier les individus -qu'il s'agisse des membres de sa harde ou non, comme des hommes croisés dans sa vie, les plantes éventuellement toxiques ou comestibles.

Le cheval dispose d'un angle de vue de 340 degrés, avec seulement deux angles morts situés exactement devant et derrière lui : sa vision lui permet de voir sur les côtés comme la cravache du cavalier, mais il ne voit pas une main posée directement sur son chanfrein ou si quelque chose lui est présenté au niveau de sa bouche. Pour cette raison, il faut lui faire sentir la main avant de le caresser pour ne pas le surprendre. Certains chevaux devenus aveugles peuvent tout de même vivre à peu près normalement : ils se

font aider d'un congénère. Un cheval aveugle fut même champion de France de dressage (Hellowtejiozem, 2007).

3.3 Alimentation

Comme tout herbivore, la ration principale est constituée d'herbe pâturée pour l'essentiel. Les constituants de la ration sont sensiblement identiques aux bovins, hormis l'utilisation des fourrages humides à faible teneur en matière sèche (Haras Nationaux Français, 2006).

Chargement

Un cheval adulte consomme de 1,5 à 3 kg de MS par jour et pour 100 kg de poids vif, soit :

- . 7 kg de MS par jour pour un cheval de 2 ans à l'entretien,
- . jusqu'à 15 kg de MS par jour pour une jument au 3^{me} mois d'allaitement.

Il faut de 4 à 5 tonnes de MS par an pour nourrir une jument adulte, soit environ 1 ha avec une fertilisation azotée réduite (Haras Nationaux Français, 2006).

Les chevaux boivent environ 20 à 40 litres d'eau par jour et jusqu'à deux fois plus en été ou pour les chevaux lourds (Hellowtejiozem, 2007).

3.4 Reproduction

Techniquement, la reproduction des femelles est possible à partir de 2 ans, mais la majeure partie est mise à la reproduction à 3 ans. Les mâles ne sont agréés à la reproduction qu'à partir de 3 ans, exceptionnellement 2 ans.

Les techniques de monte sont les suivantes : monte en liberté, monte en main - étalon tenu à l'écart des juments-, insémination artificielle en sperme frais, en sperme congelé ou réfrigéré transporté (Haras Nationaux Français, 2006).

La durée de gestation est en moyenne de onze mois (310 à 360 jours) et la jument ne donne naissance qu'à un seul poulain à la fois sauf exception. Ce processus est appelé le poulinage et on dit que la jument pouline (Haras Nationaux Français, 2006).

Un poulinage avant 300 jrs sera considéré comme un avortement car le poulain est non viable ou prématuré.

Durant les 6 premiers mois le fœtus se développe progressivement, il atteint 50% du poids de naissance au cours du 9^{ème} mois. La taille du poulain s'adapte dans le ventre de sa mère et à la morphologie de celle-ci (Bourdais, 2011).

Dans la nature, les poulains naissent en général au printemps. Pour des raisons économiques, les éleveurs recherchent une naissance plus précoce au début de l'année et parviennent à déclencher des chaleurs en jouant par exemple sur l'intensité de l'éclairage (Haras Nationaux Français, 2006).

A la naissance, le poulain pèse environ une quarantaine de kilogrammes et son poids double au cours du premier mois. Le poulain sait marcher moins d'une heure après la naissance et dispose de la vision dès la naissance. Le poulain devient adulte entre deux et cinq ans suivant la race à laquelle il appartient. Certaines sont plus précoces que d'autres.

Le cheval peut s'accoupler avec d'autres équidés. Le produit d'un étalon et d'une ânesse est un bardot, celui d'un baudet et d'une jument est un mulet ou une *mule*, celui d'une jument et d'un zèbre est dénommé zébrule ou *zorse* (Hellowtejiozem, 2007).

CHAPITRE II

IMPORTANCE DE L'ELEVAGE EQUIN EN

ALGERIE

Chapitre 2 : Importance de l'élevage équin en Algérie

En Algérie, le secteur de l'élevage équin constitue un pilier essentiel de l'économie nationale à travers la création d'emplois et la satisfaction des besoins en produits animaux, et il occupe une place extrêmement importante dans la vie socio-économique de la population, en raison notamment des multiples rôles qu'il joue. Ce chapitre est consacré aux aspects relatifs à l'importance socio-économique du cheval et décrit les différentes races d'Algérie.

1. Histoire du cheval en Algérie

Le cheval constitue un élément incontournable de l'histoire et de la culture algérienne. Des tribus berbères de Syphax, Jugurtha et Massinissa, aux épopées de l'Emir Abdelkader, d'El Mokrani et de Bouamama, il a jonché son parcours de batailles épiques menées contre l'envahisseur.

Les études paléontologiques, menées par le CNRPAH, montrent que l'apparition des équidés en Algérie, remonte au miocène supérieur, avec le genre *hyparion* (espèces tridactyles), découvert sur le site de Bouhanifia.

Les ancêtres du cheval actuel, *equus numidicus* et *equus tabeti*, apparaîtront au pliocène, tandis que le cheval actuel, *equus caballus*, apparaîtra-il y a 38 000 ans, tels que l'attestent les ossements découverts dans la brèche des allobroges à Hydra (Alger).

L'existence d'une race équine endémique, le cheval Barbe, et qui sera à l'origine de certaines races européennes (Pur-Sang Anglais, Andalou, Lusitanien) et américaines (Mustang, Palomino, Quarter Horse), montre toute l'étendue et toute la richesse de notre biodiversité animale. Ces qualités ne manqueront pas d'être exploitées par les envahisseurs qui se sont succédés dans notre pays.

Les romains, utiliseront ainsi le cheval *numide*, pour leur cavalerie, les jeux de cirque et les courses de chars.

La France, intéressée par les qualités des chevaux algériens, procédera dès 1846, à la mise en place d'une organisation moderne d'élevage équin, destinée à la remonte de sa cavalerie et s'appuyant sur la création d'un réseau de stations de monte implantées dans les zones potentielles, et alimentées par les dépôts de reproducteurs d'Oran, Mostaganem, Blida et Constantine.

Cette organisation, sera complétée par la création en 1877, de la Jumenterie de Tiaret, dédiée à l'élevage des races Arabe et Barbe. Elle sera à l'origine de la création de la race Arabe-Barbe et supplantera très vite le célèbre Haras de Pompadour (Benabdelmoumène, 2003).

2. Situation actuelle du cheval en Algérie

Dans ce pays nord-africain, le cheval reste un acteur incontournable dans les régions rurales, particulièrement dans les Hauts Plateaux, à l'instar des wilayas de Tiaret, Saïda, Naama, Djelfa et Laghouat. Dans ces régions, le cheval vit parmi la population et y occupe une place digne de son rang, en accord avec ce qu'a recommandé le Prophète de l'Islam aux croyants. Selon un des nombreux hadiths rapporté par Ibn Majah, le Prophète a dit : « celui qui s'occupe d'un cheval pour l'amour de Dieu et qui soigne sa nourriture de sa main, aura pour chaque grain une récompense (Hassana) » (Rahal, 2008).

2.1 Utilisation en sport et loisir

L'importance du cheval dans le domaine du sport et loisir apparaît surtout dans les disciplines culturelles et sportives comme :

2.1.1 Fantasia

Elle représente la tradition équestre ancestrale dans nos régions rurales. Elle s'organise autour de 9 ligues régionales équestres qui se rassemblent dans de nombreuses occasions (Rahal, 2008).

2.1.2 Courses hippiques

Ils sont organisés par la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM). Cette société fait fonctionner pas moins de 8 hippodromes que sont : Zemmouri, Oran, Tiaret, Djelfa, Laghouat, Barika, El Eulma et Msila, qui regroupent des coursiers Pur-Sang Arabes, Pur-Sang Anglais nés et élevés en Algérie, et des Arabe-Barbe (à Djelfa et Laghouat) ainsi que des Trotteurs (Zemmouri) (Rahal, 2008).

2.1.3 Saut d'obstacle

C'est une discipline qui connaît un certain engouement ces dernières années. Elle est pratiquée dans quelques 22 centres équestres en Algérie, regroupant des chevaux de races le plus souvent croisées (Anglo-Arabe-Barbe, encore nommés AQPS, c'est à dire Autre Que

Pur-Sang) et une élite de demi-sang (chevaux de Selle Irlandais, Selle Français...) (Rahal, 2008).

2.1.4 Raids d'endurance

C'est une nouvelle discipline qui est née à la fin des années 80, avec des raids à Bordj el Bahri, Tiaret, Mostaganem,... (Rahal, 2008).

2.2 Rôle socio-économique

2.2.1 Consommation hippophagique

La viande chevaline est exceptionnellement pauvre en graisses (moins de 5 % de lipides, dont 60 % environ d'acides gras essentiels ou oméga 3 et 6). Elle peut donc faire figure de viande « diététique » par rapport aux autres viandes rouges, ainsi que le reconnaissent certains programmes minceur.

Son exceptionnelle teneur en fer (près de 4 mg de fer/100 g de viande) la faisait prescrire par les médecins du siècle dernier pour lutter contre l'état mélancolique et la fatigue chronique. D'origine héminique, ce fer offre l'avantage d'être plus assimilable par l'organisme humain que le fer non héminique présent dans les végétaux, les œufs et les produits laitiers.

La viande chevaline possède une saveur sucrée inimitable due à la présence de glycogène dans le muscle plus importante que dans d'autres viandes.

Tous les amateurs le diront, ce qui la caractérise le mieux, c'est sa tendreté extrême due à un processus de maturation unique qui assouplit ses fibres musculaires. Sa texture, toujours délicieuse et fondante, est adorée des petits amateurs comme des grands connaisseurs de viande.

La viande chevaline est une viande fragile, qui s'oxyde facilement. Il faut la manger rapidement après l'abatage. Les gourmets et puristes s'accordent à dire que le tartare n'est que chevalin, mais la viande chevaline se cuisine aussi selon de nombreuses recettes. Elle devra être saisie, quel que soit le type de cuisson désiré (rôti, grillé, braisé) (Haras National Suisse, 2007).

En Algérie, la demande est très faible compte tenu des habitudes alimentaires des populations et aussi à cause des tabous religieux.

Peut-être dû également du fait que la viande de cheval est un vecteur potentiel de la salmonellose et surtout de la trichinellose. En effet la viande de cheval contaminée par le

parasite genre *Trichinella* fut à l'origine de plusieurs vagues d'épidémies en France et en Italie entre 1975 et 1998 (Ancelle, 1998).

2.2.2 Lait

le lait de jument est largement consommé par des populations qui lui accordent des vertus de longévité. De nombreux naturopathes le proposent pour ses vertus diététiques et fortifiantes ou pour remplacer le lait maternel, car sa composition en est très voisine. Comme il ne peut pas être traité par la chaleur, par exemple par pasteurisation, il doit être congelé immédiatement après la traite. Sa production rencontre quelques problèmes, en particulier ceux de la saisonnalité de la production et de la protection des animaux, car cette production prive le poulain d'une partie de sa ration.

Le lait de jument, comme celui d'ânesse, rentre aussi dans la composition de cosmétiques comme les crèmes, le savon ou le shampoing. Ces produits sont en majorité produits dans les pays d'Europe, Allemagne, Autriche, France, (Haras National Suisse, 2007).

2.2.3 Thérapie avec le cheval

Dans l'utilisation des équidés (cheval, poney, âne) pour des buts thérapeutiques on distingue :

- La thérapie avec le cheval, prodiguée par des professionnels diplômés dans le domaine de la santé ou du social, s'adresse à des personnes souffrant des handicaps physiques, sensoriels, mentaux, psychiques et sociaux. Cette thérapie s'intéresse et traite les patients dans la globalité de leur être.
- L'hippothérapie "K" est dispensée exclusivement par des physiothérapeutes essentiellement destinés à des patients souffrant des handicaps physiques. C'est donc une forme de rééducation physio- thérapeutique. Cette thérapie est particulièrement appliquée dans les pays germaniques et en Suisse alémanique. Le patient se contente de suivre le mouvement du cheval et ne l'influence pas de manière active (Haras National Suisse, 2007).

2.3 Emplois générés par le cheval

Le cheval, à l'inverse des autres espèces animales domestiques, possède une gamme d'utilisations très variée qui dépasse le cadre agricole. Il est ainsi présent dans plusieurs secteurs et il est susceptible d'élargir sa présence à d'autres (Benabdelmoumène, 2003).

A titre d'exemple le cheval peut être associé aux structures :

- De la jeunesse et les sports,
- La culture et l'Artisanat,
- Le tourisme,

2.5.1 Métiers directement liés au cheval

Le cheval induit des emplois dans l'agriculture, en particulier dans la ;

- Gestion des pensions des chevaux dans les exploitations agricoles
- Gestion des manèges et centres équestres
- Cavaliers professionnels
- Personnel d'écurie
- Eleveurs et personnel
- Entraîneurs courses
- Thérapie équestre
- Maréchaux et personnel
- Commerce de chevaux
- Vétérinaires équins et personnel

2.5.3 Métiers dépendants du cheval

Il est possible de retrouver plusieurs métiers qui dépendent du cheval, comme ;

- Les boucheries chevalines
- Selliers et boutiques d'équitation
- Equipements (écuries, véhicules, etc.)
- Alimentation
- Presse
- Recherche et formation
- Divers (assurances, droits) (Haras National Suisse, 2007)

2.4 Races des chevaux exploités en Algérie

Les principales races de chevaux que l'on retrouve en Algérie sont les suivantes :

2.4.1 Barbe

La présence du Barbe en Algérie remonterait à plus de 30.000 ans, ce qui contredit les hypothèses qui le donnent comme originaire du Yemen. Sa trajectoire historique est plus que remarquable. On le retrouve notamment sur :

- une dalle peinte représentant deux chevaux attelés à un char Tamadjert (Tassili Azguer),
- une dalle gravée représentant deux chevaux (Tumulus de Djorf Torba),
- une stèle gravée sur une roche provenant de Kabylie et représentant le « Cavalier d'Abizar » (IVe siècle avant J.C.) ; les traits du cheval Barbe se reconnaissent nettement dans cette gravure,

- la monnaie de Massinissa,
- l'Aguélid âgé de 88 ans montait encore sur son cheval et menait les Numides à la victoire des Campi Magni en 150, contre les Carthaginois,
- au revers des monnaies royales, l'image du cheval marque l'attention particulière dont il est l'objet en Numidie.

Le cheval Barbe sera également un acteur dans l'expansion de l'Islam en Europe méridionale du VIII^{ème} siècle. Tarik Ibnou Ziad, général berbère, rassemble 12 000 cavaliers et passe le détroit qui porte son nom (Gibraltar), à la conquête de l'Espagne et du Sud de la France.

Le cheval Barbe marquera de son empreinte plusieurs races européennes (Espagnole, Portugaise, Autrichienne) et par ricochet historique, des races américaines par le biais des conquistadores.

Le Barbe sera également omniprésent dans la littérature et la poésie ; magnifié par l'Emir Abdelkader, célèbre hippiatre, à la science hippique reconnue par le général Daumas qui lui consacra une large place dans son ouvrage « Les Chevaux du Sahara » édité en 1858 (Benabdelmoumène, 2003).

Cheval d'équitation traditionnelle par excellence (Fantasia), il suscite actuellement l'intérêt dans les clubs d'équitation ainsi que dans les courses d'endurance à l'échelle internationale (Rahal, 2008).

Le standard officiel de la race barbe, fixé par l'Organisation mondiale du Cheval barbe (OMCB), créée à Alger en juin 1987 (Organisation Mondiale Du Cheval Barbe, 1989 ; El-Kohen, 2006), définit le Barbe sur le plan morphologique comme une race eumétrique, médioligne dont les principaux caractères sont : une taille moyenne de 1,55 m (1,50 m-1,60 m) ; une longueur scapulo-ischiale sensiblement égale à la taille avec un indice corporel de profil égal à 1 (cheval carré) ; une tête assez forte, chargée en ganache avec des naseaux effacés ; un profil céphalique convexe légèrement busqué ; une encolure bien greffée, rouée, épaisse et courte ; un garrot bien édifié et fortement marqué ; une poitrine large et haute avec un périmètre thoracique d'au minimum 1,70 m ; un dos tendu et tranchant avec un rein court, puissant et parfois voussé ; une croupe en pupitre avec une queue attachée bas ; un tour de canon minimum de 18 cm et une robe essentiellement grise, baie, alezane avec des crins abondants et épais (Organisation Mondiale Du Cheval Barbe , 1989 ; Tamzali, 1989 ; Chabchoub, 1998 ; Rahal et *al.*, 2009 ; Guedaoura et *al.*, 2011) .

2.4.2 Arabe - Barbe

L'Arabe-Barbe, création de la Jumenterie de Tiaret -dont la création remonté en 1877-, dédiée d'abord à l'élevage des races arabe et barbe, constitue la race prédominante en Algérie (Benabdelmoumène, 2003 ; Kadri, 2006 ; Guedaoura et *al.*, 2011).

le cheval Arabe-Barbe constitue une véritable réussite de l'élevage équin algérien. Alliant la rusticité, l'endurance et la sobriété du Barbe, à l'élégance des formes et la vitesse de l'Arabe, il fera merveille sur les champs de bataille et sera produit en grand nombre par l'armée française pour la remonte de sa cavalerie.

Cheval « à tout faire », il est très prisé pour les travaux agricoles, l'équitation moderne et traditionnelle et l'attelage. Produit en grand nombre, ses effectifs sont estimés à 30.000 têtes de race équine à part entière l'Arabe-Barbe exprime toutes ses qualités lorsque le pourcentage de sang Arabe ne dépasse pas les 50 % (Benabdelmoumène, 2003 ; Guedaoura et *al.*, 2011).

Le nombre de produits Arabe-Barbes purs, inscrits au stud-book algérien du cheval Barbe, nés entre 1993 et 2004, est de 3379 selon les données de l'Office national du Développement de l'Élevage équins et camelins (ONDEEC) (Rahal et *al.*, 2009). Cependant, la population Arabe-Barbe reste principalement composée de « présumés », non-inscrits, qui sont identifiés comme tel, le plus souvent uniquement sur base de leur morphologie, faute de connaître les origines de leurs ascendants. Les seuls croisements à être admis pour inscription au stud-book du Barbe sont : Barbe x Arabe- Barbe ou Barbe x Arabe ou Arabe- Barbe x Arabe-Barbe (Organisation Mondiale Du Cheval Barbe, 1989).

Aucun standard n'est actuellement édicté pour l'Arabe-Barbe, ceci en raison du pourcentage de sang arabe et du type d'arabe employé, variable suivant les sujets et leur utilisation (Association Belge Du Cheval Barbe, 2003 ; Haras Nationaux Français, 2009b).

L'Arabe-Barbe présente donc plus d'hétérogénéité, et on n'est pas en mesure aujourd'hui d'en déterminer le degré de sang arabe (25 %, 50 %, 75 % ou plus) (Association Belge Du Cheval Barbe, 2003).

Peu de travaux ont été réalisés sur les caractéristiques morphologiques ou génétiques, permettant de définir avec précision le cheval Barbe ou Arabe-Barbe de race pure et ceux d'origine inconnue (Chabchoub et *al.*, 2004 ; Guedaoura et *al.*, 2008 ; Guedaoura et *al.*, 2011).

2.4.3 Pur-Sang Arabe

Les chevaux Arabes constituent la plus ancienne des races pures ; ils sont à l'origine de toutes les races modernes de chevaux de modèle léger et, en dépit de la contradiction apparente de leurs deux qualités essentielles, c'est également eux qui sont les plus célèbres pour leur exceptionnelle beauté et pour leur incomparable endurance (Edwards, 1974).

L'histoire du Pur-Sang Arabe en Algérie remonte probablement à l'invasion des arabes, au 7^{ème} siècle, même si les conquérants ont vite adopté la race locale (le Barbe), mieux adaptée aux reliefs montagneux et arides des régions d'Afrique du nord.

Plus tard, le colonisateur français lui consacra en 1877 un Haras à Tiaret appelé « **Jumenterie de Chaouchaoua** » qui produira, à partir de sujets importés d'orient (Syrie, Egypte...), des lignées mondialement célèbres.

Les juments Chérifa, Wadha, Nimrin, et les étalons Safita, Quatre As et Bango, seront à l'origine des lignées, française, polonaise et russe, actuellement très prisées.

A partir de l'année 1983, la situation de cette race a eu un tournant décisif avec l'instauration de courses de Pur-sang arabe à l'hippodrome du Caroubier (Alger) puis d'Oran, alimentées au départ avec des chevaux arabes polyvalents, nés et élevés en Algérie. Le Haras de Tiaret a joué un rôle prépondérant à ce niveau, puisqu'il a injecté à lui seul plus de 700 coursiers dans les hippodromes.

C'est à cette époque qu'ont commencé les premiers croisements de Pur-Sang Arabe en vue d'obtenir des modèles coursiers. Ainsi, le haras national de Tiaret achetait les chevaux qui se distinguaient en course, alors que des propriétaires privés ont réussi à sélectionner et produire des chevaux arabes de course renommés à cette époque (Hammam, Dimachk, Mesk...). La tendance actuelle ira vers un croisement de souches locales avec des étalons importés. Les lignées françaises sont pour l'heure les meilleures au monde (Manganate, Tidjani, Dormane...) (Rahal et *al.*, 2009).

Aujourd'hui cette race brille dans plusieurs disciplines (endurance, courses, concours modèles et allures...)

Les effectifs sont estimés à 1000 chevaux, et dont 90% sont issus du Haras National Chaouchaoua de Tiaret.

La race Arabe dispose d'un Stud Book (livre généalogique), et l'Algérie est membre actif de la World Arabian Horse Organisation (WAHO) qui compte 57 pays membres (Benabdelmoumène, 2003).

2.4.4 Pur-Sang Anglais

Créée au 17^{ème} siècle, cette race est issue du croisement de juments *anglaises*, avec des étalons *Arabes* et *Barbes*. Parmi ces étalons, citons *Godolphin Barb*, *Darley Arabian* et *Beyerly Turck*. Ils produiront le cheval le plus rapide du monde (Benabdelmoumène, 2003).

Splendide animal de course à la musculature puissante, très longiligne et extrêmement rapide, de 3 types : le sprinter (haut et allongé, très rapide), le stayer (petit, meilleur en fond) et l'intermédiaire (court, apte aux obstacles). Il est élevé pour les courses de vitesse, mais aussi le saut d'obstacle, a servi à améliorer la plupart des races et à en créer de nouvelles (Hellowtejiozem, 2007).

L'introduction de cette race en Algérie, remonte au 19^{ème} siècle. Les effectifs actuels sont de l'ordre de 500 têtes, et la production est réservée exclusivement aux courses hippiques (Benabdelmoumène, 2003).

Les régions d'élevage du Pur-Sang Anglais en Algérie est par excellence Barika, Laghouat et à un moindre degré Chebli (Rahal, 2008).

2.4.5 Anglo-Arabe

L'Anglo-Arabe est issu du croisement des Pur-Sang Anglais et Arabe. On retrouve des caractéristiques communes : c'est un cheval de taille moyenne ou grande, de type fin, harmonieux, élégant et racé avec une belle tête, mais rapide, puissant et résistant, qui conjugue la vitesse du Pur-Sang Anglais et l'endurance du Pur-Sang Arabe, avec une forte personnalité : il est volontaire, joueur, audacieux et courageux, réactif voire difficile, et très attachant. "Il s'identifie avec celui qui le monte, répond à sa pensée et devance ses désirs".

La robe, surtout grise aux origines, et maintenant baie ou alezane. L'Anglo-Arabe est un cheval de sports polyvalent, surtout apprécié en concours complets, mais aussi en endurance ou en équitation d'extérieur (Hellowtejiozem, 2007).

2.4.6 Trotteur

Race importée essentiellement de France depuis plus de cinquante ans, issue du croisement Pur-Sang Anglais et ancienne race Normande.

Il est utilisé en Algérie dans la discipline du trot attelé, à l'hippodrome de Zemmouri et prochainement à Oran. Cependant, des Trotteurs peuvent être retrouvés dans les clubs hippiques ainsi que chez des propriétaires de chevaux de fantasia, qui apprécient le modèle,

plus lourd que le Barbe (Rahal, 2008).

2.5 Localisation des aires d'élevage

Les aires d'élevages, qui s'étendaient d'est en ouest, et du nord, aux portes du Sahara, ont considérablement rétrécies. Chassé du littoral et des plaines du nord par l'urbanisation, l'élevage équin ne subsiste que dans les hauts plateaux et la steppe (Benabdelmoumène, 2003).

A l'heure actuelle, les effectifs dans la race Barbe pure, sont estimés à 3.000 têtes. Les zones d'élevage se situent principalement dans les régions de Tlemcen, Saida, Mascara, Tiaret, Laghouat, Djelfa, Chlef, Khenchela et Tebessa. Les trois grandes zones géographiques (Ouest, Centre et Est) se distinguent chacune par un type et un modèle, façonnés par le sol et le climat (Rahal, 2008).

L'élevage équin fait partie intégrante des ressources nationales qui méritent d'être bien gérés et valorisés. A cet effet la mise en évidence des différentes caractéristiques pouvant discriminer les races des chevaux apparaît nécessaire pour comprendre et mieux gérer la biodiversité d'où la nécessité d'établir un standard pour identifier les races de chevaux.

Sur le plan morphologique, on peut établir un standard pour chaque type de chevaux en vue d'une préservation en race pure et d'un usage raisonné en croisement.

le Barbe est un cheval eumétrique, médioligne, à la tête assez forte, chargée en ganaches, aux naseaux effacés, au profil convexe, légèrement busqué, aux oreilles plutôt courtes, une encolure bien greffée, rouée, au garrot bien édifié, fortement marqué, au dos tendu et tranchant, au rein court, puissant et parfois voussé, à la croupe en pupitre, à la queue attachée bas, aux fesses coupées "court" et musclées, aux cuisses sèches et plates, aux jarrets bas, larges, secs, parfois coudés et clos et enfin aux pieds secs et petits.

La taille du barbe est évaluée entre 147 et 157 cm en moyenne, la longueur scapulo-ischiale égale à la taille, ce qui en fait un cheval carré, et un tour de canon supérieur ou égal à 18 centimètres. Enfin, la robe est grise, baie ou alezane, avec des crins abondants et épais.

Le Pur -Sang arabe est un petit cheval mesurant entre 1,44 m à 1,55 m. Les robes les plus fréquemment rencontrées sont le gris, l'alezan, le bai, le bai brun, et parfois le noir. C'est

un cheval au regard doux et expressif. Sa tête au profil rectiligne et concave arbore de petites oreilles pointues et droites, des naseaux dilatés et un front large. Sa petite bouche présente de fines lèvres et un menton mobile. Son encolure, aux crins doux et soyeux, est longue, joliment arquée et peu épaisse. Il a l'épaule oblique, le poitrail profond et la poitrine large et musclée. Il présente un dos tendu et une croupe plutôt horizontale. Sa queue est attachée haut. Le Pur - Sang Arabe possède des membres fins et secs aux articulations basses et des pieds très résistants et bien formés.

La population dérivée, particulièrement l'Arabe-Barbe, présente une morphologie très hétérogène et proches des deux races parentales de ce fait aucun standard n'est actuellement édicté pour l'Arabe-Barbe, ceci en raison du pourcentage de sang arabe et du type d'arabe employé, variable suivant les sujets et leur utilisation.

L'Anglo-Arabe est issu de croisements entre le Pur-Sang et l'Arabe, son type est donc intermédiaire entre les deux races, l'Arabe apportant en plus de ses qualités de beauté et d'élégance, ses qualités de résistance, de légèreté dans les allures, et une aptitude ancestrale à la selle et à porter le poids du cavalier, le Pur-Sang quant à lui, apportant, outre sa taille, tout le poids de sa sélection réussie sur la vitesse. Le profil de la tête est plutôt rectiligne voire camus ; La croupe est longue et bien orientée. L'ossature générale est plutôt légère, avec des membres secs et « bien trempés ». L'Anglo Arabe est à l'origine un peu plus grand que l'Arabe, mais sa taille a eu tendance à augmenter et les sujets de 1,66 m au garrot ne sont plus rares. On rencontre toutes les robes, mais le bai, l'alézan et le gris sont les plus fréquentes. L'Anglo-Arabe, en définitive est un cheval distingué, très esthétique dans sa tête et harmonieux de corps, aux allures souples et brillantes, avec beaucoup de personnalité ce qui en fait son charme.

La taille du Trotteur Français varie entre 1, 60 m et 1, 65 m au garrot. Il peut être bai, bai brun, alezan et parfois gris. Ce cheval élégant et au type longiligne possède un regard vif et expressif. Il a une tête au profil rectiligne avec un front et des naseaux larges. Il présente une encolure musclée et un garrot fortement marqué et arrondi. Ses épaules sont obliques et musclées et sa poitrine est ample et profonde. Son dos droit se prolonge par une croupe à la fois longue et large et légèrement inclinée. Son arrière-main est puissante et ses membres sont forts et résistants.

Cependant, ces connaissances basées surtout sur les aspects morphologiques et de conformation ne permettent pas d'assurer la conservation du cheptel équin. Sachant que les aires d'élevages, qui s'étendaient d'est en ouest, et du nord, aux portes du Sahara, ont considérablement rétréci. Chassé du littoral et des plaines du nord par l'urbanisation, l'élevage équin ne subsiste que dans les hauts plateaux et la steppe (Benabdelmoumène, 2003).

Un travail important de conservation est à entreprendre. L'outil moléculaire offre un grand nombre de techniques permettant de mieux comprendre les bases génétiques de la biodiversité. Dans le cadre de la conservation des races domestiques, ces outils permettent :

- D'identifier les races génétiques « sensibles » et les groupes raciaux à conserver prioritairement.
- D'identifier la relation entre la partition de la diversité génétique et l'histoire évolutive de chaque race. Et par cela, mieux appréhender l'impact des programmes d'élevage et de sélection passés sur la diversité génétique actuelle.

CHAPITRE III

TECHNIQUES DE BIOLOGIE

MOLECULAIRE

Chapitre 3 : Techniques de la biologie moléculaire

En terme de discipline, la biologie moléculaire est le fruit de la rencontre entre deux branches de la biologie développées au début du XX e siècle, la génétique et la biochimie. La biologie moléculaire naît et se développe quand la question de la nature des gènes et de leur mécanisme d'action commence à se poser à certains généticiens et lorsque les biochimistes cherchent à comprendre comment les protéines et les enzymes sont synthétisées dans les cellules et quelle est l'intervention des gènes dans ce processus (Kaplan et Depech,1995 in Marié, 2001).

1. Historique

1.1 Précurseurs

La biochimie est l'application de la chimie à l'étude des phénomènes vitaux. L'expérience fondatrice de la biochimie est réalisée par Büchner en 1897 : il réussit à reproduire in vitro, avec un extrait acellulaire de levure, la fermentation des sucres (Kaplan et Depech,1995 in Marié,2001).

La génétique étudie la transmission des caractères héréditaires. Elle prend naissance en 1856 lorsque Mendel énonce les « lois de l'hérédité ». Oubliés pendant presque quarante ans (Gorny, 1991 In Marié,2001), ses résultats sont redécouverts en 1900 par De Vries, Von Tschermak et Correns qui en mesurent la portée.

Une génétique très complexe est créée, mais des questions fondamentales restent posées (structure cellulaire porteuse de l'information génétique, transmission à la cellule...). C'est ainsi que naît une science nouvelle, la biologie moléculaire (Morange,1994 in Marié,2001).

1.2 « révolution moléculaire »

La période pendant laquelle celle-ci s'est opérée est aisée à préciser ; c'est entre les années 1900 et 1940 que se développent les deux disciplines à l'origine de la biologie moléculaire et c'est en 1941 qu'a lieu la première découverte que l'on peut lui attribuer en propre : lorsque Beadle et Tatum montrent que les gènes contrôlent la synthèse des enzymes et que l'on peut mettre en évidence l'existence d'un gène différent pour en découle est acquise entre les années 1972 et 1980 (Kaplan et Depech,1995 in Marié,2001).

Aujourd'hui, cette science s'est étendue à tous les domaines de la biologie : études de la cellule, du développement de l'embryon, de la différenciation cellulaire, de l'évolution (Marié, 2001).

2. 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 (Ould Ahmed, 2009).

2.1 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 mise en évidence que pour toute molécule d'ADN, le nombre de molécules d'Adénine est égal au nombre de molécules de Thymine, et que celui de Cytosine est égal à celui de Guanine.

C'est en élaborant successivement plusieurs modèles moléculaires que Watson et Crick (1953) réussissent à proposer une structure qui satisfasse à l'ensemble des données biochimiques disponibles à l'époque. 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 Thymine. Les deux brins d'une molécule d'ADN sont dits complémentaires (Riquet et Pitel, 2000 ; Ould Ahmed, 2009) (Figure 03).

2.2 Outils de la biologie moléculaire en génétique

Les techniques de base de la biologie moléculaire consistent le plus souvent à tirer parti des caractéristiques propres du matériel biologique sur lequel on travaille (comme les propriétés physico-chimiques de l'ADN) et à exploiter des organismes, surtout des microorganismes, du monde vivant (Riquet et Pitel, 2000).

2.2.1 Propriétés de l'ADN

L'ADN est une molécule double brin, dont les deux brins sont complémentaires. Si on sépare les deux brins (par simple chauffage ou par action d'un agent dénaturant comme la soude, l'urée ou la formamide), on a donc accès à deux molécules simples brins. Un fragment d'ADN plus ou moins long, simple brin et de séquence complémentaire à la séquence cible pourra s'associer à celle-ci : il y a hybridation de deux brins complémentaires. Des techniques comme la PCR (Polymerase Chain Reaction), les Southern blots, le criblage de banques et l'hybridation in situ s'appuient sur cette caractéristique.

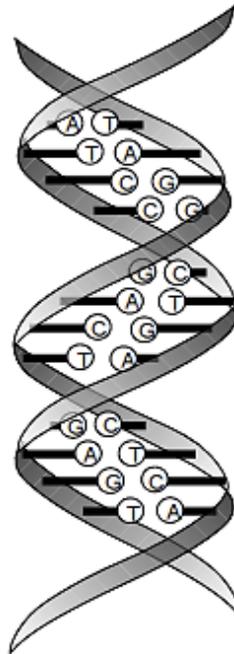
L'ADN est constitué de nucléotides, auxquels une modification peut être apportée (isotopes radioactifs du phosphore ou du soufre, molécule fluorescente). Ces constituants modifiés de l'ADN permettent alors son marquage et la visualisation de la molécule.

L'ADN est une molécule chargée négativement. Cette propriété permet de faire migrer de l'ADN sur différents supports dans un champ électrophorétique.

L'ADN est organisé en chromosomes. L'ensemble des chromosomes constitue le **génome**.



Chromosome au stade métaphase de la méiose.



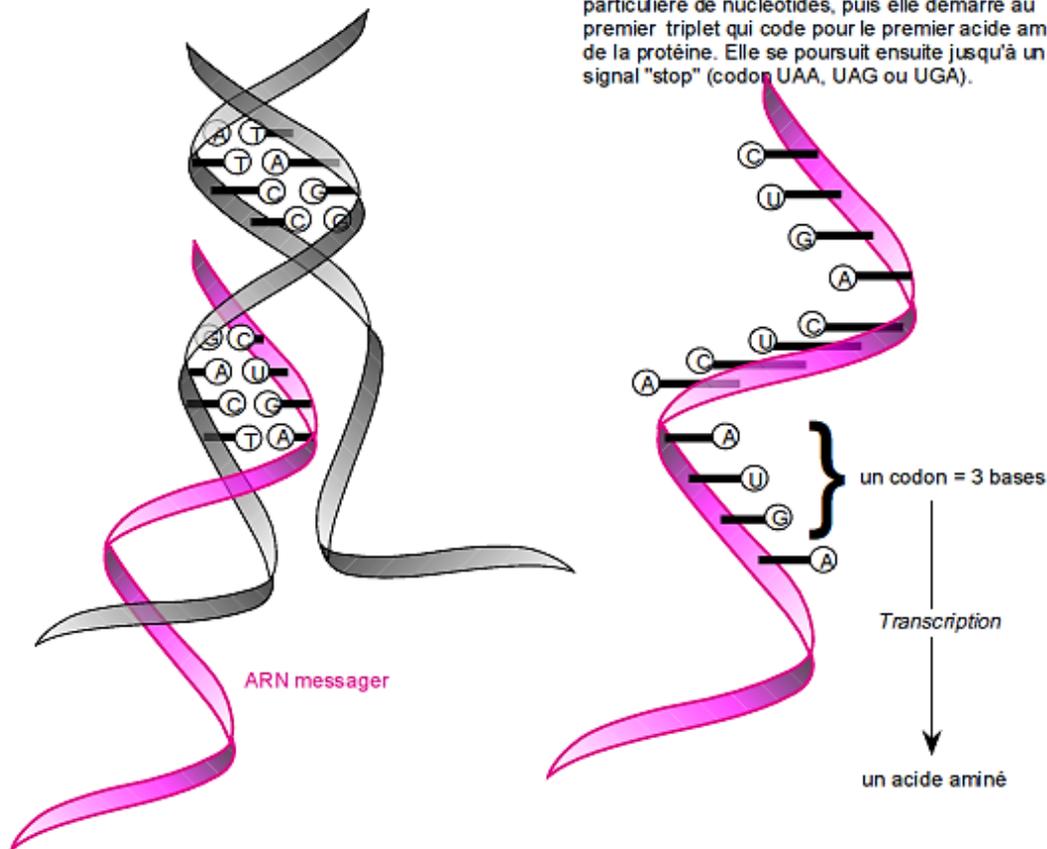
La **molécule d'ADN** se présente sous forme d'une hélice à deux brins. Chaque brin est constitué de l'enchaînement de 4 éléments de base appelés nucléotides. Ces 4 nucléotides diffèrent par les bases azotées qui les constituent : A, C, G ou T. Les enchaînements des nucléotides sur les deux brins sont complémentaires (bases C avec G, T avec A).

Un **gène** est une portion de la molécule d'ADN. Il se définit par la séquence des nucléotides.

Les gènes sont la **partie codante du génome**, c'est-à-dire les portions du génome qui seront traduites en protéines. Les gènes ne représentent que 5 à 10 % du génome.

La synthèse des protéines se déroule en deux phases. Au cours de la première, l'ADN est "transcrit" en ARN messager (les bases utilisées sont les mêmes que dans l'ADN sauf U à la place de T).

Au cours de la deuxième phase, l'ARN messager est "traduit" en protéines : à chaque triplet (ou **codon**) de nucléotides correspond un acide aminé. La traduction est initiée par une séquence particulière de nucléotides, puis elle démarre au premier triplet qui code pour le premier acide aminé de la protéine. Elle se poursuit ensuite jusqu'à un signal "stop" (codon UAA, UAG ou UGA).



A un emplacement (= **locus**) donné du génome, c'est-à-dire pour un segment d'ADN donné, que ce soit ou non un gène, la séquence des nucléotides peut varier d'un individu à l'autre. Cette variabilité définit le **polymorphisme** génétique, les différentes séquences au locus étant dites **allèles**.

Figure 03 : Eléments de l'ADN génomique par Riquet et Pitel (2000)

L'ADN a d'autres propriétés physico-chimiques que nous n'aborderons pas, et qui permettent de lui faire subir sonifications -Il s'agit d'une fragmentation aléatoire à l'aide d'ultrasons, centrifugations, dosages, précipitations, chromatographies et autres manipulations (Riquet et Pitel, 2000).

2.2.2 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 04). 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.

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 (Ould Ahmed, 2009).

2.2.3 Electrophorèse

Son emploi est quotidien dans un laboratoire. Les acides peuvent migrer dans un champ électrique et leur vitesse de migration est fonction de leur masse moléculaire (nombre

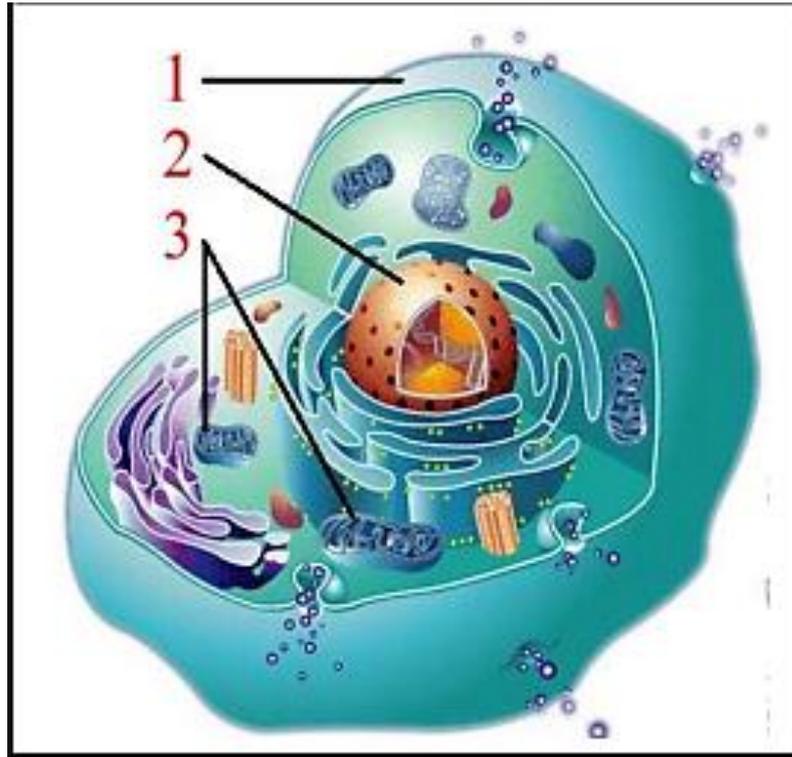


Figure 04 : Organisation d'une cellule

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

de bases ou de paires de bases) et de la concentration d'acrylamide/bis-acrylamide ou d'agarose du gel. Le choix de la nature et de la concentration du support de l'électrophorèse est fonction de la taille moyenne des fragments à séparer (Marié, 2001).

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 (Ould Ahmed, 2009).

Le gel d'acrylamide/bis-acrylamide est utilisé pour les électrophorèses verticales pour la purification des oligonucléotides de synthèse et l'élimination des nucléotides libres après marquage radioactif, la détermination des séquences d'ADN et la séparation des petits fragments d'ADN. Le gel d'agarose est le support le plus utilisé, dans une électrophorèse horizontale

pour les grandes molécules d'ADN. L'électrophorèse en champ pulsé (dans un gel d'agarose à 1 %) permet de séparer les grandes molécules d'ADN que l'électrophorèse classique ne peut résoudre.

La visualisation des acides nucléiques sur les gels d'agarose se fait grâce au bromure d'éthidium (BET) qui, spontanément non fluorescent, présente une fluorescence rouge sous rayonnement ultra-violet (UV) quand il s'intercale entre les bases des acides nucléiques.

Dans la pratique, il est introduit dans l'agarose avant que le gel ne soit coulé. Après migration, sous illumination par des UV courts, l'ADN est visualisé sous forme de bandes colorées qui peuvent être photographiées sur un film très sensible (Marié, 2001).

2.2.4 Contrôle de la pureté de l'ADN extrait

Le maximum d'absorption des acides nucléiques se situe à 260 nm. Les protéines, principaux contaminant des préparations absorbent aussi à 260 nm, mais avec un maximum d'absorption qui se situe vers 280 nm à cause des acides aminés aromatiques. Le rapport $DO = A_{260nm} / A_{280nm}$ constitue alors un bon moyen pour apprécier une éventuelle contamination de la préparation d'ADN par les protéines ou par les ARN.

Une contamination par les ARN se traduit par une augmentation du rapport DO. Les ARN étant en simple brin, le coefficient moyen d'absorption d'un nucléotide est supérieur à celui du même nucléotide dans la double hélice à cause de l'hypochromisme.

Tableau 01 : Contrôle de la pureté de l'ADN extrait (Simpore, 2004)

DO = A 260nm / A 280nm	
ADN pur	: 1,8 < DO < 2
ADN contaminé par les protéines	: DO < 1,7
ADN contaminé par les ARN	: DO > 2

Le spectre d'absorption U.V. permet également d'estimer les contaminations éventuelles et permet aussi de quantifier l'ADN de la préparation. L'apparition d'épaulements donne une idée des différents contaminant.

-Un épaulement à 280 nm indique une contamination protéique.

-Un épaulement à 270 nm indique une contamination par phénol.

-Un épaulement à 230 nm indique une contamination par les glucides.

-En absence d'impuretés, l'absorbance de la solution d'ADN à 320 nm doit être autour de zéro (Simpore, 2004).

2.2.5 Amplification en chaîne par polymérase (PCR)

Mise au point en 1985 par Mullis, la PCR est utilisée dans tous les laboratoires de biologie moléculaire. Son utilisation impose une organisation particulière des laboratoires et une grande expérience. Chaque résultat doit être analysé avant d'être validé, le principal écueil étant la contamination par les produits des amplifications (Kruh, 1994 ; Inserm, 1999 In Marié, 2001).

Le principe consiste à répliquer de façon successive un brin d'ADN à partir d'une amorce (Kruh, 1994 ; Marié, 2001).

avec l'aide d'ADN polymérase. Il faut pour cela choisir des amorces oligonucléotidiques synthétiques capables de s'hybrider aux bornes pour réaliser la répllication, ce qui nécessite d'avoir une connaissance préalable de la séquence que l'on veut amplifier. Le nombre de copies de la séquence est doublée à chaque répllication. La figure 05 résume les différentes étapes de cette technique (Marié, 2001).

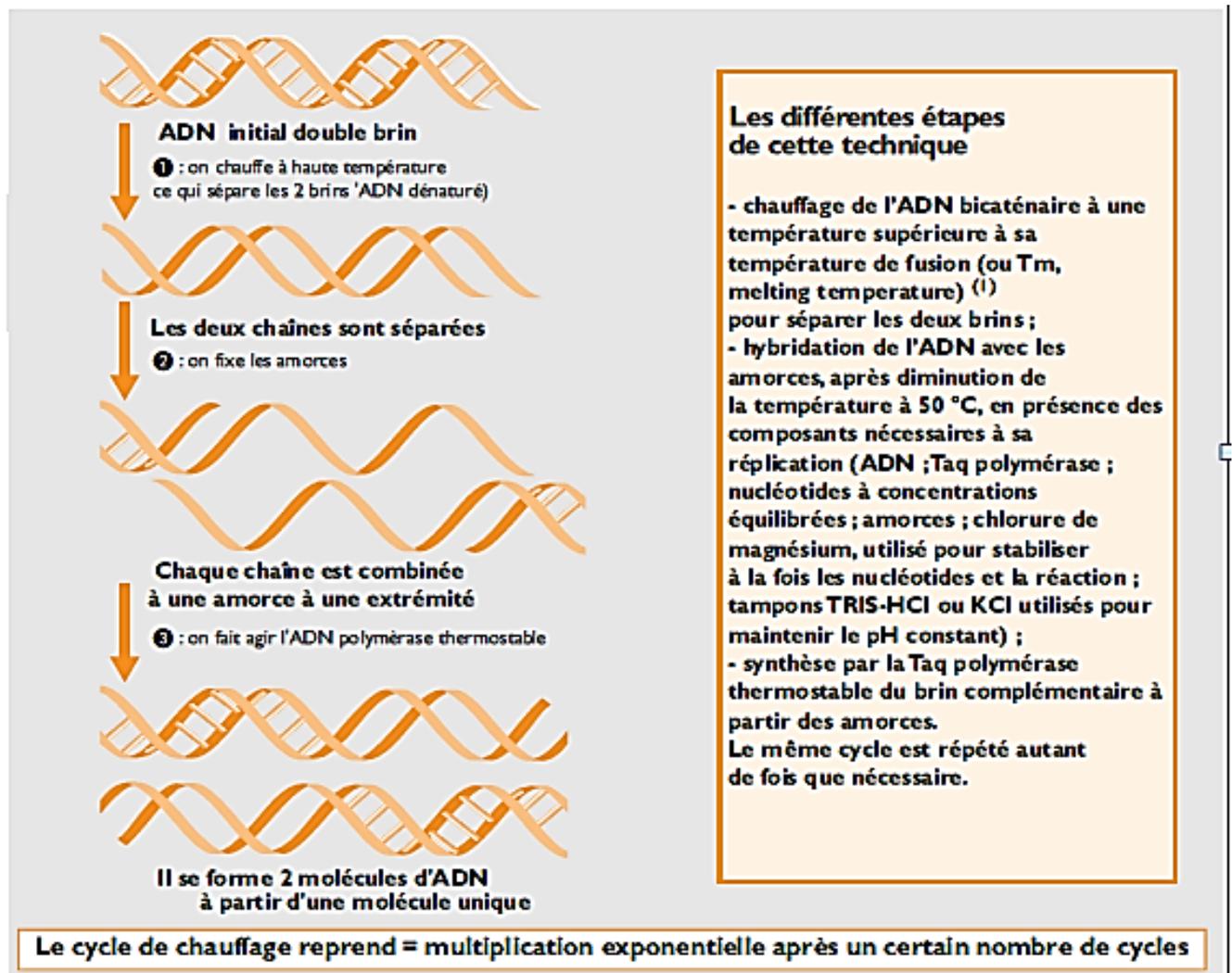


Figure 05 : Les différentes étapes de la PCR

D'après Kruh (1994)

3. Marqueurs

Deux types de marqueurs sont distingués : d'une part, les marqueurs biochimiques (protéines, groupes sanguins) donnent accès aux effets primaires des gènes et, d'autre part, les marqueurs moléculaires (microsatellites, SNP,...), donnent accès au polymorphisme directement à l'échelle de l'ADN. Dans les deux cas, un échantillonnage d'animaux doit être planifié et des prélèvements biologiques doivent être effectués : prise de sang, échantillon de tissu musculaire, fragment de peau, touffe de poils avec leur racines...

Le grand avantage des marqueurs est de décrire directement la variabilité génétique, y compris dans une dimension multi-locus. Cependant, on ne rend compte de la variabilité que pour les marqueurs observés : les résultats ne peuvent être étendus au reste du génome qu'au prix de certaines hypothèses, et le choix des marqueurs peut alors revêtir une importance toute particulière (marqueurs bien répartis sur le génome, etc.) par ailleurs, l'interprétation des résultats doit tenir compte du statut des marqueurs vis-à-vis de la sélection, notamment pour les marqueurs eux-mêmes fonctionnels (protéines, groupes sanguins, ...). Lorsqu'ils ne sont pas fonctionnels, les marqueurs peuvent être soit dans une région neutre du génome, soit à la proximité d'une région fonctionnelle (marqueurs de QTL) (Rognon et Verrier, 2007).

3.1 Marqueurs biochimiques

3.1.1 Groupes sanguins

Le groupe sanguin d'un individu (hémotype) correspond à la liste des facteurs antigéniques portés par ses globules rouges. La détermination du groupe sanguin d'un individu est basée sur la réaction immunologique antigène- anticorps. Deux étapes sont nécessaires : tout d'abord, l'obtention d'anticorps spécifiques et, ensuite, le typage des individus (Rognon et Verrier, 2007).

3.1.2 Protéines

Les protéines, molécules solubles, possèdent un poids et une charge électrique propre. Soumise à un champ électrique, les variantes d'une protéine qui diffèrent par leur charge vont migrer différemment, ce qui permet de détecter autant d'allèles au locus correspondant. Ainsi, seuls les mutations qui entraînent un changement dans la charge de la protéine sont détectées, soit environ 8% des variations de l'ADN. Cette technique est simple et il est possible de la mettre en œuvre en l'absence de toute connaissance génétique de l'espèce. Les limitations

sont le faible nombre de locus analysés (entre 20 et 50 locus, tous n'étant pas polymorphes), le fait que les protéines soient spécifiques de certains organes et que leur analyse puisse être destructive (prélèvements d'organes vitaux), même si des prélèvements par biopsie musculaire ou prise de sang sont aussi possibles, pour un nombre limité de protéines, comme cela est pratiqué pour l'étude du polymorphisme chez les animaux de rente (équins, bovins, ovins,...) (Rognon et Verrier, 2007).

3.2 Marqueurs moléculaires

Différentes techniques ont été développées pour permettre l'étude du polymorphisme au niveau de l'ADN. Le séquençage systématique de fragments d'ADN est possible et de plus en plus automatisé. Une telle pratique donne accès à l'ensemble de l'information de la zone étudiée -tout ou partie d'un gène ou d'une zone non codante de l'ADN- et permis ainsi de mettre en évidence toute variation de séquence nucléotidique entre deux individus. Cependant cette technique reste coûteuse, en particulier lorsqu'on veut étudier un grand nombre de locus et/ou d'individus. On peut alors avoir recours à des méthodes indirectes, fondées sur la détection de différence du nombre d'unité de répétition, de sites de restriction, de conformation, de stabilité ou de sites de reconnaissance d'amorces nucléotidiques. Ces techniques reposent sur la PCR, (polymerase chain reaction) qui permet l'amplification in vitro, à partir d'une quantité minimale d'échantillon d'une région spécifique de l'ADN, afin de produire suffisamment de copies pour permettre la visualisation et/ou l'étude de cette région.

L'une des principales méthodes utilisées aujourd'hui (au moins jusqu'au début des années 2000) est celle mettant en évidence le polymorphisme des locus microsatellites (Rognon et Verrier, 2007).

3.2.1 Microsatellites

Ce sont des séquences d'ADN constituées de répétitions en tandem d'un motif de 1 à 5 pb. Grâce à leurs caractéristiques, aussi bien biologique que techniques, ces locus sont des marqueurs de choix pour l'analyse de la diversité entre races. En effet chez les Eucaryotes, les microsatellites sont très abondants (50 à 100 000 suivant les espèces) et sont bien distribués dans le génome. Le polymorphisme de ces séquences est un polymorphisme de longueur qui tient à la variation du nombre de répétitions du motif de base. Ces marqueurs sont codominants, à priori neutres -séquence non codante- et très polymorphes du fait d'un taux de mutation élevé (en moyenne, on peut considérer que ce taux est d'environ 10^{-4} mutation par

locus, par gamète et par génération) Ce polymorphisme est révélé par PCR et migration des fragments amplifiés sur gel d'acrylamide. La spécificité d'un locus microsatellite tient au choix des séquences à utiliser comme amorce dans la PCR, séquences choisies dans les régions flanquantes du motif microsatellite et qui sont conservées d'un individu à l'autre. Plusieurs locus peuvent être étudiés simultanément quand des automates d'analyse d'ADN sont utilisés grâce à des amorces marquées par des fluorophores de couleur et donc de longueur d'onde différentes.

Les microsatellites constituent d'excellents marqueurs génétique pour la révélation en routine car peu d'étapes de mise au point des conditions de PCR sont nécessaires. De plus, les marqueurs sont très facilement diffusables par la simple connaissance de la séquence des amorces. Chez la plus part des espèces domestiques, une liste de référence de locus microsatellites est publiée par la FAO (FAO, 2004), afin de permettre la comparaison entre des analyses produites par différentes équipes de recherche.

Une nouvelle génération de marqueurs polymorphes est actuellement en cours de développement : les SNPs (Single Nucléotide polymorphisms) correspondent à des changements d'une base au niveau de la séquence d'ADN. Ils constituent la plus grande source de polymorphisme génétique caractérisable. Ces variations sont identifiées lors de programmes de séquençage à grande échelle de génome ou de séquences exprimées (Lee et *al.*, 2006) leur génotypage en haut débit nécessite également des outils spécifiques permettant l'analyse simultanée de milliers ou des dizaines de milliers de SNPs (Pitel et Riquet, 2000 ; Vignal et *al.*, 2002).

L'objectif global de cette étude bibliographique est d'élargir les connaissances et acquérir un ensemble d'informations sur les races équines existantes en Algérie, en l'occurrence de l'histoire, l'évolution, les caractéristiques, l'importance et l'intérêt socio-économique des chevaux.

Cette démarche a essentiellement faite pour déterminer les ressources génétiques disponibles dans notre pays. Olliver et *al.*,(2000) affirment que les ressources génétiques disponibles sont d'autant mieux utilisées qu'elles sont mieux caractérisées.

La plus part des chercheurs qui s'intéressent à la caractérisation des chevaux utilise comme principales sources de données des études morphologiques. Cependant, d'autres

critères ont pu être pris en compte, grâce à l'évolution des techniques d'analyse de la variabilité génétique et le développement des méthodes de biologie moléculaire qui ont, depuis quelques années, profondément modifié et amélioré le pouvoir d'investigation des chercheurs, puisque l'ensemble du polymorphisme de l'ADN est maintenant accessible.

Diverses caractéristiques font considérer les microsatellites comme des marqueurs de choix susceptibles de fournir une meilleure appréciation et une caractérisation plus fine de la diversité génétique des races.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

MATERIEL ET METHODES

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Dans le cadre de la préservation des races équine d'Algérie, une caractérisation morphométrique du Barbe, de l'Arabe-Barbe et du Pur-Sang Arabe a fait l'objet de notre étude. Cette étude a été approfondie par une analyse du polymorphisme au niveau de l'ADN par l'utilisation du marqueur microsatellite ASB02.

1. Présentation des zones de l'étude**1.1 Jumenterie de Tiaret**

L'étude a été réalisée dans Le plus important haras en Algérie, Kaïd Ahmed de Tiaret spécialisée depuis sa création en 1877 dans la production du cheval Arabe, du Barbe pur, de l'Arabe-Barbe et récemment de l'Anglo- Arabe.

La jumenterie est localisé sur les hauts plateaux de Tiaret et s'étend sur le versant Sud de l'Atlas Tellien au lieu-dit « Chaouchaoua » situé à 5 kms du chef-lieu de la wilaya de Tiaret. Elle couvre une superficie de 922 ha dont 876 ha de surface agricole totale (SAT) et de 74 ha de superficie agricole utile (SAU).

Elle joue un rôle très important dans la maîtrise des techniques d'élevage appropriées à l'espèce équine par le biais des étalons mis à la disposition des éleveurs.

1.2 Centre équestre de Sayada

Le centre équestre de Mostaganem ou le CHM (Club Hippique de Mostaganem), se situe au nord-ouest Algérien dans la commune de Sayada précisément à la sortie Est de Mostaganem vers Alger, il est l'un des grands centres équestre d'Algérie.

Le club est géré par l'association Fares El Mostaghanemi. Il conduit un effectifs total de 67 chevaux de différentes races citons le Barbe, le Pur-sang Arabe, l'Arabe-Barbe, le Selle Français, le Pur-Sang Anglais, le cheval de sport Belge, le selle luxembourgeois, le Shetland (poney)...

2. Etude morphométrique

Ce travail a été effectué sur un effectif total de 59 chevaux adultes âgés de 4 ans et plus inscrites au stud- book du cheval algérien en tant que reproducteurs de pure race et appartenaient soit au Haras National Chaouchaoua de Tiaret (HNT), soit au centre équestre de Sayada de Mostaganem situés au nord-ouest algérien.

L'étude morphométriques de ces chevaux a été effectuée comme suit :

- Les mensurations de 30 chevaux ont été relevés dont 10 sont de race Barbe, 10 de race Pur-sang arabe et 10 de race Arabe -Barbe
- Quant aux appréciations des caractères qualitatifs nous avons travaillé sur 15 chevaux de race Barbe, 25 de race Pur-sang arabe et 19 de race Arabe-Barbe.

2.1 Mesures effectuées

Le tableau 2 répertorie la liste des 27 mesures qui sont effectuées sur sol plat en précisant les instruments utilisés à cet effet, à savoir, soit une toise (T) pour les paramètres de hauteur ou un ruban métrique (R) pour les paramètres de longueur et les circonférences.

Des valeurs moyennes des diverses mensurations ont été calculées pour les 3 races de chevaux étudiés . Le caractère significatif des différentes moyenne a été évalué en effectuant le test d'ANOVA à plusieurs facteurs.

La comparaison entre des moyennes a été réalisée par le test d'homogénéité de Newman-Keuls utilisant le logiciel STATISTICA version 8 pour Windows.

Les paramètres qualitatifs ont été rassemblés sous forme de pourcentages.

Tableau 02 : Liste des mesures morphométriques réalisées sur les chevaux

Mensuration et description	Abréviations	Instruments de mesure utilisé*
1. Taille au garrot (distance sommet du garrot- sol)	TG	T
2. Longueur des oreilles	LO	R
3. Espace inférieure entre les oreilles	EIO	R
4. Distance entre les angles internes des yeux	DAIY	R
5. Longueur supérieure de l'encolure (nuque -sommet de l'épaule)	LES	R
6. Longueur inférieure de l'encolure	LIE	R
7. Longueur de l'épaule (sommet- pointe de l'épaule « région scapulaire »)	LE	R
8. Longueur du dos	LD	R
9. Longueur du bras (région brachiale)	LB	R
10. Longueur du canon antérieur (région métacarpienne).	LCA	R
11. Longueur de la jambe	LOJB	R
12. Longueur du canon postérieur	LCP	R
13. Distance entre les membres antérieurs (poitrail)	DMA	R
14. Distance entre les points de hanches	DPH	R
15. Distance entre la pointe des fesses et rotule	DFR	R
16. Tour supérieur de l'encolure	TSE	R
17. Tour inférieur de l'encolure	TIE	R
18. Périmètre thoracique (tour de poitrine) (passant verticalement en arrière du garrot et au niveau du passage de sangle), la lecture se fait en fin d'une expiration.	PT	R
19. Tour du canon antérieur (le ruban métrique est placé perpendiculairement au milieu de l'axe du canon)	TCA	R
20. Tour du boulet antérieur (au niveau de sa partie la plus volumineuse (région carpienne)).	TBA	R
21. Tour du paturon antérieur	TPA	R
22. Tour du sabot antérieur	TSA	R
23. Tour supérieur de la jambe (perpendiculaire à la partie supérieur du tibia)	TSJB	R
24. Tour inférieur de la jambe (perpendiculairement à la partie inférieur du tibia)	TIJB	R
25. Tour du boulet postérieur	TBP	R
26. Tour du paturon postérieur	TPP	R
27. Tour du sabot postérieur	TSP	R

* Légende : **T** : toise ; **R** : mètre à ruban

La figure 06 schématise les points de prise de mesures sachant que ces chevaux étaient mis sur un plan horizontal.

2.2 Estimation du poids vif

Le poids vif (PV) en Kg a été calculé à partir du tour de poitrine et de la hauteur au garrot d'après les formules proposées par l'institut de la recherche agronomique de France (INRA) selon l'ouvrage de Martin- Rosset (1990) :

- **Etalon** : poids vif (en Kg) = $4,3 \text{ PT} + 3 \text{ HG} - 785$
- **Poulinière** : poids vif (en Kg) = $5,2 \text{ PT} + 2,6 \text{ HG} - 855$
- **Cheval de selle au travail** : poids vif (en Kg) = $4,3 \text{ PT} + 3 \text{ HG} - 785$

PT : périmètre thoracique en cm (la mesure s'effectue en partant quelques centimètres en aval de garrot et en passant au passage de sangle)

HG : hauteur au garrot en centimètre

2.3 Indices

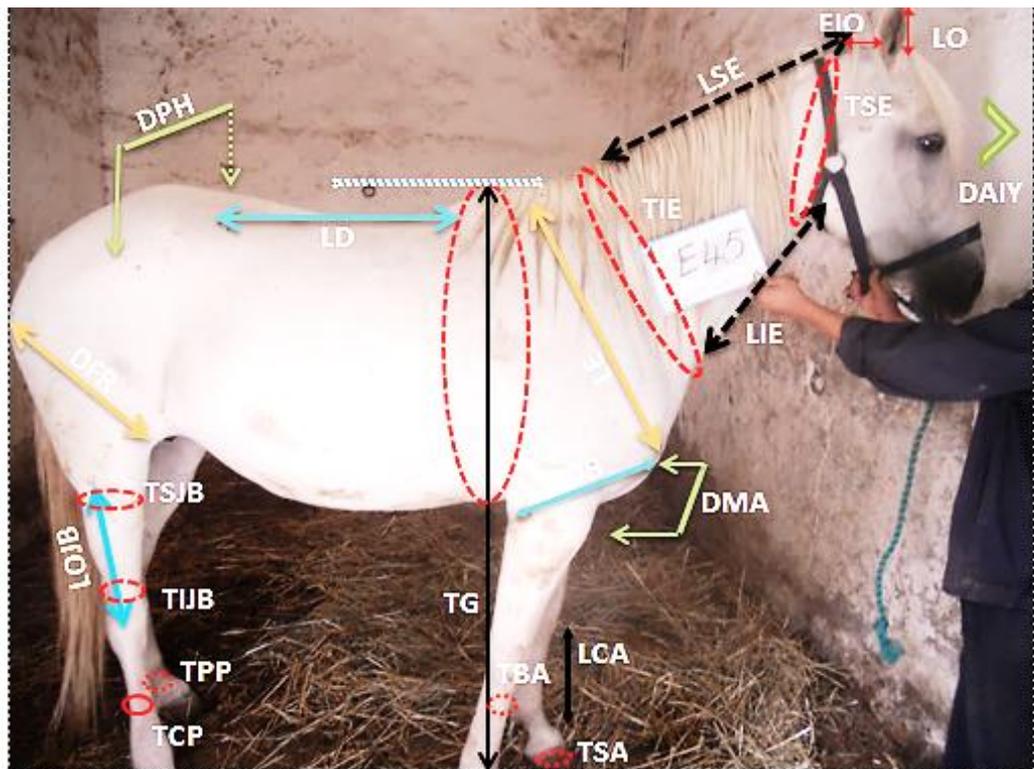
Trois indices ou rapports corporels ont été retenus à partir de la hauteur au garrot, le périmètre thoracique, le tour du canon antérieur et le poids vif et selon des formules décrites par (Marcq et *al.*, 1951 ; Chabchoub et *al.*, 2004 ; Nicks et *al.*, 2006 ; Boujenane et *al.*, 2008 ; Guedaoura et *al.*, 2011)

- **Indice ou rapport corporel** : Tour de poitrine (TP) / hauteur au garrot(HG)
- **Indice corporel de compacité** : Poids vif / HG
- **Indice dactylo thoracique** : Tour du canon antérieur (TCA) / TP

2.4 Caractères qualitatifs

Deux caractères qualitatifs ont été appréciés à l'œil nu. Il s'agit de :

- La couleur de la robe (alezane, gris, baie et autre)
- La forme du chanfrein (camus (concave), plat (rectiligne), légèrement camus, busqué et légèrement busqué),



TG : Taille au garrot, PT : périmètre thoracique, LD : longueur du dos, DPH : distance entre les pointes des hanches, DFR : distance pointe de la fesse- rotule, LE : longueur épaule, LB : longueur du bras, DMA : distance entre les membres antérieurs (poitrail), LSE : longueur supérieur de l'encolure, LIE : longueur inférieur de l'encolure, TSE : tour supérieur d'encolure, TIE : tour inférieur d'encolure, DAIY : distance entre les angles internes des yeux, LO : longueur des oreilles, EIO : espace inférieur entre les oreilles, LCA : longueur du canon antérieur, LOJB : longueur de la jambe, TSJB : tour supérieur de la jambe, TIJB : tour inférieur de la jambe ,TBA : tour du boulet antérieur , TSA : tour du sabot antérieur, TCP : tour du canon postérieur, TPP : tour du paturon postérieur.

Figure 06 : Schématisation des points de prise des mesures

3. Etude génétique

3.1 Constitution d'une bibliothèque d'ADN équin

3.1.1 Stratégie d'échantillonnage

Au total, 23 chevaux adultes de race Barbe et Pur-sang arabe ont été échantillonnés dont 19 appartenant au Haras national Kaïd Ahmed de Tiaret durant le mois de mars 2012 et 4 appartenant au centre équestre Sayada de Mostaganem pendant le mois d'octobre 2011.

Les prélèvements ont été effectués sur des animaux non apparentés, nous avons vérifié le degré d'apparenté à l'aide des fiches individuelles de chaque sujet disponible au niveau de la jumenterie, ces fiches contiennent l'identification de l'animal et sa généalogie (voir annexes).

Quant au centre équestre de Sayada, concernant les sujets qui ne disposent pas de fiches, nous avons établis un questionnaire adressé aux éleveurs pour identifier leurs origines en raison de l'absence de généalogie officielle (voir annexe).

3.1.2 Prélèvement du sang

Le sang a été prélevé de la veine jugulaire à l'aide des seringues de 10 ml en utilisant du coton alcoolisé pour désinfecter l'endroit du prélèvement.

Un volume de 10 ml a été prélevé par animal dans des tubes contenant l'acide éthylène diamine-tétra-acétique (EDTA). Chaque tube comprend une étiquette où nous avons mentionné un numéro correspondant à l'animal prélevé et photographié.

Ces échantillons sont transportés dans une glacière dont la température est maintenue à 0°C jusqu'à l'arrivée du laboratoire où ils sont entreposés à - 20 °C.

3.1.3 Extraction de l'ADN par la technique NaCl

L'extraction d'ADN a été réalisée au Laboratoire de Génétique Moléculaire Appliquée à l'USTO. C'est une étape incontournable pour toute expérimentation en biologie moléculaire. Le protocole suivi est celui de la technique à NaCl « Salting out » qui consiste à traiter uniquement le lysat cellulaire par une solution saline cela pour éliminer les protéines fixées sur l'ADN (Miller et *al.*, 1989).

3.1.3.1 Les étapes de l'extraction des ADN

3.1.3.1.1 Lyse des globules rouges

Après décongélation des tubes au bain marie à + 37 °C, Environ 10 ml de sang total est complété à un volume final de 45 ml avec une solution hypotonique, de TE 10/10 (Tris/HCl 10 mM ; EDTA 10 mM ; pH = 8) pour faire éclater les globules rouges (choc hypotonique) après agitation les tubes sont placés dans la glace pendant 30 mn (choc hypothermique : il permet d'activer l'éclatement des membranes).

Après centrifugation de 15 mn à 2500 tours/mn, le surnageant est éliminé par une pompe aspirante, le culot est resuspendu dans 15 ml de TE 10/10 et complété à 45 ml de TE 10/10 puis placé dans la glace pendant 10 mn suivi d'une centrifugation de 15 mn à 2500 tours/mn. L'opération de lavage est répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'un culot blanchâtre, ce dernier correspond aux globules blancs.

3.1.3.1.2 Lyse des globules blancs

Le culot leucocytaire est repris dans 5ml de tampon de lyse des globules blancs SLB (Tris/HCl 10 Mm ; EDTA 0,1 M ; SDS 0,5 % ; pH = 8). L'action simultanée de ces trois produits est complétée par 100 µl de protéinase K à 20 mg/ml pour déprotéiniser l'ADN). Après homogénéisation à l'aide du vortex, le mélange est incubé au bain marie à 37°C sous agitation lente pendant une nuit (over night), (L'EDTA : chélateur des ions bivalents cofacteur pour la DNase inhibant son activité ; le SDS : détergent puissant lysant les membranes cellulaires et dissociant les complexes d'acides nucléiques).

3.1.3.1.3 Précipitation de l'ADN

2 ml de NaCl (5M) sont ajoutés dans chaque tube pour précipiter les débris cellulaires. Après centrifugation de 20 mn à 4000 tours/mn, le surnageant contenant l'ADN est transféré dans un autre tube puis 2 volumes d'éthanol absolu froid sont ajoutés par tube. Après agitation douce, l'ADN se rétracte sous forme de filaments blanchâtres formant une masse compacte appelée méduse. Cette dernière est récupérée après 1 à 3 lavages dans l'éthanol à 70 % et séchée par évaporation.

Selon la taille de la méduse, la dissolution de l'ADN se fait dans 200 à 700 µl de TE 10/1 (Tris/HCl 10 mM ; EDTA 1 mM ; pH = 8). Le tampon est utilisé pour protéger l'ADN contre les nucléase contaminants. L'ADN est prêt à être utilisé après dissolution totale dans son tampon pendant 24 heures au minimum à une température ambiante sous agitation douce.

3.1.4 Dosage de l'ADN

Le dosage de l'ADN s'effectue par spectrophotométrie dans l'Ultra-Violet d'un aliquote dilué au 1/100 (5 µl d'ADN + 495 µl d'eau distillée stérile) à 260 nm. Il est indispensable de mesurer également l'absorption à 280 nm. Cette dernière permet d'estimer la contamination éventuelle de l'extrait par les protéines, le spectre d'absorption des protéines est de 280 nm.

Pour s'assurer de la pureté de l'ADN, le rapport $DO_{260\text{nm}} / DO_{280\text{nm}}$ est établi, ce dernier doit être compris entre 1,8 et 2. Une valeur inférieure à 1,8 témoigne d'une contamination par les protéines, alors qu'une valeur supérieure à 2 indique une contamination par les sels ou les ARN. On estime qu'une unité de DO à 260 nm correspond à 50 µg/ml d'ADN (Simpore, 2004).

3.1.5 Test de qualité de l'ADN par la technique d'électrophorèse

3.1.5.1 Principe de la méthode

L'électrophorèse est une technique séparative utilisée le plus souvent dans le but analytique. Le principe consiste à soumettre un mélange de molécules à un champ électrique ce qui entraîne la migration des molécules chargées, en fonction de différents paramètres, charge, masse, forme, condition physico-chimique.

Les molécules d'ADN sont chargées négativement (les charges sont portées par les groupements phosphatés) soumises à un champ électrique, elles migrent de la cathode (négative) vers l'anode (positive).

La distance de migration est caractéristique de la taille de la molécule ; plus les fragments sont petits, plus ils se déplacent rapidement dans le gel.

Les gels d'agaroses ont des pores assez larges et sont utilisées pour séparer les molécules d'ADN les plus grands

- Pour la détermination de la taille, et de la quantité de l'ADN
- Pour la confirmation et l'évaluation qualitative des produits de PCR.

3.1.5.2 Protocole expérimental

3.1.5.2.1 Description du dispositif

C'est une cuve horizontale comportant deux compartiments munis chacun d'une électrode. Chaque compartiment est rempli d'un liquide (tampon de migration) ;

Un support d'électrophorèse qui relie les deux compartiments. C'est sur ce support que les échantillons à analyser sont déposés et que les molécules vont migrer en fonction de leur taille. Des peignes spéciaux sont utilisés pour creuser les puits (trous) dans le gel, dans lesquels les substances que l'on veut séparer seront déposés ;

Tampon (TBE)

Un colorant fluorescent utilisé pour la coloration des acides nucléiques tel que le Bromure d'éthidium.

Scanner de fluorescence qui permettra la lecture sous illumination dans l'Ultra-Violet.

3.1.5.2.2 Réalisation du gel

Pour tester la bonne qualité d'ADN extrait, c'est-à-dire un ADN de haut poids moléculaire, un aliquote de 5 µl d'ADN avec 5µl de Bleu de Bromophénol et de sucrose (le Bleu de Bromophénol est un indicateur de migration par contre le sucrose sert à alourdir l'ADN dans les puits) est soumis à une électrophorèse sur gel d'agarose à 0,8 % dans un tampon de migration TBE 1X (Tris/HCl 0,089 M ; acide borique 0,089 M ; EDTA Na₂ 2,5mM ; pH = 8) pendant une heure à 100 Volts.

L'ADN est visualisé sous illumination aux UV grâce à la fluorescence du Bromure d'Ethidium (BET), il s'agit d'une substance qui s'intercale entre les paires de bases de l'ADN, incorporé dans le gel d'agarose à raison de 5 µl de BET à 20 mg / ml.

3.1.6 Dilution des ADN extraits

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

$$C_i V_i = C_f V_f$$

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

C_f = concentration finale de l'ADN dilué en ng /µl

V_f = 300 µl 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.

3.2 Polymorphisme du microsatellite ASB02

3.2.1 Composition des échantillons

Dans le but d'étudier le polymorphisme génétique des deux races équines d'Algérie ; Barbe et Pur-Sang Arabe en utilisant le microsatellite ASB02, nous avons choisis 06 ADN non apparentés dont 3 sont de race Barbe et 3 sont de race Pur-Sang Arabe.

Ces ADN ont été choisis à partir de la bibliothèque d'ADN que nous avons constitué au sein du laboratoire de recherche de physiologie animale appliquée.

3.2.2 Choix et caractéristiques du marqueur microsatellite ASB02

Le marqueur choisi pour l'initiation à la contribution à la caractérisation génétique des deux races équines Barbe et Pur- Sang Arabe est le microsatellite ASB02 localisé sur le chromosome 15 équin (tableau 03).

Il est l'un des microsatellites recommandés par l'ISAG (International Society of animal Genetic) pour l'étude de filiation vu son grand polymorphisme.

Tableau 03 : Caractéristiques du microsatellite ASB02

Microsatellite	Localisation chromosomique	Amorce	Répétitions	Référence
ASB02	Chromosome 15	5' \longrightarrow 3' F : CCT TCC TGT AGT TTA AGC TTC TG R : CAC AAC TGA GTT CTC TGA TAG G	(GT) ₂₄	Breen et <i>al.</i> ,(1997)

3.2.3 Amplification de l'ADN *in vitro* par PCR

3.2.3.1 Principe de la PCR

La réaction de polymérisation en chaîne (PCR) a été mise au point par K.Mullis en 1985. Elle permet d'amplifier *in vitro* de l'ADN en tirant partie du mode de synthèse de l'ADN *in vivo* : chacun des deux brins de l'ADN sert de matrice pour la synthèse du brin complémentaire.

Deux oligonucléotides de synthèse, complémentaires des extrémités 3' du fragment à amplifier sont utilisés comme amorces pour la réplication de l'ADN. La quantité de la séquence recherchée est ainsi amplifiée de façon exponentielle puisque chaque brin nouvellement synthétisé par la polymérase peut servir de matrice dans le cycle d'amplification suivant.

La PCR est une réaction cyclique, chaque cycle étant subdivisé en 3 phases :

- Une phase de dénaturation de l'ADN double brin par la chaleur à 95°C
- Une phase d'hybridation avec les deux amorces spécifiques entre (48°C à 64°C)
- Une phase d'extension par l'ADN polymérase à partir des amorces entre à 72°C.

(Kruh, 1994)

3.2.3.2 Conditions pratiques de la PCR

Nous avons réalisé de nombreux tests d'amplifications des ADN afin de déterminer les conditions d'amplification optimales en particulier la température d'hybridation des amorces.

L'amplification est effectuée dans un volume réactionnel de 25 µl pour chaque échantillon dont les concentrations et les volumes des réactifs sont répertoriés dans le tableau 04.

Tableau 04: Réactifs et paramètres des réactions PCR pour chaque individu

Réactif	Concentration initiale	Concentration finale	Volume à prélevé (µl)
MgCl ₂	50 mM	1,5 mM	0,75
Tampon	10X	1X	2,5
dNTP	2 Mm	0,2 mM	2,5
Amorce 1	100 µM	1 µM	0,25
Amorce 2	100 µM	1 µM	0,25
Taq	5 U/µl	0,5 U/ µl	0,1
ADN	25 ng/ µl	0,75 ng /µl	3 µl
Total			15,65
H₂O			9,35
Total			25

Les amplifications ont été réalisées dans un thermocycleur (TECHNE, Flexigene), et le programme d'amplification utilisé pour ce microsatellite est le suivant :

Après une phase de dénaturation de 5 mn à 94 °C, les échantillons sont soumis à 30 cycles d'amplification suivis d'une étape d'élongation finale de 7mn à 72°C. Chaque cycle comprend :

- 30 secondes de dénaturation à 94°C
- 1min d'hybridation des amorces à 60°C
- 30 secondes d'élongation à 72°C

3.2.4 Mise en évidence des produits d'amplification et étude de polymorphisme de l'ADN sur gel d'agarose

Le test d'amplification est réalisé par électrophorèse d'un aliquote de 5 µl d'ADN amplifié mélangé à 3 µl de tampon de charge (bleu de bromophénol + sucrose) dans un gel d'agarose à 2 % avec un tampon de migration TBE 1X (Tris /HCl 0,089 ; acide borique 0,089 M ; EDTA 2,5 mM). Le bleu de bromophénol est un indicateur du front de migration par contre le sucrose sert à alourdir l'ADN dans les puits.

Le marqueur de taille (100 pb), est utilisé pour déterminer la taille des fragments amplifiés. Après une migration de 30 min à 100 V, l'ADN est ensuite visualisé sous ultraviolets par fluorescence du bromure d'éthidium (BET) incorporé dans le gel à raison de 4 µl sachant que le BET est un agent intercalant entre les bases d'ADN.

La figure 07 représente la disposition des 3 ADN de la race Barbe et 3 ADN de la race Pur-Sang Arabe sur le gel d'agarose.

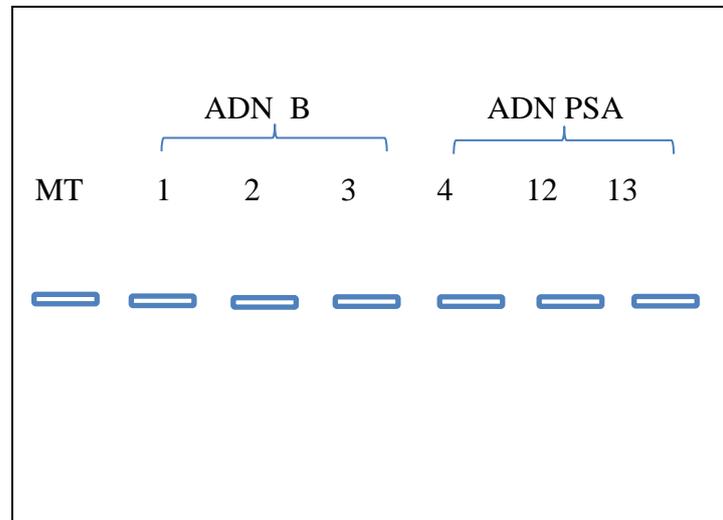


Figure 07 : représentation schématique de la disposition des ADN sur le gel d'agarose

MT : marqueur de taille (100 paires de base)

1, 2, 3 : ADN de race Barbe

4, 12, 13 : ADN de race Pur-Sang Arabe

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V : Résultats et discussions

1. Etude morphométrique

Le tableau 5 rapporte les résultats des mesures des longueurs (moyennes et écarts- types), Le tableau 6 représente les résultats relatifs aux mesures des circonférences et le tableau 7 rapporte les résultats des calculs du poids vif et des indices en fonction des trois races étudiés le Barbe, l'Arabe- Barbe et le Pur-sang arabe.

1.1 Morphométrie du Barbe

La taille du Barbe est évaluée entre 150 – 160 cm en moyenne (Rahal et *al.*, 2009), ce qui est relativement homogène avec nos résultats où la taille au garrot est de $150,5 \pm 3,27$ cm (tableau 05).

La distance entre les angles internes des yeux est de $17 \pm 0,97$ cm correspond aux grandes dimensions du crâne et des sinus frontaux. Ces résultats sont légèrement inférieurs à ceux rapportés par Rahal et *al.*, (2009) et Guedaoura et *al.*, (2011). Cela peut être dû aux fluctuations des mesures (tableau 05).

Le Barbe de notre étude représente un périmètre thoracique moyen de $176,85 \pm 4,38$ cm supérieur à la limite minimale de 170 cm exigée par l'OMCB pour l'inscription au stud-book du cheval Barbe (Tamzali, 1989 ; Chabchoub et *al.*, 2004 ; Guedaoura et *al.*, 2011) (tableau 06).

En plus de son thorax volumineux, le cheval Barbe représente un poitrail large (distance entre les membres antérieurs) preuve d'une capacité respiratoire importante, un critère intéressant pour les chevaux adaptés à la course.

Les dimensions de l'encolure représente une encolure bien greffée intervient dans la locomotion du cheval, elle sert en effet de balancier et de gouvernail.

Tableau 05 : Résultats des paramètres relatifs aux mesures des longueurs

Paramètres	Barbe	Arabe -Barbe	Pur-Sang Arabe	
Taille au garrot (cm)	150,5 ± 3,27a	150,39 ± 4,60a	147,25 ± 3,43b	*
Longueur (cm)				
Longueur des oreilles	14,5 ± 1,27	14,67 ± 1,35	15,45 ± 1,85	ns
Espace inférieure entre les oreilles	14,3 ± 1,23a	16,05 ± 2,00b	14,12 ± 1,47a	*
Distance entre les angles internes des yeux	17 ± 0,97	17,66 ± 0,66	17,75 ± 1,55	ns
Longueur supérieure de l'encolure	75,1 ± 5,47a	76,55 ± 6,02a	68,62 ± 2,25b	**
Longueur inférieure de l'encolure	55,05 ± 4,18a	49,83 ± 3,48b	52,25 ± 5,63b	**
Longueur de l'épaule	59,95 ± 5,12a	41,5 ± 9,47b	50,33 ± 6,31c	***
Longueur du dos	52,8 ± 6,87a	52,66 ± 6,08a	50 ± 6,90b	*
Longueur du bras	39,85 ± 2,38a	38,5 ± 2,73a	34,41 ± 5,31b	***
Longueur du canon antérieur	18,8 ± 2,57a	24,83 ± 3,31b	18,12 ± 4,08a	***
Longueur de la jambe	36,95 ± 5,38a	45,77 ± 7,62b	33,62 ± 6,73a	***
Longueur du canon postérieur	23,65 ± 3,95a	31,5 ± 5,32b	24,16 ± 5,69a	***
Distance entre les membres antérieurs (poitrail)	16,4 ± 1,84	15,38 ± 2,66	16,62 ± 0,95	ns
Distance entre les points des hanches	47,55 ± 2,09a	50,66 ± 5,87a	44,70 ± 2,24b	**
Distance entre la pointe des fesses et rotule	63,1 ± 3,11a	62,44 ± 3,24a	56,20 ± 3,27b	***

*** : $p < 0.001$; différence très hautement significative

** : $p < 0.01$; différence hautement significative

* : $p < 0.05$; différence significative

ns : $p > 0.05$; différence non significatif

a, b, c : la présence de lettres différentes indique que les valeurs sont significativement différentes à ($p < 0,05$).

Ses membres sont assez épais un critère d'importance particulière chez le cheval puisque ils sont des supports et des propulseurs pour celui-ci. Le tour du canon antérieur est de $18,7 \pm 1,06$ cm, le tour du boulet antérieur est de $26,05 \pm 1,36$ cm. Il représente ainsi un tour supérieur de la jambe $49,6 \pm 2,51$ cm et un tour inférieur de la jambe de $33,75 \pm 1,57$ cm témoigne d'un cheval harmonieux d'un squelette fort et homogène.

Tableau 06 : Résultats des paramètres relatifs aux mesures des circonférences

Circonférences (cm)	Barbe	Arabe-Barbe	Pur-Sang Arabe	
Tour supérieur de l'encolure	79,75 ± 5,23a	84 ± 6,68b	74,54 ± 3,93c	**
Tour inférieur de l'encolure	119,35 ± 6,09a	126,44 ± 9,39b	106,45 ± 7,22c	**
Périmètre thoracique (tour de poitrine)	176,85 ± 4,38a	174,61 ± 6,88b	166,54 ± 7,59c	**
Tour du canon antérieur	18,7 ± 1,06a	19,77 ± 1,09b	17,95 ± 1,07a	***
Tour du boulet antérieur	26,05 ± 1,36a	27,05 ± 1,44a	24,62 ± 1,17b	***
Tour du paturon antérieur	17,75 ± 0,79a	19,44 ± 1,23b	17,12 ± 0,93a	***
Tour du sabot antérieur	38,8 ± 1,55a	41,05 ± 2,05b	38,41 ± 2,66a	ns
Tour supérieur de la jambe	49,6 ± 2,51a	42,43 ± 4,42 b	44,70 ± 4,10b	***
Tour inférieur de la jambe	33,75 ± 1,57a	34,77 ± 1,22a	32,08 ± 1,96b	***
Tour du boulet postérieur	26,5 ± 1,35a	28,22 ± 1,25b	26,20 ± 1,46a	***
Tour du paturon postérieur	18 ± 1,20a	20 ± 0,96b	18,45 ± 0,86a	***
Tour du sabot postérieur	39,25 ± 0,79a	40,77 ± 1,50b	37,83 ± 2,16a	***

*** : $p < 0.001$; différence très hautement significative

** : $p < 0.01$; différence hautement significative

* : $p < 0.05$; différence significative

ns : $p > 0.05$; différence non significatif

a, b, c : la présence de lettres différentes indique que les valeurs sont significativement différentes à ($p < 0,05$).

Le poids du Barbe soit $451,36 \pm 24,47$ kg témoigne d'un cheval moyen correspond aux résultats décrits par Rahal et *al.*, (2009) pour un effectif de 35 chevaux âgés de plus de 5 ans(tableau 07).

Son indice de compacité estimé par le rapport poids /taille au garrot est de $3 \pm 0,19$ kg/cm veut dire que notre cheval est un peu compacte pour son poids. Si on compare ce résultats avec celui rapportés par Guedaoura et *al.*, (2011) où l'indice de compacité est de 2,57 Kg/cm pour un effectif de 43 chevaux âgés de 3ans et plus. Se pose alors la question de la comparabilité et de la représentativité des échantillons (tableau 07).

L'indice dactylo- thoracique qui exprime la relation entre la masse d'un cheval et les membres destinés à le supporter. Cet indice ne devrait pas être inférieur à 0,108 pour le cheval de sang (Caroll et Huntington, 1988), sur la base de cette référence on peut dire que notre cheval qui exprime un indice dactylo thoracique de $0,106 \pm 0,0062$ présente une épaisseur de squelette compatible avec son poids (tableau 07).

Tableau 07 : résultats du calcul du poids vif et des indices

Paramètres	Barbe	Arabe -Barbe	Pur-Sang Arabe	
Poids vif (kg)	451,36 ± 24,47a	433,26 ± 53,36a	378,57 ± 16,28b	***
Indices				
Indice corporel (PT/HG)	1,179 ± 0,05	1,161 ± 0,026	1,142 ± 0,05	ns
Indice de compacité (poids vif/HG) kg/cm	3,00 ± 0,199a	2,87 ± 0,277a	2,6 ± 0,00b	*
Indice dactylo-thoracique (TCA/PT)	0,106 ± 0,006a	0,113 ± 0,006b	0,106 ± 0,005a	***

*** : $p < 0.001$; différence très hautement significative

** : $p < 0.01$; différence hautement significative

* : $p < 0.05$; différence significative

ns : $p > 0.05$; différence non significatif

a, b, c : la présence de lettres différentes indique que les valeurs sont significativement différentes à ($p < 0,05$).

La couleur de la robe qui domine chez le Barbe est la couleur grise à 73,33 %, signalant ainsi les particularités qu'on peut rencontrer tel que le gris pommelé, le gris teinté et le gris rouané dans la totalité des 15 individus échantillonnés. Ceci rejoint la description des Haras Nationaux Français (2009b) qui précise que la robe du Barbe est plutôt alezane en Tunisie et grise en Algérie. On remarque aussi la présence de la couleur alezane et la couleur baie à 13,33% (tableau 08).

Tableau 08 : Résultats de la couleur de la robe des chevaux Barbes

Robe	Effectif	Pourcentage
Alezane	2	13,33 %
Baie	2	13,33 %
Rouan	/	/
Gris	11	73,33 %
Total	15	100 %

D'après Rahal et ces collaborateurs (2009), la couleur dominante chez le barbe est le gris 71 % avec toutes ses variantes que sont le gris truité, gris pommelé, gris rouané. Puis la couleur alezane avec 14 %, la couleur baie 10 % et enfin la couleur rouan 5 %, qui correspond au mélange de 3 couleurs de poils. Ces résultats sont tout à fait représentatifs de ce que l'on peut rencontrer sur le terrain. A titre de confirmation, l'étude rétrospective des données du

Stud- book algérien a montré que sur 613 chevaux barbes inscrits à titre initial (Stud-Book Algérien), il y avait une prédominance nette de la robe grise (62 % à l'ouest et 58 % à l'est) par rapport à la robe baie (respectivement 28 et 27 %) et la robe alezane (9 et 15 % respectivement).

Concernant la forme du chanfrein, le Barbe présente majoritairement une forme busquée (convexe) à 66,66% ou légèrement convexe à 13,33 % et un profil rectiligne (plat) à 20 % suivant le tableau 09. Le Barbe étudié correspond au standard, à savoir avec une prédominance du profil convexe (60 %) (Guedaoura et *al.*, 2011).

Tableau 09 : Résultats de la forme du chanfrein du Barbe

Forme chanfrein	Effectif	Pourcentage
Camus	/	/
Busqué	10	66,66 %
Plat	3	20 %
Légèrement camus	/	/
Légèrement busqué	2	13,33 %
Total	15	100 %

Les différences existants entre les résultats que nous avons obtenus et ceux obtenus par d'autres auteurs qui s'intéressent à l'étude de la morphologie du Barbe, nous renseignent sur l'hétérogénéité du cheval Barbe. A cet effet, Rahal et *al.*, (2009) confirment que l'extension de cette race dans plusieurs régions de l'Algérie (Tafna, la Saoura, le Sersou, le Titteri, la Dahra, El Hodna et les Aurès) a fait que la morphologie du Barbe est sujette à de nombreuses variations.

On peut dire d'une manière générale qu'en traversant l'Algérie d'est en ouest, on constate une diminution progressive de la taille du Barbe, et qu'en se rapprochant des zones désertiques, les chevaux accusent plus de finesse, de distinction et de sang : le Barbe est plus grand, plus rustique dans ses formes à l'est du pays, de taille moyenne dans les régions du centre, et plus petit, plus élégant à l'ouest (Tamzali, 1989 ; Guedaoura et *al.*, 2011).

Cette hétérogénéité peut être le résultat :

- Du biotope qui diffère d'une région à l'autre regroupant ainsi les différents types d'alimentation.

- Elle peut être due à la sélection effectuée par l'homme pour l'amélioration des espèces en vue de la recherche de caractères d'intérêt pour avoir des animaux qui répondent au besoin de leurs éleveurs et qui s'adaptent au milieu.

1.2 Morphométrie de l'Arabe - Barbe

Le poids moyen de l'Arabe- Barbe est compris entre 350 kg et 550 kg, il est considéré comme un cheval moyen (Mariante et *al.*, 2002 in Boujnane et *al.*, 2008). Nos résultats représentent un cheval a en moyenne un poids corporel de 433,26 kg (tableau 07). Ce poids est supérieur à celui rapporté par Guedaoura et ses collaborateurs (2011) où le poids vif est égal à $401,0 \pm 9,77$ pour les chevaux Arabes-Barbe stud- bookés alors qu'il est de $445,2 \pm 6,21$ pour les présumés Arabe – Barbe de l'est Algérien et de $429,4 \pm 6,35$ kg pour les présumés Arabe-Barbe de l'ouest. Ces chevaux dits « présumés » parce qu'ils sont des chevaux non-inscrits et qui sont identifiés uniquement sur base de leur morphologie, faute de connaître les origines de leurs ascendants.

Ces différences peuvent être expliqués par :

- La différence du nombre des animaux comparables dans les différentes études.
- L'effet de l'environnement et les conditions particulières du milieu
- Ils peuvent être expliqués aussi par l'état physiologique des juments lors de la prise des mensurations (juments vides, jument gravide,...) durant la période de juin et juillet.
- L'effet du sexe - il est très apparent dans des études similaires contrairement à notre étude puisque nous n'avons pas séparé les mâles des femelles-

La taille au garrot est de $150,39 \pm 4,60$ cm (tableau 05), ce résultat conforme à celui rapporté par (Boujnane et *al.*, 2008) où la hauteur au garrot est en moyenne de 150,9 cm et aussi à celui rapporté par (Guedaoura et *al.*, 2011) avec quelques différences enregistrés chez les présumés.

Le périmètre thoracique est de $174 \pm 6,88$ cm (Tableau 06) ce résultat est supérieur à 171,9 cm rapporté par (Boujnane et *al.*, 2008) et aussi supérieur $170 \pm 1,85$ rapporté par (Guedaoura et *al.*, 2011).

Il est inférieur à $177,8 \pm 1,18$ cm pour les chevaux présumés Arabe-Barbe de l'est Algérien mais il est en accord avec le tour de poitrine des présumés Arabe-Barbe de l'ouest qui est de 175 ± 12 cm d'après (Guedaoura et *al.*, 2011).

A cet effet l'Arabe – Barbe peut être considéré comme un cheval à thorax volumineux (Mariane et *al.*, 2002 in Boujnane, 2008). Caractère souhaitable pour un cheval de selle aux allures rapides (Marcenac et *al.*, 1980 in Boujnane, 2008).

Le tour du canon antérieur est de $19,77 \pm 1,09$ cm (Tableau 06) relative aux résultats rapporté par (Boujnane et *al.*, 2008) mais diffère légèrement des résultats rapportés par (Guedaoura et *al.*, 2011).

Concernant les moyennes des autres mensurations ne représentent pas des différences marquées.

L'indice corporel (PT/HG) de l'Arabe-Barbe est de $1,161 \pm 0,026$ (Tableau 07), cela montre que le cheval Arabe –Barbe représente un bon développement thoracique au regard de sa taille (Mariane et *al.*, 2002 in Boujnane et *al.*, 2008). Cette caractéristique est appréciée chez le cheval de selle aux allures rapides (Marcenac, 1980 in Boujnane et *al.*, 2008).

L'indice de compacité est de $2,87 \pm 0,27$ kg /cm résultat rapportés par (Boujnane et *al.*, 2008) ce qui classe l'Arabe – Barbe parmi les chevaux moyens (Tableau 07) (Khatouf, 2005 ; Mariane et *al.*, 2002 in Boujnane et *al.*, 2008).

La répartition des animaux étudiés pour la couleur de la robe montre la présence de la couleur alezane à 36,84 %, la couleur grise à 26,31 %, la couleur baie à 21,05 % et la couleur rouané à 15,78 % pour un effectif de 19 chevaux (Tableau 10).

Tableau 10 : Résultats de la couleur de la robe des chevaux A-B

Robe	Effectif	Pourcentage
Alezane	7	36,84 %
Baie	4	21,05 %
Rouan	3	15,78 %
Gris	5	26,31 %
Total	19	100 %

La forme du chanfrein des chevaux Arabes-Barbes est rectiligne à 52,63 %, busqué à 15,78 %, camus et légèrement busqué à un pourcentage similaire de 10,52 % sur 19 chevaux Arabe-Barbe (Tableau 11).

Tableau 11 : Résultats du relevé de la forme du chanfrein du cheval A-B

Forme du chanfrein	Effectif	Pourcentage
Camus	2	10,52%
Busqué	3	15,78%
Plat	10	52,63%
Légèrement camus	/	/
Légèrement busqué	2	10,52%
Total	19	100 %

Ces différences marquées qui existent au sein d'une même population qui est l'Arabe –Barbe peuvent être expliqués par ;

- Les exercices physiques effectués par certains sujets que d'autres surtout pour les mâles.
- Le dimorphisme sexuel qui n'est pas clair dans cette étude en raison de l'effectif qui n'est pas tout à fait représentatifs.
- L'environnement et les conditions d'élevages citant ainsi l'alimentation.
- Le facteur le plus important quand peut citer c'est l'effet du degré du sang dont on peut distinguer trois groupes de chevaux Arabe – Barbe en fonction du degré de sang Arabe.
 - Le premier groupe qui s'approcheraient plus des mensurations du Barbe et qui sont estimés qu'ils ont un degré de sang inférieur à 25%.
 - Le deuxième groupe qui présente des critères des deux races parentales on dit qu'ils sont compris entre 25% et 75%.
 - Le troisième groupe qui est supérieur à 75 % ressemble majoritairement au cheval Arabe.

Il est par conséquent difficile dans ces conditions de parler de standard de la race pour cette population de chevaux (Boujnane et *al.*, 2008 ; Guedaoura et *al.*, 2011).

L'Arabe – Barbe exprime toutes ces qualités lorsque le pourcentage de sang arabe ne dépasse pas les 50% (Benabdelmoumene, 2003). A cet effet, il faut établir un programme de sélection dans le sens où les produits représentent un degré de sang compris entre 25 et 75% et aussi pour avoir une population homogène plus performante, et qui représentent des caractéristiques appréciés par leurs propriétaires.

1.3 Morphométrie du Pur-Sang Arabe

Le Pur-sang arabe à un poids moyen compris entre 350 et 400 kg (Gladys, 1974), notre modèle a un poids de $378,57 \pm 16,28$ kg (Tableau 07) considéré comme moyen.

Il toise $147,25 \pm 3,43$ cm au garrot (Tableau 05) et son indice de compacité estimé par le rapport poids /taille au garrot est de $2,57 \pm 0,10$ kg/cm témoigne d'un cheval compact (Tableau 07).

D'après Gladys (1974), nous avons tenté de montrer que le cheval Arabe a très peu changé en quelques milliers d'années, sous la forme d'un animal compact et mesurant de 1m 42 à 1m52 avec quelques variations individuelles en plus ou en moins.

La distance entre les angles internes des yeux de $17,75 \pm 1,55$ (Tableau 05) témoigne d'un cheval aux yeux écartés et a un front large.

Les dimensions de son encolure montrent qu'il dispose une encolure longue et légère en comparaison avec celle du Barbe et de l'Arabe-Barbe. Gladys (1974) affirme que son encolure a une légèreté et une finesse de gorge admirable.

Le tour de sa poitrine est de $166,54 \pm 7,59$ cm, et la distance entre ses membres antérieurs est de $16,62 \pm 0,95$ cm et l'écartement de ses épaules désignant une poitrine ouverte de devant, preuve d'une grande capacité respiratoire.

Le tour du canon antérieur est de $17,95 \pm 1,07$ cm un peu plus fin que celui du barbe (Tableau 06).

L'indice dactylo- thoracique de $0,1060 \pm 0,0048$ (Tableau 07) présente une épaisseur de squelette compatible avec leur poids aux retours aux résultats décrit par Caroll et Huntington (1988) chez les chevaux de selle.

Les couleurs de la robe du cheval Arabe varient presque à l'infini. Il est exact que leurs tons habituels sont le bai, le gris, l'alezan et occasionnellement le noir (Gladays, 1974). Notre modèle présente la dominance de la robe baie à 56% or que l'alezan et le gris arrive en deuxième position avec un pourcentage respectivement de 28% et 16% sur un total de 25 chevaux Arabes (Tableau 12).

Tableau 12 : Résultats de la couleur de la robe des chevaux PSA

Robe	effectif	Pourcentage
Alezane	7	28 %
Baie	14	56 %
Rouan	/	/

Gris	4	16 %
Total	25	

Suivant le tableau 13, la forme de son chanfrein est majoritairement camus à 72 % sur 25 chevaux Arabe, rectiligne à 12% et légèrement concave à 16% lui donnent une tête courte et carrée au profil concave (= tête camuse) très belle, profil noble.

La tête du pur-sang arabe est sèche : l'ossature est nettement marquée, les veines se devinent sous la peau. Le front large est surmonté de deux oreilles bien écartées et joliment dessinées. Son chanfrein court, souvent concave, s'achève par un nez fin aux naseaux très ouverts. Les yeux sont grands et écartés, très expressifs. Le front large et plat (Gladays, 1974).

Tableau 13 : Résultats de la forme du chanfrein des chevaux PSA

Forme du chanfrein	Effectif	Pourcentage
Camus	18	72 %
Busqué	/	/
Rectiligne	3	12 %
Légèrement camus	4	16 %
Légèrement busqué	/	/
Total	25	100 %

1.4 Comparaison entre les trois races étudiées

1.4.1 Paramètre relatif à la taille

La taille au garrot est le paramètre le plus fréquemment cité pour rendre compte du format des animaux (Nicks et *al.*, 2006). Dans notre étude le Barbe et l'Arabe-Barbe représentent une taille au garrot respective de $150,5 \pm 3,27$ et de $150,39 \pm 3,27$ (Tableau 05) ; or que celle du pur-sang arabe est de $147,25 \pm 3,43$, ce qui indique une différence significative ($p < 0,05$) de la taille au garrot entre les Barbes et les Arabes- Barbes qui sont plus hauts que les Purs- Sang Arabes.

1.4.2 Paramètres relatifs aux mesures des longueurs

Des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) sont observées entre les trois populations des chevaux étudiés à partir des longueurs mesurés (longueur de l'épaule, longueur du bras, longueur du canon antérieur, longueur de la jambe, longueur du canon postérieur et la distance entre la pointe des fesses et rotule) (Tableau 05).

En effet, le Barbe et l'Arabe-Barbe présentent une longueur du bras et une distance entre la pointe des fesses et rotule plus élevée que chez le Pur-sang arabe. L'Arabe-Barbe possède des canons et des jambes plus allongés par rapport à celle mesurées chez les chevaux des deux autres races or que la longueur de l'épaule varie entre les trois populations.

La longueur inférieure de l'encolure du Barbe est plus longue que celle de l'Arabe-Barbe et du Pur-Sang Arabe vu qu'elle est bien distinct des épaules malgré sa musculature.

Le Pur-Sang Arabe présente une longueur supérieure d'encolure et une distance entre les pointes des hanches plus courte que celle de l'Arabe-Barbe et le Barbe ($p < 0,01$) exprimé par la finesse de l'Arabe.

Des différences significatives ($p < 0,05$) sont enregistrées pour l'espace inférieur entre les oreilles qui apparaît plus large chez l'Arabe-Barbe probablement dû à la forme de son chanfrein.

La longueur du dos du Pur- Sang Arabe de $50 \pm 6,90$ cm est significativement inférieure à la longueur du Barbe qui est de $52,8 \pm 1,87$ cm et de l'Arabe-Barbe qui est de $52,66 \pm 6,08$ à $p < 0,05$ (Tableau 05). Cette différence peut être exprimée par la particularité du Pur-Sang Arabe qui représente 17 côtes au lieu de 18, 5 vertèbres lombaires au lieu de 6 et 16 vertèbres coccygiennes au lieu de 18 chez les autres chevaux (Gladys, 1974).

La longueur des oreilles, la distance entre les angles internes des yeux et la distance entre les membres antérieurs ne représentent aucune différence significative des trois races étudiées.

1.4.3 Paramètres relatifs aux circonférences

Des différences très hautement significatives à ($p < 0,001$) peuvent être marquées concernant les circonférences mesurées (Tableau 06), ce qui est remarquable que l'Arabe-Barbe est plus épais au niveau du canon antérieur, au niveau du paturon antérieur et postérieur et aussi au niveau du sabot postérieur. Ces résultats sont différents des résultats rapportés par Guedaoura et *al.*,(2011), qui affirment que les Arabe-Barbe ne diffèrent significativement du Barbe que par les longueurs des rayons osseux supérieur (l'encolure, l'épaule et le bras) qui s'avèrent plus étendus pour le Barbe.

Ces différences peuvent être expliqués par :

- Les fluctuations des mesures
- Types d'animaux échantillonnés (utilisé dans l'équitation, le travail...)

- La représentativité de l'échantillon
- L'effet du sexe (regroupement des mâles et des femelles)

Nous avons constaté ainsi que l'Arabe est moins serré à la partie inférieure de sa jambe ($p < 0,001$) par rapport aux chevaux Arabe-Barbe et Barbe or que ce dernier représente un périmètre important de la partie supérieur de sa jambe contrairement aux deux autres races. Ce résultat conforme au standard du cheval Barbe qui a le membre large et les articulations épaisses donc un pied sûr, de ce fait il pourrait être considéré comme un excellent cheval d'initiation à l'équitation et pourrait aussi être utilisé dans des randonnées dans des régions montagneuses difficiles d'accès (Chabchoub, 1998).

Cette étude montre une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les trois races étudiées concernant le périmètre thoracique et le tour supérieur de l'encolure qui sont moins large chez le Pur-Sang Arabe en comparaison avec le Barbe et l'Arabe-Barbe. On remarque aussi une différence marqué du tour inférieur de l'encolure de l'Arabe qui est moins épais que celui du Barbe et de l'Arabe-Barbe. Cela peut être exprimé par le fait que le cheval Arabe est plus fin et plus élégant que les deux autres chevaux.

1.4.4 Indices

L'indice de compacité du Pur-Sang Arabe est significativement inférieur avec une valeur de ($p < 0,05$) par rapport à celui du Barbe et de l'Arabe-Barbe donc on peut dire que le cheval Arabe est plus léger (Tableau 07).

L'Arabe-Barbe représente des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) de l'indice dactylo- thoracique par rapport aux Barbe et Pur-Sang Arabe peut être exprimé par son thorax volumineux (Tableau 07).

1.4.5 Poids vif

Les poids vifs qui ont été calculés à partir du périmètre thoracique et de la hauteur au garrot sont très significativement plus lourds ($p < 0,001$) chez le Pur-Sang Arabe qui est moins lourds par rapport aux chevaux Barbe et Arabe-Barbe (Tableau 07). L'Arabe se différencie du Barbe en étant plus léger, présentant plus de sécheresse et de finesse, une encolure peu épaisse, un profil de la tête rectiligne ou concave, une queue courte et attachée haut et une croupe plus horizontale (Gaudois, 1989 ; Haras Nationaux Français, 2009a).

2. Etude génétique

2.1 Constitution d'une biothèque d'ADN équin

2.1.1 Extraction d'ADN

Les résultats des extractions sont regroupés dans le tableau 14 signalons que nous avons réussi à extraire que 19 ADN en raison de la mauvaise conservation des autres échantillons.

Selon le tableau 14, nous remarquons que la plus part des échantillons 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 09, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 et 19, après lyse des globules rouges, présente un culot de leucocytes rosâtre, alors que Les échantillons 08 et 12 représentent un culot leucocytaire ± rosâtre et blanchâtre successivement.

La couleur des culots nous permet d'estimer la qualité de la méduse qu'on peut obtenir

- S'il s'agit d'un culot blanchâtre on peut avoir une méduse blanche
- S'il s'agit d'un culot rosâtre ou plus au moins rosâtre on aura une méduse un peu noirâtre (malpropre).

La précipitation à l'éthanol nous a permis de récupérer l'ADN et d'obtenir des méduses de tailles différentes variant selon l'importance de celle-ci de (+) à (+++). Suivant ce critère, les volumes des dissolutions dans le tampon TE 10/1 vont varier de 200 à 400 µl.

Tableau 14 : Résultats de l'extraction des ADN équins à partir du sang total par la technique NaCl

N° d'échantillon	Volume initiale du sang (ml)	La couleur du culot des globules blancs	Importance de la méduse	Volume final dans le tampon(TE 10/1) en µl
B 01	10	Rosâtre	+++	400
B 02	10	Rosâtre	+++	400
B 03	10	Rosâtre	+++	400
PSA04	10	Rosâtre	++	300
PSA05	10	Rosâtre	+++	400
PSA06	10	Rosâtre	+++	400
PSA07	10	Rosâtre	+++	400
PSA08	05	± Rosâtre	++	300
PSA09	10	Rosâtre	+++	400
PSA10	08	Rosâtre	+++	400
PSA11	10	Rosâtre	+++	400
PSA12	10	Blanchâtre	+	200
PSA13	10	Rosâtre	+++	400
B 14	08	Rosâtre	++	300
B 15	10	Rosâtre	+++	400
PSA16	10	Rosâtre	+++	400
B 17	10	Rosâtre	+++	400
B 18	10	Rosâtre	++	300
SO19	10	Rosâtre	+++	400

+ : Importance de la méduse

B : Barbe ; **PSA** : Pur-Sang Arabe ; **SO** : sans origine

2.1.2 Dosage de l'ADN

Les résultats du dosage des ADN extraits sont représentés dans le tableau 15.

L'estimation de la concentration de l'ADN dans les solutions tampon est obtenue par la formule suivante :

$$[\text{ADN}] \text{ ng}/\mu\text{l} = \frac{\text{DO } 260 \text{ nm} \times 50^* \times \text{facteur de dilution}}{1000}$$

[ADN]: Concentration d'ADN en ng / μl

*1UDO = 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ d'ADN

Facteur de dilution = V_f / V_i

$V_f = 495 \mu\text{l H}_2\text{O} + 5 \mu\text{l d'ADN} = 500 \mu\text{l}$

$V_i = 5 \mu\text{l d'ADN}$

Les résultats obtenus après le dosage des 19 ADN extraits, montrent que le rapport DO260/DO280 varie de 0,57 à 1,13, cet intervalle est :

< 2 donc on en conclue que nos ADN ne sont pas contaminés par les sels.

< 1,8 ce qui traduit une contamination par les protéines ou d'autres impuretés cellulaires.

Parmi ces échantillons nous avons remarqué que les ADN 05, 14, 15, 16, 17 sont fortement contaminés par les protéines indiquant une mauvaise déprotéinisation due à une digestion incomplète des protéines par la protéinase K. Pour éliminer ces protéines on procède de faire deux extractions au phénol suivie d'une précipitation à l'éthanol, ou une digestion enzymatique par la protéinase K.

Nous avons remarqué ainsi que pour les échantillons ayant le même volume de sang ont des concentrations d'ADN différentes. Ainsi pour les échantillons 08 et 10 ayant respectivement un volume de 5 et 8 ml représentant une concentration d'ADN supérieur aux concentrations des échantillons 01, 03, 09, 12, 16, 17, 18 et 19 dont le volume prélevé est de 10 ml.

Tableau 15 : Résultat du dosage par spectrophotométrie des ADN extraits des chevaux Barbe et Pur-Sang Arabe

Numéro d'échantillon	DO 260 nm	DO 280 nm	DO260/DO280	Concentration d'ADN ($\mu\text{g}/\mu\text{l}$)	Volume final d'ADN mère en μl ($V_f = V_i - 5\mu\text{l}$)	Concentration d'ADN mère en ($\text{ng}/\mu\text{l}$)
B 01	0,225	0,205	1,09	1,125	395	1125
B 02	0,414	0,400	1,03	2,07	395	2070
B 03	0,180	0,170	1,05	0,9	395	900
PSA04	0,558	0,549	1,01	2,79	295	2790
PSA05	0,342	0,349	0,97	1,71	395	1710
PSA06	0,342	0,333	1,02	1,71	395	1710
PSA07	0,556	0,550	1,01	2,78	395	2780
PSA08	0,426	0,415	1,02	2,13	295	2130
PSA09	0,261	0,261	1	1,03	395	1030
PSA10	0,297	0,296	1,13	1,48	395	1480
PSA11	0,378	0,377	1	1,89	395	1890
PSA12	0,471	0,429	1,09	2,35	195	2350
PSA13	0,465	0,439	1,05	2,32	395	2320
B 14	0,217	0,380	0,57	1,08	295	1080
B 15	0,337	0,407	0,82	1,68	395	1680
PSA16	0,309	0,322	0,95	1,54	395	1540
B 17	0,296	0,314	0,94	1,48	395	1480
B 18	0,376	0,372	1,01	1,88	295	1880
SO19	0,188	0,189	0,99	0,94	395	940

DO : Densité optique

Nous avons constaté qu'il n'existe pas de corrélation entre la quantité de l'ADN extraite et le volume initial du sang prélevé.

Ce résultat peut être expliqué par :

- La proportion des leucocytes contenus dans le sang puisque ceux-ci représente la source majeure du matériel génétique.

- Une lyse incomplète des globules blanc au cours des manipulations ce qui engendre des pertes importantes de l'ADN à cause des opérations de lavage répétées.

2.1.3 Test de qualité des ADN (Sizing)

La migration d'un aliquote de 5 µl des ADN à 100 Volts pendant 1h sur un gel d'agarose à 0,8% est représenté par les figures 08 et 09.

Les résultats d'électrophorèse montrent que les ADN extraits présentent le même profil électrophorétique, une bande compacte de forte intensité (figures 08 et 09).

Nous avons déduit donc que les ADN extraits et purifiés sont de bonne qualité et de haut poids moléculaire, et qui n'ont pas été dégradés lors de l'extraction (absence de smear).

2.2 Polymorphisme du microsatellite ASB02

Le polymorphisme des ADN pour le microsatellite ASB02, a été réalisé par PCR-électrophorèse sur gel d'agarose.

En effet, il a fallu tester l'amplification de ce microsatellite sur quelques ADN appartenant à chacune des deux races équines étudiés en modifiant les conditions d'amplification, en particulier, la durée et la température d'hybridation des amorces (différentes températures ont été testées : 53, 60°C).

Les produits des amplifications analysés par électrophorèse sur gel d'agarose à 2% (fig 12) ont montré la présence d'une bande intense située entre 100 et 200 pb par rapport au marqueur de taille 100 pb pour les animaux B2, PSA4, PSA12, PSA13 qui sont probablement de génotype homozygote car il est possible que des animaux hétérozygotes ne présentent qu'une seule bande à cause de la faible résolution de l'agarose.

Et la présence de deux bandes distinctes pour l'échantillon B3 qui est de génotype hétérozygote.

L'échantillon B1 n'été pas révélé cela peut être due à l'absence de son amplification,

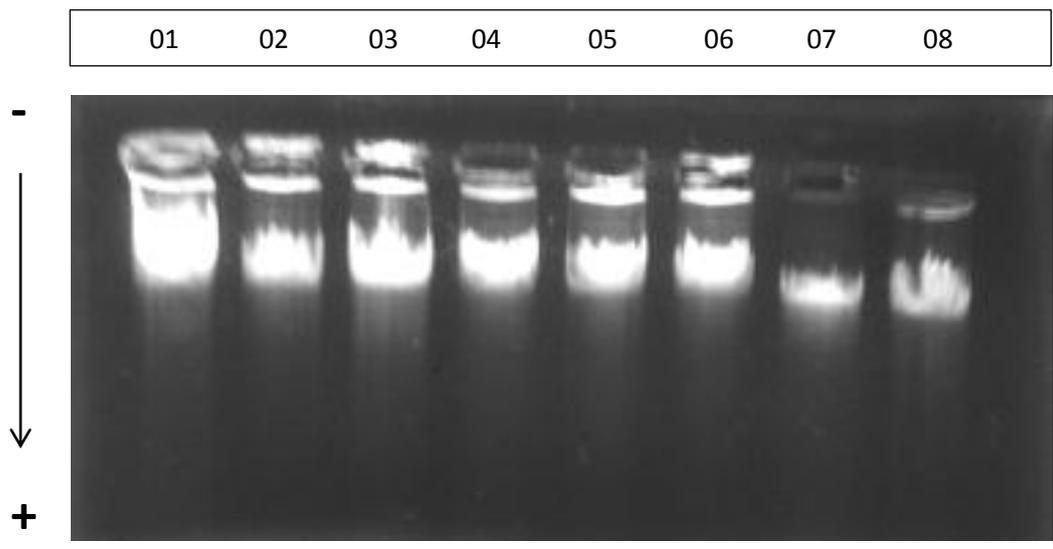


Figure 08 : Test de Sizing des 08 ADN extraits de la race Barbe et Pur-Sang Arabe
Après une migration à 100 Volts pendant 1heure

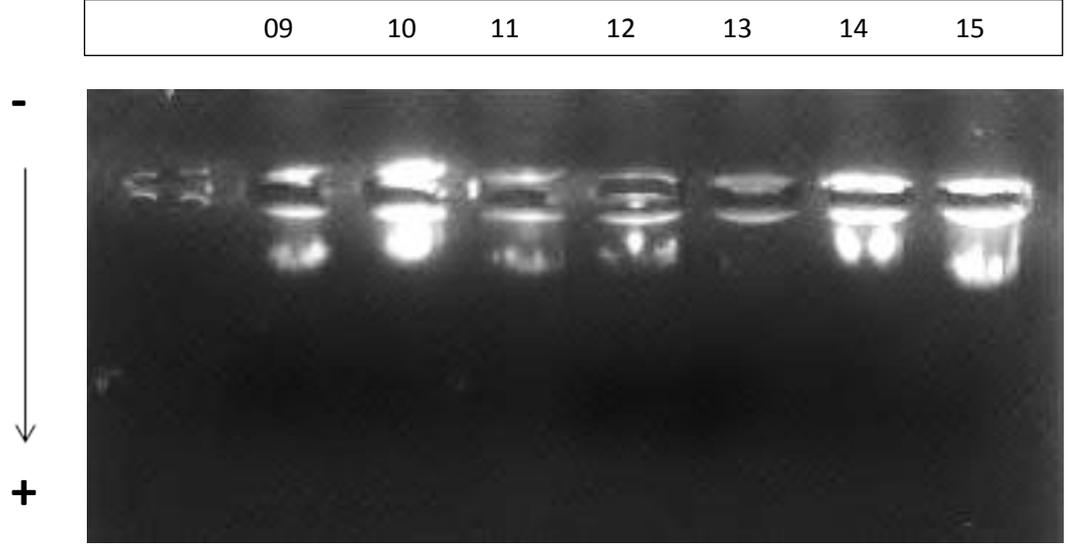


Figure 09 : Test de Sizing du restes des ADN extraits de la race Barbe et Pur-Sang Arabe après une migration à 100 Volts pendant 1heure

Il apparaît ainsi que pour la race Pur-Sang Arabe l'ADN amplifié PSA13 présente une bande qui se situe au-dessous des autres bandes ce qui nous indique que ce microsatellite représente différentes formes alléliques malgré le nombre réduit des ADN analysés. Cela peut être prouvé par les études menées par les chercheurs qui s'intéressent à l'étude de la caractérisation génétique des races équines par l'utilisation des microsatellites.

Georgescul et *al.*,(1994) ont étudiés la diversité génétiques du cheval Arabe par l'amplification de 17 marqueurs microsatellite : AHT4, AHT5, ASB02, HMS2, HMS3, HMS6, HMS7, HTG4, HTG6, HTG7, HTG10, VHL20, ASB23, ASB17, LEX3, HMS1 et CA425. Ces derniers ont été choisis en se basant sur leur polymorphisme détecté dans d'autres races équines, les génotypes ont été obtenus avec un séquenceur automatique. Les résultats obtenus ont indiqué la présence d'une grande variabilité génétique dans la population étudié ce qui a mené les chercheurs à choisir ces marqueurs dans les études de paternité, de filiation et de conservation des races.

Solanki (2004) rapporte que ce microsatellite 5 allèles et sa taille varie de 192 – 208 pb. Luis et *al.*, (2002) ont démontré la présence de 11, 5 et 9 allèles pour le microsatellite ASB02 chez les chevaux Lusitano, Sorraia and Garrano respectivement dont la taille moyenne de l'allèle moyen est de 244 pb.

Tosaki et *al.*, (2003) ont observé 7, 9, 7, 6,1, 6 , 4 et 10 allèles pour les population : Hokkaido, Kiso, Misaki, Noma, Tokara, Taishu and Yonagani du Japan .

Dimososki (2003) rapporte que ce microsatellite est localisé dans le chromosome numéro 15 du cheval avec une taille qui varie de 237-268 pb.

Jakabova et *al.*,(2002) ont testés six microsatellites équin localisé chacun sur un chromosome particuliers par la technique PCR- séquençage automatique pour une famille de chevaux Thoroughbred constitué de 352 animaux en Slovaki. Ils ont démontré que ces six marqueurs :

ASB02, HMS3, HMS6, HMS7, HTG4, VHL20 suffisent seuls pour réaliser un test de paternité à cause de leur haut niveau de polymorphisme et ils sont très utiles pour les études de caractérisation des races.

Cette même étude a été refaite par Sung-Young Lee et Gil-jae Cho (2006) chez la même famille de chevaux mais dans la Korai, par l'utilisation de 14 microsatellites équins -AHT4, AHT5, ASB2, ASB17, ASB23, CA425, HMS1, HMS3, HMS6, HMS7, HTG4, HTG10,

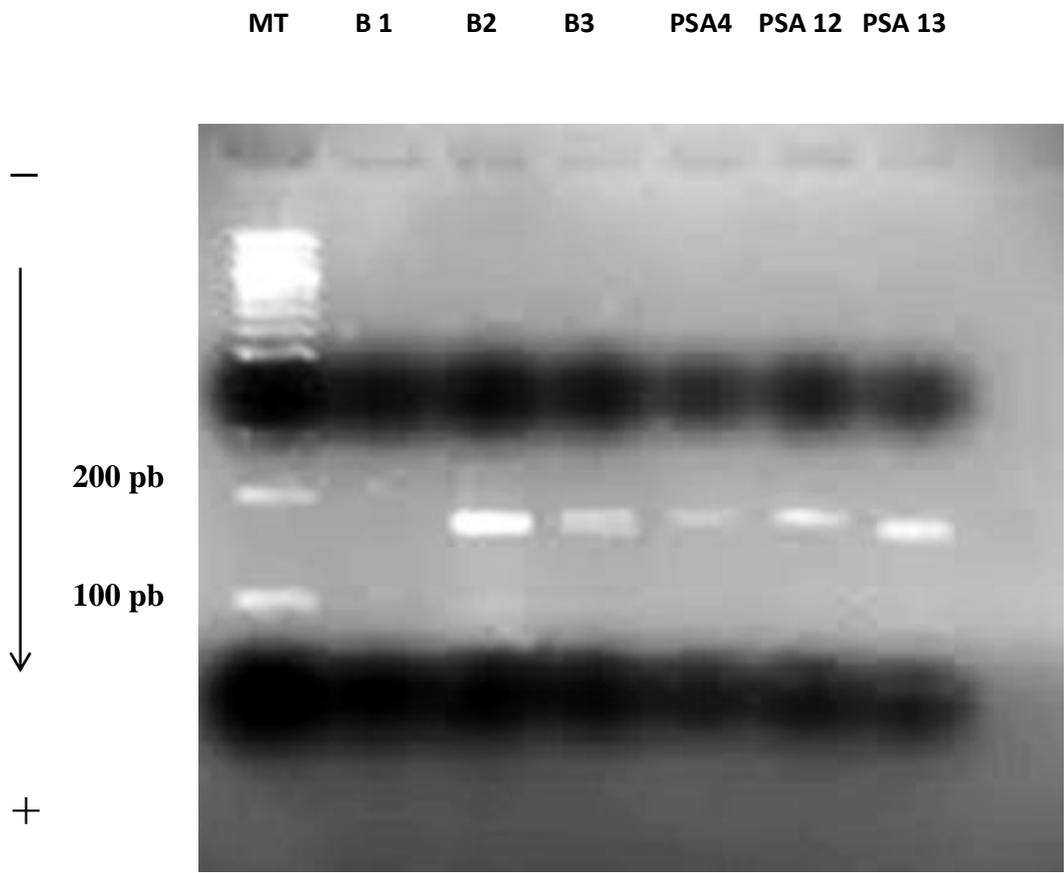


Figure 10 : Résultat d'électrophorèse sur gel d'agarose de 3 ADN de race Barbe et 3ADN de race Pur-Sang Arabe amplifiés avec le microsatellite ASB02

LEX3 et VHL20- les génotypes ont été déterminés par séquenceur automatique. Ces études ont montrés le potentiel élevé des microsatellites dans l'identification individuel du cheval Thoroughbred.

N'ayant effectués les génotypes à cause de la faible résolution du gel d'agarose. A cet effet nos résultats ne sont pas comparables avec les autres travaux de recherches.

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.

.

CONCLUSION

Conclusion

Les chevaux Barbes et Pur-Sang Arabes étudiés correspondent à leurs standards internationaux. Le Barbe présente une taille moyenne au garrot de $150,5 \pm 3,27$ cm, un poids vif de $451,36 \pm 24,47$ kg, un périmètre thoracique de $176,85 \pm 4,38$ cm, un indice de compacité de $3,00 \pm 0,199$ kg/cm et un indice dactylo thoracique de $0,106 \pm 0,006$.

La taille au garrot de l'Arabe est de $147,25 \pm 3,43$ cm, son poids vif est de $378,57 \pm 16,22$ kg, son périmètre thoracique est de $166,54 \pm 7,59$ cm. Il présente un indice de compacité de $2,6 \pm 0,00$ et un indice dactylo-thoracique de $0,106 \pm 0,005$ kg/cm.

La population Arabe-Barbe issue de leur croisement est très hétérogène vu qu'elle est constituée de chevaux ayant des degrés variables de sang Arabe.

En effet, l'Arabe-Barbe présente une morphologie très proche de celle du Barbe s'il a un degré de sang inférieur à 25 %, une morphologie identique à celle du cheval Arabe si le degré de sang est supérieur à 75 %. Or qu'il présente des critères des deux races parentales s'il est compris entre 25 et 75% constituant ainsi une population relativement homogène.

Boujnane (2008), affirme qu'il serait utile dans le futur d'orienter les accouplements de façon à préserver cette proportion de sang arabe dans la population Arabe-Barbe.

La comparaison entre les races de l'étude a montré que le croisement Arabe \times Barbe donne d'excellents résultats puisque l'Arabe -Barbe présente la majorité des caractères appréciés des deux ascendants à savoir la finesse et l'élégance de l'Arabe, la rusticité et la sobriété du Barbe.

A partir de l'extraction des ADN, on peut dire que la technique d'extraction NaCl est caractérisée par sa facilité d'emploi, en plus elle ne représente aucun risque d'intoxication par des produits dangereux tel que le phénol (neurotoxique).

En effet, cette technique nous a permis de construire la 1^{ère} bibliothèque d'ADN équin au sein du Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée de l'Université de Mostaganem à partir de l'extraction et la purification des ADN de 19 prélèvements de sang des chevaux de race Barbe et Pur-Sang Arabe.

Le test de qualité – Sizing- nous a permis de montrer que la majorité des ADN extraits sont de bonne qualité et de haut poids moléculaire (absence de smear).

D'après ces résultats, on peut dire que les ADN extraits constituent un bon outil de travail pour des études de génétique : étude de polymorphisme de marqueurs génétiques par la technique PCR (Polymerase Chain Reaction), étude de cartographie génétique...

Les résultats que nous avons obtenus lors de la détection du polymorphisme du microsatellite ASB02 montre que 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 attendu entre les fragments de loci amplifiés chez les différents individus sont en effet minimales de l'ordre de 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.

CONCLUSION GENERALE,
RECOMMANDATIONS ET
PERSPECTIVES

Conclusion générale, recommandations et perspectives

La génétique équine reste problématique et peu exploitée dans les élevages et parmi les contraintes majeures du secteur. Chez les éleveurs, la génétique des chevaux se base sur des critères phénotypiques et sociogéographiques. A la base de ces considérations les chevaux présentent une variabilité au niveau de certains traits phénotypiques et morphologiques comme le profil céphalique, la forme du chanfrein, la hauteur au garrot...

Une vision claire d'amélioration génétique, dans le cadre de la conservation des ressources génétiques, doit se dessiner et avoir lieu.

D'un premier pas, nous avons contribué par le présent travail à la caractérisation morphologique du Barbe, de Pur-Sang Arabe et de l'Arabe-Barbe.

Deuxièmement, nous avons constitué une banque d'ADN ainsi que l'étude du polymorphisme de microsatellite ASB02 mais tous ces résultats restent préliminaires.

L'analyse d'un plus grand nombre de loci sera nécessaire pour constituer une base de données.

Cette étude peut servir aussi comme base pour d'autres études plus précises de caractérisation génétique dans l'espèce équine. Des outils modernes et précis de génétique moléculaire (marqueurs moléculaires liés à des caractères désirables ; QTL) de caractères d'adaptation et de production méritent d'être entrepris 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 chevaux dans leur milieu d'élevage permettrait de mieux valoriser leurs caractères d'adaptation en améliorant ses performances de production pour une filière de qualité.

Les perspectives de ce travail seraient tout d'abord, d'augmenter le nombre de marqueurs pour l'ensemble des races équines Algérienne, afin de réaliser une caractérisation complète par l'exploration d'une vingtaine de locus, répartis sur tout le génome et faisant partie de la liste FAO. Par ailleurs, l'étude des relations génétiques entre les races de différentes origines géographiques, peut générer des informations intéressantes sur leur histoire évolutive et mettre en évidence la structuration actuelle de leur diversité génétique.

D'autres stratégies peuvent être envisagées, par la suite, afin de prévenir l'extinction de certaines races et donc de conserver l'ensemble de nos ressources génétiques équines.

La poursuite de notre travail favorisera l'introduction de l'analyse génétique au niveau moléculaire dans la description des populations. Ce qui permettra en conséquence de fournir une meilleure analyse de la diversité génétique en vue de sa gestion et de son exploitation.

Il sera ainsi envisageable de développer des investigations dans un nombre plus de races afin de préciser le réel degré d'originalité de certaines d'entre elles sur lesquelles pourraient se concentrer les efforts de conservation.

Sur un autre aspect, ce travail constitue une amorce de ce que seront les priorités du LPAA, à savoir une meilleure connaissance du génome des autres espèces domestiques de la plaine des ovins et des gallinacées. En effet, de très importante espèce a fait l'objet de plusieurs années d'études au niveau du LPAA. Il sera très utile de connaître la variabilité génétique de l'ensemble des espèces avicoles et cunicoles locales en vue de leur préservation même également de leur utilisation en élevage.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

- **ABDELGUERFI A. (2003)** Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour l'agriculture. FEM/PNUD Projet ALG/97/G31 Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité. Recueil des communications (atelier n°3, alger, 22-23/01/2003).
- **ANCELLE T. (1998)** Historique des épidémies de trichinellose liées à la consommation de viande chevaline. 1975- 1998. Euro surveill . [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.eurosurveillance.org/em/v03n08/0308-223.asp>>.
- **ASSOCIATION BELGE DU CHEVAL BARBE. (2003)** Règlement technique et d'ordre intérieur du stud-book belge du cheval barbe et arabe-barbe. [En ligne] adresse URL : http://www.abcb.be/html/inscription_de_chevaux_dans_le.htm,

B

- **BENABDELMOUMENE M.S. (2003)** Races équinnes (chevaux, mulets, ânes).In : Recueil des Communications «Biodiversité Importante pour l'Agriculture», Tome X, Atelier 3. MATE-GEF/PNUD Projet ALG/97/g31, 2003. 62-67.
- **BOUJENANE I., TOUATI I., MACHMOUM M. (2008)** Mensurations corporelles des chevaux arabe-barbes au Maroc. Rev. Méd. Vét., 159, 144-149.
- **BOURDAIS L. (2011)** Le poulinage. Horizon Barbe ; le revue trimestrielle du cheval barbe.

C

- **CABRAL G.C., ALMEIDA F.Q., QUIRINO C.R. (2004)** Morphometric evaluation of Mangalarga Marchador horse: conformation index and body proportions. Rev. Bras. Zootec., 33, 989-1000.

- **CARROLL C.L ET HUNTINGTON P.J. (1988)** Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine Vet. J.*, 20, 41-45.
- **CHABCHOUB A. (1998)** Le standard du cheval Barbe tel qu'il est défini par l'OMCB. *Al Baytari*, 24, 6-7.
- **CHABCHOUB A., LANDOLSI F., JARY Y. (2004)** Etude des paramètres morphologiques de chevaux Barbes de Tunisie. *Rev. Méd. Vét.*, 155, 31-37.
- **CIV. (2007)** LA VIANDE CHEVALINE UNE HISTOIRE DE FAMILLE. Conférence/table-ronde. France.

D

- **DAVID J.C. (1997)** *Eléments de sécurité en biologie moléculaire*. Paris, Médecine-sciences, Flammarion.
- **DIMSOSKI, P. (2003)**. Development of a 17-plex microsatellite polymerase chain reaction kit for genotyping horses. *Croatian Medical Journal* 44 (3) : 332-335.

E

- **EDWARDS G. B. (1974)** FAITES CONNAISSANCE AVEC LE CHEVAL ARABE. (T. f. d'Authéville, Trad.) Canada: Edisem Inc.
- **EL-KOHEN M. (2006)** Le cheval Barbe : présentation. *Rev. Organ. Mond. Cheval Barbe*, 7-8.

F

- **FAO. (2004)** Measurement of Domestic Animal Diversity (MoDAD): Recommended Microsatellite Markers, 58p.

G

- **GENDRY J. (1973)** LE CHEVAL (éd. 2ème édition). France: Presse Universitaire De France 108,Boulevard Saint-Germain, Paris.
- **GEORGESCU S. E., CONDAC E., REBEDEA M., DUMITRU C., TESIO, DINISCHIOTU A., COSTACHE M. (1994)** Arabian horses genotyping using seventeen microsatellites.
- **GORNY P. (1991)** L'aventure de la médecine. Paris, J.C. Lattes, 1991.
- **GUEDAOURA S., CABARAUX J.F., MOUMENE A., TAHRAOUI A., NICKS B. (2011)** Evaluation morphométriques de chevaux de race Barbe et dérivés en Algérie Ann. Méd. Vét., 2011, 155, 14-22
- **GUEDAOURA S., MEKROUD A., TAHRAOUI A., TAHAR A. (2008)** Etude des paramètres morphologiques de la population équine autochtone de l'est algérien. In : XXVe Congrès maghrébin vétérinaire, Alger, mai 2008, 45-46.

H

- **HARAS NATIONAUX FRANÇAIS. (2006)** Les bases de la reproduction , librairie des Haras nationaux, les écuries de bois 61310 LE PIN AU HARAS.Fiche technique.
- **HARAS NATIONAUX FRANÇAIS** Chevaux de sang : Arabe. **(2009a)**. [en ligne] Adresse URL : [http:// www.haras-nationaux.fr/uploads/ tx_dlcubehshop/sang_arabe_04.Pdf](http://www.haras-nationaux.fr/uploads/tx_dlcubehshop/sang_arabe_04.Pdf).
- **HARAS NATIONAUX FRANÇAIS** Chevaux de sang : Le Barbe **(2009b)**. [en ligne] Adresse URL : http://www.haras-nationaux.fr/uploads/tx_dlcubehshop/sang_barbe_04.Pdf .
- **HARAS NATIONAL SUISSE. (2007)** Impact économique, social et environnemental

du cheval en Suisse, Rapport du groupe de travail Filière cheval.

- **HAUSERMANN E. (2006)** Le cheval, instrument moderne et écologique pour le travail sylvicole, Le genevois, No 5, 17 mars 2006.
- **HELLOWTEJIOZEM G. C. (2007)** Utilisation des produits biologiques d'origine équine en thérapeutique humaine. Université Cheikh Anta Diop de Dakar - Doctorat d'état en médecine vétérinaire, Sénégal.

I

- **INSERM. (1999)** Prévention des risques professionnels spécifiques. Expérimentation en biologie. Tome 1 : Notions générales de prévention. Cahiers de l'INSERM et du CNED. Paris, Ed.

J

- **JAKABOVA D., TRANDZIK J., CHRASTINA J., HUDECOVA L., ZETOCHOVA E., BULLA J., BUGARSKY A., JAKAB F., et KOZLIK P. (2000)** Effectiveness of six highly polymorphic microsatellite markers in resolving paternity cases in Thoroughbred horses in Slovakia. Czech J. Anim. Sci., 47: 497-501.

K

- **KADRI A. (2006)** Le cheval Barbe, cheval du Nord de l'Afrique, son rôle en Algérie. Rev. Organism. Mond. Cheval Barbe, 9-45.
- **KAPLAN J.C. ET DEPECH M. (1995)** Biologie moléculaire et médecine. Paris, Médecine sciences, Flammarion, 2^{me} Éd
- **KRUH J. (1994)** La biologie moléculaire. Que sais-je ? Paris, Presses universitaires de France.

L

- **LEE M. A., KEANE O. M., GLASS B. C., MANLEY T. R., CULLEN N. G., DODDS K. G., MCCULLOCH A. F., MORRIS C. A., SCHREIBER M., WARREN J., ZADISSA A., WILSON T. ET MCEWAN J.C. (2006)** Establishment of a pipeline to analyse non-synonymous SNPs in Bos Taurus. BMC. Genomics 7, 298.
- **LUIS, C.; GUS COTHRAN, E. AND OOM, M.M. (2002).** Microsatellite in Portuguese autichthonous horse breeds ; usefulness for parentage testing. Genetics and Molecular Biology 25 (2) : 131-134.

M

- **MARCQ J., LAHAYE J., CORDIEZ E. (1951)** Extérieur du cheval. Troisième édition. Duculot : Gembloux, 1951, 304 p.
- **MARIE L . J. (2001)** Tiré à part de Documents pour le Médecin du Travail. 1 er trimestre, n° 85 - TC 81 - 300 ex. - N CPPAP 2094 AD/PC/DC du 16/04/87. Directeur de la publication : J.L. Marié - ISSN 0339-6517 - ISBN 2-7389-0980 - 9. INRS, Institut national de recherche et de sécurité, 30 rue Olivier-Noyer 75 680 Paris cedex 14.
- **MARTIN-ROSSET W.(1990)** L'alimentation des chevaux., techniques et pratiques. Institut national de la Recherche agronomique (INRA) : Paris, 232 p.
- **MILLER S.A., DYKED D.D., POLESKI H.F. (1989)** A simple salting out procedure for extraction of DNA from human nucleate cells nucleic acid ; 16, 1215.
- **MORANGE M.(1994)** Histoire de la biologie moléculaire. Paris, La découverte, Histoire des sciences.

N

- **NICKS B., DELFONTAINE B., CANART B., VANDERBRUGGEN J., VANDENHEEDE M.(2006)** Caractéristiques morphologiques des juments de Trait belge. Ann. Méd. Vét., 150, 247-251.

O

- **ORGANISATION MONDIALE DU CHEVAL BARBE. (1989)** L'Organisation mondiale du cheval barbe. In : Recueil de tous les textes officiels sur le cheval barbe, Organisation mondiale du Cheval Barbe. Caracole : Lausanne, 1989, 165-189.
- **OULD AHMED M. (2009)** Caractérisation de la population des Dromadaires (*Camelus dromadarius*) en Tunisie. Thèse de Doctorat, Institut national Agronomique de Tunisie.

R

- **RAHAL K. (2008)** Situation du cheval en Algérie. In *Maghreb Vét.* 57, 5-12.
- **RAHAL K., GUEDIOURA A., OUMOUNA M. (2009)** Paramètres morphométriques du cheval Barbe de Chaouchaoua. *Rev. Méd. Vét.*, 2009, 160, 586-589.
- **RIQUET J. ET PITEL F. (2000)** Les techniques de base de la génétique moléculaire. *INRA Prod. Anim.*, 2000, numéro hors-série « Génétique moléculaire : principes et application aux populations animales », 29-35.
- **ROGNON X. ET VERRIER E. (2007)** Caractérisation et gestion des ressources génétiques. Les outils et méthodes de la génétique pour la caractérisation, le suivi et la gestion de la variabilité génétique des populations animales. UMR INRA/AgroParisTech « Génétique et Diversité Animales », Rabat, 12-15 mars 2007.

S

- **SIMPORE J.K. (2004)** COURS DE GENIE GENITIQUE. UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU, Unité de Formation et de Recherche En Sciences de La Santé U.F.R.-S.D.S.

- **SOLANKI J.V.(2004)** MOLECULAR CHARACTERIZATION OF “KATHIAWARI” BREED OF HORSE USING MICROSATELLITE MARKERS. Master Of Veterinary Science In Animal Genetics And Breeding. College of Veterinary Science and Animal Husbandry , Agricultural University Anand – 388 001
- **STUD-BOOK ALGÉRIEN DU CHEVAL BARBE. I.** 158 p
- **SUN-YOUNG L., GIL-JAE C. (2006):** Parentage testing of thoroughbred horse in Korea using microsatellite DNA typing. *J. Vet. Sci.* 7(1), 63-67.
- **SY, I. (2004)** Contribution à l'étude des lésions gastro-intestinales d'origine parasitaire chez les chevaux abattus aux abattoirs de Dakar. Dakar, Sénégal.

T

- **TAMZALI Y. (1989)** La situation du cheval barbe en Algérie. In : Recueil de tous les textes officiels sur le cheval barbe, Organisation mondiale du Cheval Barbe. Caracole : Lausanne, 107-115.
- **TOZAKI, T.; TAKEZAKI, N.; HASEGAWA, T.; ISHIDA, N.; KUROSAWA, M.; TOMITA, M.; SAITOU, N. AND MUKOYAMA, H. (2003).** Microsatellite variation in Japanese and Asian horses and their phylogenetic relationship using a European horse outgroup. *Journal of Heridity* 94 (5) : 374-380.

V

- **VIGNAL A., MILAN D., SANCRISTOBAL M. ET EGGEN A. (2002):** A review on SNP and other types of molecular markers and their use in animal genetics. *Genetics Selection Evolution*, 34(3), 275-305.

ANNEXES

Date :

Région :

exploitation :

Fiche d'identification du cheval

Nom :

date de naissance :

Race :

Mère :

Race :

Père :

Race :

Produit issu d'IA

d'une monte naturelle

Sexe

mâle

femelle

hongre

Robe

grise

baie

alezane

autre

1	Taille au garrot (distance sommet du garrot- sol)	
2	Longueur des oreilles	
3	Espace inférieure entre les oreilles	
4	Distance entre les angles internes des yeux	
5	Longueur supérieure de l'encolure	
6	Longueur inférieure de l'encolure	
7	Longueur de l'épaule (sommet- pointe de l'épaule)	
8	Longueur du dos	
9	Longueur du bras	
10	Longueur du canon antérieur	
11	Longueur de la jambe	
12	Longueur du canon postérieur	
13	Distance entre les membres antérieurs (poitrail)	
14	Distance entre les points de hanches	
15	Distance entre la pointe des fesses et rotule	
16	Tour supérieur de l'encolure	
17	Tour inférieur de l'encolure	
18	Périmètre thoracique (tour de poitrine)	
19	Tour du canon antérieur	
20	Tour du boulet antérieur	
21	Tour du paturon antérieur	
22	Tour du sabot antérieur	
23	Tour supérieur de la jambe	
24	Tour inférieur de la jambe	
25	Tour du boulet postérieur	
26	Tour du paturon postérieur	
27	Tour du sabot postérieur	

شهادة النسب أو الوصل
CERTIFICAT D'ORIGINE

00-14-1214-E

الاسم
Nom :

GUELBI

الجنس
Sexe :

Mâle

اللون
Robe :

Bayan

العائلة
Race :

Arabe Berbe

الاب
Père :

MAZHAR

العائلة
Race :

Pia. tang. arabe

الام
Mère :

LOUARDA

العائلة
Race :

Berbe

تاريخ الميلاد
Date de Naissance :

Le 30 Avril 2000

شهادة النسب مصادق عليها في

المالك
propriétaire :

Haras National Chaou-Chaou

Certificat d'origine

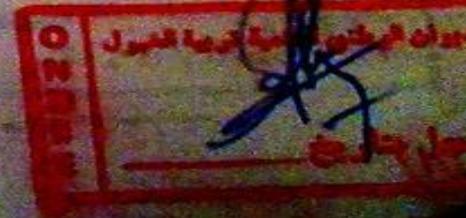
المكان
Lieu :

Quart

Validé le :

02 APR 2001

Algérie



Analyse de la Variance (NACERA)								
Effets significatifs marqués à p < .05000								
Variable	SC Effet	dl Effet	MC Effet	SC Erreur	dl Erreur	MC Erreur	F	p
TG	107,26	2	53,63	348,27	27	12,899	4,1578	0,02665
LO	9,32	2	4,66	53,65	27	1,987	2,3443	0,11513
EIO	19,85	2	9,92	64,85	27	2,402	4,1322	0,02718
DAIY	2,43	2	1,22	27,00	27	1,000	1,2157	0,31221
LSE	325,92	2	162,96	607,35	27	22,494	7,2444	0,00302
LIE	159,53	2	79,77	379,67	27	14,062	5,6726	0,00877
LE	1759,65	2	879,82	1144,73	27	42,397	20,7519	0,00000
LD	162,32	2	81,16	463,70	27	17,174	4,7257	0,01738
LB	254,48	2	127,24	299,98	27	11,110	11,4522	0,00025
LCA	314,45	2	157,23	263,36	27	9,754	16,1193	0,00002
LOJB	895,75	2	447,87	1023,81	27	37,919	11,8114	0,00020
LCP	453,33	2	226,67	572,99	27	21,222	10,6808	0,00038
DMA	7,46	2	3,73	95,13	27	3,523	1,0590	0,36077
DPH	195,52	2	97,76	358,35	27	13,272	7,3656	0,00280
DFR	345,07	2	172,53	267,02	27	9,890	17,4458	0,00001
TSE	448,02	2	224,01	762,85	27	28,254	7,9284	0,00195
TIE	1067,85	2	533,93	2244,51	27	83,130	6,4228	0,00522
PT	490,45	2	245,23	1062,61	27	39,356	6,2310	0,00595
TCA	22,12	2	11,06	30,25	27	1,120	9,8702	0,00060
TBA	36,44	2	18,22	42,11	27	1,560	11,6800	0,00022
TPA	30,15	2	15,07	23,52	27	0,871	17,3018	0,00001
TSA	206,72	2	103,36	3562,52	27	131,945	0,7833	0,46698
TSJB	259,64	2	129,82	383,64	27	14,209	9,1365	0,00093
TIJB	55,19	2	27,60	54,30	27	2,011	13,7224	0,00007
TBP	23,86	2	11,93	52,30	27	1,937	6,1594	0,00625
TPP	21,66	2	10,83	28,25	27	1,046	10,3540	0,00046
TSP	39,35	2	19,67	55,73	27	2,064	9,5329	0,00073
Incor	0,01	2	0,00	0,05	27	0,002	1,8936	0,16998
Incom	0,00	2	0,00	0,00	27	0,000	5,3352	0,01115
Inda-th	0,84	2	0,42	0,97	27	0,036	11,6734	0,00022
poids	26283,50	2	13141,75	29782,71	27	1103,06	11,9138	0,00019

Nacéra KACEM « Evaluation morphométrique et polymorphisme génétique par amplification du microsatellite ASB02 chez les chevaux Barbe, Arabe-Barbe et Pur – Sang Arabe du nord- ouest Algérien » (2013).

Résumé

Les races équines d'Algérie constituent un patrimoine biologique, culturel et historique inestimable, qu'il est urgent de préserver et de réhabiliter. Néanmoins, le manque de connaissances concernant la diversité et les caractéristiques du matériel génétique équin d'Algérie ne permet pas d'assurer actuellement de façon efficace sa conservation et sa valorisation ; il est donc impératif de préserver la variabilité génétique des races équines algériennes pour une meilleure conservation et une meilleure exploitation. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude où nous nous sommes intéressés à deux axes d'étude : Le premier axe correspond à une enquête sur terrain qui vise en premier pas à contribuer à la caractérisation morphologique de trois principales races équines existantes en Algérie à savoir le Barbe, l'Arabe-Barbe et le Pur-Sang Arabe, ceci par la réalisation des 27 mensurations morphologiques et à partir de celle-ci le poids vif et 3 indices corporels ont été calculés, ainsi que l'appréciation de deux paramètres qualitatifs qui sont la couleur de la robe et la forme du chanfrein. Le Barbe présente une taille moyenne au garrot de $150,5 \pm 3,27$ cm, un poids vif de $451,36 \pm 24,47$ kg, un périmètre thoracique de $176,85 \pm 4,38$ cm et un indice de compacité de $3,00 \pm 0,199$ kg/cm. La taille au garrot de l'Arabe est de $147,25 \pm 3,43$ cm, son poids vif est de $378,57 \pm 16,22$ kg, son périmètre thoracique est de $166,54 \pm 7,59$ cm. Il présente un indice de compacité de $2,6 \pm 0,00$. La population Arabe-Barbe issue de leur croisement est très hétérogène vu qu'elle est constituée de chevaux ayant des degrés variables de sang Arabe.

Le deuxième axe porte sur l'initiation à la contribution de la caractérisation génétique du Barbe et du Pur-Sang Arabe par l'étude du polymorphisme du marqueur microsatellite ASB02 en utilisant la méthode d'amplification d'ADN *in vitro* par la PCR, suivi d'une électrophorèse sur gel d'agarose.

Ce travail nous a permis de constituer la première banque d'ADN équin au sein du laboratoire de recherche de Physiologie Animale Appliquée de l'Université de Mostaganem à partir des prélèvements sanguins d'animaux non apparentés de race Barbe et Arabe.

Mots clés : Barbe, Pur-Sang Arabe, Arabe-Barbe, morphométrie, Banque d'ADN, marqueurs microsatellites, ASB02.