

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية والشعبية

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE D'ALGER

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Thèse présentée en vue de l'obtention du

Doctorat en sciences agronomiques

**ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES FACTEURS GÉNÉTIQUES ET
NON-GÉNÉTIQUES SUR LES PERFORMANCES DES
CHEVAUX DE COURSE EN ALGÉRIE**

**ESTIMATION DE LA VALEUR GÉNÉTIQUE PAR LE MODÈLE
ANIMAL**

Présentée et soutenue publiquement par : TENNAH Safia

Le 09 - 05 - 2013

Devant le jury :

Président : **YAKHLEF Hacène** (Professeur, École Nationale Supérieure
Agronomique d'Alger)

Directeur de thèse : **KAFIDI Nacerredine** (Maître de conférences, École
Nationale Supérieure Vétérinaire)

Co- Directeur de thèse : **LEROY Pascal** (Professeur, Faculté de Médecine
Vétérinaire Université de Liège)

Examineur : **FARNIR Frédéric** (Professeur, Faculté de Médecine
Vétérinaire Université de Liège)

Examineur : **BENYOUCEF Mohamed Tahar** (Professeur, École
Nationale Supérieure Agronomique d'Alger)

Examineur : **GHOZLANE Fayçal** (Professeur, École Nationale Supérieure
Agronomique d'Alger)

Invité : **MICHAUX Charles** (Professeur, Université Libre de Bruxelles)

Année universitaire 2012-2013

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية والشعبية

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE D'ALGER

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Thèse présentée en vue de l'obtention du

Doctorat en sciences agronomiques

**ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES FACTEURS GÉNÉTIQUES ET
NON-GÉNÉTIQUES SUR LES PERFORMANCES DES
CHEVAUX DE COURSE EN ALGÉRIE
ESTIMATION DE LA VALEUR GÉNÉTIQUE PAR LE MODÈLE
ANIMAL**

Présentée et soutenue publiquement par : TENNAH Safia

Le 09 - 05 - 2013

Devant le jury :

Président : **YAKHLEF Hacène** (Professeur, École Nationale Supérieure
Agronomique d'Alger)

Directeur de thèse : **KAFIDI Nacerredine** (Maître de conférences, École
Nationale Supérieure Vétérinaire)

Co- Directeur de thèse : **LEROY Pascal** (Professeur, Faculté de Médecine
Vétérinaire Université de Liège)

Examineur : **FARNIR Frédéric** (Professeur, Faculté de Médecine
Vétérinaire Université de Liège)

Examineur : **BENYOUCEF Mohamed Tahar** (Professeur, École
Nationale Supérieure Agronomique d'Alger)

Examineur : **GHOZLANE Fayçal** (Professeur, École Nationale Supérieure
Agronomique d'Alger)

Invité : **MICHAUX Charles** (Professeur, Université Libre de Bruxelles)

Année universitaire 2012-2013

Remerciements

Cette thèse a été une aventure personnelle et aussi une aventure collective, humaine, elle représente plusieurs années de la vie, plusieurs années de difficultés, marquées de déceptions, de satisfactions, de rencontres scientifiques, de discussions, de débats, et d'acquisition de connaissance et de rigueur scientifique.

Si cette thèse a pu être effectuée dans de bonnes conditions, et déboucher sur des résultats passionnants, c'est grâce au concours de personnes que je souhaite vivement remercier ici.

Je remercie le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique d'Algérie, ainsi que la Coopération Technique Belge (BTC) Bruxelles, Belgique pour le support financier de cette étude et les moyens qu'ils ont mis à ma disposition afin de réaliser ce travail.

Mes pensées se tournent tout d'abord aux comandants de bord qui auront conduit ce travail de thèse à bon port. Je vous remercie mes directeurs de thèse et co-directeurs : Prof Pascal Leroy, Prof Frédéric Farnir et Dr Nacereddine Kafidi. Merci pour votre encadrement tout au long de ma thèse, pour vos conseils, vos compétences scientifiques et qualités humaines qui m'ont beaucoup aidé.

Au **Prof Pascal Leroy**, vous m'avez accueillie au sein de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège, vous m'avez ouvert les portes de votre service et de votre cœur, vous êtes un grand homme. J'ai trouvé auprès de vous, soutien moral et scientifique, amitié et sagesse de longue expérience et surtout vos qualités humaines. Vous êtes le symbole d'un scientifique modeste, communicateur, honnête et rigoureux. Merci pour m'avoir fait d'emblée confiance, soyez rassuré de ma grande estime.

Au **Dr Nacereddine Kafidi**, vous m'avez lancé et soutenu dans le sujet de mon doctorat. Votre expérience scientifique, votre assistance et la pertinence de vos conseils ont consolidé la solidarité de notre collaboration scientifique. Malgré votre départ, votre encadrement à distance, votre aide rapide et efficace lors de la mise en place de cette thèse, m'ont permis de garder confiance malgré le challenge qu'ont été toutes ces années écoulées. Merci pour votre rigueur et surtout pour votre patience.

Au **Prof Frédéric Farnir**, pour avoir su m'accorder du temps, pour m'aiguiller dans les moments de doute, malgré la charge de travail qui est la votre. J'ai trouvé auprès de vous soutien moral et scientifique, merci à vous pour avoir motivé ma vocation

pour les statistiques et la génétique quantitative. Grand merci pour la lecture minutieuse de mes résultats et les différentes parties de la rédaction des productions scientifiques et de ce travail. Votre franchise et vos précieuses remarques m'ont aidé à bien comprendre les aspects de mon travail. Je tiens à vous exprimer toute ma gratitude, soyez rassuré de ma profonde estime.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Messieurs les membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger et d'évaluer ce travail.

Je serais particulièrement ingrate si je n'exprimais pas ma profonde reconnaissance au Dr Nicolas Antoine-Moussiaux, tu as considérablement appuyé ce travail, et tu t'es toujours intéressé au travail de cette thèse, merci pour m'avoir aidé dans mon aventure scientifique dans la réalisation de l'enquête de ce travail. Je t'en suis infiniment reconnaissante pour m'avoir toujours soutenu et encouragé et corrigé avec beaucoup d'intérêt des parties de ce travail.

J'assure le Prof Charles Michaux, de ma profonde reconnaissance, il a toujours accepté de donner de son temps pour m'aider à comprendre quelques aspects de mon travail. Grand merci à vous Charles.

Mes remerciements vont également à tous les membres du Département de productions animales, (Service de Sélection animale, Biostatistiques, Bioinformatique et Economie rurale), Faculté de Médecine Vétérinaire de Liège, qui m'ont chaleureusement accueilli et m'ont beaucoup aidé.

Un grand merci à mes amis d'Alger et de Liège pour m'avoir soutenu moralement dans les bonnes et mauvaises périodes pendant ces années. Leur nombre est si considérable qu'il m'est ici impossible de tous les énumérer.

Je tiens à remercier sincèrement et à exprimer ma reconnaissance à :

Celles et ceux qui m'ont accueillie au sein de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège,

Celles et ceux qui m'ont accueillie au sein des hippodromes et des structures concernées par l'élevage des chevaux en Algérie,

Celles et ceux qui m'ont aidé pour la collecte des données et ont contribué à la mise en place de la base des données des résultats de courses des chevaux en Algérie,

Celles et ceux qui ont trouvé un soutien financier pour ma thèse,

Ceux qui ont su guider ma réflexion,

Ceux qui m'ont écoutée, corrigée, critiquée, conseillée,

Ceux qui ont eu la patience de m'enseigner la génétique et ses méthodes,
Ceux qui m'ont initiée à l'informatique et aux statistiques,
Ceux qui ont veillé au bon fonctionnement du matériel informatique,
Ceux qui ont organisés et faciliter mes déplacements,
Celles qui m'ont aidée et formée pour mes recherches bibliographiques,
Celles et ceux avec qui j'ai partagé un bureau durant mes séjours à la Faculté de
Médecine Vétérinaire de Liège,
Celles et ceux qui ont rendu mon travail agréable et plus facile à Alger et à Liège,
Celles et ceux qui m'ont soutenue,
Celles et ceux qui m'ont encouragée,
Celles et ceux qui m'ont tout simplement souri...

Enfin,

J'adresse toute mon affection et ma reconnaissance à ma maman et mon papa ainsi qu'à ma famille qui m'ont soutenu tout au long de ces années et qui ont toujours cru en moi.

Je tiens à dédier ce travail à mon père qui m'a inculqué des valeurs fondamentales de hargne, de volonté et d'humanité sans lesquelles je n'aurais sans doute pas pu réussir ces études.

Je dédie également cette thèse à ma MAMAN pour m'avoir donnée les capacités et les armes nécessaires pour affronter cette expérience, celles qui sont passées et qui vont suivre. Tu m'as toujours soutenue, aidée, et tu m'as donnée le courage pour pousser mes études et de les mener à bien, je t'en serai toujours reconnaissante.

Je dédie également cette thèse à mes frères et sœurs ainsi qu'à ma nièce. Vous qui partagez mes soucis, vous m'avez supportée pendant ces années et je le sais je n'ai pas toujours été facile ! Mais votre soutien et votre amour m'ont permis de faire face à toutes les difficultés. Alors cette thèse, c'est aussi la votre.

Résumé

Le but du sujet de cette thèse est de mettre à la disposition des éleveurs et des institutions concernées par l'élevage des chevaux de course pur-sang arabe un outil de classement objectif reconnu à l'échelle internationale qui permettrait de sélectionner les meilleurs reproducteurs afin de réaliser, au fil des générations, un progrès génétique. Le travail comporte quatre études.

Étude 1

Caractérisée par des externalités positives et la nécessité de travailler à large échelle afin d'être efficace, la sélection animale est le plus souvent portée par des structures organisées par les éleveurs ou les Etats. En Algérie, la sélection des chevaux de course est aux mains des éleveurs-proprétaires sans organisation de ceux-ci. Cette étude vise à présenter les perceptions, objectifs et pratiques des propriétaires-éleveurs algériens de chevaux de course en matière de sélection animale. De 2009 à 2011, une enquête a été réalisée auprès de 461 propriétaires-éleveurs. Pour un tiers des interrogés, l'élevage du cheval de course est une activité professionnelle à temps plein. Les élevages sont de petite taille avec 77% détenant une ou deux juments. La pratique régulière de saillies a été utilisée pour catégoriser les éleveurs selon leur degré de professionnalisation (professionnels et occasionnels). Davantage que le degré de professionnalisation, l'ancienneté dans le secteur a démontré un effet quant aux pratiques et aux objectifs de l'élevage. Ainsi, l'ancienneté influence la race choisie ($p < 0.001$), l'âge de la mise à la reproduction des juments ($p < 0.01$), les sources d'information considérées pour la sélection des étalons (performances propres, ascendants, descendants, collatéraux) ($p < 0.01$), l'importance accordée au prix de la saillie ($p < 0.001$), l'importance accordée au classement plutôt qu'au montant gagné ($p < 0.001$). En conclusion, l'élevage de chevaux de course en Algérie est peu professionnalisé, sans réel objectif financier autre que l'auto-financement. En dépit de pratiques souvent inadaptées, un intérêt pour la sélection est constaté et pourra servir de fondement à un plan d'amélioration génétique national dûment coordonné.

Étude 2

De 1995 à 2007, les données relatives aux résultats de courses de plat des chevaux ont été recueillies pour le pur-sang arabe et le pur-sang anglais en Algérie. Ces

données provenaient de la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel d'Alger (SCHPM). Le modèle linéaire général (GLM) et le test de Tukey ont été utilisés pour identifier et quantifier les facteurs non génétiques affectant les performances de courses. Ces dernières sont représentées par le gain obtenu et le classement. Trois caractères ont été utilisés : deux caractères de gains (le logarithme du gain virtuel annuel : LAEV et le logarithme du gain virtuel moyen annuel par départ : LAEV/S), et un caractère de classement (le classement normalisé et transformé par application de la procédure de « *performance rate* » : PERF). Les résultats ont montré des corrélations élevées significatives ($p < 0.001$) et positives entre les trois caractères étudiés dans les deux races. Les effets du sexe, de l'âge, de l'année de la performance et les interactions entre l'âge et le sexe et entre l'âge et l'année de la course se sont révélés significatifs ($p < 0.05$) sur les trois caractères LAEV, LAEV/S et PERF chez le pur-sang arabe. Cependant, chez le pur-sang anglais l'effet du sexe n'a été significatif que pour le caractère PERF et la seule interaction significative est celle entre l'âge et l'année de la performance ($p < 0.001$) pour le caractère LAEV.

Études 3 et 4

Les résultats des courses de plat organisées de 1995 à 2007 en Algérie par la Société des Courses Hippique et du Pari Mutuel, ont été utilisés pour estimer les paramètres génétiques des performances en course des chevaux pur-sang arabe. Ces résultats ont été encodés dans une base de données. Ils consistent en 36 492 résultats de courses, obtenus par 913 chevaux. Le pedigree de ces chevaux inclut 1812 animaux issus de 166 étalons et de 392 poulinières. Trois caractères ont été utilisés afin d'analyser les performances: le logarithme du gain virtuel annuel (LAEV), le logarithme du gain virtuel moyen par départ (LAEV/S) et une valeur normalisée de classement (PERF). Pour identifier les effets fixes à inclure dans le modèle animal, une analyse préliminaire a été effectuée selon la procédure GLM avec le logiciel SAS. Les effets de l'âge (de 3 à 8 ans et plus), du sexe (mâle ou femelle), de l'année (1995 à 2007) et les interactions entre année et âge, ont été inclus dans le modèle pour les trois caractères. L'interaction entre âge et sexe ne s'est avérée significative, et n'a été retenue que pour le caractère PERF. En outre, deux effets aléatoires, l'effet génétique direct de l'animal et l'effet de son environnement permanent, ont été inclus dans le modèle mixte. Les composantes de la variance et les paramètres génétiques ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance restreint (REML) par

l'utilisation de la procédure du programme MTDREML. L'analyse par un modèle animal répétable a conduit à l'estimation des paramètres génétiques suivants : l'héritabilité vaut $0,225 \pm 0,041$, $0,164 \pm 0,027$ et $0,369 \pm 0,054$ respectivement pour LAEV, LAEV/S et PERF ; la répétabilité $0,33 \pm 0,040$, $0,215 \pm 0,022$ et $0,587 \pm 0,045$ respectivement pour le LAEV, LAEV/S et PERF et les corrélations génétiques sont de 0,99 entre LAEV et LAEV/S, 0,69 entre PERF et LAEV et celle entre PERF et LAEV/S est de 0,79.

On peut remarquer à travers les résultats de cette étude que l'héritabilité de la valeur de classement est nettement plus élevée que celle des caractères de gains ce qui indiquerait que le rang transformé pourrait servir de meilleur critère pour l'amélioration génétique des performances des pur-sang arabes en Algérie.

Le taux de consanguinité moyen de la population des chevaux pur-sang arabe en Algérie, a été trouvé relativement élevé: 3%. Il est important de sensibiliser les éleveurs aux problèmes qui peuvent découler: d'une utilisation trop intensive d'un reproducteur issu d'un ancêtre majeur, de l'utilisation d'un petit nombre de reproducteurs, de l'utilisation intensive de croisements entre individus apparentés. Toutes ces mesures sont nécessaires afin de ne pas voir augmenter rapidement la consanguinité et diminuer fortement la diversité génétique.

Mots clés : sélection - chevaux de course - propriétaires-éleveurs - reproducteurs - enquête - paramètres non-génétiques - gains - classement - courses de plat - paramètres génétiques - modèle animal - coefficient de consanguinité - Algérie.

Abstract

The goal of the subject of this thesis is to provide the breeders and the institutions involved in horse breeding of the wholeblood arab racing horses with an objective classification tool, that is recognized at the international level and that will allow to select the best breeding horses such that, along the generations, a genetic progress will be made. This work consists of four studies.

Study 1

Due to positive externalities and the need to work on a large scale, animal breeding is usually carried out by breeders associations or states. In Algeria, racehorse breeding is in the hands of poorly organized breeders-owners. Through a survey conducted with 461 owners-breeders between 2009 and 2011, this study investigates their perceptions, objectives and practices regarding selective breeding. Racehorse breeding is a full-time professional activity for a third of interviewees. The holdings are small-sized with 77% owning one or two mares. The regular practice of insemination is here used to categorize breeders according to their degree of professionalization (38.4% professional vs. 61.6% occasional breeders). Seniority in the sector was also used to classify breeders, considering as “junior” the breeders under 10 years experience (38.8%) and as “senior” those above 10 years (61.2%). More than professionalization, seniority shows a significant impact on practices and objectives. Thus, seniority influences breed choice (junior breeders tend to specialize while senior own both Arabian and Thoroughbreds; $p < 0.001$), age at first foaling (sooner among senior breeders; $p < 0.01$), information sources considered for selecting stallions (senior use more diversified sources; $p < 0.01$), the importance granted to the price of insemination (greater for junior breeders; $p < 0.001$), the importance granted to the ranking compared to earnings (the ranking being more important to junior breeders, $p < 0.001$), and the priority given to breeding (junior breeders give rather priority to a buy-race-resell activity; $p < 0.001$). Finally, racehorse breeding in Algeria is poorly professionalized, the only financial goal being cost coverage. Despite inappropriate practices, an interest for selection is noticed.

Study 2

From 1995 to 2007, flat racing data was collected for Thoroughbred and Arabian horses in Algeria. Non-genetic factors affecting racing performances have been identified and quantified using linear models. Performances are represented through the earnings and the rankings. Three traits were used: two earnings traits (the logarithm of annual virtual earnings: LAEV and the logarithm of average annual virtual earnings per start: LAEV/S), and one rank trait (the ranking transformed and normalised by application of the “performance rate” procedure: PERF). The results showed significant positive correlations ($p < 0.001$) between the three traits in the two breeds, showing that the measurements quantify similar - although different - aptitudes. The effects of sex, age, year of the performance and the interactions between age and sex and between age and year of the race turned out to be significant ($p < 0.05$) for the three traits LAEV, LAEV/S and PERF for the Arabian horses. However, for Thoroughbreds, the sex effect was only significant for the PERF trait and an interaction between the age and year of the performance was the only significant interaction ($p < 0.001$) for the LAEV trait. The effects of these non-genetic factors will be used to correct the raw measures in a future genetic evaluation.

Study 3 and 4

The results of the flat races organized in Algeria from 1995 to 2007 by the Algerian Horse Racing Society, were used to estimate genetic parameters of racing performances of Arabian horses. The data consist of 36 492 race records, obtained from 913 horses. The pedigree file of the horses includes 1812 animals from 166 stallions and 392 mares. The analysis was performed on two traits the earnings: the logarithm of average annual virtual earnings (LAEV) and the logarithm of average annual virtual earnings per start (LAEV/S) and a normalized ranking (PERF). To identify the fixed effects to be included in the genetic model, a preliminary analysis was conducted using the General Linear Models (GLM) procedure from SAS software. The effects of age (3 to 8 years and older), sex (male or female), year (1995 to 2007) and the interaction between year of the race and age and between sex and age were included in the model for both traits. In addition, two random effects, a direct genetic effect of the animal and a permanent environmental effect were

included in the mixed model. The variance components and genetic parameters were estimated by the restricted maximum likelihood (REML), procedure using the MTDFREML program. The analysis, using a repeatable animal model, led to the following estimation of genetic parameters: for LAEV, heritability was 0.225 (± 0.041), while estimate of repeatability was 0.330 (± 0.040). For LAEV/S, heritability was 0.164 (± 0.027), while estimate of repeatability was 0.215 (± 0.022). The heritability for the normalized ranking was higher, 0.369 (± 0.054), indicating that this trait might be more appropriate for breeding programs of Arabian horses in Algeria. The repeatability estimate for the normalized ranking was 0.587 (± 0.045) and the genetic correlation between this LAEV and LAEV/S was 0.99, 0.69 between PERF and LAEV and 0.79 between PERF and LAEV/S was 0.79.

The average value of inbreeding in the population of Arabian horses in Algeria, was found relatively high 3%. It is important to educate owners-breeders to problems that can arise: a too intensive use of a player from a major ancestor, the use of a small number of breeding intensive use of crosses between related individuals. All these measures are necessary in order not to see rapidly increasing greatly reduce inbreeding and genetic diversity.

Key-words: selection - racehorses - survey - owners-breeders - earnings - non-genetic factors - flat racing - race-horses - rankings - Arabian horses - genetic parameters - flat racing - value of inbreeding - Algeria.

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هو تزويد المزارعين والمؤسسات المعنية في تربية خيول السباق العربية أداة تصنيف الهدف المعترف بها دوليا التي من شأنها أن اختيار أفضل اللاعبين ل تحقيق، على مر الأجيال، وتقدم الوراثة. يتألف العمل من أربع دراسات.

الدراسة 1

تتميز العوامل الخارجية الإيجابية وضرورة العمل على نطاق واسع من أجل أن تكون فعالة، وغالبا ما يستند اختيار حيوان من قبل هياكل المنظمة من قبل المزارعين أو الدول. في الجزائر، واختيار من خيول السباق هو في أيدي المزارعين أصحاب دون تنظيمها. تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تصورات وأهداف وممارسات أصحاب الجزائري ومربي خيول السباق في اختيار الحيوان. من 2009 إلى 2011، أجريت دراسة استقصائية بين 461 مالكي ومربي. للمرة الثالثة من شملهم الاستطلاع فرس الرهان تربية هو نشاط بدوام كامل المهنية. مزارع صغيرة، مع 77٪ عقد واحد أو اثنين من الأفراس. تم استخدام الممارسة المنتظمة للإسقاطات لتصنيف المزارعين وفقا لدرجة من الكفاءة المهنية (الفنية وعادية). أكثر من مستوى من الكفاءة المهنية، وقد أثبتت الأقدمية في مجال تأثير على ممارسات وأهداف التربية. وبالتالي، تؤثر الأقدمية سباق اختيار ($P > 0.001$)، العمر عند الأفراس تربية ($P > 0.01$)، مصادر المعلومات تعتبر لاختيار المعايير (الأداء الخاصة، أصول، أحفاد، الضمانات) ($P > 0.01$)، والتركيز على إسقاط السعر ($P > 0.001$)، والتركيز على المرتبة بدلا من المبلغ الذي كان يتقاضاه ($P > 0.001$). في الختام، تربية خيول السباق في الجزائر ليس المهنية ومع أي غرض حقيقي غير المالية التمويل الذاتي. وعلى الرغم من عدم كفاية الممارسات في كثير من الأحيان ذات الصلة لاختيار وجدت، ويمكن أن تكون أساسا لخطة التحسين الوراثة وطنية منسقة على النحو الواجب.

دراسة 2

من عام 1995 إلى 2007، تم جمع بيانات عن نتائج سباقات الخيول شقة للالعربية الأصيلة والإنجليزية الأصيلة في الجزائر. وجاءت هذه البيانات من جمعية سباق الخيل وباري الجزائر (HCSPM). تم استخدام النموذج الخطي العام (GLM) واختبار توكي لتحديد وقياس العوامل غير الوراثة التي تؤثر على أداء السباقات. وتمثل هذه بواسطة المكسب وتصنيفك. واستخدمت ثلاثة أحرف: حرفين أرباح (لوغاريتم المكسب الظاهري السنوي: Laev) ولوغاريتم متوسط الزيادة السنوية في رحيل الظاهري: Laev/s)، وتصنيف حرف (التصنيف الموحد وتحويلها عن طريق تطبيق الإجراء "معدل الأداء" PERF). أظهرت النتائج ارتباطات معنوية عالية ($P > 0.001$) وإيجابية بين الأحرف الثلاثة درسوا في كل السباقات. وكانت آثار الجنس والعمر والأداء العام والتفاعل بين العمر والجنس والعمر وبين السنة من السباق معنوية ($P > 0.05$) على ثلاثة أحرف Laev، Laev/s، PERF في العربية. ومع ذلك، في اللغة الإنجليزية تأثير أصيل بين الجنسين كان كبيرا للحرف و PERF هو التفاعل الكبير الوحيد بين سن سنة والأداء ($P > 0.001$) للحرف Laev.

دراسات 3 و 4

استخدمت نتائج السباقات شقة عقد 1995-2007 في الجزائر من قبل جمعية سباق الخيول وباري Mutuel، لتقدير المعلمات الوراثة من أداء سباقات الخيول العربية الأصيلة من. وكانت هذه النتائج المشفرة في قاعدة بيانات. وهي تتألف من 36492 نتائج السباق، التي حصلت عليها 913 الخيول. نسب من الخيول يشمل الحيوانات 1812 من 166 الفحول والأفراس 392. وقد استخدمت ثلاثة أحرف لتحليل أداء: لوغاريتم من الربح السنوي الظاهري (Laev)، اللوغاريتم من الربح المتوسط من خلال البدء الظاهرية (Laev/s) وقيمة رتبة تطبيع (PERF). للتعرف على الآثار الثابتة ليتم تضمينها في نموذج حيواني، أجري تحليل أولي باستخدام الإجراء GLM باستخدام برنامج SAS. وأدرجت الآثار من العمر (3-8 سنة وما فوق)، والجنس (ذكر أو أنثى)، سنة (1995-2007) والتفاعل بين السنة والس في نموذج لمدة ثلاثة حرفا. كان التفاعل بين العمر والجنس كبيرة، واختير للحرف PERF. وبالإضافة إلى ذلك، تم تضمين اثنين من آثار عشوائية، وتأثير الجينية

المباشر للحيوان وتأثير بينته دائمة في النموذج المختلط. وقدرت مكونات التباين والمعلومات الوراثية باستخدام أقصى احتمال المقيد (REML) باستخدام برنامج MTDFREML الإجراء. تحليل نموذج حيواني تكرر أدى إلى التقديرات التالية من المعلومات الوراثية: التوريث هو 0.225 ± 0.041 ، 0.164 ± 0.027 0.369 ± 0.054 و $vLaev$ على التوالي، $Laev/s$ و $PERF$ والتكرارية 0.33 ± 0.040 ، 0.215 ± 0.022 0.587 ± 0.045 وعلى التوالي ل $Laev/s$ و $PERF$ والارتباطات الوراثية ما بين 0.99 و $Laev/s$ ، 0.69 بين $PERF$ و $Laev$ وأن بين $PERF$ و $Laev/s$ هو 0.79 .

ويمكن ملاحظة ذلك من خلال نتائج هذه الدراسة أن للوراثة قيمة الترتيب هو أعلى بكثير من مكاسب شخصية مما يدل على أن رتبة تحول يمكن أن تكون أفضل معيار للتحسين الوراثي للأداء من الذهب الخالص الجزائر الدم العربي.

ويبلغ متوسط معدل زواج الأقارب في عدد السكان من الخيول العربية في الجزائر، وجد عالية نسبيا عند نسبة 3%. فمن المهم لرفع مستوى الوعي في المشاكل التي يمكن أن تنشأ: أ الاستخدام المكثف جدا من تربية من سلف الرئيسية، واستخدام عدد قليل من التربية، والاستخدام المكثف من الصلبان بين الأفراد ذات الصلة. كل هذه التدابير ضرورية لكي لا نرى الزيادة السريعة في زواج الأقارب والحد بشكل كبير من التنوع الوراثي.

كلمات البحث: اختيار - سباق الخيل - أصحاب ومربي - تربية - مسح - معلومات غير وراثية - مكاسب - التصويت - شقة سباقات - المعلومات الوراثية - نموذج حيواني - معامل زواج الأقارب - الجزائر.

Sommaire

INTRODUCTION GENARALE	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE.....	7
<i>Partie 1 : situation de la filière équine et de l'élevage des chevaux de course en Algérie</i>	7
1. ORGANISATION TECHNIQUE ET ADMINISTRATIVE DE L'ÉLEVAGE ÉQUIN EN ALGÉRIE.....	8
<i>1.1 Historique de la filière équine en Algérie</i>	<i>8</i>
<i>1.1 Organisation administrative actuelle : structures et établissements équins</i>	<i>9</i>
1.1.1 L'Office National de Développement de l'Élevage Équin et Camélin (ONDEEC).....	10
1.1.2 Les haras et jumenteries de l'élevage équin	11
1.1.3 La Fédération Equestre Algérienne (FEA).....	12
1.1.4 La Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM) :	13
1.1.5 L'association nationale des éleveurs et propriétaires de chevaux de races pures (ANEPCRP)	14
2 PRÉSENTATION DES ACTIVITÉS DE L'ÉLEVAGE CHEVALIN EN ALGÉRIE	15
<i>2.1 Les différents types d'activités chevalines en Algérie</i>	<i>15</i>
<i>2.2 Historique des courses hippiques en Algérie.....</i>	<i>15</i>
2.2.1 Pur-sang arabe et anglais	16
2.2.2 Situation du pur-sang arabe en Algérie.....	18
3 SITUATION DE LA REPRODUCTION DES CHEVAUX DE COURSE EN ALGÉRIE	21
<i>Partie 2 : synthèse de la littérature sur l'évaluation génétique des chevaux de course de plat</i>	<i>24</i>
1. DÉFINITION DES COURSES DE PLAT.....	26
2. DIFFÉRENTES MESURES DE LA PERFORMANCE DE COURSE UTILISÉES. 26	
<i>2.1 Temps de course</i>	<i>27</i>

2.1.1 Temps final	27
2.1.2 Meilleur temps	27
2.1.3 Temps moyen	28
2.2 Valeurs d'handicap	28
2.2.1 Handicap de poids	28
2.2.2 Le taux de rendement ou «performance rates» (longueur de handicap)	29
2.3 Classement ou rang	29
2.4 Gains	30
2.4.1 Les différents types de gains	31
2.4.2 Transformation des gains	31
3 LES PRINCIPAUX FACTEURS DE MILIEU (FACTEURS NON-GÉNÉTIQUES) INFLUENÇANT LES PERFORMANCES DE COURSE DE PLAT	32
3.1. Effet de l'âge	32
3.2. Effet du sexe	33
3.3. Effet de l'année de course	34
3.4. Effet du poids porté et du jockey	34
3.5. Effet du type de piste	35
3.6. Effet du mois de naissance	35
4 ESTIMATION DES PARAMÈTRES GÉNÉTIQUES DES PERFORMANCES DES CHEVAUX DES COURSES DE PLAT	37
4.1 Héritabilité et paramètres génétiques	37
4.1.1 Héritabilité	37
4.1.2 Répétabilité	38
4.1.3 Corrélations génétiques	38
4.2 Les paramètres génétiques des chevaux de plat	39
4.2.1 Héritabilité et répétabilité	39
4.2.2 Corrélations génétiques	43
CHAPITRE 2 : ETUDE 1.....	45

2 SÉLECTION ANIMALE DES CHEVAUX DE COURSE PUR-SANG ARABE ET ANGLAIS EN ALGÉRIE : PERCEPTIONS, OBJECTIFS ET PRATIQUES DES PROPRIÉTAIRES-ÉLEVEURS.....	46
2.1 Objectifs	46
2.2 Matériel et Méthodes	46
2.2.1 Méthodologie de l'enquête.....	46
2.2.2 Profil de l'enquêté et description de son élevage.....	47
2.2.3 Critères de choix des reproducteurs	47
2.2.4 Mesures préconisées par les propriétaires-éleveurs.....	47
2.3 Caractères de performance : gains et classements	48
2.4 Analyses statistiques	48
2.5 RÉSULTATS.....	49
2.5.1 Description des propriétaires-éleveurs et de leurs élevages ..	49
2.5.1.1 Répartition des enquêtés dans les neuf hippodromes.....	49
2.5.1.2 Le profil des propriétaires-éleveurs.....	50
2.5.1.3 Description des élevages	52
2.5.2 Conduite des élevages et critères de sélection des reproducteurs	54
2.5.2.1 Critères de sélection des juments	54
2.5.2.2 Critères de sélection des étalons.....	54
2.5.3 Mesures préconisées pour améliorer la situation de l'élevage équin	56
2.5.4 La valeur du classement	57
2.6 DISCUSSION	57
2.7 CONCLUSION.....	62
CHAPITRE 3 : ETUDE 2.....	63
3. ÉVALUATION DES PARAMÈTRES NON-GÉNÉTIQUES DES PERFORMANCES DE COURSE DES CHEVAUX PUR-SANG ARABES ET PUR-SANG ANGLAIS EN ALGÉRIE	64
3.1 Objectifs	64

3.2 Matériel et méthodes.....	64
3.2.1 Origine et vérification de la base de données	64
3.2.2 Les caractères utilisés	65
3.2.3 Analyse statistique.....	66
3.3 Résultats	70
3.3.1 Relation entre les 3 caractères étudiés	70
3.3.2 Statistique descriptive des résultats de course de pur-sang arabe et anglais.....	71
3.3.2 Estimation des effets non génétiques	71
3.4 Discussion	82
3.4.1 Corrélations entre LAEV, LAEV/S et PERF	82
3.4.2 Effet des paramètres non-génétiques sur les différents caractères chez le pur-sang arabe et anglais	83
3.5 Conclusion	90
CHAPITRE 4 : ETUDE 3.....	91
4. ESTIMATIONS DES PARAMÈTRES GÉNÉTIQUES DES PERFORMANCES DE COURSE DES CHEVAUX PUR-SANG ARABES EN ALGÉRIE PAR LE MODÈLE ANIMAL	91
4.1 Objectifs	92
4.2 Matériel et méthodes.....	92
4.2.1 Description des bases de données et des variables utilisées	92
4.2.2 Méthodes utilisées pour l'estimation des paramètres génétiques	94
4.3 Résultats	98
4.3.1 Paramètres génétiques.....	98
4.4 Discussion	99
4.4.1 Héritabilité et répétabilité	99
4.4.2 Corrélations génétiques	101
4.5 Conclusion	101
CHAPITRE 5 : ETUDE 4.....	102
5. ÉVALUATION ET INDEXATION DES REPRODUCTEURS PUR-SANG ARABES EN ALGÉRIE PAR LE BLUP MODÈLE ANIMAL	103
5.1 Objectif	103

5.2 Introduction sur le prédicteur BLUP	103
5.3 Évaluation et indexation des reproducteurs pur-sang arabes	104
5.3.1 Matériel et méthodes.....	104
5.3.2 Résultats et discussions	105
5.4 Estimation du coefficient de consanguinité F des chevaux pur-sang arabes	108
5.4.1 Matériel et méthodes.....	109
5.4.2 Résultats et discussions	109
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	110
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	110
ANNEXES.....	110

INTRODUCTION GÉNÉRALE

En Algérie, l'élevage du cheval a une grande importance économique et socio-culturelle. De nombreuses exploitations agricoles utilisent encore le cheval pour la traction agricole, le transport des biens et des personnes. En milieu urbain, le cheval est aussi utilisé dans des activités sportives et de loisirs. En plus des activités sportives organisées en Algérie, la participation de chevaux algériens aux événements hippiques à l'étranger mérite d'être mentionnée : Grand prix du Maghreb en 2010, Jeux Africains en 2010, raids d'endurance internationaux en 2009 et Jeux Panarabes en 2004.

En matière de l'effectif équin (chevaux, mulets et ânes confondus), l'Algérie se hisse au rang de premier détenteur africain d'équidés avec près de 240 000 têtes (OIE 2010). Si l'on suit l'évolution de l'effectif chevalin algérien entre 1993 et 2010 (FAOSTAT 2012), une régression des effectifs est observée entre 1993 et 2001 avec une stabilisation de l'effectif par la suite (Figure 1).

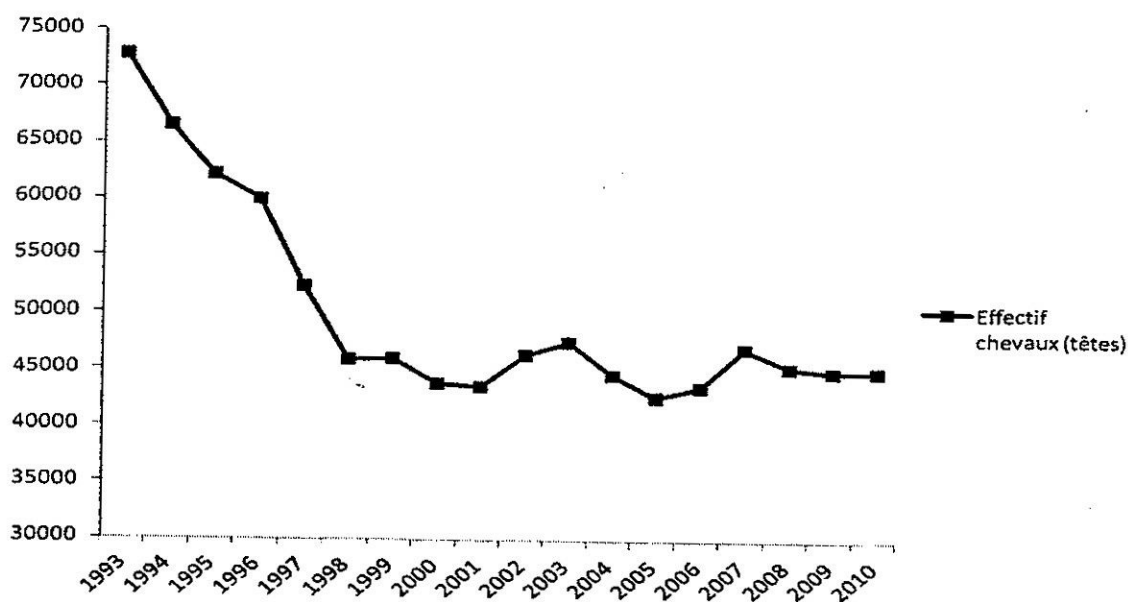


Figure 1 Evolution des effectifs de chevaux en Algérie (1993-2010)

Cette population équine est principalement composée de trois races : le pur-sang arabe (PSAr), le barbe et le pur-sang anglais (PSAn). Une partie importante de l'effectif est constituée du produit de croisements entre races pures, notamment le croisement « arabe-barbe » (Benabdelmoumene 2003; Kadri 2006). Selon le recensement et les effectifs de 2009, rapporté par le Ministère de l'Agriculture (MADR 2009), la répartition des races au sein de la population chevaline est comme

suit : 10% pur-sang anglais, 13% pur-sang arabe, 16% barbe, 53% d'arabe-barbe et 8% autres que pur-sang (AQPS). Cette population est répartie sur l'ensemble du territoire algérien avec 34% dans l'Ouest du pays, 25% au Centre, 22% dans l'Est et 19% au Sud (MADR 2009).

Depuis le début du 20^{ème} siècle, les chevaux pur-sang arabe et pur-sang anglais sont utilisés pour les courses de plat (90%) et de trot (10%). Cependant, ils n'ont fait l'objet d'aucune évaluation de leur potentiel génétique au niveau algérien. Aucun programme de sélection n'a encore été mis en place et aucune estimation des valeurs génétiques additives des reproducteurs à partir de leurs performances en course n'a été réalisée à ce jour. L'amélioration génétique des animaux est à la base de toute activité d'élevage et de toute filière de production animale. Caractérisée par la présence d'externalités positives et par la nécessité de travailler à large échelle afin d'être efficace, la sélection animale est le plus souvent portée par des structures organisées par les éleveurs ou les États. En Algérie, les structures publiques dédiées au secteur équin représentées par l'Office National de Développement de l'Elevage Equin et Camelin (ONDEEC) et les Haras Nationaux, n'assument pas les tâches nécessaires à la mise en place d'une sélection effective, telles que le contrôle des performances zootechniques (identification, enregistrement des performances sportives) et l'évaluation génétique. Actuellement, la conduite de la sélection est aux mains des propriétaires-éleveurs sans support technique ou scientifique pour établir un schéma de sélection rigoureux. Le rôle des éleveurs dans la sélection et l'amélioration des chevaux de course dans d'autres pays a été cité par plusieurs auteurs (Langlois 1984; Langlois 1986; Tavernier 1989). Une bonne compréhension des pratiques et motivations de ces acteurs est un pré-requis à toute mise en œuvre de plan d'amélioration génétique. En l'absence d'informations relatives à ces aspects en Algérie, **une première étude** dans le cadre de cette thèse, représentée sous forme d'enquêtes vise à dresser un état des lieux de la sélection des chevaux de course (pur-sang arabe et pur-sang anglais) menée par les propriétaires-éleveurs, présentant leurs perceptions, objectifs et pratiques en matière de sélection équine.

Il est toutefois à signaler que, la population des chevaux de course (pur-sang arabe et anglais) en Algérie est appelée, par le principe même de la compétition, à progresser en qualité. L'amélioration du potentiel génétique est certainement une voie souhaitable. Cette approche repose essentiellement sur une sélection objective des

parents de la prochaine génération, basée sur l'estimation de leur potentiel génétique ou valeur d'élevage. Elle devrait permettre de mettre à la disposition des éleveurs et des institutions concernées par l'élevage des chevaux, un outil de classement objectif reconnu à l'échelle internationale et permettant de réaliser, au fil des générations, un progrès génétique mesurable. L'estimation du potentiel génétique de chaque cheval est donc un préalable important. Notons à ce sujet que l'estimation de la valeur génétique des reproducteurs a été appliquée pour les chevaux de course depuis de nombreuses années et dans de nombreux pays (Hintz 1980; Langlois 1980a; Leroy *et al.* 1988; Chico 1994; Langlois 1996; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Langlois & Blouin 2004; Langlois & Vrijenhoek 2004; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009; Orhan & Kaygisiz 2010). Les conditions de mise en place d'un programme de sélection et d'estimation des paramètres génétiques de performances de course sont à ce jour présentes, dès lors que, la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM) d'Alger, depuis sa fondation en 1987, s'occupe de la gestion des courses (de galop et de trot) et stocke des données exploitables.

La sélection des animaux est basée sur un ou plusieurs caractères mesurables à améliorer, exprimés lors des courses. Depuis de nombreuses années, l'étude des performances de course a suscité de nombreux travaux visant à dégager et définir des caractères de sélection. Une grande variété de performances a été étudiée pour les courses de plat dans la littérature, parmi lesquels : les temps de course (Hintz 1980; Chico 1994; Ekiz & Kocak 2005; Ekiz *et al.* 2005b; Bakhtiari & Kashan 2009; Orhan & Kaygisiz 2010), l'handicap de poids (Langlois 1980a; Tolley *et al.* 1985), le *performance rate* (Gillespie 1971; Watanabe 1974), le rang à l'arrivée (Chico 1994; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bakhtiari & Kashan 2009) et le gain annuel ainsi que le gain moyen par départ (Langlois & Blouin 1998; Belhajyahia *et al.* 2003; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005). Les estimations de l'héritabilité des caractères se rapportant au temps ont été généralement faibles variant de 0,01 à 0,10 (Hintz 1980; Chico 1994; Orhan & Kaygisiz 2010). Par conséquent, la plupart des études récentes ont été axées sur les caractères liés aux gains ou aux rangs, éventuellement après transformations mathématiques (Chico 1994; Belhajyahia *et al.* 2003; Svobodova *et al.* 2005), pour lesquels l'héritabilité est plus élevée (variant de 0,10 à 0,34).

L'utilisation des performances de course disponibles pour les chevaux pur-sang arabe et pur-sang anglais en Algérie devrait permettre l'évaluation objective des reproducteurs par l'estimation de leur valeur d'élevage basée sur des méthodes classiques de la génétique quantitative. Cependant le choix du caractère de sélection est un préalable à cette estimation de la valeur génétique. Ainsi, pour notre travail, différents caractères ayant trait aux gains et aux classements seront utilisés. Si les gains et les rangs sont deux mesures quantitatives objectives utilisables, elles dépendent non seulement du potentiel génétique du cheval (exprimé lors de sa performance en course) mais aussi des conditions d'environnement dans lesquelles ces observations ont été faites. Pour être en mesure d'estimer le potentiel génétique (valeur d'élevage) de l'individu, il est dès lors important de déterminer la part due à l'environnement dans la réalisation des performances de course. En conséquence, la **deuxième étude** de cette thèse est consacrée à l'estimation de l'impact des facteurs non-génétiques, tels que le sexe, l'âge, l'année de la performance et les interactions entre ces différents facteurs sur les performances de course (gain et rang) du pur-sang arabe et pur-sang anglais. De nombreuses études ont montré que ces facteurs non génétiques influençaient de manière importante les gains et les rangs des chevaux dans les courses de plat (Langlois 1975; Langlois & Blouin 1998; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007). La **troisième étude** de la thèse porte sur l'évaluation et l'estimation des paramètres génétiques des performances de course (héritabilités et corrélations phénotypiques, génétiques et environnementales) calculées à partir de l'estimation des composantes de variances et de covariances des performances de course. Enfin la **quatrième étude** concerne l'évaluation et l'indexation génétique des chevaux par le calcul de la valeur d'élevage des reproducteurs. Cette étude permet de classer les chevaux pour sélectionner les meilleurs reproducteurs dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique des performances des chevaux de course en Algérie.

Dans une revue de la littérature, nous nous proposons de rappeler dans une première partie un certain nombre de données relatives au cheval de course de galop et à ses caractéristiques, le contexte politique actuel dans lequel évolue la production équine, à l'organisation administrative de l'élevage, aux organismes et manifestations qui lui sont afférents. Enfin, dans une deuxième partie nous ferons la synthèse des travaux

déjà réalisés sur le thème de l'amélioration génétique des chevaux de course de plat dans le monde. Ensuite, nous présenterons les quatre études réalisées dans le cadre de cette thèse, en décrivant pour chacune d'elles le matériel et les méthodes utilisés pour recueillir les données nécessaires ainsi que les méthodes statistiques utilisées, puis nous présenterons les résultats obtenus et nous les discuterons dans une dernière partie. Enfin, nous concluons avec les perspectives de faisabilité d'un programme de sélection basé sur les index génétiques que nous aurons calculés.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

Partie 1 : situation de la filière équine et de l'élevage des chevaux de course en Algérie

1 Organisation technique et administrative de l'élevage équin en Algérie

1.1 Historique de la filière équine en Algérie

Nous ne pouvons pas présenter la situation de l'élevage des chevaux de course sans évoquer ce très bref aperçu historique, tout en insistant sur le fait que la filière équine évolue dans un environnement avec lequel elle est étroitement liée et qui conditionne souvent ses activités.

Au lendemain de l'indépendance en 1962, l'Algérie a hérité d'une jumenterie, celle de Tiaret, de trois dépôts de reproducteurs (Constantine, Oran et Blida) et d'une soixantaine de stations de monte. Cet ensemble été géré directement par le Ministère de l'agriculture.

La période de 1976 à 1986 a vu, notamment, la création de l'Institut de Développement de l'Elevage Equin (IDEE). Cet institut a souffert des contraintes d'une gestion trop administrative, sans résultats au final.

De 1986 à 1996, le secteur équin connut une période faste, une réorganisation correctement pensée et une mise en application des objectifs. Il s'agit de la création de l'Office National de Développement de l'Elevage Equin et Camelin (ONDEEC) à la place de l'IDEE, de la réorganisation de la Fédération Algérienne des Sports Equestres (FASE) en Fédération Equestre Algérienne (FEA) et de sa déclaration d'utilité publique, de la création de la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM) en remplacement de la société des courses du caroubier à Alger. La clé de la rénovation de cette architecture à trois organes (ONDEEC, SCHPM, FEA) réside dans la redistribution des fonds issus du Pari Mutuel (gérés par la SCHPM) vers les deux autres structures, appliquant donc le principe simple mais fondamental selon lequel « l'argent du cheval revient au cheval ». Grâce à ce principe, le secteur du cheval s'est trouvé les voies et les moyens d'autofinancer ses activités les plus diverses. Cette période a vu également la réorganisation des structures du Ministère de l'Agriculture pour compléter cette architecture, aboutissant à la création de la Sous-direction des Haras au sein de la Direction des Services Vétérinaires (DSV).

La période allant de 1996 à 2001 est marquée par une stagnation des activités, due essentiellement au problème sécuritaire et à une conjoncture économique peu propice aux parieurs, entraînant une forte régression des recettes du PMU. Au plus fort de ces troubles, toutefois, jamais les activités de la filière équine, en particulier les courses hippiques, n'ont été arrêtées et les organismes de la filière sont toujours restés actifs.

A partir de 2001, une très nette amélioration de l'ensemble du secteur a été impulsée par l'embellie de la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM), véritable « banque du cheval ». La réorganisation des statuts de l'Office (ONDEEC) devant le faire bénéficier des subventions de l'Etat pour les missions de services publics (gestion des stud books), ainsi que la promulgation de l'arrêté régissant l'organisation interne de la SCHPM, sont autant d'éléments qui confortent cette embellie et permettent d'entrevoir l'avenir avec beaucoup d'optimisme. Une amélioration tangible des recettes financières issues du PMU a pu être observée, notamment grâce à une reprise en main de la SCHPM par le Ministère de l'Agriculture. Les structures bénéficiaires ont ainsi pu s'acquitter des dettes accumulées, relancer leurs activités et entamer une modernisation des moyens de gestion technique et financière des activités de la filière, tel que l'identification électronique du cheptel, l'informatisation du PMU, l'enregistrement des naissances ainsi que l'élaboration et l'édition des stud-books des races équines pures, particulièrement celui du pur-sang arabe. Une restructuration de la filière reste cependant nécessaire et des mesures innovantes sont à mettre en place tel que l'informatisation des résultats des courses et des stud-books, qui restent la base de travail pour l'indexation et l'estimation de la valeur génétique des reproducteurs. Cette avancée présenterait dès lors un avantage immédiat pour la gestion du progrès des races équines en Algérie (Pur-sang arabe et anglais).

1.1 Organisation administrative actuelle : structures et établissements équins

Sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), la Direction des Services Vétérinaires (DSV), par le biais de la Sous-direction des haras, est chargée de réglementer, certifier, coordonner et suivre les activités des structures de la filière équine. Ces structures sont :

1.1.1 L'Office National de Développement de l'Élevage Équin et Camelin (ONDEEC)

Il est chargé de la production et de l'amélioration génétique de l'espèce équine et cameline, et de la préservation des races équines pures et est situé à Tiaret. Par la gestion des stations de reproduction ainsi que la gestion de l'administration de la monte publique (documents techniques utilisés dans la reproduction et l'identification), l'Office met les étalons reproducteurs agréés pour la monte à la disposition des éleveurs privés ; l'agrément des étalons est délivré en dehors des questions de génétique pure, qui reste une question pas du tout abordé pour les élevages chevalins en Algérie (aucun index ni estimation des paramètres génétiques des chevaux). Pour les éleveurs particuliers, aussi bien pour les chevaux importés ou nés et élevés en Algérie, l'agrément à la monte publique se fait à la demande de l'éleveur, avant la saison de monte. L'étalon présenté pour l'agrément est jugé par la commission d'agrément (officiellement constituée par la tutelle), son choix doit répondre aux critères mentionnés dans l'arrêté ministériel relatif à l'agrément à la monte publique :

- disposer de documents d'accompagnements officiels et appartenir à une race reconnue en Algérie ;
- être sain et exempt de tares ou vices rédhibitoires (certificat sanitaire faisant foi),
- être âgé d'un minimum de 4 ans ;
- être de bonne conformation ;
- être stationné dans une exploitation répondant aux exigences de l'élevage, et facile d'accès pour les juments se présentant à la saillie ;
- un étalon peut être autorisé à la monte s'il est susceptible de maintenir la race, et agréé à la monte publique s'il est susceptible d'améliorer la race.

Pour les étalons étatiques, ils sont dispensés d'agrément car l'Office est censé mettre au service de l'éleveur des étalons d'élite dans les stations de monte placées sous sa tutelle. Ces étalons sont choisis selon les qualités propres de l'étalon (son aspect athlétique, ses allures, sa morphologie, son ascendance pour éviter les problèmes de consanguinité et surtout ses performances), l'intégrité de l'appareil génital mâle, la fertilité de l'étalon et la fréquence de son apparition comme père de vainqueurs.

Il n'existe aucun texte qui permet de réformer un étalon. Une fois qu'un étalon a obtenu son agrément, il peut saillir jusqu'à sa mort.

Concernant les poulinières, il n'existe pas de sélection inscrite dans les textes de l'ONDEEC ; toute jument née est autorisée à être mise à la reproduction.

L'Office dispose de trente stations de monte réparties à travers le territoire national, en particulier au niveau des régions steppiques. Ces stations de monte disposent chacune de 5 à 10 reproducteurs mâles agréés destinés à la couverture des juments du secteur privé. Aux fins de préserver la pureté des races équines algériennes, l'ONDEEC, en collaboration avec la DSV et la SCHPM, a entamé à partir de 2007 une opération d'identification et de contrôle de filiation de chevaux de pur-sang arabe dans différents hippodromes et leurs proximités. L'identification (contrôle de la filiation) se fait par typage d'ADN, les analyses se font au niveau du laboratoire français « LABOGENA », le financement de cette opération est assuré par la SCHPM. Cette opération constitue une première qui donnera une crédibilité au secteur et facilitera la participation des chevaux algériens aux différentes manifestations internationales. Entre 2008-2009, au total 790 chevaux pur-sang arabes ont été contrôlés, ce nombre concerne tous les chevaux arabes vivants, nés jusqu'en 2007. S'ensuivit en 2010 une deuxième opération et qui concerne ceux nés entre 2008 et 2009. Ainsi aucun cheval pur-sang arabe ne peut être inscrit au stud-book algérien sans qu'il ne soit contrôlé par ADN, et en conséquence il ne peut en aucun cas pratiquer une activité quelconque. L'identification des autres races suivra au fur et à mesure. Parmi les activités de l'ONDEEC, citons aussi la gestion et la publication des livres généalogiques des chevaux de races pures (stud-book).

1.1.2 Les haras et jumenteries de l'élevage équin

Le haras est un établissement public ou privé qui détient des reproducteurs agréés à la monte publique et qui sont mis pendant la saison de monte (février-juin) à la disposition des éleveurs soit directement au niveau de cet établissement, soit au niveau des dépôts de reproducteurs et/ou des stations de monte.

* *La jumenterie de Tiaret*, dénommée haras de « chaouchaoua », fleuron de l'élevage équin algérien, est chargée de la production et de l'amélioration génétique des chevaux de race arabe. Elle possède actuellement un effectif de 174 reproducteurs qui produisent annuellement 123 poulains (Bouakkaz 2011). Dès la première semaine, les poulains essayent leurs petites jambes dans les paddocks jouxtant les écuries. A l'âge de six mois, les poulains sont progressivement sevrés, puis débouffés et dressés pendant presque deux années (Figure 2). Les meilleurs produits évalués

selon les critères du standard de la race, de la conformation ainsi que leur statut sanitaire sont gardés pour le renouvellement des reproducteurs, les autres sont vendus pour les courses hippiques et les sports équestres.

* *La jumenterie d'el Karma à Oran* est chargée de la production de chevaux de race barbe.

* *La jumenterie de Barika* est spécialisée dans la production de chevaux de pur-sang anglais.

* *La jumenterie de chebli à Blida* est une jumenterie privée spécialisée dans la production de chevaux de pur-sang anglais.

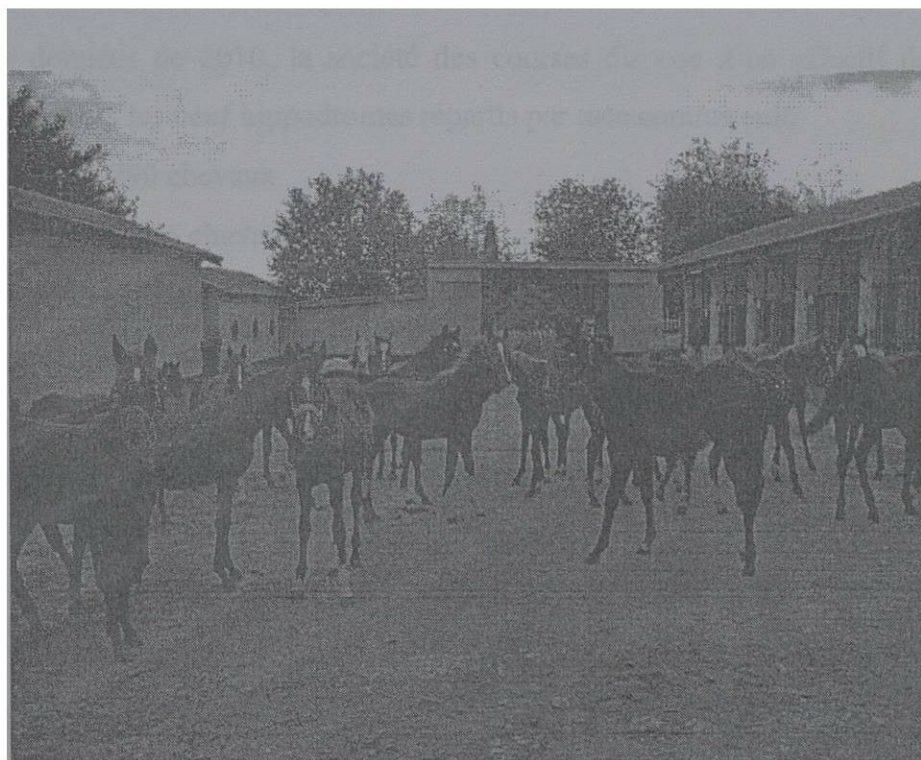


Figure 2 Poulains pur sang arabe (jumenterie de Tiaret photo prise en 2006)

1.1.3 La Fédération Equestre Algérienne (FEA)

Elle est chargée de l'organisation des épreuves de sport équestre modernes (concours complet, endurance, dressage, voltige...) et de l'équitation traditionnelle (fantazia). Lui sont affiliées 23 ligues équestres de wilaya (Départements) avec 150 associations et 24 clubs d'équitation moderne regroupant un effectif global de 2000 têtes pour plus de 17000 cavaliers, modernes et traditionnels (MADR 2009).

1.1.4 La Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM)

La Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel (SCHPM) a été créée en 1987. Elle a pour missions fondamentales l'organisation et le fonctionnement des courses hippiques et du Pari Mutuel Urbain (PMU). Elle détermine toutes les normes dans le domaine des courses hippiques, notamment celles concernant:

- l'élaboration, l'édition ainsi que l'application du code des courses ;
- l'édition du bulletin officiel des résultats de course ;
- la gestion des hippodromes ;
- l'enregistrement des propriétaires ;
- la programmation ainsi que la dotation des courses ;
- l'établissement des fichiers de performances des chevaux.

Selon les données de 2010, la société des courses dispose d'un effectif de 1458 chevaux à travers les neuf hippodromes répartis par race comme suit:

Pur sang arabe : 790 chevaux

Pur sang anglais : 406 chevaux

Cheval français trotteur : 93 chevaux

Arabe barbe : 169 chevaux

La société des courses organise en moyenne 600 courses par an, sur les 9 hippodromes (Figure 3):

- Zemmouri (Emir Abdelkader), hippodrome international
- Caroubier (Alger)
- Oran (Es-Senia)
- Tiaret (Kaid Ahmed)
- Djelfa (Sidi Naïl)
- Sétif (El eulma, Bazer Sakhra)
- M'sila (Guellab Attia)
- Barika (Guiri Aïssa)
- Laghouat (Parc des loisirs)

Aussi, la SCHPM dispose de 24 agences de PMU à travers le pays.

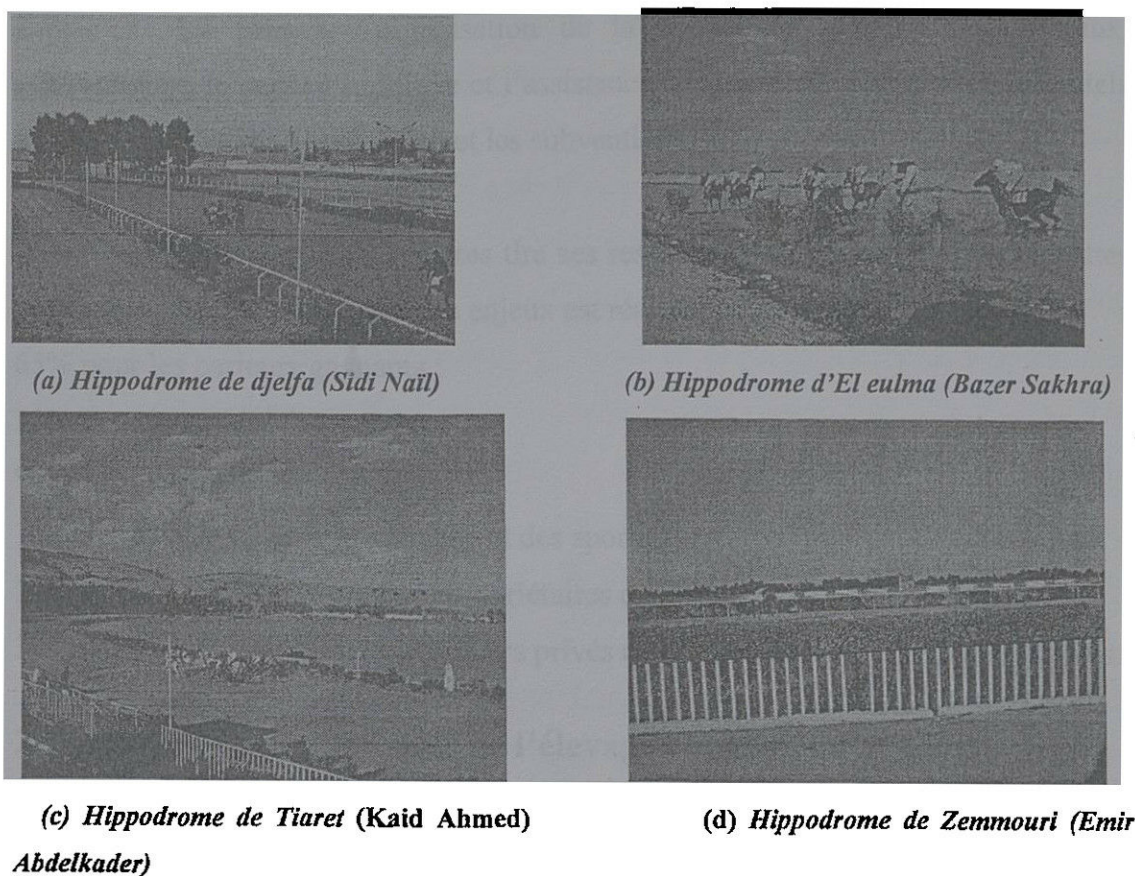


Figure 3 Photos de quelques hippodromes en Algérie

Au plan mondial, c'est la Fédération Internationale des Courses de Chevaux Arabes (International Federation of Arabian Horse Racing, IFAHR) qui assure la promotion des courses de chevaux arabes. Fondée officiellement en 1999, cette organisation a pour objectifs : de développer, professionnaliser et promouvoir les courses de chevaux arabes dans le monde (IFAHR 2007).

Au total 26 pays adhèrent à l'IFAHR, dont l'Algérie depuis 2003, ce qui représente approximativement 6000 courses annuelles de pur-sang arabe. Les pays présentant les programmes les plus exclusifs avec le plus grand nombre de courses sont : Algérie, Egypte, France, Maroc, Pologne, Qatar, Russie, Tunisie, Turquie, Grande Bretagne, USA et Émirats Arabes Unis (IFAHR 2007).

1.1.5 L'association nationale des éleveurs et propriétaires de chevaux de races pures (ANEPCRP)

Elle regroupe l'ensemble des propriétaires-éleveurs et autres personnes concernées par la promotion des chevaux de race (le pur-sang arabe, le barbe et le pur-sang anglais). Elle œuvre quotidiennement à l'avantage des éleveurs dans tous les

domaines : les primes, l'organisation de la couverture sanitaire des chevaux, l'information, le conseil juridique et l'assistance concernant la recherche d'aides tels que le plan de soutien à l'élevage et les subventions.

L'ensemble de toutes ces structures tire ses ressources de la répartition des recettes issues du PMU. La répartition des enjeux est réalisée comme suit :

65% pour les parieurs gagnants ;

13% pour la société des courses ;

9% pour l'ONDEEC ;

7% pour le ministère de la jeunesse et des sports ;

3% pour les collectivités locales propriétaires des hippodromes ;

3% pour l'encouragement des éleveurs privés détenteurs des chevaux de races pures.

2 Présentation des activités de l'élevage chevalin en Algérie

2.1 Les différents types d'activités chevalines en Algérie

Les principales activités chevalines organisées en Algérie sont la fantazia, les courses hippiques, le saut d'obstacle et le raid d'endurance. Les deux dernières disciplines sont de développement récent, alors que la fantazia est une tradition équestre ancestrale. Elle s'organise autour de neuf ligues régionales équestres au niveau de toutes les régions du pays. Le saut d'obstacle est une discipline qui connaît un certain engouement depuis ces dernières années, elle est pratiquée dans 22 centres équestres en Algérie, regroupant des chevaux de races le plus souvent croisées entre pur-sang anglais et d'autres races (appelés les AQPS «Autres Que Pur Sang»). Le raid d'endurance est une nouvelle discipline qui est née à la fin des années 80, avec des raids à Bordj El Bahri, Tiaret et Mostaganem. Les concours de modèle et allure et les horse shows sont le sujet de réflexion pour les développer et les insérer dans les activités équestres (Bouakkaz 2011). Les courses hippiques, qui font l'objet de cette thèse, regroupent des chevaux de courses pur-sang arabes, pur-sang anglais. Ces chevaux de courses appartiennent en majorité à des propriétaires privés.

2.2 Historique des courses hippiques en Algérie

Les courses en Algérie datent de temps immémoriaux. Le premier hippodrome a été construit au début du 20^{ème} siècle, avec ce qu'on appelait à l'époque les courses de province. Des hippodromes ont été créés par l'administration coloniale avec des chevaux de courses (pur-sang anglais, les autres que pur sang « AQPS » et le barbe).

Les courses de fantazia ont été pratiquées depuis très longtemps, sur la base de chevaux barbes et arabes barbes. La société des courses du caroubier était l'unique hippodrome après l'indépendance et l'est resté pendant deux décennies. Aujourd'hui, les courses hippiques se déroulent dans 9 hippodromes sous l'égide de la SCHPM. 790 pur-sang arabes (présents dans tous les hippodromes du territoire national), 406 pur-sang anglais, 93 trotteurs (à l'hippodrome de Zemmouri) et depuis 2002, 169 arabes-barbes (dans les hippodromes de Djelfa et de Laghouat) y participent. Ces effectifs sont en augmentation, suite aux importations répétées de galopeurs et à la production équine nationale. Les courses hippiques organisées actuellement en Algérie se font dans les catégories suivantes : la discipline du plat au galop représente 90% des courses, le reste est représenté par les courses de trot.

À travers les résultats des courses publiés par la société (SCHPM), il ressort que le nombre moyen annuel de course des chevaux pur-sang arabes est de 300 courses soit 73%, suivi du pur-sang anglais avec 110 courses en moyenne et par année soit 27% (Bouakkaz 2011). Il apparaît donc que, bien que minoritaire au niveau de l'effectif équin total, le pur-sang arabe, par sa participation aux courses plus importantes et les recettes du PMU dont il rafle 60% des recettes attribuées aux courses hippiques (Benabdelmoumene 2002), peut être considéré comme étant la première race dans les courses de plat en Algérie.

2.3 Pur-sang arabe et anglais

2.3.1 Le pur-sang arabe

Le pur-sang arabe est un cheval de selle, d'endurance, de trait léger et rapide (Figure 4). Dans le monde, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'histoire de la race pur-sang arabe et à ses origines, ce qui a donné lieu à différentes hypothèses (Silver 1976; Bongiani 1987; Frown 2000). Toutefois, il est communément admis que le pur-sang arabe est pratiquement la plus ancienne race chevaline sélectionnée par l'homme. Son berceau d'origine est le désert du sud-ouest de l'Arabie saoudite, où il a fait l'objet d'une sélection à la fois sur des critères morphologiques et zootechniques. Apprécié pour ses qualités de coursier, il a depuis connu une diffusion mondiale et fut utilisé comme améliorateur de l'essentiel des races chevalines, en particulier celle du pur sang anglais. De nos jours, le pur-sang arabe domine les courses d'endurance. Il est également populaire dans les courses de plat surtout en France et dans les pays arabes, les concours de beauté (les shows) ou pour la selle (PIA 2009).

Les bédouins pratiquèrent l'élevage sélectif du pur-sang arabe au VIème siècle après J.-C. Selon la classification de RASWAAN (Bongianni 1987), grand spécialiste en la matière, ces chevaux se divisent en trois types faisant l'objet d'élevage distinct : le kocklani, le pur sang arabe et la race arabe. Le premier, appelé selon les tribus kohwail, koheil, khamsa ou kamsat, représenterait le véritable cheval arabe des bédouins.

Le kocklani se subdivise en trois sous-races principales :

- le kehailan ou kuhaylan, symbole de la résistance et de l'endurance,
- le siglavy ou seglevi, image de la beauté et de l'élégance,
- le muniqi ou munighi, expression de la plus parfaite vitesse, qui se distingue par son type plus longiligne.

Le pur-sang arabe serait issu du croisement des trois sous races sus-mentionnées, tandis que la race arabe recueillerait tous les sujets d'origine mal définie ou comptant dans leur hérédité du sang barbe, persan, syrien, arabe égyptien ou d'autres races affines.

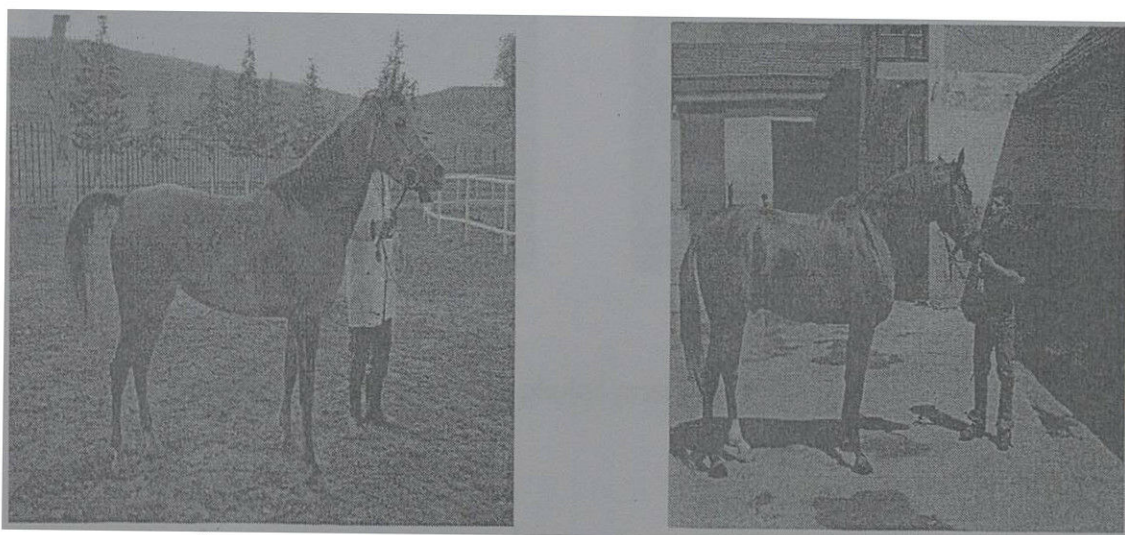


Figure 4 Etalon pur-sang arabe au haras de Tiaret (à gauche) Kache de carrere pur-sang arabe Zemmouri (à droite) photos prise en 2006

2.3.2 Le pur-sang anglais

L'origine du pur-sang anglais est la Grande Bretagne, sa répartition est mondiale. C'est le cheval de course par excellence (course de galop sur plat ou sur obstacle, selle, concours hippiques, dressage...) (Figure 5).

Sélectionné pour ses aptitudes à la vitesse, le pur-sang anglais domine les courses depuis la création de la race à partir de chevaux orientaux et de juments anglaises, au début du XVIIIème siècle en Angleterre, selon Lesaffre (1964) et Bongiani (1987). Les pur-sang anglais actuels procèdent tous de trois étalons d'origine orientale, marquant les futures lignées : le bai Byerley Turk (d'origine turque), le bai sombre Darley Arabian (d'origine arabe) et l'autre bai sombre Godolphin Arabian (d'origine barbe) parfois appelé à ce titre Godolphin Barb (Willett 1975; Wright 1989; Evans *et al.* 1995; Cunningham *et al.* 2001). Quant aux 100 poulinières sélectionnées et inscrites au stud-book général, seules une quarantaine d'entre elles ont perpétué la lignée directe des juments jusqu'à nos jours. Ces juments, soumises à une sélection rigoureuse effectuée grâce à de constants apports de sang oriental, constituent les Royal Mares (les juments royales).

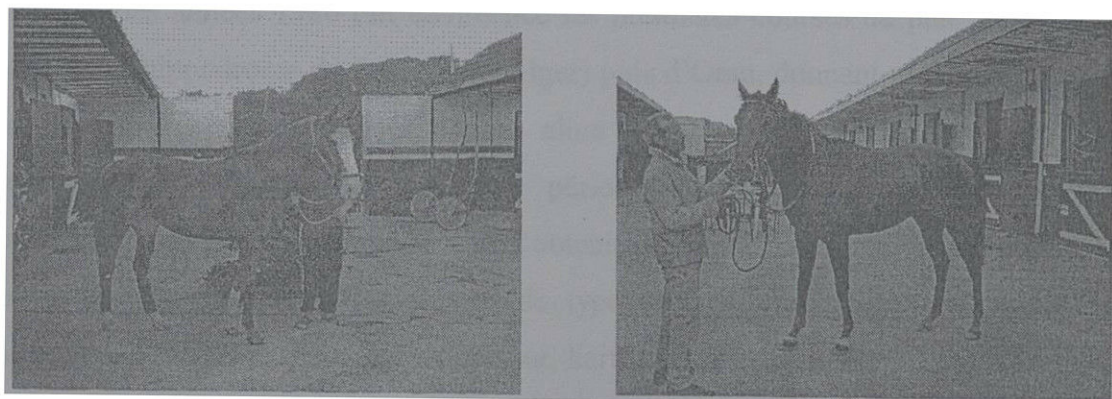


Figure 5 Pur-sang anglais photos prises en 2007 à zemmouri

2.3.3 Situation du pur-sang arabe en Algérie

L'histoire du pur-sang arabe en Algérie remonte probablement à l'invasion arabe, 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 (Rahal 2005).

Ce sont les armées françaises qui ont institué des croisements entre le pur-sang arabe et le barbe, pour obtenir un modèle plus adapté à la guerre.

Le cheval arabe a été introduit en Algérie au 19ème siècle. Créé par l'administration coloniale, le haras de Tiaret a été dès 1877 un centre important pour produire des élites de reproducteurs (étalons et poulinières) pour le Maghreb et la Métropole française. Deux étalons célèbres ont particulièrement contribué à la formation des souches du haras national de Tiaret : El managhi et Bango. Ces derniers ont fortement marqué notre élevage. Beyrouth, un fils de Bango, a longtemps officié comme étalon de race. Né à la jumenterie de Tiaret en 1938, la littérature française le décrivait comme une réussite parfaite de beauté et d'harmonie dans les formes, alliées à une vitesse exceptionnelle. En 1945, trois étalons de l'orient, Zilzal, Masbout et Ghalbane, sont venus compléter le noyau qui a constitué la base de l'élevage.

A l'indépendance de l'Algérie en 1962, le pur-sang arabe était utilisé en croisement avec le barbe local pour la production de l'arabe-barbe, cheval de selle très répandu.

A partir des années 1980 ont commencé les premières courses de plat de chevaux arabes, à l'hippodrome du Caroubier (Alger) puis d'Oran, donnant un nouvel essor à la race. Les chevaux utilisés étaient alors majoritairement nés et élevés à la jumenterie de Tiaret. C'est à cette période qu'ont commencé les premiers croisements de pur-sang arabe en vue d'obtenir des modèles galopeurs. Au départ, le haras de Tiaret utilisait des étalons de type oriental, importés quelques années auparavant de Suède (Rhaman, Almansur, karthago), d'Angleterre (Count Hazarnee, kaspian), de France (Simoun) et de Pologne (Aranda). Ces étalons servaient exclusivement à la monte et n'ont donc jamais couru. Ils comptèrent de grands champions tels que Dimachk, Mesk ou Nakhtar parmi leur descendance.

Afin de prémunir la race de croisements incontrôlés, l'élevage du pur-sang arabe a été centralisé au haras de Tiaret, avec obligation aux propriétaires d'amener leurs poulinières au haras en début de saison de monte, pour la saillie et pour le poulinage. Les produits étaient de ce fait authentifiés et enregistrés par les services concernés. Cette mesure a permis de certifier que les produits sont d'authentiques pur-sang arabes. Le stud-book algérien est de ce fait reconnu par les instances internationales (WAHO).

A partir de 1990, les propriétaires du secteur privé ont commencé à importer des chevaux pur-sang arabes destinés essentiellement aux courses. Cette situation durera

jusqu'en 2002, date à laquelle la Sous-direction des Haras du Ministère de l'Agriculture a permis aux éleveurs d'effectuer des saillies avec des étalons privés ayant obtenu l'agrément de monte, un typage d'ADN étant utilisé pour la certification des produits en cas de nécessité ou de doute sur la filiation.

Un bilan des résultats des saillies par les étalons établi par le Haras de Tiaret et l'ONDEEC en 2009, montre qu'au vu du nombre de poulinières pur-sang arabes affecté à chacun des étalons, les plus sollicités sont : Simoun, Rhaman, Count-Hazarnée, Bango II, Almansur, Karthago, Kaspian, Dimachk, Nakhtar, Hissab, Mesk, Hammam, Hassif. Force est de constater que les choix des étalons ne sont pas tout à fait justifiés par rapport aux résultats des courses ; en effet, et à titre d'exemple, sur les 13 étalons pur-sang arabes sus-mentionnés, quatre seulement d'entre eux ont participé aux courses (Nakhtar, Mesk, Hammam et Dimachk).

A partir de 2003, l'importation de chevaux pur-sang arabes spécialisés dans les courses (origines Tidjani, Dormane...) va bouleverser la donne, ceux-ci commençant à gagner une majorité des dotations. Nous avons calculé par exemple que sur 39 courses, le cheval Kach de Karrere (fils de Tidjani) a gagné 24 fois les premières places et a été classé 9 fois deuxième, 3 fois troisième et 2 fois quatrième. Pour le cheval Aissane (fille de Tidjani), sur 67 courses, elle a gagné 13 fois la première place, 22 fois la deuxième place, 7 fois la troisième place et 1 fois la quatrième place (résultats bulletins des courses de la SCHPM 1992-2007).

En 2010, l'Algérie a reçu et pour la première fois, le trophée attribué par l'Organisation Mondiale du Cheval Arabe (WAHO). Le trophée « WAHO Trophy » a été décerné au cheval DIABLE DU DESERT (de Djades de France et Macebana de Pologne) importé et né en 2007, il a remporté la course la plus prestigieuse dans le pays, le "Grand Prix du Président de la République".

L'élevage algérien est resté fermé sur lui-même depuis une vingtaine d'années et ne pouvait plus rivaliser avec les récentes lignées de l'élevage international, et particulièrement français, lequel est depuis une quinzaine d'années, le meilleur au monde (Lemaire 2003). Les éleveurs algériens ont ainsi commencé à importer des étalons d'élevage français, de qualité probablement supérieure à ce qui existe en Algérie.

3 Situation de la reproduction des chevaux de course en Algérie

Les pratiques de reproduction équine en Algérie restent encore traditionnelles. Toutes races confondues, la monte en main reste la technique la plus pratiquée, elle représente 100% des saillies effectuées chez le pur-sang anglais étant donné l'interdiction de l'utilisation de l'insémination artificielle dans cette race. Cependant chez le pur-sang arabe, la jumenterie de Tiaret en collaboration avec le Centre National d'Insémination Artificielle et d'Amélioration Génétique (GNIAAG), a introduit depuis 2007, et à la demande de la WAHO, l'utilisation de l'insémination artificielle avec de la semence fraîche utilisée surtout sur des juments du secteur étatique. Elle représente 1% des saillies contre 99% des saillies en monte libre. Après la saillie, la jument sera déclarée gestante par l'éleveur en cas de non retour en chaleurs 8 à 21 jours plus tard (Rahal *et al.* 2006). Notons que depuis 2004, et dans l'objectif de diagnostiquer plus efficacement les femelles gestantes, les jumenteries algériennes ont introduit l'échographie pendant la saison de monte. Une synthèse des bilans de saison de monte des années 2000 à 2011 (ONDEEC 2012) concernant les étalons pur-sang arabe et pur-sang anglais étatiques et privés en activité est illustrée par la figure 6.

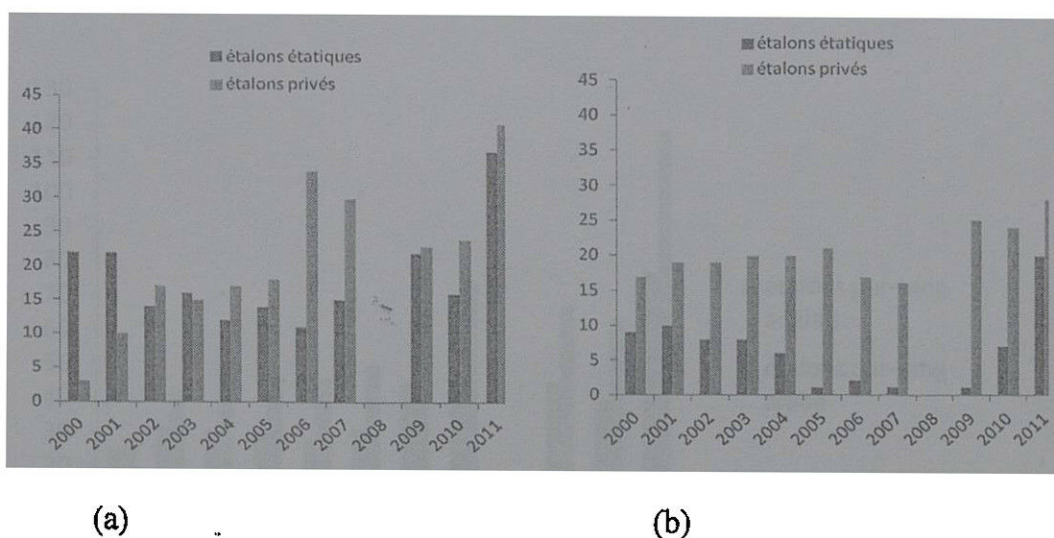


Figure 6 Effectifs des étalons pur-sang arabes (a) et pur-sang anglais (b) étatiques et privés en activité (pas de chiffre répertorié pour 2008)

Il apparaît très bien que l'effectif d'étalons pur-sang arabe étatiques agréés a tendance à diminuer légèrement avec les années (notamment de 2000 à 2007) en comparaison avec les étalons pur-sang arabes privés et agréés par l'ONDEEC. Ceci pourrait être expliqué d'une part, par l'autorisation délivrée aux éleveurs d'importer

des chevaux à partir de 2002 lesquels ont été agréés en 2003. Une autre explication est que le cheptel des étalons étatiques est très vieillissant. Leur état général est altéré suite à une alimentation déséquilibrée et inappropriée, couvrant à peine la ration d'entretien en pleine période de monte et d'activité (Wolter 1975; Gadoud *et al.* 1992), la limite d'âge est souvent dépassée de sorte que leur fertilité est fort contestée par les éleveurs. En 2011, les effectifs des étalons étatiques agréés pour la monte a nettement augmenté, cette ascension observée au niveau étatique en matière d'effectifs des étalons est due à l'acquisition de reproducteurs par l'ONDEEC en 2010 d'où leur utilisation en 2011, notons que cette acquisition a été subventionnée par le MADR.

Concernant l'effectif des étalons pur-sang anglais, la tendance est à la régression légère dans le secteur étatique surtout entre 2004 et 2009, alors que pour le secteur privé, on observe une constance dans les effectifs. En 2011 l'augmentation importante des effectifs est identique à celle observée chez le pur-sang arabe.

L'effectif total des étalons du secteur privé et étatique dans les deux races de pur-sang est illustré par la figure 7.

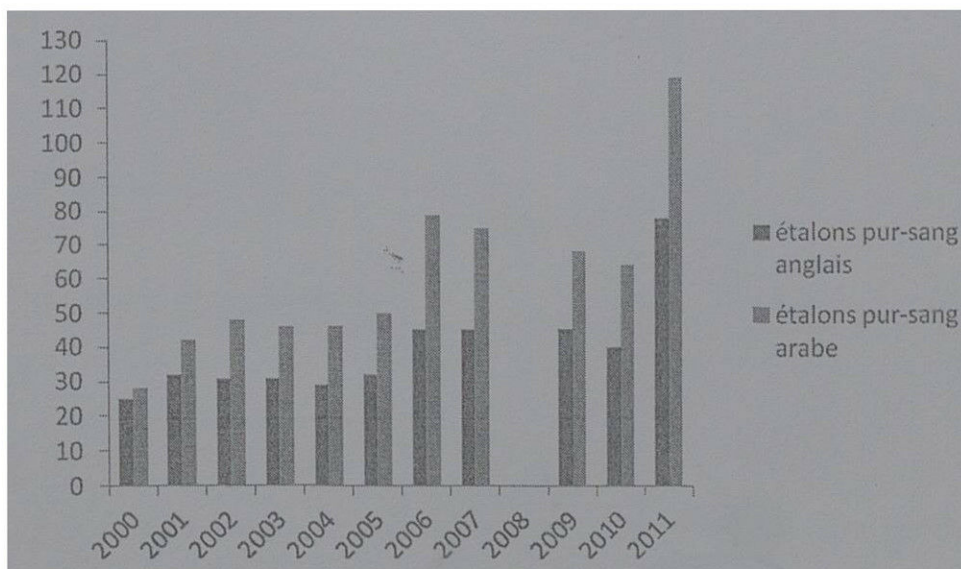


Figure 7 Effectif total des étalons du secteur privé et étatique dans les deux races (pas de chiffre répertorié pour 2008)

La figure 7 fait apparaître la part importante occupée par le pur sang arabe. Comme déjà dit, cette importance provient de l'importation substantielle d'étalons par le secteur privé. Notons aussi que pendant les dernières années, il a été enregistré des naissances plus importantes de pur-sang arabes que de pur-sang anglais, qui est en

régression. En effet, la race pur-sang arabe est en pleine ascension compte tenu de l'engouement et de l'importance de cette race dans les courses de plat en Algérie.

En conclusion à cette première partie de revue de la littérature et des archives consultés sur la : *situation de la filière équine et de l'élevage des chevaux de course en Algérie*, nous pouvons constater que nous ne disposons actuellement pas d'un système donnant des recommandations précises pour l'élevage et la sélection d'un cheval de course sur la base de données empiriques complètes ou entièrement accessibles et applicables à l'ensemble des chevaux de course. L'enquête initiée dans **la première étude** de cette thèse a donc été menée pour enrichir et affiner nos connaissances actuelles sur ce sujet.

Partie 2 : synthèse de la littérature sur l'évaluation génétique des chevaux de course de plat

L'analyse génétique des performances de course des pur-sang a été faite dans quelques pays par un petit nombre de chercheurs qui sont auteurs de la plupart des publications. Les investigations visaient à obtenir les estimations de l'héritabilité des performances des chevaux et ont été résumées dans les études rapportées par (Hintz 1980; Langlois 1980a; Tolley *et al.* 1985).

Est-ce que l'aptitude à la course est héritable ? Comment peut-on sélectionner des reproducteurs capables de transmettre à leurs descendants une bonne aptitude sportive ?

Les caractères qui nous intéressent sont des caractères quantitatifs, mesurables, lesquels présentent une variation continue et sont déterminés par un nombre de gènes élevé. L'expression de ces caractères dépend de deux grands facteurs, l'environnement et la génétique. Elle peut être schématisée par l'équation classique :

$$\mathbf{P = G + E}$$

P : performance = valeur phénotypique

G : valeur génotypique

E : effet du milieu

Dès lors, la variance totale ou phénotypique d'un caractère mesurable peut être fractionnée en une partie due à la variance génétique et une partie due à la variance due au milieu dans lequel les animaux vivent et produisent, ainsi qu'un terme de covariance entre l'environnement (E) et la valeur génotypique (G) souvent négligé. Elle peut s'écrire :

$$\mathbf{Var(P) = Var (G) + Var (E)}$$

En supposant que $Cov(GE) = 0$, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune corrélation entre le génotype et les facteurs de milieu, autrement dit que la répartition des génotypes dans les divers types de milieu est aléatoire.

Pour un caractère donné, la valeur génotypique d'un individu "G" s'explique, d'une part par l'addition des effets élémentaires de chaque gène "A" (effets additifs), d'autre part par des effets de dominance "D" et des effets d'interaction "I" entre gènes influençant le caractère étudié. Le génotype "G" peut s'écrire :

$$G = A + D + I$$

Cependant un individu ne lègue pas à ses descendants son génotype mais la moitié de ses gènes seulement. Ce qui est intéressant à connaître et à étudier, c'est l'effet de ces gènes. L'effet moyen de chacun d'eux est l'écart entre la moyenne de la population et la moyenne de la population porteuse du gène. La valeur génétique additive de l'individu est la somme des effets moyens des nombreux gènes concernés. Elle s'additionne aux effets de dominance et d'interaction pour former la valeur génotypique. C'est la valeur génétique additive qui est léguée en moyenne au descendant.

$$A_d = \frac{1}{2} A_p + \frac{1}{2} A_m + e \text{ (e: erreur aléatoire)}$$

$$E(A_d) = \frac{1}{2} A_p + \frac{1}{2} A_m \text{ (dont p=père et m=mère)}$$

Car

$$E(e) = 0$$

Dans le cadre du travail de cette thèse nous ne considérons que l'effet additif des gènes et nous supposons que $Cov(AD) = 0$, $Cov(AI) = 0$ et $Cov(DI) = 0$. Dans ce cadre la variance génétique s'écrit :

$$Var(G) = Var(A) = \sigma^2 A$$

Pour l'évaluation génétique des reproducteurs et dans le cadre de l'amélioration génétique, la connaissance de la variance génétique additive est indispensable. Son estimation ne peut être réalisée qu'après avoir identifié de la variance totale des

caractères de performances, la variance due aux facteurs d'environnement. Cette identification a pour but de réduire la variance erreur, de rendre les données comparables entre elles en évitant les erreurs systématiques et ce afin d'augmenter la précision de l'évaluation des paramètres génétiques et donc celle des reproducteurs. Cependant, et afin d'évaluer génétiquement les chevaux de course, il est nécessaire d'avoir un critère de mesure de la performance.

1 Définition des courses de plat

Les courses de plat sont répandues dans le monde. Le plat est un terme généralement utilisé dans le Royaume uni pour désigner une forme de courses de chevaux qui se disputent sur une distance prédéterminée et dans laquelle les chevaux ne vont pas sauter des obstacles tels que les haies ou clôtures. Cette forme de course est une épreuve de vitesse et d'endurance. Les distances de course sont variables, de 800 (quelques courses pour les chevaux de deux ans) à 4 000 mètres (par exemple le « Cadran » se disputant sur l'hippodrome de Longchamp à Paris). Bien que la référence historique est le « mile » anglais avec ses 1 609 mètres, les courses de plat impliquent généralement une distance de course de 1000 mètres à 2500 mètres. Les chevaux commencent à courir en général vers l'âge de 2 ans (Young *et al.* 2005).

2 Différentes mesures de la performance de course utilisées

Afin d'estimer la valeur génétique des chevaux de course, il est nécessaire de définir les critères de mesure. Traditionnellement, la valeur d'élevage d'un cheval est estimée à partir de mesure de différents critères de performance en course comme : le classement, le gain, et le temps de course. Tavernier (1990) a confirmé que pour une bonne sélection des reproducteurs, le choix du critère est un des problèmes majeurs de l'évaluation génétique des chevaux. Il y a un risque considérable de négliger d'autres potentiellement importants lorsqu'on fait la sélection sur un seul caractère (Langlois & Vrijenhoek 2004). Ainsi, l'utilisation de plusieurs caractères est avantageuse pour l'évaluation génétique (Arnason 1999; Langlois & Vrijenhoek 2004).

La sélection des pur-sang arabes et anglais est basée sur leurs performances en course, en général sur les courses de plat, les performances utilisées par les auteurs sont les gains, les rangs et les temps réalisés en course (Hintz 1980; Langlois 1980a; Tavernier 1991; Chico 1994; Langlois *et al.* 1996; Langlois & Blouin 1998; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Langlois & Blouin 2004;

Langlois & Vrijenhoek 2004; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009).

Les critères de mesures de performances en course sont classés en quatre catégories, à savoir:

1. Les temps chronométrés (temps final, meilleur temps, temps moyen)
2. Les valeurs d'handicap (handicap de poids, handicap de longueur)
3. Le classement ou rang
4. Les gains

2.1 Temps de course

Pour les courses, le temps est un choix naturel pour mesurer la performance des chevaux. Les études conduites par Dusek (1965), montrent une forte liaison avec le niveau de la course. Plus une course est importante, plus elle se court vite. Les temps ont été étudiés sous différentes formes (Artz 1961; Bormann 1964; Watanabe 1969); le temps final, le meilleur temps (record sur une distance définie) et la moyenne de tous les temps réalisés.

2.1.1 Temps final

Le temps de course se mesure comme le temps en secondes qu'un cheval met pour parcourir une distance donnée. C'est la mesure directe de la performance du cheval, sa vitesse. Il est mesuré seulement pour le vainqueur alors que pour les autres il est estimé à partir de la distance qui les sépare du gagnant. Le temps de course ou le temps final est une performance communément utilisée pour l'évaluation génétique des chevaux (Oki *et al.* 1995a; Williamson & Beilharz 1996; Villela *et al.* 2002; Ekiz & Kocak 2005; Mota *et al.* 2005; Bakhtiari & Kashan 2009).

2.1.2 Meilleur temps

Le meilleur temps est défini comme le temps le plus court des courses gagnées par le même cheval sur une distance donnée, pendant une année ou sur toute la carrière de l'animal. Ce critère reflète la vitesse maximale d'un cheval, indiquant son niveau par rapport à tous les autres animaux qui ont couru pendant la même période (Saastamoinen & Ojala 1991). Il a aussi été utilisé comme critère de sélection (Hintz 1980; Mota *et al.* 1998; Ekiz & Kocak 2005; Ekiz *et al.* 2005b).

2.1.3 Temps moyen

Le temps moyen est la moyenne des temps qu'un cheval a réalisé sur une distance donnée. Il indique seulement la vitesse relative du cheval (Hintz 1980), il a aussi été utilisé comme critère de sélection dans plusieurs études (Williamson & Beilharz 1996; Taveira *et al.* 2004; Ekiz *et al.* 2005b; Ekiz & Kocak 2007).

2.2 Valeurs d'handicap

2.2.1 Handicap de poids

Pour les courses de plat, l'handicap de poids correspond à des charges pondérales que les chevaux doivent supporter durant la course. Le poids à allouer à un cheval est évalué par l'handicapeur. L'objectif des courses à handicap est d'égaliser les chances des concurrents en affectant un handicap de poids aux chevaux jugés les meilleurs. La valeur est une traduction chiffrée en kilogramme et demi kilogramme de l'appréciation que se fait le handicapeur du niveau du cheval engagé au vu de ses performances précédentes. C'est cette valeur théorique qui déterminera le poids handicap dans les courses à handicap. Les poids handicaps sont établis par des spécialistes qui, à la fin de chaque course, déterminent les poids qui seraient imposés à chaque cheval pour arriver à la même place que les autres. Le comportement du cheval, la fréquence des sorties, ses résultats, ses performances et l'expérience du jockey sont les critères utilisés par l'handicapeur pour l'attribution de la valeur du handicap. L'écart du handicap, entre le cheval qui a le poids le plus léger et le cheval qui a le poids le plus lourd, peut aller jusqu'à 10 kg. Les poids y compris le poids du jockey et de la selle, doivent être compris entre 43,1 kg et 61,8 kg. Ainsi, un cheval estimé très performant est plus alourdi par rapport à un cheval moins performant. Le handicap n'est valable que pour la course en cours. De ce fait, la valeur du poids porté par un cheval varie d'une course à une autre. Une jument obtient une réduction de poids par rapport au mâle. De même, des poids sont retirés aux chevaux qui n'ont pas remporté de courses depuis les 5 ou 6 dernières courses accomplies (Langlois *et al.* 1983). Un cheval monté par un jockey qui manque d'expérience obtient également une réduction de poids.

L'augmentation progressive du poids transporté, a l'effet de ralentir la vitesse d'un cheval sur une distance donnée (Hintz 1980). Ces mesures sont subjectives mais plusieurs chercheurs ont utilisé l'handicap de poids comme un indicateur du niveau de performance (Hecker 1975; Bodo 1976).

2.2.2 Le taux de rendement ou «performance rates» (longueur de handicap)

Le taux de rendement est un critère de performance qui a été développé aux Etats Unis, il a été calculé selon le nombre de longueurs ou écart battu séparant chaque cheval du vainqueur de la première place. Il est aussi appelé longueur de handicap (Gillespie 1971; Porter 1971; Robertson 1971; Watanabe 1974).

L'avantage du taux de rendement sur l'handicap de poids est que le premier est une mesure objective basée sur la performance réelle (Langlois 1980a). Foye et al. (1972) ont rapporté que le taux de rendement a beaucoup plus de validité dans la mesure de la performance en course que les gains en argent. En effet, les chevaux qui arrivent à gagner de l'argent sont seulement les premiers chevaux gagnants et les plus performants. Le taux de rendement quant à lui n'est pas influencé par le mode de dotation, cependant, il présente des inconvénients tel que, l'écart battu, influencé par la distance de la course et l'état des pistes.

2.3 Classement ou rang

Il est basé sur la position finale du cheval lors de la course. Le classement à l'arrivée reflète la performance relative, mais n'indique pas la vitesse. Le rang est une pauvre performance, car il ne considère pas le niveau de la course. Par conséquent, il est rarement considéré seul et son utilisation présente aussi des problèmes car il ne suit pas une distribution normale (Langlois 1980a; Williamson & Beilharz 1996; Williamson & Beilharz 1998; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Ricard & Legarra 2010). Pour rendre sa distribution normale, et dans le cadre de l'évaluation génétique plusieurs auteurs ont utilisé différentes méthodes de transformation du rang. Hassenstein *et al.* (1996), ont utilisé la racine carré du rang ($\sqrt{\text{place}}$), Leroy & Farnir (2002), a utilisé le score bloom basé sur la loi normale standard inverse, alors que (Belhajyahia *et al.* 2003; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009) ont utilisé la déviation normale standardisée espérance du $k^{\text{ième}}$ sur les N chevaux de la course, cette valeur est fournie dans des tables statistiques.

Le rang transformé et normalisé est appelé alors score normal, ce dernier tient compte du rang et du nombre de participants à la course. Cependant les scores normalisés supposent que les niveaux de tous les concurrents dans une course sont les mêmes, alors qu'il est évident qu'ils ne le sont pas. En effet, Comme le nombre de partants affecte le score normal, il est plus difficile d'être le premier dans une course

à 50 que dans une course à 10 participants. Le deuxième problème donc à résoudre par rapport à l'utilisation de ce score normal seul est celui du niveau de la course qui est différent et dépend seulement du niveau des concurrents. Afin de corriger ce biais, tous les auteurs qui utilisent le score normal seul considèrent dans le modèle la course comme un effet fixe.

Par ailleurs plusieurs auteurs Belhajyahia *et al.* (2003); Svobodova *et al.* (2005); Langlois (2007); Bakhtiari & Kashan (2009) corrigent ce biais dû au niveau de la course par l'utilisation du rang associé au taux de rendement (performance rates). Ces auteurs considèrent que dans chaque course j , on attribue un score normal S_{ij} à chaque cheval i , la mesure de la performance P_{ij} du cheval i dans l'épreuve j , est égale à ce score additionné de la valeur de référence de la course E_{ij} . L'évaluation de la valeur C_i d'un cheval est estimée comme la moyenne de ses performances P_{ij} (Langlois 2007).

Le classement est sans doute l'approche la plus rigoureuse, mais sa transformation doit être facile à utiliser pour être généralement reconnue et utilisée dans l'amélioration génétique des chevaux de course. L'objectif de cette utilisation du classement est de trouver un accord international pour unifier les modèles utilisés dans l'analyse des résultats en compétition afin de pouvoir comparer les valeurs ou les index génétiques (Thorén Hellsten *et al.* 2008).

Cependant, une évaluation génétique internationale comme celle qui s'est développée dans le programme Interbull pour les vaches laitières, n'a pas été possible pour toutes les catégories de courses chez les chevaux. Le groupe de travail Interstallion qui a été fondée en 1998, concerne 7 pays (Irlande, Suède, Danemark, Belgique, France, Espagne et Pologne) et est patronné par la WBFSH (World Breeding Federation For Sport Horses), la EAAP ou FEZ (Fédération Européenne de Zootechnie) et l'ICAR (International Committee for Animal Recording). Son principal objectif est de décrire et de discuter des objectifs de la sélection, des tests, des procédures et des méthodes d'évaluation génétique, pour assurer une transposabilité génétique entre les pays, afin d'harmoniser et de comparer les indices génétiques entre ces pays (Interstallion, 2008).

2.4 Gains

Le gain obtenu en course est un critère couramment utilisé en pratique par la majorité des auteurs (Langlois 1975; Hintz 1980; Langlois 1980a; Chico 1994; Langlois *et al.*

1996; Sobczynska & Kownacki 1997; Langlois & Blouin 1998; Arnason 1999; Villela *et al.* 2002; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Langlois & Blouin 2004; Langlois & Vrijenhoek 2004; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009). Tous les chevaux n'ont pas tous la même capacité de gagner, dès lors le gain indique réellement ce qu'un individu peut faire en compétition (Tolley *et al.* 1985). À la fin de course, l'argent est réparti entre les chevaux selon leur classement et les gains sont distribués alors de façon exponentielle en fonction du rang à une course. Cependant, il a été montré qu'il pouvait en effet être utilisé dans le cadre d'une évaluation génétique qu'à condition d'en rectifier la distribution qui n'est pas normale (Langlois 1975). C'est ainsi que le logarithme du gain a été proposé de préférence au gain pour réaliser les analyses statistiques.

2.4.1 Les différents types de gains

2.4.1.1 Le gain annuel

C'est le revenu total d'un cheval dans une année. Il est calculé pour évaluer son rendement. Le gain d'une année reflète le niveau de performance d'un cheval par rapport à celui de tous les chevaux qui ont couru dans la même année (Thiruvendakadan *et al.* 2009). C'est un critère jugé utile et fiable par les éleveurs pour estimer le niveau de performance de leurs chevaux (Langlois & Blouin 2004).

2.4.1.2 Le gain cumulé

Le gain cumulé est défini comme la performance d'un cheval cumulée sur plusieurs années ou sur toute la durée de sa vie en course (Ricard *et al.* 2000).

2.4.1.3 Le gain moyen annuel par départ

C'est une mesure de gain annuel exprimée en fonction du nombre de départ. C'est un caractère plus précis que le gain annuel parce qu'il tient compte du nombre de départs (Ricard *et al.* 2000).

2.4.2 Transformation des gains

Pour rendre la distribution plus normale et moins biaisée, des transformations telle la transformation logarithmique ou la racine carrée des gains sont souvent utilisées (Langlois 1975; Langlois *et al.* 1983; Arnason *et al.* 1989; Moritsu *et al.* 1994; Moritsu & Ichikawa 1995; Sivestrelli *et al.* 1995; Langlois *et al.* 1996; Sobczynska & Kownacki 1996; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Svobodova *et al.* 2005). Après

application de plusieurs fonctions comme la racine carrée, la racine cubique, la racine quatrième et le logarithme naturel, Langlois (1975), a conclu que c'est cette dernière transformation qui est la plus appropriée pour normaliser au mieux la distribution des gains.

3 Les principaux facteurs de milieu (facteurs non-génétiques) influençant les performances de course de plat

Les facteurs influençant les performances des chevaux de course sont : l'âge, le sexe, l'année de la performance, le poids porté, l'état de la piste, la distance, le type d'entraînement et le jockey. (Hintz 1980; Tolley *et al.* 1985; Langlois 1990; Oki *et al.* 1994; Evans *et al.* 1995; Bowling 1996; Sobczynska & Kownacki 1997; Langlois & Blouin 1998; Villela *et al.* 2002; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Ekiz & Kocak 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009).

3.1 Effet de l'âge

Tous les auteurs s'accordent pour souligner que l'âge de l'animal a une influence significative sur les performances en course qu'il est impératif de prendre en compte lors de l'estimation des paramètres génétiques et donc lors de l'évaluation génétique des chevaux. Les performances s'améliorent jusqu'à un âge optimal (environ 9 ans) puis diminuent ensuite (Langlois 1980a). Les chevaux sont progressivement retirés des compétitions à mesure que leurs performances diminuent. Les galopeurs ont généralement une carrière très courte (maximum 5 ou 6 ans) alors que les trotteurs peuvent aller jusqu'à 10 ans. A deux ans, les jeunes chevaux participent aux courses préférentiellement sur de petites distances et à trois ans, ils doivent être prêts à courir dans les courses plus importantes. Hintz (1980), a rapporté qu'aux Etats-Unis, les meilleures performances en course des étalons, juments et hongres sont obtenues respectivement à l'âge de 4, 2,5 et 5,5 ans. Plusieurs auteurs ont également confirmé cet effet de l'âge chez les chevaux pur-sang anglais et arabes (Moritsu *et al.* 1994; Oki *et al.* 1994; Langlois & Blouin 1998; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2003; Ekiz & Kocak 2005; Mota *et al.* 2005; Ekiz *et al.* 2005a; Ekiz & Kocak 2007; Bakhtiari & Kashan 2009).

L'effet de l'âge sur le temps de course a été rapporté par plusieurs auteurs (Mota *et al.* 1998; Ekiz & Kocak 2005; Mota *et al.* 2005; Ekiz *et al.* 2005a; Ekiz *et al.* 2005b;

Bakhtiari & Kashan 2009). Oliveira (1989) et Mota *et al.* (1998) ont conclu que les animaux de 4 ans ont été nettement plus rapides en moyenne (- 0,13 s) que ceux des autres âges pour toutes les distances analysées de 1000 à 1600 m. La supériorité a été plus marquée sur de plus longues distances tel que 1500 m (- 0,16 s) et 1600 m (- 0,22 s). Bakhtiari & Kashan (2009) ont observé que les temps de course des chevaux pur-sang anglais, âgés de trois et quatre ans ont été inférieurs à ceux de deux ans. Ces résultats étaient en accord avec les résultats d'autres auteurs pour le pur-sang anglais (Mota *et al.* 2005; Ekiz *et al.* 2005b) et des chevaux arabes (Ekiz & Kocak 2005; Ekiz *et al.* 2005a). Néanmoins, dans certaines études l'effet de l'âge sur les caractères liés au temps de course de chevaux pur-sang arabe n'était pas significatif (Sobczynska & Lukaszewicz 2003).

En ce qui concerne l'effet de l'âge sur les gains et les classements chez le pur-sang anglais, Ekiz *et al.* (2005b) ont observé qu'il y avait une augmentation des gains et des classements jusqu'à 5 à 6 ans puis une diminution par la suite. Cependant ces différences n'étaient pas significatives. Langlois & Blouin (1998), ont trouvé, un effet significatif de l'âge sur les critères du gain et du gain annuel par départ. Chez le pur-sang arabe, Ekiz & Kocak (2005), Belhajyahia *et al.* (2003) ont rapporté un effet significatif de l'âge sur le classement et le gain.

3.2 Effet du sexe

Les auteurs s'accordent pour souligner l'importance de l'effet du sexe sur les performances des chevaux de course pur-sang arabes et anglais, d'autant plus que les mâles et les femelles participent aux courses et courent ensemble. Plusieurs études indiquent que le sexe du cheval a joué un rôle majeur dans les performances en course (Langlois 1975; Mota *et al.* 1998 ; Belhajyahia *et al.* 2003 ; Ekiz & Kocak 2005 ; Ekiz *et al.* 2005a ; Ekiz *et al.* 2005b ; Mota *et al.* 2005 ; Svobodova *et al.* 2005). L'effet du sexe en faveur des mâles et des hongres a bien été identifié pour la discipline du galop (Langlois 1986 ; Cunningham 2000). Les mâles ont de meilleurs gains (Langlois 1975; Ekiz *et al.* 2005b; Svobodova *et al.* 2005).

Chez le pur-sang arabe, Belhajyahia *et al.* (2003), ont montré que les mâles et les hongres ont une supériorité par rapport aux femelles pour les gains et le classement. Cependant l'effet significatif n'a été trouvé que pour les gains. Ekiz & Kocak 2005,

ont obtenu un effet significatif du sexe sur le gain annuel, gain par départ et le classement.

Chez le pur-sang anglais, Svobodova *et al.* (2005) ont trouvé un effet significatif du sexe sur le gain par course, le gain annuel, le gain sur toute la carrière et le classement. Les mêmes constatations ont été données par Ekiz *et al.* (2005b) qui ont conclu que les mâles étaient également supérieurs aux femelles pour le classement, les gains annuels et les gains par départ.

Concernant les temps de course, Ekiz *et al.* (2005a) et Ekiz *et al.* (2005b) ont observé chez les chevaux de pur sang arabe et anglais en Turquie que l'effet du sexe était significatif, les mâles étant beaucoup plus rapides que les femelles. Toutefois, Oki *et al.* (1994) ont signalé que l'effet du sexe n'était pas significatif sur les temps de course chez le pur-sang anglais japonais, cependant et par la suite, Mota *et al.* (1998) et (2005) ont observé que les mâles ont été significativement supérieurs aux femelles pour le temps de course.

3.3 Effet de l'année de course

Belhajyahia *et al.* (2003) ont trouvé chez le pur-sang arabe une diminution lente, régulière mais non significative des classements des chevaux selon l'année. En revanche, pour le gain un effet significatif a été rapporté, lequel était dû aux fluctuations de la dotation allouée et à l'inflation. De leur côté Ekiz & Kocak (2005), ont rapporté un effet de l'année qui a été significatif pour tous les gains et les temps étudiés, cependant, pour les classements ils n'ont rapporté aucun effet significatif de l'année sur le rang. Dans leur étude, les différences significatives entre les années de course pour les temps sont en accord avec ceux de Subeva (1990). Toutefois, ces résultats sont en désaccord avec ceux obtenus par Mota *et al.* (1998) et Oki *et al.* (1994) pour les temps de course chez les chevaux pur-sang anglais. Svobodova *et al.* (2005), Bokor *et al.* (2007), ainsi que Langlois et Blouin (1998) ont trouvé chez le pur sang anglais, un effet significatif de l'année sur les gains et le classement.

3.4 Effet du poids porté et du jockey

Oki *et al.* (1995b) ont signalé chez le pur-sang anglais que le jockey et le poids porté avaient un effet significatif sur le temps de la course. Bokor *et al.* (2007) chez le pur-sang anglais, Belhajyahia *et al.* (2003) chez le pur-sang arabe ont trouvé que le poids porté avait un effet significatif sur les gains et le rang. Dans leur étude, Belhajyahia

et al. (2003) qualifient cet effet comme paradoxal, car plus le poids est élevé, meilleurs ont été les résultats pour les deux critères de performance. Le handicap de poids ne semblait commencer à jouer son rôle qu'à partir de 5 kg ou plus.

3.5 Effet du type de piste

Oki *et al.* (1994) ont étudié chez les chevaux pur-sang anglais du Japon, l'effet du type de pistes (gazon et terre), et ont trouvé que cet effet était significatif sur les temps de course. Leurs résultats ont montré que les temps de courses ont été plus courts sur les pistes en gazon que sur les pistes en terre. Les mêmes résultats ont été trouvés chez les chevaux pur-sang anglais et arabe en Turquie, ces derniers ont été plus rapide sur les pistes de gazon que sur les pistes de terre (Ekiz & Kocak 2005, Ekiz *et al.* 2005b).

3.6 Effet du mois de naissance

Langlois & Blouin (1998) ont observé que le mois de naissance du cheval a un effet significatif sur le gain annuel et le gain par départ. Cette différence pourrait être due principalement à l'effet des différences d'âge réel dans la même classe d'âge. Ils ont recommandé la prise en compte du mois de naissance du cheval pour l'estimation de la valeur d'élevage.

Cette partie de la de revue de la littérature sur l'étude des paramètres non-génétiques nous a montré que les facteurs de l'environnement ont un effet sur la performance de course des chevaux. En conséquence, dans le cadre de l'estimation des paramètres génétiques des performances de courses de plat du pur-sang anglais et arabe ainsi que la prédiction de la valeur d'élevage des chevaux de course, il est important d'ajuster les performances pour les facteurs non-génétiques dont l'effet est significatif (Tableau 1), comme fait par plusieurs autres auteurs (Langlois 1975; Oki *et al.* 1994; Langlois & Blouin, 1997; Langlois & Blouin 1998 ; Belhajyahia *et al.* 2003 ; Ekiz *et al.* 2005a ; Ekiz *et al.* 2005; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007 ; Bakhtiari & Kashan 2009). D'où l'importance de la **deuxième étude** de cette thèse qui a donc été menée pour estimer les paramètres non-génétiques.

Tableau 1 Estimation des paramètres non génétiques chez le pur-sang arabe et anglais dans les courses de plat décrites dans la littérature

Race	Auteur	Pays	Caractères mesurés	Effet fixes	P-value	R ²	
pur-sang arabe	BELHAJYAHIA et al., 2003	Tunisie	Gain annuel	Âge	*		
				Sexe	*		
				Année	*		
				Poids porté	*		
			Rang transformé	Âge	*		
				Sexe	ns		
				Année	ns		
				Poids porté	*		
	Sobczyńska et Łukaszewicz, 2003	Pologne	Gain par course	Âge	ns		
				Sexe	ns		
Poids porté				***			
Ekiz et Kocak ., 2005	Turquie	Gain annuel	Âge	**			
			Sexe	**			
			Année	*			
pur-sang anglais	Langlois , 1975	France	Gain annuel	Sexe (M,H,F)	**	0.10	
				Année	ns		
				Année*sexe	ns		
				Sexe (M+H,F)	**	0.03	
				Année	ns		
				Année*sexe	ns		
	Langlois et Blouin, 1998	France	Gain annuel	Âge	***	0.02	
				Sexe	***		
				Année	***		
				Mois de naissance	***		
				Âge*sexe	***		
				Année*sexe	ns		
				Âge*année	ns		
				Gain moyen /départ	Âge	***	0.05
					Sexe	***	
					Année	***	
					Mois de naissance	***	
					Âge*sexe	***	
Année*sexe	ns						
Svobodova et al., 2005	Tchéquie	Gain par course	Sexe	***			
			Année	***			
			Année*sexe	***			
		Rang transformé	Sexe	***			
			Année	***			
		Gain annuel	Sexe	***			
			Année	***			
			Année*sexe	***			
Bokor et al ., 2007	Hongrie	Gain par course	Âge	***			
			Sexe	***			
			Année	***			
			Poids porté	***			
Bakhtiari et Kashan., 2009	Iran	Rang transformé	Sexe	ns			

ns : p>0.05, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

4 Estimation des paramètres génétiques des performances des chevaux des courses de plat

4.1 Héritabilité et paramètres génétiques

La mise en œuvre d'un plan d'amélioration génétique suppose que l'on connaisse toute une série de termes de variances et de covariances génétiques, lesquels nous permettrons d'estimer les paramètres génétiques relatifs aux caractères sur lesquels la sélection va se faire. Il s'agit de l'héritabilité, la répétabilité de chacun des caractères ainsi que des corrélations génétiques qui les lient.

L'estimation des paramètres génétiques s'obtient en décomposant la variance totale ou phénotypique en une somme de variance dues à des effets génétiques et à des effets d'environnement résiduels (Falconer & Mackay 1996).

L'estimation de l'héritabilité est le premier pas pour cerner l'importance du déterminisme génétique d'un caractère et constitue un bon indicateur quant au choix de la stratégie du programme d'amélioration génétique des performances.

4.1.1 Héritabilité

Pour évaluer un programme de sélection et prédire la valeur génétique additive d'un animal à partir des mesures de performances de cet individu ou d'animaux qui lui sont apparentés, il est indispensable d'estimer l'héritabilité du caractère étudié puisqu'elle détermine le degré de ressemblance entre apparentés et exprime la confiance à accorder au phénotype des individus en tant qu'appréciation de leur valeur génétique additive.

Si l'on définit le phénotype selon le modèle suivant :

$$P = A + E, \text{ alors}$$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_A + \sigma^2_E$$

où σ^2_P est la variance phénotypique,

σ^2_A est la variance génétique additive et

σ^2_E la variance aléatoire estimée à zéro.

L'héritabilité est alors définie comme le rapport de la variance génétique additive à la variance phénotypique.

$$h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 P}$$

4.1.2 Répétabilité

La répétabilité se définit pour des caractères s'exprimant plusieurs fois dans la vie productive d'un animal. La répétabilité est la corrélation entre performances successives ; c'est une notion importante qui permet d'estimer la part de variation expliquée par les effets d'environnement temporaires et permanents par rapport à la variation totale des performances. Elle exprime donc la proportion de la variance des performances individuelles qui sont dues à des différences aussi bien génétique qu'au milieu (Falconer & Mackay 1996). En admettant que ce sont les mêmes gènes qui s'expriment durant toute la vie productive du cheval et que certains effets d'environnement sont communs à tous ces caractères du même animal, la corrélation entre les performances successives est alors :

$$r = \frac{\sigma^2 A + \sigma^2 pe}{\sigma^2 P}$$

r : répétabilité du caractère

$\sigma^2 A$: variance génétique additive

$\sigma^2 pe$: variance due à l'environnement permanent (l'environnement permanent est commun à toutes les performances exprimées successivement et suit donc, de manière permanente, ces productions.

$\sigma^2 P$: variance phénotypique

La répétabilité est donc supérieure à l'héritabilité, ceci est dû à l'effet d'environnement permanent.

4.1.3 Corrélations génétiques

La corrélation mesure le degré de liaison entre deux caractères. La corrélation génétique entre caractères différents est une mesure de ce qu'il ya de commun en ce qui concerne le patrimoine génétique. (Falconer & Mackay 1996).

Soit deux caractères 1 et 2, le coefficient de corrélation r exprimant la corrélation génétique entre les deux caractères et est égal à : au rapport de la covariance génétique additive avec le produit des écarts types génétiques des deux caractères.

$$r = \frac{cov(A1A2)}{\sigma A1 \sigma A2}$$

r : corrélation génétique entre les caractères 1 et 2

$cov(A1A2)$: covariance entre la valeur génétique additive du caractère 1 et celle du caractère 2

$\sigma A1$: $\sqrt{\sigma^2 A1}$

4.2 Les paramètres génétiques des chevaux de plat

4.2.1 Héritabilité et répétabilité

4.2.1.1 Temps

L'estimation de l'héritabilité et de la répétabilité pour le temps final et le meilleur temps estimées par plusieurs auteurs sont présentées dans la Tableau 2.

Tableau 2 Estimation de l'héritabilité et de la répétabilité du temps final

et du meilleur temps

Caractère	Héritabilité	Répétabilité	Référence
temps final	0,23 à 0,37	/	Williamson & Beilharz (1996)
	0,08	/	Taveira et al. (2004)
	0,05	0,35	Orhan & Kaygisiz (2010)
	0,31	0,35	Ekiz et al. (2005b)
	0,17 à 0,35	/	Ekiz & Kocak (2007)
	0,08 à 0,25	0,43 à 0,70	Oki et al (1995a)
	0,04 à 0,29	0,15 à 0,63	Mota et al (2005)
	0,10 à 0,32	/	Mota (2006)
meilleur temps	0,13 à 0,28	/	Yorov & Kissyov (1976)
	0,13		Neisser (1976)
	0,10	/	Neisser & schwark (1979)
	0,12	/	Mota et al (1998)
	0,46	0,50	Ekiz et al (2005b)

4.2.1.1.1 Temps final

L'estimation de l'héritabilité varie entre 0,04 et 0,37. Cependant dans la plupart des études, l'héritabilité est inférieure à 0,20.

4.2.1.1.2 Meilleur temps

Les valeurs d'héritabilité estimées pour le meilleur temps présentées dans la Tableau 2, indiquent que le meilleur temps a une faible héritabilité (0,10 à 0,18).

Chico (1994) a rapporté que la vitesse n'était pas le critère de sélection approprié à inclure dans un programme de sélection de la population de pur-sang espagnol,

puisque l'héritabilité et la répétabilité obtenues pour ce caractère étaient proches de zéro.

La variation génétique du caractère temps chez les pur-sang a été stable pendant plusieurs décennies. Plusieurs auteurs ont discuté les raisons de la faible amélioration génétique de ce caractère (Cunningham 1975; Langlois 1980a; Ricard *et al.* 2000). Cunningham (1975) a évalué que le temps a montré une amélioration de 2 % par décennie jusqu'à 1900 environ, mais est resté stable depuis lors malgré une sélection intense ; c'est ce qu'on appelle le paradoxe de Cunningham. Cette antinomie apparente entre une sélection sur un critère héritable et l'absence d'amélioration de la vitesse en course est interprétée de différentes manières.

Schulze & Kalme (1985) suggèrent l'existence d'une corrélation négative entre les effets génétiques et ceux de l'environnement. en effet , Hill (1988) a rapporté que malgré qu'il n'y a eu aucune dégradation d'environnement, plusieurs facteurs d'environnement (la santé, la nutrition, les conditions d'entraînement ...) ayant été améliorés au fil des années il n'y a pas eu amélioration de la vitesse en course. Tavernier (1989), a montré que le chronométrage n'est pas le meilleur critère de mesure de la performance en course. En effet, il apparaît logique qu'un cheval ne court pas pour un chronométrage mais pour une place dans la course. Paramètre difficile à étudier, la vitesse semble peu liée à l'aptitude à gagner. L'essentiel n'est pas de courir vite mais de gagner, donc de se placer avant son concurrent. D'autres éléments interviennent alors, tels que la volonté de se placer, le changement d'accélération et de rythme lesquels relèvent plus d'un potentiel physiologique et psychologique que de l'aptitude stricte à la vitesse, c'est à dire longueur et rythme des foulées (Ricard 1984). De plus, les animaux qui gagnent des courses avec des temps meilleurs que d'autres ne reçoivent pas d'avantages monétaires pour cette victoire. Ainsi s'il y avait une diminution dans le temps des courses des pur-sang, une alternative serait d'attribuer des dotations aux animaux selon le temps obtenu sur la piste. Ceci serait une façon d'augmenter l'intérêt des éleveurs pour les caractères liés aux temps de course.

4.2.1.2 Taux de rendement ou «performance rates»

Plusieurs auteurs (Foye *et al.* 1972; Watanabe 1974; Kieffer 1975; Williamson & Beilharz 1996) ont obtenu une estimation de l'héritabilité des taux de rendement variant de 0,36 à 0,68 selon la méthode d'évaluation utilisée. Kieffer (1975) a trouvé

des estimations de l'héritabilité pour les taux de rendement différents chez les mâles (0.39) et les femelles (0.45) courant séparément.

4.2.1.3 Classement

Chico (1994), Belhajyahia et al. (2003), Sobczynska & Lukaszewicz (2004), Svobodova et al. (2005), Bakhtiari et Kashan (2009), ont obtenu respectivement pour l'héritabilité et la répétabilité les valeurs suivantes (0.07 à 0.10 et 0.21 à 0.26 ; $0,12 \pm 0,01$ et $0,35 \pm 0,01$; 0,18 et 0,33 ; $0,162 \pm 0,011$ et $0,347 \pm 0,014$; 0.17 et 0.32). Williamson et Beilharz (1996) signalent que les classements ont été fortement héritables et pourraient être utilisés pour améliorer les performances de chevaux de course.

Par la suite Bokor et al. (2007) ont obtenu une estimation de l'héritabilité et la répétabilité de $0,170 \pm 0,012$ et $0,347 \pm 0,029$ respectivement en France et $0,067 \pm 0,007$ et $0,223 \pm 0,016$ dans le Royaume-Uni. Ils ont conclu que le classement après la normalisation statistique a un grand avantage pour la comparaison entre les pays.

4.2.1.4 Gains

Les estimations de l'héritabilité des caractères des gains sont présentées dans le Tableau 3. L'héritabilité des gains (log du gain annuel et log du gain par départ) estimée par les différents auteurs est modérée et varie de (0.08 à 0.32 pour le log du gain annuel et 0.17 à 0.34 pour le log du gain par départ). Ces valeurs d'héritabilité sont suffisantes pour que le gain puisse être utilisé comme un critère de sélection.



Tableau 3 Estimation de l'héritabilité et répétabilité des différents caractères de gains

Type de gain	Héritabilité	Répétabilité	Référence
Log du gain annuel	0,09	0,23	Chico (1994)
	0,08	0,25	
	0,22 à 0,28	0,35 à 0,40	Langlois et al. (1996)
	0,12	0,23	Sobczynska & Lukaszewicz (2004)
	0,19 ±0,04	0,31	Ekiz et al. (2005b)
	0,32 ±0,03	/	Svobodova et al. (2005)
	0,15 ±0,01	/	Bokor et al. (2007)
	0,14	0,29	Sobczynska & Lukaszewicz (2003)
	0,15 ±0,03	0,34	Ekiz & Kocak (2005)
	0,09 ±0,01	0,25 ±0,01	Belhajyahia et al. (2003)
Log du gain /départ	0,34 ±0,04	0,41	Ekiz et al. (2005b)
	0,17 ±0,04	0,32	Ekiz & Kocak (2005)

4.2.2 Corrélations génétiques

Chico (1994) a rapporté que le rang et le gain étaient des caractères similaires puisque la corrélation génétique entre eux est proche de 1. Belhajyahia et al. (2003) ont trouvé une valeur proche de celle de Chico (1994) de $0,97 \pm 0,01$ entre la valeur de classement et le logarithme du gain. Ils concluent que la valeur de classement est le meilleur caractère pour l'évaluation des purs sangs arabes tunisiens. Svobodova et al. (2005) ont aboutit à la même corrélation génétique entre les 2 précédents caractères chez le cheval de pur sang anglais en République Tchèque ($0,98 \pm 0,003$).

Il en est de même pour Bokor et al. (2005) qui ont obtenu des valeurs similaires (0,94 à 0,97). Ils ont déclaré en outre que la valeur de classement a un grand avantage de comparaison entre les pays, parce que le rang est le même dans tous les pays. Ce n'est pas le cas avec les gains, qui dépendent des politiques nationales.

En conclusion, parmi les trois caractères (le temps, le gain et le rang) étudiés, le caractère de temps semble le moins héritable. Dès lors les deux autres caractères semblent plus intéressants à utilisés dans l'évaluation génétique des performances de course et la sélection des chevaux pur-sang arabe et anglais.

CHAPITRE 2 : ÉTUDE 1

2 Sélection animale des chevaux de course pur-sang arabe et anglais en Algérie : Perceptions, objectifs et pratiques des propriétaires-éleveurs

2.1 Objectifs

Cette étude vise à définir d'une part les pratiques, les perceptions et les objectifs des propriétaires-éleveurs de chevaux de course quant à la sélection équine en Algérie, avec un accent spécial des critères guidant leurs décisions dans le choix des reproducteurs pour l'élevage. D'autre part, aussi bien les gains ou les classements peuvent être utilisés comme des critères de sélection pour des chevaux de courses, un but supplémentaire à notre enquête était de mettre en évidence et de surligner l'importance relative de ces critères pour les propriétaires-éleveurs.

2.2 Matériel et Méthodes

2.2.1 Méthodologie de l'enquête

L'enquête a été menée entre janvier 2009 et août 2011, auprès de 461 propriétaires-éleveurs de chevaux (PEC), soit 81% de ceux répertoriés par la Société des Courses Hippiques et du Pari Mutuel. L'échantillonnage a été réalisé *in situ*, les jours de course, et a couvert l'ensemble des neuf hippodromes d'Algérie (Figure 8).

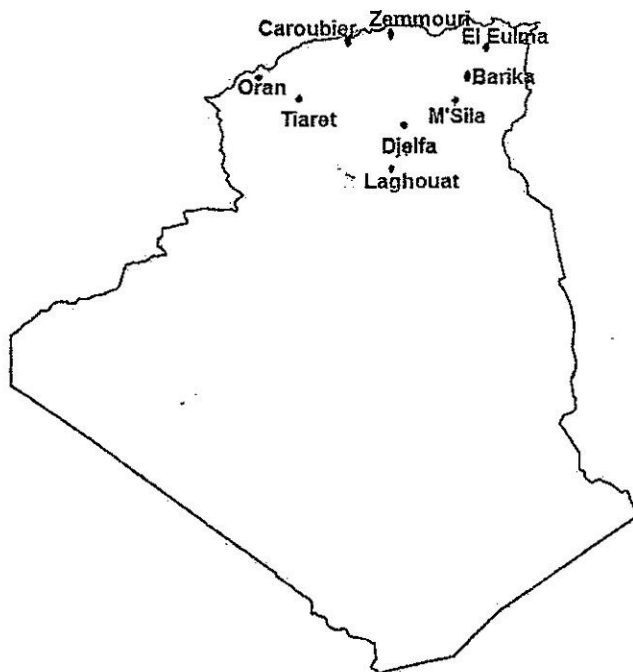


Figure 8 Répartition et localisation des différents hippodromes sur le territoire de l'Algérie

Le questionnaire structuré incluant des questions fermées et des questions ouvertes était administré au travers d'entretiens en vis-à-vis par un même enquêteur. Chaque entretien a duré en moyenne 2 heures. Les enquêtés se sont librement exprimés sur chacun des trois thèmes suivants.

2.2.2 Profil de l'enquêté et description de son élevage

Les critères abordés ici sont l'ancienneté et l'expérience dans la pratique de l'élevage et des courses, les effectifs de chevaux et les races possédées, la fréquence de mise en reproduction des juments, la priorité donnée dans l'activité d'élevage aux courses ou à la reproduction.

2.2.3 Critères de choix des reproducteurs

L'appréciation des critères de choix des reproducteurs par les PEC a été réalisée en utilisant les résultats d'une enquête préliminaire, ayant consisté en un questionnaire ouvert auprès de 226 PEC, rencontrés les jours de course sur les neuf hippodromes entre janvier et mars 2009. Les réponses des 226 PEC ont permis d'identifier les critères de choix à proposer dans le questionnaire structuré. Pour les étalons, les critères de sélection proposés ont été la conformation, les performances propres, les performances des ascendants, des descendants, des collatéraux, le prix de la saillie, le lieu de stationnement de l'étalon de saillie, l'appartenance étatique ou privée des étalons reproducteurs et enfin le tempérament de l'étalon. Les critères de sélection pour mettre les juments en reproduction ont été la baisse des performances en course, l'apparition de pathologies, la mauvaise conformation pour la course. Croisant certains des critères énumérés ici, deux pratiques étaient plus particulièrement pointées dans le questionnaire: l'âge de mise en reproduction et la mise en reproduction des juments à hautes performances.

2.2.4 Mesures préconisées par les propriétaires-éleveurs

En fin de questionnaire, une question ouverte soulevait les propositions des PEC pour l'amélioration de l'élevage équin en Algérie. Ensuite, s'ils n'avaient été spontanément mentionnés par l'enquêté, les éléments suivants étaient systématiquement abordés: l'intérêt de l'Association des éleveurs et propriétaires de chevaux de races pures dans la promotion de l'élevage, l'introduction éventuelle de nouvelles techniques de reproduction comme l'insémination artificielle, l'attitude

vis-vis des croisements entre apparentés (consanguinité) et le mode d'organisation des courses.

2.3 Caractères de performance : gains et classements

Une deuxième enquête de type psychométrique a été réalisée entre juillet et août 2011, afin de préciser les objectifs de l'élevage, en soulevant la question de la préférence pour les gains ou les classements. Cette préférence est représentée par la somme d'argent à laquelle les interrogés seraient prêts à renoncer pour bénéficier d'un premier classement à la place d'un deuxième, ou bien la somme qu'ils seraient prêts à accepter en plus pour renoncer à la première place. Cette notion a été nommée ici «*valeur du classement*». Un échantillon de 60 PEC (ceux qui ont bien voulu participé à cette deuxième enquête) parmi les 177 professionnels de la première enquête fut choisi aléatoirement. Une échelle visuelle, telle que décrite par Gold et al. (1996), cités par Happich et al. (2009), a été soumise aux participants, invités à placer une marque pour la «*valeur du classement*» sur une échelle horizontale de 20 cm en ligne (distance L), avec une borne inférieure indiquée à 50 000 Dinars Algériens (DA) (654\$), et une borne supérieure à 250 000 DA (3271\$), représentant le gain pour une 2ème place. Ces gains, proposés pour les deux bornes, représentent le gain minimum et maximum attribué à la première place par rapport aux gains mis en jeu sur les courses en Algérie. Les lignes n'ont pas été graduées pour éviter les effets de mémoires et de regroupements (Goebel 1995 cités par; Happich et al. 2009). La distance en centimètres entre la borne supérieure et la marque établie par l'enquêté (distance l) a été utilisée afin d'objectiver la perception de la «*valeur du classement*». La valeur du classement (D) correspond alors au rapport de la distance mesurée l sur la distance totale L, multiplié par la différence entre le gain de la borne supérieure (2ème place) et celui de la borne inférieure (1ère place). Afin de tester d'éventuels effets des valeurs inférieures et supérieures, l'exercice était répété avec trois valeurs différentes pour la borne inférieure (50 000DA : 654\$, 100 000DA : 1308\$ et 200 000DA : 2617\$).

2.4 Analyses statistiques

Les 461 propriétaires-éleveurs ont été répartis en 4 groupes suivant le nombre d'années d'ancienneté dans la pratique de l'élevage et des courses, soit de 1 à 5 ans, de 6 à 10 ans, de 11 à 20 ans et plus de 20 ans. Pour prendre en compte le degré d'implication des propriétaires-éleveurs dans l'activité d'élevage à proprement parler

(reproduction), une autre classification a été utilisée, soit le rythme de saillie des juments. Ainsi, les enquêtés qui pratiquent la saillie des juments régulièrement sont qualifiés de professionnels tandis que les autres sont qualifiés d'occasionnels (ci-après, degré de professionnalisation).

Les effets de la classe d'ancienneté et du degré de professionnalisation sur les différentes variables ont été étudiés par le test de Chi carré et dans certains cas le test exact de Fischer. L'effet de l'ancienneté des 60 PEC professionnels sur la «*valeur du classement*» D a été testé par comparaison entre les médianes par le test de Wilcoxon, répartissant les éleveurs en deux groupes (les jeunes professionnels ≤ 10 ans d'expérience et les professionnels >10 ans d'expérience). Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel SAS software (SAS Institute 2000).

2.5 Résultats

Les résultats sont présentés selon l'ancienneté et la professionnalisation des PEC. Parmi les 461 éleveurs, 177 (38.4%) étaient considérés comme professionnels et 284 (61.6%) comme occasionnels. En ce qui concerne l'ancienneté, la répartition des éleveurs était comme suit : 15,8%, 23%, 30% et 31,2% respectivement dans les classes : de 1 à 5 ans, de 6 à 10 ans, de 11 à 20 ans et plus de 20 ans d'ancienneté.

2.5.1 Description des propriétaires-éleveurs et de leurs élevages

2.5.1.1 Répartition des enquêtés dans les neuf hippodromes

La répartition des 461 PEC de l'échantillon entre les hippodromes apparaît dans le Tableau 4. L'hippodrome de Zemmouri (hippodrome international d'Algérie) est le plus représenté (20,4%). Les hippodromes de Djelfa et Laghouat sont peu représentés (5,6% et 4,6% respectivement). Les classes d'ancienneté étaient uniformément représentées dans les hippodromes (Tableau 4) ($p>0,05$). De la répartition des 461 PEC par hippodrome en fonction des races possédées (PSar, PSAn ou les deux) (Tableau 5), il apparaît une certaine dominance et préférence pour certaines races suivant les hippodromes ($p<0,001$).

Tableau 4 Répartition des propriétaires-éleveurs entre les hippodromes en fonction de l'ancienneté (exprimé en %)

Hippodrome	Propriétaires-éleveurs					Chi ² ou test exact de Fisher
	Classe d'ancienneté	1-5	6-10	11-20	>20	
BAR	12,4	11,0	12,3	14,5	11,1	
CAR	7,4	6,8	4,7	7,2	9,7	
DJE	5,6	6,8	6,6	6,5	3,5	
EUL	13,7	16,4	14,1	13,0	12,5	
LAG	4,6	6,8	4,7	3,6	4,1	ns
MSI	7,8	6,8	8,5	8,7	6,9	
ORA	13,0	13,7	19,8	11,6	9,0	
TIAR	15,1	9,6	13,2	17,4	17,3	
ZEM	20,4	21,9	16,0	17,4	25,7	
n	461	73	106	138	144	

ns : $p > 0,05$

ZEM : Zemmouri (Hippodrome international), TIAR : Tiaret, ORA : Oran, MSI : Msila, LAG : Laghouat, EUL : Eulma, DJE : Djelfa, CAR : Caroubier, BAR : Barika, n : effectifs des propriétaires-éleveurs

Tableau 5 Répartition des propriétaires-éleveurs par hippodrome en fonction des races détenues (exprimé en %)

Races	Hippodrome								
	BAR	CAR	DJE	EUL	LAG	MSI	ORA	TIAR	ZEM
Pur sang anglais	54,4	35,3	23,0	33,3	23,8	41,7	30,0	12,9	27,7
Pur sang arabe	21,0	14,7	57,7	36,5	52,4	38,9	35,0	41,4	17,0
les deux races	24,6	50,0	19,3	30,2	23,8	19,4	35,0	45,7	55,3
Chi ²	***								

*** : $p < 0,001$

ZEM : Zemmouri (Hippodrome international), TIAR : Tiaret, ORA : Oran, MSI : Msila, LAG : Laghouat, EUL : Eulma, DJE : Djelfa, CAR : Caroubier, BAR : Barika

2.5.1.2 Le profil des propriétaires-éleveurs

Les PEC enquêtés sont tous des hommes se définissant comme « propriétaires et éleveurs de chevaux de course ». Le niveau de formation est hétérogène : 41% n'ont jamais suivi d'études, 26% ont un niveau d'études primaires, 20% un niveau du secondaire et 13% ont un niveau universitaire. Les activités professionnelles sont très

diverses : industriels, cadres, agriculteurs, artisans, professions libérales, ouvriers, retraités et chômeurs.

Les personnes enquêtées déclarent s'être investies dans l'élevage de chevaux par passion et sont propriétaires des chevaux qu'ils élèvent. Pour la moitié des enquêtés (52%), la main d'œuvre familiale intervient dans l'activité d'élevage, 14% emploient un ou plusieurs salariés et le reste des enquêtés gèrent seuls leurs élevages. Le but de tous est de produire des chevaux performants pour les courses. 38% des PEC confient leurs chevaux à des écuries et les font entraîner par des professionnels. Les 62% restant travaillent leurs chevaux chez eux et se considèrent éleveur-entraîneur à ce titre. 21% des PEC sont cavaliers. La commercialisation de bons chevaux, champions ou issus de champions, est un objectif majeur de l'activité. Pour 39% des PEC, l'achat/revente de chevaux de courses est une part importante de leurs activités.

Pour 42% des éleveurs occasionnels et 8% des éleveurs professionnels, l'activité de l'élevage du cheval est une activité secondaire. Ils déclarent n'en tirer qu'une très faible part de leurs revenus. Pour eux, l'élevage de chevaux est une passion à financer plutôt qu'une source de revenus. Pour les éleveurs professionnels, bien que le monde du cheval reste une activité agréable et passionnante, cela ne demeure pas moins un métier perçu comme dur et contraignant. Pour une large majorité des professionnels (83%), l'objectif financier est la recherche d'un équilibre entre dépenses et revenus et non la génération d'un profit. La combinaison avec une autre production d'élevage (essentiellement ovin et bovin) ou une autre activité rend souvent possible le maintien de l'élevage du cheval chez 57% des professionnels.

L'expérience dans l'activité d'élevage et de course varie de 1 à 31 ans pour l'ensemble de l'échantillon (médiane de 13 ans), de 3 à 31 ans pour les professionnels (médiane de 18 ans), et de 1 à 30 ans pour les occasionnels (médiane de 11 ans). Ainsi, l'expérience diffère significativement selon le degré de professionnalisation ($p < 0.001$).

46% des PEC sont adhérents à l'Association Nationale des Eleveurs et Propriétaires de Chevaux de Races Pures (ANEPCRP). Cependant, seuls les professionnels, qui représentent 16% des adhérents, sont membres actifs et assistent régulièrement aux débats ou réunions de l'association.

2.5.1.3 Description des élevages

Les élevages sont de petite taille : 77% des propriétaires-éleveurs détiennent une ou deux juments (maximum 20), et 81% un ou deux mâles (maximum 10). La répartition des effectifs des femelles et des mâles chez les propriétaires-éleveurs apparaît sur la Figure 9.

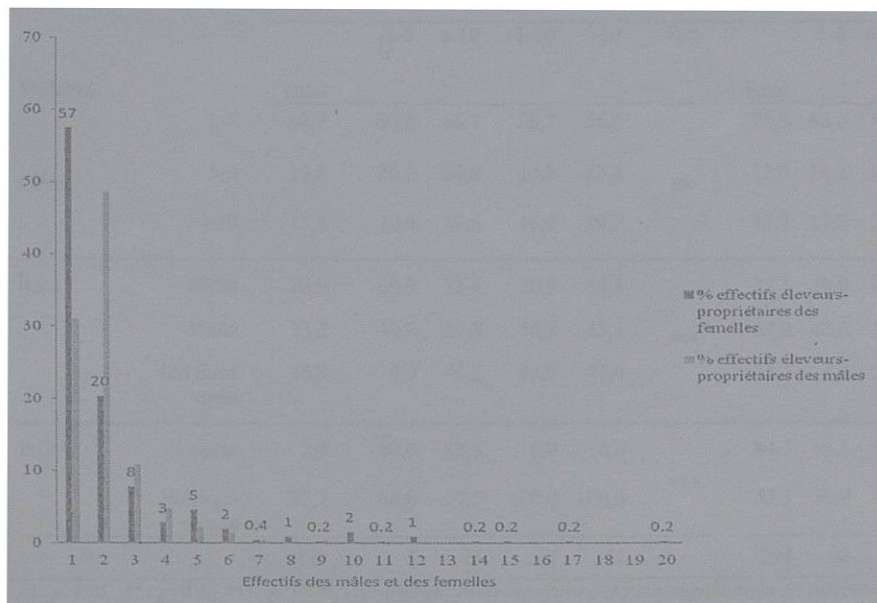


Figure 9 Répartition des effectifs de chevaux femelles et mâles chez les propriétaires-éleveurs

Les mâles peuvent être utilisés pour les courses ou pour le renouvellement du cheptel de leur propriétaire mais également sur des juments extérieures à l'élevage. Il s'agit alors d'une prestation de service, pour laquelle l'étalon doit être agréé par l'ONDEEC et les Haras Nationaux. Les PEC peuvent faire appel aux prestataires de services que sont les étalonniers privés et publics (Haras Nationaux) pour assurer le renouvellement et la production dans leur cheptel.

Les effectifs de chevaux, répartis en trois classes de 1-4, 5-9 et ≥ 10 chevaux, ne sont pas liés à l'ancienneté ($p > 0,05$) (Tableau 6). Cependant, un lien significatif apparaît avec le degré de professionnalisation ($p < 0,05$), les effectifs les plus importants (5-9 et ≥ 10) sont présents chez les professionnels ($p < 0,05$). Le choix des races élevées est lié significativement au degré de professionnalisation et à l'ancienneté ($p < 0,01$) (Tableau 6).

Tableau 6 Effet de l'ancienneté des professionnels et des occasionnels sur les élevages : taille de l'effectif, race et priorité (en % de réponses)

Variable		Professionnels					Test	Occasionnels					
		1-5	6-10	11-20	>20	Total		1-5	6-10	11-20	>20	Total	
Effect ^c	1-4	62,7	60,0	66,7	68,7	56,8		74,3	66,2	73,2	78,9	79,4	
	5-9	19,8	20,0	20,8	14,9	23,5	ns	12,0	16,2	11,0	9,9	11,1	ns
	≥10	17,5	20,0	12,5	16,4	19,7		13,7	17,6	15,8	11,2	9,5	
Race ^a	PSAn	20,9	60,0	33,4	20,9	14,8		37,3	50,0	28,0	38,0	34,9	
	PSAr	23,2	40,0	20,8	34,3	13,6	***	37,0	42,6	41,5	35,2	27,0	**
	Les deux races	55,9	0,0	45,8	44,8	71,6		25,7	7,4	30,5	26,8	38,1	
Priori ^a	Course	2,8	40,0	12,5	0,0	0,0		44,7	69,1	59,8	28,2	17,5	
	Elevage-course	97,2	60,0	87,5	100,0	100,0	***	55,3	30,9	40,2	71,8	82,5	***
n		177	5	24	67	81		284	68	82	71	63	

ns : $p > 0,05$, ** : $p < 0,01$, *** : $p < 0,001$; les variables suivies des lettres a et c sont significativement différentes entre le total des professionnels et des occasionnels (a : $p < 0,001$, c : $p < 0,05$), Effect : taille de l'effectif des chevaux, priori : priorité donnée dans l'activité d'élevage aux courses ou à la reproduction, Test : Ch^2 ou test exact de Fisher.

Les occasionnels se spécialisent, contrairement aux professionnels qui élèvent les deux races conjointement (25,7% vs 55,9% respectivement) ($p < 0,001$). Les plus jeunes (1-5 ans) se spécialisent, alors qu'une part plus importante des éleveurs plus expérimentés (>20 ans) élèvent les deux races conjointement.

La professionnalisation et l'ancienneté affectent significativement la priorité donnée à l'activité d'élevage aux courses ou à la reproduction ($p < 0,001$) (Tableau 6) : la quasi-totalité des éleveurs professionnels (97,2%) participent à la fois aux activités de courses et de reproduction, contre 55,3% des éleveurs occasionnels. Les jeunes éleveurs (1-5 ans et 6-10 ans) ont pour priorité les courses, alors que les plus expérimentés (11-20 et >20 ans) attribuent la même importance aux deux activités (100% chez les professionnels).

2.5.2 Conduite des élevages et critères de sélection des reproducteurs

2.5.2.1 Critères de sélection des juments

De façon générale, l'ancienneté et le degré de professionnalisation n'affectent pas les critères de sélection des juments pour la reproduction ($p > 0.05$) (Tableau 7). Toutefois, les éleveurs professionnels les plus expérimentés (>20 ans) sont plus nombreux que les jeunes éleveurs (1-5 ans) à sélectionner les juments pour la saillie dès qu'elles atteignent l'âge de reproduction (50% et 23,9% respectivement) ($p < 0.01$).

Tableau 7 Effet de l'ancienneté des propriétaires-éleveurs professionnels et occasionnels sur les critères de sélection des juments (en % de réponses affirmatives)

Critères de sélection	Professionnels					Occasionnels						
	1-5	6-10	11-20	>20	Test	1-5	6-10	11-20	>20	Test		
MP	74,0	80,0	70,8	80,6	69,1	ns	70,1	72,1	61,0	70,4	79,4	ns
PATH	31,1	20,0	20,8	38,8	28,4	ns	23,9	25,0	21,9	22,5	27,0	ns
CONFJUM	59,9	60,0	45,8	61,2	62,9	ns	65,5	72,1	64,6	57,7	68,2	ns
AGESALLIE	37,3	23,9	40,0	44,4	50,0	*	32,0	32,3	29,3	29,6	38,1	ns
JUMEFC	35,6	0,0	33,3	35,8	38,3	ns	29,9	29,4	30,5	29,6	30,2	ns
n	177	5	24	67	81		284	68	82	71	63	

ns : $p > 0.05$, * : $p < 0.05$

MP: moindres performances en course, PATH: pathologies et maladies, CONFJUM: mauvaise conformation de la jument pour la course, AGESALLIE: âge de mise en reproduction, JUMEFC: si jument en forme mise en reproduction. Test Chi² ou test exact de Fisher

Ce sont surtout les moindres performances en course (74% et 70% respectivement pour les professionnels et les occasionnels) et la mauvaise conformation des juments pour la course (59,9% et 65,5% respectivement pour les professionnels et les occasionnels) qui sont prises en compte pour la mise à la reproduction des juments. Enfin, chez seulement 35,6% des professionnels et 29,9% des occasionnels, les juments sont retirées des courses si elles présentent de bonnes performances et sont mises à la reproduction (Tableau 7).

2.5.2.2 Critères de sélection des étalons

Les critères de sélection des étalons pour la reproduction en fonction de l'ancienneté et du degré de professionnalisation sont résumés dans le Tableau 8.

Tableau 8 Effet de l'ancienneté des propriétaires-éleveurs professionnels et occasionnels sur les critères de sélection des étalons (en % de réponses)

Critères de sélection		Professionnels					Occasionnels						
		1-5	6-10	11-20	>20	Test	1-5	6-10	11-20	>20	Test		
CONFM ^a	OUI	93,8	80,0	91,7	94,0	95,1	ns	77,5	51,5	69,5	93,0	98,4	***
PROPPER	OUI	81,4	60,0	75,0	79,1	86,4	ns	86,3	83,8	89,0	87,3	84,1	ns
PERFAS ^b	OUI	97,7	100,0	87,5	100,0	98,8	*	91,2	82,3	85,4	98,6	100,0	***
PERFDE ^c	OUI	91,0	80,0	70,8	91,0	97,5	***	84,5	79,4	70,7	95,8	95,2	***
PERFCO ^b	OUI	55,4	0,0	29,2	58,2	64,2	***	39,1	19,1	24,4	56,3	60,3	***
PRIXSAI ^a	OUI	19,8	60,0	58,3	19,4	6,2	***	38,7	48,5	68,3	22,5	7,9	***
LIEU	OUI	67,2	40,0	70,8	62,7	71,6	ns	67,3	64,7	73,2	64,8	65,1	ns
APARTEN	ETAT	23,1	20,0	25,0	17,9	27,1	ns	27,5	23,5	24,4	33,8	28,6	ns
	PRIVE	57,1	40,0	62,5	62,7	51,9		60,9	60,3	63,4	59,1	60,3	
	DEUX	19,8	40,0	12,5	19,4	21,0		11,6	16,2	12,2	7,1	11,1	
CAR	CAL	73,4	40,0	54,2	76,1	79,0	*	69,4	63,2	67,1	73,2	74,6	ns
	MOY	15,2	0,0	33,3	11,9	13,6		16,9	20,6	21,9	12,7	11,1	
	NER	11,3	60,0	12,5	11,9	7,4		13,7	16,2	11,0	14,1	14,3	
n		177	5	24	67	81		284	68	82	71	63	

ns : $p > 0,05$, * : $p < 0,05$, les critères de sélection suivis des lettres a, b, et c sont significativement différentes entre le total des professionnels et des occasionnels (a : $p < 0,001$, b : $p < 0,01$, c : $p < 0,05$), n : effectif des propriétaires-éleveurs, CONFM : sélection sur la conformation, PROPPER : sélection sur propres performances, PERFAS : sélection sur performance ascendants, PERFDE : sélection sur performance descendants; PERFCO : sélection sur performance collatéraux, PRIXSAI : prix de la saillie, LIEU : lieu de stationnement de l'étalon; APARTEN : appartenance de l'étalon (ETAT : étatique, PRIVE : privé, DEUX : les deux); CAR : caractère de l'étalon, T: test χ^2 ou test exact de Fisher.

Les PEC professionnels utilisent davantage le critère de la conformation que les occasionnels (93,8% et 77,5% respectivement) ($p < 0,001$). Cependant, ce critère n'est significativement lié à l'ancienneté que chez les PEC occasionnels ($p < 0,001$). La conformation apparaît comme davantage prise en compte par les éleveurs les plus expérimentés (11-20 ans et >20 ans, 93% et 98,4% respectivement) (Tableau 5). Les propres performances de l'étalon sont uniformément prises en compte par les PEC ($p > 0,05$) (Tableau 8). Les professionnels les plus expérimentés (11-20 ans et >20 ans) utilisent davantage les performances des ascendants, descendants et collatéraux comme source d'information ($p < 0,01$) (Tableau 8). Aussi bien pour les professionnels que les occasionnels, les performances des collatéraux revêtent une importance moindre dans le choix des étalons (Tableau 8). Enfin, chez les éleveurs professionnels, les plus expérimentés (11-20 ans et >20 ans) sont plus nombreux à sélectionner des étalons calmes ($p < 0,05$). Concernant le coût de la saillie (Tableau 8), les professionnels sont moins sensibles à ce critère que les occasionnels ($p < 0,001$). Les éleveurs moins expérimentés (1-5 ans et 6-10 ans) sont également plus sensibles

au coût de la saillie ($p < 0.001$) tandis que les plus expérimentés sont prêts à faire évoluer leur budget en fonction de la qualité de l'étalon de saillie. 67% des éleveurs tant professionnels qu'occasionnels attribuent de l'importance au lieu de stationnement de l'étalon, préférant que celui-ci soit stationné à proximité de leur élevage. Aucune différence significative concernant ce critère n'est observée selon l'ancienneté des éleveurs ($p > 0.05$). Les étalons issus d'organisations privées sont préférés à ceux issus du secteur public par tous les éleveurs sans distinction d'expérience ou de professionnalisation ($p > 0.05$).

2.5.3 Mesures préconisées pour améliorer la situation de l'élevage équin

Les mesures préconisées et les perspectives d'amélioration souhaitées par les éleveurs en fonction de l'ancienneté sont présentées dans le Tableau 9 (professionnels et occasionnels confondus). Les éleveurs connaissent tous l'existence de l'insémination artificielle (IA) chez le cheval. Toutefois, 54% ne sont pas disposés à en faire usage. Les 46% favorables à l'IA sont en fait les membres de l'ANEPCRP. Pour eux, le recours à l'insémination artificielle avec de la semence fraîche en collaboration avec le Centre National d'Insémination Artificielle et de l'Amélioration Génétique (CNIAAG), débuté en 2006, est une très bonne initiative qui n'a pas pris d'ampleur. Elle a été pratiquée seulement sur les juments des Haras Nationaux.

Tableau 9 Mesures préconisées en fonction de l'ancienneté

			1-5	6-10	11-20	>20	Chi ² ou Fisher exact
		n	461	73	106	138	144
Consanguinité	Eviter	47,5	17,8	37,7	76,1	91,0	***
	Exploiter	7,0	12,3	12,3	8,7	0,0	
	Pas d'idée	45,4	69,9	50,0	15,2	9,0	
Importation de chevaux	OUI	72,2	85,0	96,0	50,9	68,5	***
Séparation des courses entre locaux et importés	OUI	70,0	63,8	58,4	71,6	80,3	***
Limitation d'âge pour les courses	OUI	23,0	12,5	7,3	14,9	16,1	ns

ns : $p > 0.05$, *** : $p < 0.001$

L'ancienneté influence de manière significative l'attitude des PEC vis-à-vis de la consanguinité. Les propriétaires-éleveurs les plus anciens (11-20 ans et > 20 ans) désiraient éviter les croisements entre apparentés (76,1% et 91,0% respectivement) ($p < 0.001$) (Tableau 9). Néanmoins, ce sont les jeunes éleveurs des classes 1-5 ans et 6-10 ans qui affirment la nécessité d'importation de chevaux étrangers (85% et 96%

respectivement pour les deux classes) ($p < 0.001$) (Tableau 9). Vis-à-vis de cette importation, les éleveurs plus expérimentés (11-20 ans et > 20 ans) réclament, eux, la séparation des courses entre les chevaux importés et locaux ($p < 0.001$) (Tableau 9). Ils envisagent également l'octroi de dotations différentes, favorisant les chevaux nés et élevés localement pour la promotion de l'élevage local (71,6% et 80,3% respectivement pour classes 11-20 ans et > 20 ans).

Les propriétaires-éleveurs déclarent à l'unanimité n'avoir pas assez d'aide de l'Etat. Le soutien financier est jugé trop faible, avec une subvention de l'alimentation et des primes de naissance et d'élevage qui restent minimales par rapport aux dépenses pour la production d'un cheval de course.

2.5.4 La valeur du classement

Les résultats de l'analyse des différences des médianes de la « valeur du classement » D parmi les professionnels novices et expérimentés sont reportés à la Tableau 10. Ces résultats montrent que la « valeur du classement » D est non nulle et positive. Une différence significative entre les jeunes et la classe des éleveurs les plus expérimentés (≥ 11 ans) est observée ($p < 0.001$). Les novices sont prêts à perdre 1613\$ (médiane) pour gagner la première place contre 658\$ pour les éleveurs expérimentés.

Tableau 10 Comparaison de la "valeur de classement " (D) entre les jeunes professionnels et les plus expérimentés

Ancienneté	n	D(\$)	
		Médiane	P-value
Jeunes (1-10ans)	28	1613	***
Vieux (≥ 11 ans)	32	658	

*** : $p < 0.001$

2.6 Discussion

Le nombre de PEC interrogés est important, représentant 80% des propriétaires répertoriés par la société des courses. La faible représentation des hippodromes de Djelfa et Laghouat est à attribuer au fait que les courses de barbes et d'arabe-barbe y sont privilégiées au détriment de celles des pur-sang. L'hippodrome de Zemmouri est le plus représenté car c'est dans cet hippodrome que se déroule le plus grand nombre de courses. Eu égard au manque de données bibliographiques, cette enquête apporte

donc un éclairage important sur l'élevage équin et la sélection des chevaux de course en Algérie.

La production des chevaux de course en Algérie rassemble des hommes aux profils variés. Les femmes sont absentes du secteur, l'élevage du gros bétail, dont celui des chevaux, étant une activité traditionnellement masculine en Algérie. Une hétérogénéité des propriétaires-éleveurs apparaît dans leur répartition sur le territoire national, le choix des races élevées, leur statut socio-professionnel et leurs pratiques d'élevage ou encore le mode de valorisation des produits. La faible dimension des élevages est toutefois une caractéristique largement partagée. Dans les activités liées au cheval et en particulier au niveau de l'élevage, nombreux sont les propriétaires-éleveurs passionnés qui investissent beaucoup de temps et de travail sans forcément dégager de revenu. Les mêmes résultats ont été trouvés à travers une enquête dans 3 régions en France, où 40% seulement des éleveurs atteignant un objectif de rentabilité ou d'équilibre financier (Boyer *et al.* 2007). Si la prépondérance dans le secteur de personnes expérimentées démontre que cette activité est conçue sur le long terme par ses acteurs, le faible pourcentage de jeunes pourrait signer en contrepartie un faible attrait actuel du secteur. Le plus grand nombre d'occasionnels comparé aux professionnels pourrait être expliqué en partie par la suspension de la prime de l'élevage et de naissance par l'ONDEEC. En effet, les primes versées aux éleveurs contribuaient à assurer un revenu minimum aux acteurs s'impliquant pleinement dans la reproduction équine. Depuis 5 ans, ces primes ne sont plus versées régulièrement et n'ont pas augmenté malgré l'inflation. C'est ainsi que les éleveurs ont réduit leurs effectifs en n'effectuant plus qu'occasionnellement les saillies des juments qu'ils possèdent. Ils préfèrent donc destiner leurs chevaux aux courses. La relative homogénéité généralement observée des critères de choix des reproducteurs entre professionnels et occasionnels s'inscrit dans ce cadre, le changement de l'orientation ou d'intensité de l'activité n'ayant pas fondamentalement modifié les pratiques et modes de décision.

Au vu de la petite taille générale des élevages, les possibilités de sélection des juments sont limitées en comparaison de celle des étalons. Les faibles performances de reproduction (âge à la puberté, fertilité et fécondité) limitent le renouvellement des générations. Un tiers des éleveurs seulement retire les juments des courses si elles sont toujours jugées aptes à la course. Cette pratique participe à l'allongement

du temps de renouvellement des générations, d'autant plus que l'intervalle de génération chez les chevaux de course ou de sport est de 10 et 12 ans (Dubois & Ricard 2007; Rognon & Verrier 2008; Verrier *et al.* 2010). Les critères de sélection définis par les éleveurs pour les juments sont moins nombreux que pour les mâles, notamment concernant les sources d'information considérées pour la sélection (performances individuelles et des apparentés). Les « critères de sélection », tels que révélés au cours de l'enquête préliminaire et confirmés par l'enquête principale, font apparaître qu'une sélection positive des reproductrices n'est pas réellement mise en place. Les courses étant privilégiées, l'activité de reproduction s'apparente à un pis-aller, réservé aux femelles moins performantes.

La plus grande diffusion possible de la semence autorise de fortes pressions de sélection chez la population, comme observé en France avec le Cheval de selle Français (Dubois & Ricard 2007). Du fait de la préférence des éleveurs algériens pour la monte naturelle, cette pression de sélection reste largement à l'état de potentiel. En effet, l'enquête a démontré que si effectivement la monte en main est le mode de reproduction le plus exploité, la sélection des étalons calmes, sans aucun doute, critère de choix le plus subjectif, doit être pris en compte lors de la présentation des étalons (début de la saison de monte). L'attitude négative des éleveurs vis-à-vis de l'IA et d'autres techniques modernes de reproduction pourrait s'expliquer par le manque d'implication des instances concernées dans la vulgarisation et l'information des propriétaires-éleveurs.

L'importance attribuée par les éleveurs au critère de choix sur la conformation fait principalement référence à la conformation des membres et aux aplombs, ceux-ci ayant dans la discipline des courses une importance toute particulière (Pieszka *et al.* 2011). Les sources d'information utilisées par les éleveurs combinent les performances individuelles et d'apparentés. Eu égard aux comportements de sélection relevés ici vis-à-vis des mâles et des femelles, il apparaît que la sélection des mâles est largement axée sur leurs origines paternelles et parfois maternelles. Certains propriétaires choisissent aussi des étalons et des lignées ayant déjà fait leurs preuves en utilisant les performances de leurs descendants. Ce dernier comportement, davantage observé chez les éleveurs les plus expérimentés, est le signe d'une plus grande expertise et d'une attitude plus active envers l'amélioration génétique. Néanmoins, en l'absence d'un index de la valeur génétique, le choix qui

en résulte n'est probablement pas suffisamment éclairé. La prise en compte par les éleveurs de ces sources d'information confirme néanmoins leur aptitude à s'approprier un outil national basé sur une indexation des performances des chevaux de course. A noter qu'un tel index, fondé sur les résultats en courses, est suffisamment précis dès lors que les performances individuelles sont enregistrées et que les performances d'un grand nombre de descendants sont connues (Verrier 2011). La participation entière des éleveurs est donc nécessaire, se fondant elle-même sur l'appropriation par ceux-ci de l'outil proposé.

La consanguinité, entraînée par les croisements entre apparentés, diminue la variabilité génétique des populations et montre un effet négatif direct sur la morphologie des chevaux (Gandini *et al.* 1992), sur les performances de course (Klemetsdal 1998), sur la qualité du sperme (Weitkamp *et al.* 1982; Colenbrander *et al.* 2003) et sur la fertilité des juments (Klemetsdal & Johnson 1989). Associée à l'analyse par les auteurs des documents de pedigree officiels (non-publié), la présente enquête pointe en effet vers un problème latent de consanguinité dans les effectifs de pur-sang algériens. Les propriétaires-éleveurs les plus expérimentés sont conscients de ces problèmes liés aux croisements entre apparentés. Ils ne peuvent toutefois pas les éviter, vu le manque d'effectifs pour le choix de reproducteurs. Aussi, malgré cette conscience affirmée des conséquences négatives de la consanguinité, les éleveurs préfèrent rester sur leurs propres lignées ou n'acceptent de saillies que d'élevages qu'ils connaissent, limitant plus encore le choix des étalons.

La prédominance des éleveurs utilisant des étalons privés est due à l'activité de ces étalons dans leur élevage et leurs performances en course. Ils ont une activité supérieure aux étalons publics et sont généralement importés de l'étranger par des privés et agréés pour la monte auprès des haras nationaux. A noter que les jeunes éleveurs sont davantage ouverts à l'usage d'étalons provenant de l'étranger. Un tel usage devrait être promu et favorisé par les politiques d'élevage. En effet, le recours à la génétique importée sera nécessaire à l'élargissement de la base génétique sur laquelle sera fondé le progrès attendu.

Telle définie dans cette étude, la « valeur du classement » est indicative du mode de décision des éleveurs, pointant l'importance accordée au classement plutôt qu'au

montant gagné. Dans cette étude, les jeunes propriétaires-éleveurs attribuent plus d'importance au classement que les éleveurs les plus expérimentés (≥ 11 ans). Les jeunes professionnels semblent dans ce cas à la recherche de reconnaissance pour leurs chevaux. Ce fait est à mettre en relation avec leur activité de revente des chevaux qu'ils ont fait courir. Ils se considèrent en effet eux-mêmes comme propriétaires-éleveurs marchands de chevaux. La valeur qu'ils attribuent à la victoire est liée à la plus-value que la première place offre à leurs chevaux, qu'ils pourront revendre à meilleur prix. L'activité d'achat-course-revente est ainsi pour eux une source plus importante de revenus que les gains des courses au sens strict. Contrairement aux éleveurs professionnels plus expérimentés (≥ 11 ans), qui peuvent se permettre de garder une activité qui leur rapporte peu mais qui les passionne, un jeune éleveur qui s'installe ne peut développer une activité si lourde à mettre en place que si sa rentabilité est assurée. La revente des chevaux victorieux est alors le moyen de cette rentabilité.

Les gains et les classements sont deux caractères de performances exprimant des potentiels similaires. Au niveau national, le choix de l'un ou l'autre caractère pour l'estimation des valeurs d'élevage des reproducteurs dépendra d'avantage de l'héritabilité (Chico 1994; Belhajyahia *et al.* 2003; Svobodova *et al.* 2005; Bakhtiari & Kashan 2009). Ainsi, le classement, s'il est statistiquement normalisé et transformé, permet une classification hiérarchisée de tous les chevaux, même s'ils ne se sont pas rencontrés directement. En effet, le niveau d'une épreuve est mesuré par les classements des chevaux de l'épreuve obtenus dans les autres épreuves auxquelles ils ont participé. D'autre part, le classement transformé s'affranchit d'une expression en termes monétaires, sujette à des influences économiques plus larges, tels que l'inflation et les taux de change lorsque l'importation de génétique est envisagée, et pour lesquels il est malaisé de corriger les performances des étalons. Le classement présente donc un avantage majeur pour la comparaison internationale, étant le même dans tous les pays (Tavernier 1990). L'actuelle internationalisation des courses concourt à l'amélioration de la précision des estimations basées sur ce critère. La situation est différente avec le gain. En effet, ce dernier fait reposer le niveau de l'épreuve sur les seuls écarts de dotation, sans tenir compte des écarts de qualité entre les chevaux engagés ou tenant au présupposé que les courses les mieux dotées sont celles attirant les meilleurs chevaux. Ces dotations dépendront en outre des politiques nationales de dotation des courses, variant dès lors d'un pays à un

autre. Cependant, les gains sont jugés utiles car volontiers utilisés par les éleveurs pour estimer le niveau de performance des chevaux (Langlois & Blouin 2004). Ils seraient ainsi un objectif majeur des éleveurs en même temps qu'un critère de comparaison à l'échelle nationale. La question de l'adoption de l'index par ses utilisateurs est alors au centre du choix entre classement et gain en tant que critère d'évaluation. La valeur attribuée au classement par rapport aux gains, tel que démontré dans cette étude, indique que l'adoption par les éleveurs algériens d'un index de sélection basé sur le classement est envisageable. Notons finalement que l'enregistrement des ordres d'arrivée du premier au dernier pour l'ensemble des courses tenues en Algérie est actuellement pratiqué au niveau de la SCHPM. Cet enregistrement représente une opportunité supplémentaire, permettant une évaluation de grande précision des étalons tenant compte également des performances en dehors du quinté.

2.7 Conclusion

Loin d'être la base d'un progrès constant des performances de course, la sélection s'est cantonnée pour les éleveurs de l'échantillon enquêté à une activité accessoire dans un élevage caractérisé par la petite taille des exploitations, le manque d'organisation et d'information des éleveurs et l'importance des activités d'achat-revente de chevaux, obéissant à une logique court-termiste en opposition avec celle nécessaire à la sélection animale. Néanmoins, une demande pour une meilleure organisation, menant à un certain encadrement de l'activité et une meilleure information a pu être exprimée au travers de l'enquête. De même, un intérêt pour la sélection est constaté chez les propriétaires-éleveurs. Se basant sur cette demande, il semble aujourd'hui primordial et urgent d'insuffler une logique économique et professionnelle dans la production équine en Algérie. Des actions collectives doivent être donc menées pour valoriser une production de qualité en Algérie, comme fait dans d'autres pays tels que la France et la Tunisie (Belhajyahia *et al.* 2003; Langlois & Blouin 2004; Dubois & Ricard 2007). La première étape de tout plan de sélection animale est le choix des caractères à améliorer en fonction des objectifs de l'élevage. Dans le cas des courses, comme envisagé plus haut, les gains et les classements en sont deux possibilités distinctes entre lesquelles un choix doit être fait sur des bases factuelles. Des mesures de leur héritabilité et corrélations génétiques devront donc être effectuées sur base des données disponibles en Algérie.

CHAPITRE 3 : ÉTUDE 2

3 Évaluation des paramètres non-génétiques des performances de course des chevaux pur-sang arabes et pur-sang anglais en Algérie

3.1 Objectifs

L'utilisation des performances de course disponibles pour les chevaux pur-sang arabe et pur-sang anglais en Algérie devrait permettre l'évaluation objective des reproducteurs par l'estimation de leur valeur d'élevage basée sur des méthodes classiques de la génétique quantitative. Cependant le choix du caractère de sélection est un préalable à cette estimation de la valeur génétique. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé dans la présente étude différents caractères ayant trait aux gains et aux classements. Si les gains et les rangs sont deux mesures quantitatives objectives utilisables pour évaluer la performance génétique des chevaux pur-sang anglais et arabes sur les courses de plat, elles dépendent non seulement du potentiel génétique du cheval (exprimé lors de sa performance en course) mais aussi des conditions d'environnement dans lesquelles ces observations ont été faites. Pour être en mesure d'estimer le potentiel génétique (valeur d'élevage) de l'individu, il est dès lors important de déterminer la part due à l'environnement dans la réalisation des performances de course.

La présente étude est consacrée d'une part à l'estimation des corrélations phénotypiques entre les caractères utilisés afin de déduire ce qui est commun entre ces diverses mesures de performances et ce qui est spécifique à chaque mesure, et d'autre part à l'estimation de l'impact des facteurs non-génétiques, tels que le sexe, l'âge, l'année de la performance et les interactions entre ces différents facteurs. De nombreuses études (Tableau 1) ont montré que ces facteurs non génétiques influençaient de manière importante les gains et les rangs des chevaux dans les courses de plats.

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Origine et vérification de la base de données

Les données utilisées proviennent des résultats publiés mensuellement par la société des courses (SCHPM). Elles ont été encodées sous format électronique par l'auteur de cette thèse. Les données concernent les résultats de courses de galop sur une période de 16 années allant de 1992 à 2007. Ces données incluent les informations relatives à chaque cheval participant à la course (nom, nom du père, de la mère, âge

lors de l'année de la course et sexe), les informations relatives à la course (l'année de la course, le nom de l'hippodrome dans lequel s'est déroulé la course, le nombre de partants dans la course, le classement des chevaux dans la course, le gain attribué aux chevaux, la distance parcourue, le poids du jockey, le nom du propriétaire, de l'entraîneur et du jockey). Signalons que les noms des chevaux sont publiés classés par ordre d'arrivée du premier au dernier participant dans la course, bien que les gains ne soient attribués qu'aux 5 premiers chevaux. L'encodage de ces données a produit 39817 résultats (un résultat correspond à la performance d'un cheval dans une course) pour le pur-sang arabe, obtenus avec 968 chevaux dans 3783 courses. Les données du pur-sang anglais ont fourni 22905 résultats, obtenus avec 1198 chevaux dans 3133 courses.

Dans ces données, les chevaux sont classés du premier au dernier dans toutes les courses, à l'exception des années 1992, 1993 et 1994 où les classements sont donnés seulement pour les 5 gagnants. Afin d'éliminer les biais causés par cette asymétrie dans certaines analyses effectuées dans notre étude, nous avons éliminé les résultats des courses de ces 3 années dans les analyses. Un dernier biais a été éliminé : il concerne les chevaux de 2 ans qui couraient entre eux seulement et pour lesquels une politique spécifique de dotation plus importante est appliquée pour promouvoir leur utilisation. Les résultats correspondant à des courses de chevaux de cet âge ont donc également été soustraits de l'analyse. Au final, la base de données utilisée couvre donc les années 1995 à 2007, et est composée de 36492 résultats pour le pur-sang arabe, réalisés avec 913 chevaux dans 3086 courses, et de 17790 résultats pour le pur-sang anglais, réalisés avec 1032 chevaux dans 2055 courses. L'information sur la généalogie de cette source importante de données a pu être vérifiée dans le cas du pur-sang arabe en consultant le stud book algérien, reconnu par les instances internationales telles que la WAHO (Organisation Mondiale du Cheval Arabe), celui du pur-sang anglais n'étant pas publié pour l'Algérie.

3.2.2 Les caractères utilisés

Les caractères auxquels on s'est intéressé dans cette étude sont directement liés aux sommes d'argent rapportées par les chevaux (gains), ainsi qu'à leurs rangs à l'arrivée des courses. Outre le classement dans la course, le gain permet d'introduire dans l'analyse la qualité de la course, les courses les mieux dotées étant généralement celles auxquelles les meilleurs chevaux participent, et un bon classement dans une

telle course est évidemment une indication de qualité supérieure à un bon classement dans une course secondaire.

Dans notre analyse et en ce qui concerne les gains, nous avons appliqué la méthode des gains virtuels de Chico (1994) pour les chevaux qui n'ont pas reçu de gain (classés derrière le 5^{ème}). Le principe est d'attribuer à un cheval non gagnant un gain fictif équivalent à 50% de ce que le cheval placé avant lui a reçu, comme cela est fait pour les gains réels des 5 premiers chevaux. Cette approche nous a permis de récupérer une information appréciable, concernant les chevaux ayant couru mais n'ayant réalisé aucun gain. Vu la manière dont les gains sont attribués, la distribution des gains n'est pas normale et nécessite le plus souvent une transformation logarithmique (Langlois 1975).

Signalons ici que le rang, rarement utilisé seul pour la raison de manque d'informativité évoquée plus haut, a également un comportement non normal, ce qui nécessite aussi l'application d'une transformation de cette variable avant son utilisation dans un modèle gaussien (Langlois 1980a; Chico 1994; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007; Bakhtiari & Kashan 2009).

A partir des informations dont nous disposons, d'autres variables synthétiques ont été calculées pour chaque cheval, tel que le gain virtuel annuel (AEV : somme totale gagnée par année), le nombre de départs total durant une année, le gain virtuel moyen annuel par départ (AEV/S : somme totale gagnée par année/ le nombre total de départs dans l'année), ainsi que le rang annuel (classement annuel d'un cheval calculé par rapport à toutes les courses qu'il a réalisées durant l'année).

3.2.3 Analyse statistique

3.2.3.1 Transformation logarithmique des gains

Comme suggéré par Langlois (1975), une transformation logarithmique a été appliquée aux gains virtuels annuels (LAEV) et les gains moyens annuels (LAEV/S), afin de les soumettre aux analyses statistiques. Les résultats de la transformation des gains (LAEV et LAEV/S) sont donnés au Tableau 11. Signalons que la transformation logarithmique a été utilisée par d'autres auteurs pour ces caractères (Belhajyahia *et al.* 2003; Svobodova *et al.* 2005).

Tableau 11 Statistiques élémentaires des données transformées de LAEV, LAEV/S et PERF chez le pur-sang arabe et anglais

	Pur-sang arabe (N=3611)					Pur-sang anglais (N=2381)				
	AEV	LAEV	AEV/S	LAEV/S	PERF	AEV	LAEV	AEV/S	LAEV/S	PERF
Moyenne	115329,05	10,38	11718,72	8,36	0,06	96513,84	10,28	14027,98	8,73	0,15
Médiane	85000,00	11,35	7778,05	8,96	0,07	53831,25	10,89	8883,33	9,09	0,12
Std Dev	136788,72	2,43	13747,87	1,96	0,75	121404,8	2,13	16189,50	1,62	0,65
Skewness	3,49	-1,40	2,53	-1,22	0,11	2,56	-1,11	2,49	-1,12	0,23
Kurtosis	26,55	1,30	10,11	1,00	-0,40	11,97	0,87	9,46	1,28	-0,54

3..2.3.2 Transformation des rangs

Le rang, variant de 1 à n, ne suit pas une distribution normale (Langlois 1980a; Belhajyahia *et al.* 2003; Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Svobodova *et al.* 2005; Bokor *et al.* 2007). Pour la rendre normale, cette variable a été transformée en appliquant la méthode de Langlois (1984) laquelle est basée sur le *performance rate* proposé par Gillespie (1971) et utilisée par Belhajyahia *et al.* (2003); Svobodova *et al.* (2005); Bakhtiari & Kashan (2009). Cette méthode consiste à attribuer à chaque cheval i un score S_{ij} pour la course j. Le score utilisé est un score normalisé appelé score de Blom (Leroy & Farnir 2002), qui intègre le fait qu'à niveau égal de la course, il est en général plus difficile d'obtenir un bon classement dans une course où le nombre de participants est élevé que dans une course où ce nombre est faible. Il est calculé par la formule :

$$S_{ij} = \Phi^{-1} \left(\frac{r_{ij} - \frac{3}{8}}{n_j + \frac{1}{4}} \right)$$

Où r_{ij} est le rang du cheval i dans la course j,

n_j est le nombre de participants à la course j

Φ^{-1} est la loi normale cumulée inverse, transformant des probabilités en valeurs de la variable normale standardisée.

Une fois le rang transformé en performance normalisée, il faut tenir compte du niveau de la course, lequel dépend essentiellement du niveau des concurrents. Ainsi, deux scores identiques obtenus par un cheval dans deux épreuves de niveaux différents correspondraient à des performances différentes de l'animal. La performance (PERF) P_{ij} du cheval i dans l'épreuve j pourrait donc être représentée par l'addition de son score et du niveau de l'épreuve :

$$P_{ij} = S_{ij} + E_j$$

Le niveau E_j de l'épreuve j correspond à la moyenne des valeurs C_k des chevaux ayant participé à cette épreuve :

$$E_j = \frac{\sum_{k=1}^{n_j} C_k}{n_j}$$

Enfin la valeur C_k d'un cheval est estimée comme la moyenne de ses performances P_{ij} dans les m_k épreuves auxquelles il a participé.

$$C_k = \frac{\sum_{l=1}^{m_k} P_{kl}}{m_k}$$

Initialisant les valeurs des épreuves à une valeur bien choisie, on peut, par itérations successives, obtenir un estimateur stable de la performance P_{ij} et un estimateur stable de la valeur des chevaux C_k , qui seront utilisées comme caractères dans la suite de ce travail.

3.2.3.3 Analyses statistiques des caractères transformés

Les caractères de performance qui ont été analysés dans cette étude sont le logarithme du gain virtuel annuel (LAEV), le logarithme du gain virtuel moyen par départ (LAEV/S) et la valeur de la performance (PERF).

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS (Statistical Analysis System, version 9.1.3). Les statistiques descriptives (effectif, moyenne arithmétique, valeurs minimale et maximale, déviation standard) ont été obtenues pour les différents caractères. Pour analyser l'effet des facteurs non-génétiques, un modèle linéaire à effets fixes a été ajusté aux données et analysé à l'aide de la

procédure GLM (*General Linear Models*). Les moyennes moindres carrés ont été estimées et comparées par le test de Tukey. Les corrélations entre les trois caractères de performance (LAEV, LAEV/S, PERF) ont été obtenues à l'aide de la procédure *CORR* du SAS.

Modèle mathématique utilisé pour le pur-sang arabe et anglais :

$$Y_{ijkn} = \mu + S_i + Ag_j + An_k + S_i * Ag_j + S_i * An_k + A_i * An_k + e_{ijkn}$$

Où

Y_{ijkn} = LAEV, ou LAEV/S ou PERF du n^{ième} cheval de sexe i, de classe d'âge j, dans l'année de course k;

μ = moyenne générale;

S_i = effet fixe du sexe i (2 classes F et M);

Ag_j = effet fixe de l'âge j (6 classes: 3, 4, 5, 6, 7 et ≥ 8 ans);

An_k = effet fixe de l'année de course k (13 années : de 1995 à 2007);

$A_i * B_j$ = interaction entre le niveau i de l'effet A et j de l'effet B ;

e_{ijkn} = effet résiduel aléatoire.

Pour LAEV, LAEV/S et PERF, qui sont des caractères mesurés sur toutes les courses de l'année, l'âge utilisé est l'âge de l'animal au début de l'année considérée. Les interactions à deux voies entre les 3 facteurs ont été étudiées, et seules celles qui étaient significatives ont été conservées dans le modèle final. Pour les trois caractères, la distribution des données dans les différentes classes d'effets fixes est donnée au Tableau 12 pour le pur-sang arabe et le pur-sang anglais.

Tableau 12 Distribution des données pour les deux races dans les différentes classes de sexe, d'âges et d'années

Effets fixes	Pur-sang arabe (N=3611)		Pur-sang anglais (N=2381)	
	Obs	(%)	Obs	(%)
Sexe				
	Mâle	1782 (49,35)	878	(36,88)
	Femelle	1829 (50,65)	1503	(63,12)
Âge (année)				
	3	592 (16,39)	593	(24,91)
	4	587 (16,26)	552	(23,18)
	5	515 (14,26)	437	(18,35)
	6	445 (12,32)	327	(13,73)
	7	388 (10,74)	210	(8,82)
	$\geq 8^\dagger$	1084 (30,02)	262	(11,00)
Année de la course				
	1995	234 (6,48)	224	(9,41)
	1996	235 (6,51)	192	(8,06)
	1997	250 (6,92)	191	(8,02)
	1998	275 (7,62)	167	(7,01)
	1999	280 (7,75)	184	(7,73)
	2000	290 (8,03)	204	(8,57)
	2001	258 (7,14)	155	(6,51)
	2002	265 (7,34)	138	(5,80)
	2003	283 (7,84)	192	(8,06)
	2004	274 (7,59)	181	(7,60)
	2005	317 (8,78)	182	(7,64)
	2006	320 (8,86)	174	(7,31)
	2007	330 (9,14)	197	(8,27)

† : Âge ≥ 8 contient des âges qui varient de 9 à 20 ans pour l'arabe et de 9 à 14 ans pour l'anglais

La part de la variation du modèle expliquée par l'ensemble des effets fixes est donnée par le coefficient de détermination (R^2).

3.3 Résultats

3.3.1 Relation entre les 3 caractères étudiés

Les corrélations entre LAEV, LAEV/S et PERF sont données dans le Tableau 13. Les corrélations calculées entre les 3 caractères sont du même ordre de grandeur chez le pur-sang arabe et anglais et sont significativement ($p < 0.001$) positives et élevées.

Tableau 13 Coefficient de corrélation (r) entre les 3 caractères chez le pur-sang arabe (au-dessus de la diagonale) et le pur-sang anglais (en-dessous de la diagonale)

	LAEV	LAEV/S	PERF
LAEV		0,95 ^{***}	0,74 ^{***}
LAEV/S	0,93 ^{***}		0,81 ^{***}
PERF	0,76 ^{***}	0,81 ^{***}	

***: $p < 0.001$

Statistique descriptive des résultats de course de pur-sang arabe et anglais

Le nombre d'observations, la moyenne, la déviation standard des valeurs de LAEV, LAEV/S et PERF sont donnés au Tableau 11. Signalons que les gains sont exprimés en dinars algériens, si bien que, par exemple, la moyenne du logarithme du gain virtuel par année (LAEV) vaut en moyenne $\exp(10,38) = 32209$ dinars algériens (DA).

3.3.2 Estimation des effets non génétiques

3.3.2.1 Part de variation des trois caractères expliquée par le modèle et les effets d'environnement

Les résultats des analyses de variance reportés dans le Tableau 14 montrent un effet très significatif ($p < 0.001$) de tous les effets principaux (sexe, âge et année de la course) sur LAEV, LAEV/S et PERF chez le pur-sang arabe. Il en est de même chez le pur-sang anglais à l'exception du sexe qui n'a aucun effet significatif sur les deux caractères de gain ($p > 0.05$). L'interaction entre l'âge et l'année de la course est significative pour les trois caractères chez l'arabe et pour LAEV chez l'anglais, elle explique une variation de l'ordre de 3%. L'interaction entre l'âge et le sexe est significative seulement chez le pur-sang arabe et pour le caractère PERF, la part de la variation expliquée par cette interaction a été très faible 0.3%. Tous ces effets significatifs n'expliquent que très peu les variations des 3 caractères, l'importance de la part de la variation totale expliquée par le modèle (R^2) étant plus élevée pour le caractère PERF chez le pur-sang arabe (13%).

Tableau 14 Effet des facteurs fixes et de leurs interactions sur LAEV, LAEV/S et PERF chez le pur-sang arabe et anglais

Effets fixes	pur-sang arabe (N=3611)						pur-sang anglais (N=2381)					
	LAEV		LAEV/S		PERF		LAEV		LAEV/S		PERF	
	P	R ² †	P	R ² †	P	R ² †	P	R ² †	P	R ² †	P	R ² †
Sexe	***	0,02	***	0,03	***	0,05	ns		ns		*	0,002
Âge	***	0,02	***	0,02	***	0,03	***	0,04	***	0,02	***	0,02
Année de la course	***	0,01	***	0,02	***	0,01	***	0,02	***	0,03	***	0,02
R ² (modèle sans interactions)		0,05		0,07		0,09		0,06		0,05		0,04
Sexe x âge	ns		ns		*	0,003	ns		ns		ns	
Age x année de la course	***	0,03	***	0,03	***	0,04	*	0,03	ns		ns	
Sexe x année de la course	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
R ² (modèle avec interactions)		0,08		0,10		0,13		0,09		0,05		0,04

ns : $p > 0,05$; * : $p < 0,05$; *** : $p < 0,001$

† : seules les valeurs de R² pour les effets significatifs sont représentés dans la table

3.3.2.2 Effet du sexe, de l'âge et de l'année de la course

Les moyennes aux moindres carrés relatives aux effets du sexe, de l'âge et de l'année de la performance chez les deux races sont données au Tableau 15.

Tableau 15 Moyennes moindres carrés (LSM) et erreur standard (SE) des effets du sexe, de l'âge, et de l'année de la course sur LAEV, LAEV/S et PERF chez le pur-sang arabe et anglais

Effets fixes	Pur-sang arabe						Pur-sang anglais						
	LAEV		LAEV/S		PERF		LAEV		LAEV/S		PERF		
	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	
Sexe													
	Mâles	10,83 ^a	0,06	8,73 ^a	0,1	0,3 ^a	0,02	10,14 ^a	0,08	8,75 ^a	0,06	0,17 ^a	0,02
	Femelles	10,08 ^b	0,06	8,07 ^b	0,1	0,1 ^b	0,02	10,03 ^a	0,06	8,63	0,04	0,11 ^b	0,02
Âge (année)	3	10,22 ^{ab}	0,10	8,21 ^a	0,08	0,08 ^a	0,03	10,33 ^{ab}	0,09	8,74 ^{abc}	0,07	0,12 ^a	0,03
	4	10,44 ^{bc}	0,10	8,33 ^{ab}	0,08	0,09 ^b	0,03	10,61 ^a	0,09	8,99 ^a	0,07	0,27 ^b	0,03
	5	10,68 ^c	0,11	8,56 ^b	0,09	0,20 ^b	0,03	10,55 ^{ab}	0,10	8,96 ^a	0,08	0,25 ^b	0,03
	6	10,66 ^c	0,12	8,59 ^b	0,09	0,22 ^b	0,04	10,15 ^{bc}	0,12	8,80 ^{ab}	0,09	0,18 ^{ab}	0,04
	7	10,74 ^c	0,12	8,66 ^b	0,10	0,20 ^b	0,04	9,69 ^{cd}	0,15	8,45 ^{bcd}	0,11	0,07	0,04
	>=8	10,00 ^a	0,08	8,06 ^a	0,06	0,04 ^a	0,02	9,19 ^d	0,15	8,18 ^d	0,10	0,04 ^c	0,04
Année de la course	1995	10,16 ^a	0,16	7,95 ^a	0,13	0	0,05	9,65 ^{ab}	0,18	8,19 ^a	0,11	0,05 ^a	0,04
	1996	10,01 ^a	0,16	7,94 ^a	0,13	0,1 ^{ab}	0,05	9,46 ^a	0,23	8,19 ^a	0,12	0,05 ^a	0,05
	1997	10,62 ^{ab}	0,15	8,21 ^a	0,12	0	0,05	10,15 ^{abcd}	0,18	8,42 ^{ab}	0,12	0,06 ^a	0,05
	1998	10,03 ^a	0,15	8,07 ^a	0,12	0	0,05	9,57 ^{ab}	0,19	8,38 ^{ab}	0,12	0,05 ^a	0,05
	1999	10,52 ^{ab}	0,15	8,40 ^{ab}	0,12	0,2 ^{ab}	0,05	10,30 ^{abcd}	0,16	8,72 ^{bc}	0,12	0,25 ^{ab}	0,05
	2000	10,44 ^{ab}	0,15	8,23 ^a	0,12	0,2 ^a	0,04	10,40 ^{bcd}	0,16	8,85 ^{bc}	0,11	0,28 ^b	0,05
	2001	10,69 ^{ab}	0,17	8,52 ^{ab}	0,13	0,1 ^{ab}	0,05	10,01 ^{abcd}	0,18	8,94 ^{bc}	0,13	0,24 ^{ab}	0,05
	2002	10,35 ^{ab}	0,17	8,37 ^{ab}	0,13	0	0,05	9,95 ^{abcd}	0,18	8,72 ^{abc}	0,14	0,14 ^{ab}	0,06
	2003	10,47 ^{ab}	0,17	8,37 ^{ab}	0,13	0,2 ^{ab}	0,05	10,52 ^{cd}	0,16	8,91 ^{bc}	0,12	0,26 ^{ab}	0,05
	2004	10,08 ^a	0,15	8,42 ^{ab}	0,12	0	0,05	9,83 ^{abc}	0,18	8,71 ^{abc}	0,12	0,09 ^{ab}	0,05
	2005	10,96 ^b	0,15	8,81 ^{bc}	0,12	0,1 ^{ab}	0,04	10,36 ^{abcd}	0,17	8,76 ^{bc}	0,12	0,13 ^{ab}	0,05
	2006	10,61 ^{ab}	0,14	8,85 ^{bc}	0,11	0,1 ^{ab}	0,04	10,20 ^{abcd}	0,16	8,97	0,12	0,07 ^{ab}	0,05
	2007	10,99 ^b	0,14	9,10 ^c	0,11	0,1 ^{ab}	0,04	10,72 ^d	0,15	9,17 ^c	0,11	0,17 ^{ab}	0,05

a, b, c, d : la différence entre les groupes avec des lettres différentes est significative (p < 0,05)

Effet du sexe

La supériorité des mâles sur les femelles s'observe pour les trois caractères (LAEV, LAEV/S et PERF) chez le pur-sang arabe: les femelles obtiennent, en moyenne, des gains inférieurs à ceux obtenus par les mâles, et ont aussi des valeurs de classement plus faibles. Chez le pur-sang anglais la supériorité des mâles sur les femelles n'est significative que pour le caractère PERF ($p < 0.05$), pour lequel les femelles ont des valeurs de classement plus faibles que celles des mâles.

Effet de l'âge

Les Figures 10a et 10b, établies à partir des moyennes aux moindres carrés relatives à l'âge du cheval, consignées du Tableau 15, illustrent l'effet de l'âge des chevaux des deux races sur les trois caractères. Chez le pur-sang arabe, la (Figure 10a) montre que l'effet de l'âge est similaire pour les trois caractères. Les performances de gain et de rang s'améliorent avec l'âge, en présentant un plateau de 5 à 7 ans (âge mature), puis se détériorent.

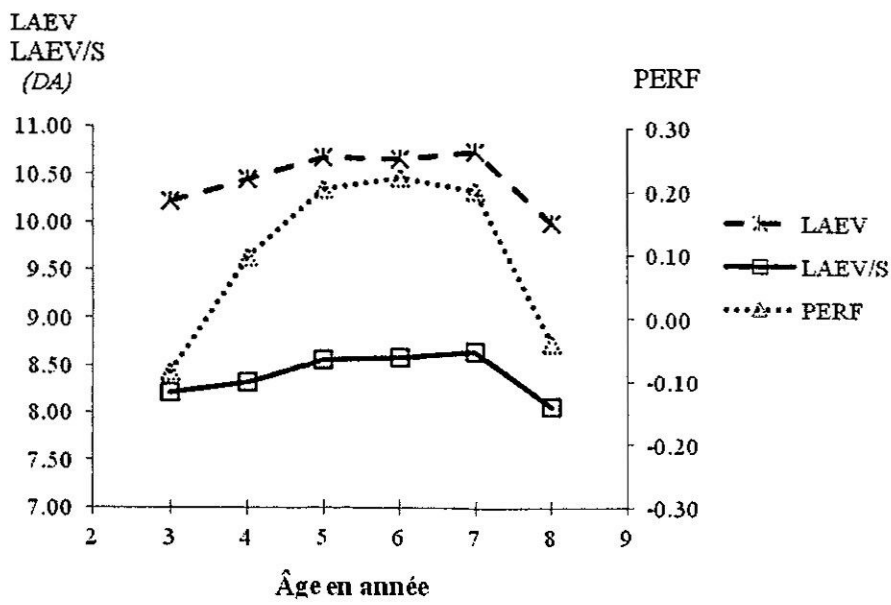


Fig 10 a

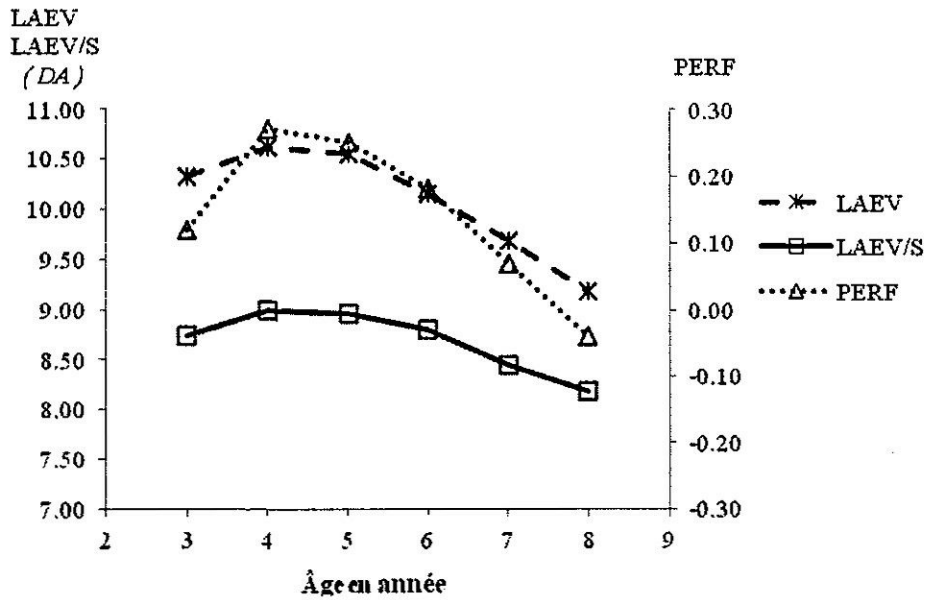


Fig 10 b

Figure 10 Effet de l'âge sur les trois caractères de performance chez le pur-sang arabe (fig 1a) et chez le pur-sang anglais (fig 1b)

La différence entre les chevaux d'âge mature (5-7 ans) et les plus jeunes (moins de 4 ans) ou plus vieux chevaux (8 ans et plus) est significative ($p < 0.05$) alors que la différence entre les vieux et les plus jeunes chevaux ne l'est pas ($p > 0.05$). Bien que la différence entre les chevaux de 3 ans et de 4 ans ne soit pas significative pour les caractères des gains, une légère amélioration des performances a été observée entre les deux âges. Cette différence de performances entre les deux âges s'est avérée significative pour PERF (Tableau 15). Une analyse plus fine a été réalisée afin de comparer les performances des plus jeunes chevaux et celles des plus vieux : nous avons comparé les âges 8, 9, 10 et 11 ans et plus avec l'âge 3 ans et les mêmes constatations ont été faites que pour les âges regroupés en classe d'âge supérieures ou égales à 8 ans. Les performances continuent à diminuer avec l'âge, cependant il n'existe pas de différences significatives entre les performances à l'âge de 3 ans et celles aux âges 8, 9, 10 et 11 ans et plus pour les trois caractères de performances. Signalons encore que la chute apparemment brutale après 7 ans est en réalité exagérée sur le graphique par le regroupement en une seule catégorie d'individus d'âge supérieur ou égal à 8 ans. L'analyse plus détaillée de cette catégorie montre qu'en réalité, la décroissance est plus progressive avec l'âge après 8 ans. Concernant le pur-sang anglais, la (Figure 10b) montre que l'effet de l'âge évolue de la même manière pour les trois caractères (LAEV, LAEV/S et PERF), la tendance étant la même que celle observée chez le pur-sang arabe ; la seule différence concerne la détérioration plus précoce des performances chez le pur-sang anglais (à partir de 5 ans). En effet, dans cette race, les performances de gain et de rang s'améliorent avec l'âge, en présentant un plateau de 4 à 5 ans, puis diminuent avec l'âge. La différence entre les chevaux de (4-5 ans) et les plus jeunes (3 ans) n'est pas significative pour les caractères de gains ($p > 0.05$), alors que la différence est significative pour PERF (Tableau 15). La différence entre les chevaux de 6 et 7 ans n'est pas significative pour tous les caractères de performances, alors que la différence est significative entre les chevaux âgés de (4-5 ans) et ceux dont l'âge est de 7 ans et plus, pour toutes les variables. La différence entre les vieux chevaux (8 ans et plus) et les plus jeunes chevaux (3 ans) est significative ($p < 0.05$).

Effet de l'année de la course

Les Figures (11a) et (11b) établies à partir des moyennes aux moindres carrés relatives à l'année de la course et consignées dans le Tableau 15 illustrent l'effet de l'année de la course sur les trois caractères respectivement chez le pur-sang arabe et anglais. L'effet de l'année a été significatif pour les trois performances et dans les deux races (Tableau 14).

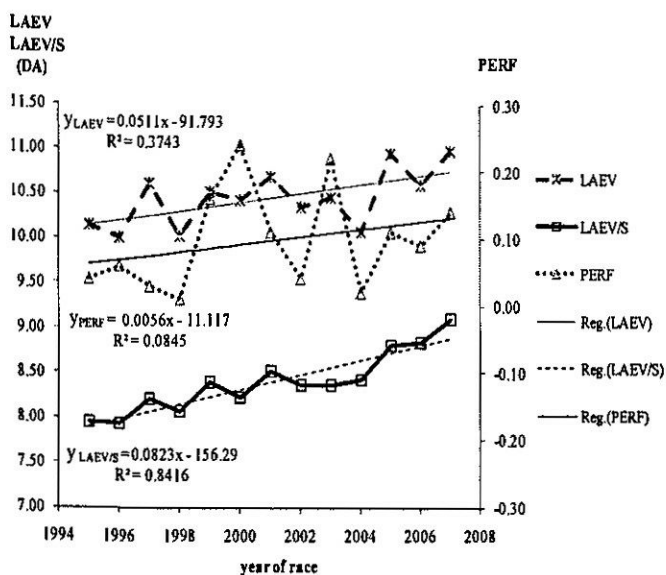


Fig 11a

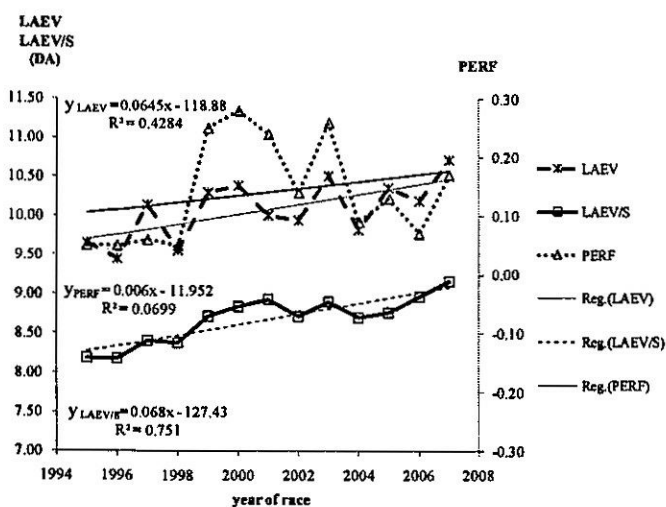


Fig 11b

Figure 11 Effet de l'année de la course sur les trois caractères de performance chez le pur-sang arabe (Fig 11a) et chez le pur-sang anglais (Fig 11b)

Chez le pur-sang arabe, les deux gains (LAEV et LAEV/S), ont tendance à fluctuer d'une année à l'autre, cependant on peut observer une tendance vers une croissance de type linéaire. Les régressions linéaires ajustées aux moindres carrés pour les différentes années (Figure 11a) s'avèrent significatives ($p = 0.026$ pour

LAEV et $p < 0.001$ pour LAEV/S). L'ajustement de la régression linéaire montre également que pour le gain moyen (LAEV/S), le coefficient de détermination R^2 est élevé (84%), avec une augmentation moyenne des gains par départ de 8,6% par an. L'ajustement de la droite de régression pour LAEV est moins bon (le coefficient de détermination $R^2 = 37\%$). Le gain annuel (LAEV) augmente en moyenne de 5.2% par an. Concernant la PERF, la régression linéaire n'est pas significative ($p = 0.335$), et la variation résiduelle est très importante (comme le montre également le coefficient de détermination très faible de 8%).

Chez le pur-sang anglais, la (Figure 11b) illustre que l'effet de l'année de la course sur les gains est de même nature que celui décrit chez le pur sang arabe. L'ajustement d'une régression linéaire s'avère significatif avec respectivement un seuil de signification de 0.015 et de 0.0001 pour LAEV et LAEV/S. L'ajustement montre également que pour le LAEV/S, le coefficient de détermination est élevé ($R^2 = 75\%$) avec une évolution moyenne annuelle des gains par départ de 7%. Pour le LAEV l'ajustement est moins élevé ($R^2 = 43\%$) et l'augmentation moyenne des gains annuels par année est de 6.7%. Concernant PERF, l'ajustement d'une régression linéaire n'est pas significatif ($p = 0.383$) et le coefficient de détermination est très faible (7%).

3.3.2.3 Effet des interactions sexe x âge et âge x années sur les caractères

La (Figure 12), établie à partir des moyennes aux moindres carrés relatives à l'interaction entre l'âge et le sexe pour le caractère PERF chez le pur-sang arabe montre que l'écart entre mâles et femelles reste approximativement constant quand l'âge des animaux augmente, pour diminuer au-delà de 7 ans, montrant ainsi qu'à cet âge, les performances des mâles diminuent plus rapidement que celles des femelles. Une analyse réalisée en éliminant les chevaux âgés de 7 ans et plus, a montré que l'interaction disparaît et n'est plus significative ($p > 0.05$).

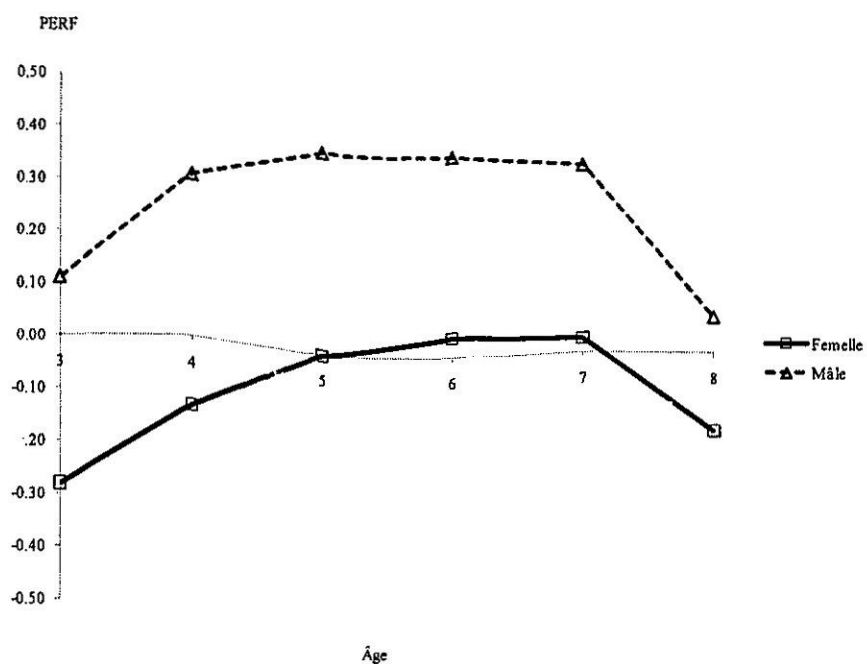


Figure 12 Effet de l'interaction entre l'âge et le sexe sur la PERF
chez le pur-sang arabe

Pour l'interaction entre l'âge et l'année, nous avons ajusté des régressions aux moyennes moindres carrés (relatives à l'interaction entre l'âge et l'année) en fonction de l'année pour chaque catégorie d'âge des chevaux dans les deux races (Tableau 16).

Tableau 16 Ajustement des régressions linéaires aux moyennes moindres carrés des interactions entre l'âge et l'année chez le pur-sang arabe et anglais

Age	Pur-sang arabe			Pur-sang anglais
	LAEV	LAEV/S	PERF	LAEV
3	$y = 0,1265x - 242,86$ $R^2 = 0,4900^{**}$	$y = 0,1363x - 264,45$ $R^2 = 0,6818^{***}$	$y = 0,0294x - 58,856$ $R^2 = 0,3556^*$	$y = -0,0052x + 20,658$ $R^2 = 0,0023^{ns}$
4	$y = 0,1023x - 194,31$ $R^2 = 0,4083^*$	$y = 0,1263x - 244,43$ $R^2 = 0,628^{**}$	$y = 0,168x - 33,532$ $R^2 = 0,1568^{ns}$	$y = 0,0409x - 71,192$ $R^2 = 0,0796^{ns}$
5	$y = 0,0664x - 122,15$ $R^2 = 0,2145^{ns}$	$y = 0,1036x - 198,81$ $R^2 = 0,4566^*$	$y = 0,0199x - 39,629$ $R^2 = 0,2232^{ns}$	$y = 0,0459x - 81,263$ $R^2 = 0,1844^{ns}$
6	$y = -0,0002x + 11,056$ $R^2 = 1E-06^{ns}$	$y = 0,0389x - 69,16$ $R^2 = 0,1083^{ns}$	$y = -0,0063x + 12,764$ $R^2 = 0,021^{ns}$	$y = 0,0295x - 48,895$ $R^2 = 0,0897$
7	$y = 0,013x - 15,291$ $R^2 = 0,0135^{ns}$	$y = 0,0585x - 108,33$ $R^2 = 0,3896^*$	$y = -0,0034x + 7,0196$ $R^2 = 0,008^{ns}$	$y = 0,1445x - 279,36$ $R^2 = 0,4007^*$
≥ 8	$y = -0,0018x + 13,498$ $R^2 = 0,0005^{ns}$	$y = 0,0295x - 50,867$ $R^2 = 0,2497^{ns}$	$y = -0,0234x + 46,73$ $R^2 = 0,3682^*$	$y = 0,1316x - 254,25$ $R^2 = 0,3901^*$

ns : $p > 0,05$, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$, *** : $p < 0,001$

Chez le pur-sang arabe, il apparaît pour le caractère LAEV une augmentation significative ($p < 0,05$) avec les années pour les âges 3 et 4 ans, cependant, aucune variation linéaire n'est observée pour les autres âges ($p > 0,05$). Pour LAEV/S, l'ajustement des régressions est significatif pour les âges 3, 4, 5 et 7 ans, cependant il est meilleur pour les 3 et 4 ans et l'évolution moyenne annuelle est plus importante. Pour PERF, il apparaît du Tableau 16 que les régressions sont significatives uniquement pour les jeunes âges 3 ans et les vieux 8 ans avec une augmentation des performances avec l'année pour les 3 ans et une diminution pour les âges de 8 ans. Chez le pur-sang anglais pour le LAEV le comportement de l'interaction entre l'âge et l'année est complètement contraire à celui observé avec l'arabe pour le même caractère. En effet, il ressort du Tableau 16 que l'ajustement de la régression est significatif seulement pour les vieux chevaux (7 et 8 ans), avec une augmentation significative des LAEV avec l'année.

3.4 Discussion

3.4.1 Corrélations entre LAEV, LAEV/S et PERF

Les résultats des corrélations (Tableau 13) confirment ceux obtenus par Belhajyahia *et al.* (2003) chez le pur-sang arabe, et ceux rapportés par Chico (1994) et Bugislaus *et al.* (2004) chez le pur-sang anglais. Bien que les corrélations entre les caractères soient élevées, chaque caractère semble révéler une facette particulière de la qualité d'un cheval. L'intérêt de prendre plusieurs caractères est de tenir compte de ces différents aspects. Par exemple, on peut critiquer l'utilisation du gain par départ pour les chevaux n'ayant qu'un seul départ : si, par chance, ces chevaux se sont classés, ce caractère de performance peut être surévalué alors qu'il n'est le résultat que d'une seule sortie. Il est plus intéressant d'obtenir le même résultat avec plusieurs sorties. Dans ce cas, le caractère du gain total différenciera les deux situations : les premiers chevaux (avec un seul départ) auront un faible gain total et les seconds (avec plusieurs départs) un gain total plus élevé. Le gain total est aussi critiquable : un cheval sorti très souvent dans des épreuves de petit niveau pourra cumuler un gain final intéressant. Or il est sans doute plus méritoire d'obtenir ce même gain en se classant moins souvent dans des épreuves plus difficiles. Tous ces cas semblent avoir été relativement rares au vu des corrélations élevées que nous avons obtenues. Cependant l'utilisation de plusieurs caractères permet de tenir compte dans la valeur globale de l'individu de ses particularités, et permet d'obtenir, dès lors, une image plus détaillée de la qualité des individus.

Les trois caractères de performances expriment donc des potentiels similaires et reviennent à traduire une seule et même réalité : le classement des chevaux dans la course. Ce classement apparaît donc comme essentiel dans l'évaluation des performances des chevaux de course. Le choix du phénotype pour l'estimation des valeurs d'élevage des reproducteurs dépendra alors des objectifs de sélection. La valeur de classement, si elle est statistiquement normalisée et transformée (PERF) nous semble s'approcher du classement réel des chevaux surtout que dans notre cas, les classements sont données pour tous les chevaux ayant participé à la course. Elle permet une classification hiérarchisée de tous les chevaux, même s'ils ne se sont pas rencontrés directement. En effet, le niveau d'une épreuve est mesuré par les classements des chevaux de l'épreuve obtenus dans les autres épreuves auxquelles ils ont participé. Tel cheval est meilleur que l'autre car il l'a battu dans une épreuve, cet autre cheval en a battu d'autres dans d'autres épreuves, le premier est donc meilleur

que l'ensemble de ces chevaux mais il a lui-même été battu dans d'autres épreuves et ainsi de suite. D'autre part le rang transformé présente un grand avantage pour la comparaison internationale, car il est le même dans tous les pays (Tavernier 1990). La situation est différente avec le gain ; en effet, ce dernier fait reposer le niveau de l'épreuve sur les seuls écarts de dotation, sans tenir compte des écarts de qualité entre les chevaux engagés. Ces dotations dépendront des politiques nationales de dotation des courses et qui varient d'un pays à un autre. Cependant, les gains sont aussi jugés utiles par les éleveurs pour estimer le niveau de performance des chevaux (Langlois & Blouin 2004) et sont un objectif majeur des éleveurs en même temps qu'un critère de comparaison à l'échelle nationale.

3.4.2 Effet des paramètres non-génétiques sur les différents caractères chez le pur-sang arabe et anglais

Bien que significative, la part de la variation totale des caractères de performance expliquée par le modèle (incluant les interactions significatives) n'est pas très élevée (Tableau 14). Ces faibles valeurs de R^2 trouvées dans notre étude ont aussi été rapportées par (Langlois 1975) et (Langlois & Blouin 1998), chez le pur-sang anglais et dans les courses de plat (voir dans le Tableau 1 les résultats d'études similaires dans d'autres pays). L'ensemble des effets fixes significatifs n'explique qu'une petite partie de la variation des trois caractères de performance. En effet, d'autres facteurs tels que le jockey, l'entraîneur et le propriétaire influencent les performances synthétiques des chevaux. Toutefois, en pratique, l'estimation des effets liés aux facteurs entraîneur et propriétaire n'est pas toujours possible, car la majorité des entraîneurs et des propriétaires ne possèdent et n'entraînent qu'un seul cheval. La même situation a été observée avec les jockeys. Dans la littérature, Sobczynska et Lukaszewicz (2004) et Svobodova *et al.* (2005) n'ont pas pu estimer l'effet du jockey ; cependant, des différences ont été trouvées entre jockeys pour les trotteurs par Röhe *et al.* (2001), dans une étude où les jockeys menaient plusieurs chevaux. Oki *et al.* (1995b) ont rapporté dans leur étude que le talent du jockey a un effet significatif sur le temps de course pour différentes distances et différents types de piste.

Dans nos données, l'effet jockey est pratiquement difficile à estimer. Pour le séparer de l'effet cheval, il faudrait soit qu'un même jockey monte plusieurs chevaux soit réciproquement qu'un même cheval soit monté par plusieurs cavaliers. Or les courses

sont majoritairement pratiquées par des amateurs, le plus souvent propriétaires et cavaliers d'un cheval. Les quelques exceptions ne sont pas représentatives et constituent souvent une minorité de professionnels.

Preisinger *et al.* (1990), ont souligné que l'effet de l'entraîneur est un facteur d'environnement important qu'il est utile de prendre en considération. L'utilisation d'un effet de l'entraîneur chez les chevaux de course est néanmoins délicate. En effet, un entraîneur possède plusieurs chevaux à l'entraînement. Le risque alors est de corriger sans tenir compte du fait que les meilleurs chevaux sont sans doute aux mains des meilleurs entraîneurs. Mais il faut alors un nombre important de chevaux par entraîneur pour avoir une estimation, ce qui risque d'éliminer les entraîneurs n'ayant qu'un cheval. On sera en outre confronté au problème de changement d'écurie du cheval qui peut se produire en cours d'année et même plusieurs fois (Langlois 1982).

Le facteur propriétaire n'est en général pas pris en compte dans les analyses statistiques, dans la mesure où certains auteurs (Langlois 1975) supposent que la majorité des éleveurs de chevaux de course disposent des conditions d'élevage favorables et donc comparables.

Effet du sexe

Pour les trois caractères de performance chez le pur-sang arabe, l'effet du sexe a été significatif, et s'est révélé être le plus important de tous les facteurs étudiés surtout pour le caractère PERF (Tableau 14). Les performances des mâles sont significativement supérieures à celles des femelles. Nos résultats concordent avec ceux trouvés dans la littérature, en particulier chez le pur-sang arabe par (Belhajyahia *et al.* 2003). Cependant dans leur étude, ces auteurs n'ont trouvé un effet significatif que pour les gains et non pour le classement, ce qu'ils expliquent par le fait que la majorité des femelles jeunes, ont couru séparément. Ekiz & Kocak (2005) ont obtenu les mêmes résultats chez le pur-sang arabe en Turquie : l'effet du sexe s'est montré significatif pour les caractères gain annuel, gain par départ et classement ($p < 0.01$). L'effet du sexe en faveur des mâles est bien connu pour la discipline du galop (Langlois 1980a; Langlois 1996; Ricard *et al.* 2000). Les différences dans les performances de courses entre les sexes sont généralement un reflet des différences

de caractéristiques physiologiques des mâles et des femelles pendant la course (Jelinek 1988).

L'effet du sexe chez le pur-sang anglais n'a pas été significatif pour les caractères de gains, et l'a été par contre modérément pour la PERF, puisqu'il n'a expliqué que 0,2% de la variation totale de la variable (Tableau 14). Bakhtiari & Kashan (2009) ont trouvé un effet non significatif du sexe sur le rang. En revanche, d'autres auteurs ont rapporté un effet significatif du sexe sur les caractères de performance des gains et des rangs, avec les performances des mâles significativement supérieures à celles des femelles (Langlois & Blouin 1998; Svobodova *et al.* 2005; Ekiz *et al.* 2005b; Bokor *et al.* 2007). Cette absence d'effet du sexe dans notre étude, en contradiction avec les résultats d'autres études, pourrait être due à des erreurs sur le sexe des chevaux qui ont été publiés dans les résultats de course par la Société des courses. En effet, il ne nous a pas été possible, en raison de l'absence du stud book du pur-sang anglais en Algérie, de vérifier les renseignements sur ces chevaux pour les résultats publiés, comme nous l'avions fait pour le pur-sang arabe. Une indication qu'il y aurait pu y avoir encodage des résultats de certains mâles avec une erreur sur le sexe est l'augmentation significative des effectifs des femelles par rapport à celui des mâles constatée dans ces données (Tableau 12).

Effet de l'âge

L'effet de l'âge mesure la variation des performances d'un cheval qui serait due à l'acquisition d'une maturité physique et de l'acquisition d'expérience après un certain âge ou au contraire à une diminution du potentiel physique de l'animal par vieillissement. Dans le cas de notre étude, l'amélioration apparente des performances avec l'âge s'est manifestée pour les trois caractères chez le pur-sang arabe et anglais. Chez le pur-sang arabe les performances de course s'améliorent entre 3 et 7 ans puis la tendance est à la diminution. Les différences ont été significatives entre les jeunes chevaux dont l'âge est inférieur à 4 ans et les plus matures notamment pour le caractère PERF. Les jeunes chevaux n'ont pas encore eu l'occasion d'exprimer tout leur potentiel et par conséquent ont des performances moins bonnes que celles des chevaux plus âgés. Belhajyahia *et al.* (2003) ont rapporté un effet significatif de l'âge sur le classement et le gain. Selon les travaux d'Ekiz & Kocak (2005), l'effet de l'âge est aussi significatif pour les caractères de gain annuel et par départ ainsi que pour les rangs.

Les résultats que nous avons trouvés avec le pur-sang anglais concordent avec ceux de la littérature (Tableau 1). En effet, les performances s'améliorent avec l'âge, puis finissent de nouveau par diminuer. L'apport de l'âge est optimal à l'âge de 5 ans, ensuite les chevaux réalisent de moins bonnes performances. Les pur-sang anglais galopeurs ont généralement une durée de carrière très courte (maximum 5 à 6 ans) alors que les trotteurs peuvent aller jusqu'à 10 ans (Langlois 1980a). Hintz (1980) a rapporté que le sommet des performances en course des étalons, des juments et des hongres aux États-Unis ont eu lieu à l'âge de 4, 2,5 et 5,5 ans respectivement. Plusieurs auteurs ont également confirmé les conclusions ci-dessus et ont indiqué l'effet significatif de l'âge sur les performances de course de chevaux pur-sang anglais (Langlois & Blouin 1998; Ekiz *et al.* 2005b). Les chutes des performances avec l'âge pourraient être partiellement expliquées par les problèmes de blessures, de boiteries ainsi que les affections ostéo-articulaires causés par plusieurs années de courses. En effet, plusieurs études ont trouvées que le risque des blessures augmente avec l'âge (Williams *et al.* 2001). Bailey *et al.* (1998) ont signalé que les chevaux de 4 ou 5 ans étaient 1,5 fois plus susceptibles de souffrir d'une blessure par rapport à ceux qui avaient un âge de 2 et 3 ans, le rapport passant à 2 pour des chevaux de 6 ans et plus.

Effet de l'année

Aussi bien pour le pur-sang arabe que l'anglais, les performances de gains ont augmenté avec les années de 1995 à 2007. Ces variations annuelles du LAEV et LAEV/S pourraient être expliquées par les variations de la dotation avec les années dont une majeure partie vient de l'effet de l'inflation (qui explique l'augmentation des estimations avec l'année). Pour tenter d'expliquer ces variations, nous avons calculé chez le pur-sang arabe et anglais, les dotations virtuelles annuelles réelles DAEV et les dotations virtuelles moyennes par départ DAEV/S (déflatées par rapport au taux d'inflation de 1995 à 2007). Des régressions linéaires de l'année sur les variables DAEV et DAEV/S ont été ajustées pour le pur-sang arabe et le pur-sang anglais après avoir remis les prix sur le niveau de l'année 1995 en tenant compte de l'inflation et les résultats apparaissent dans les Figures 13a et 13b respectivement pour DAEV et DAEV/S chez les deux races.

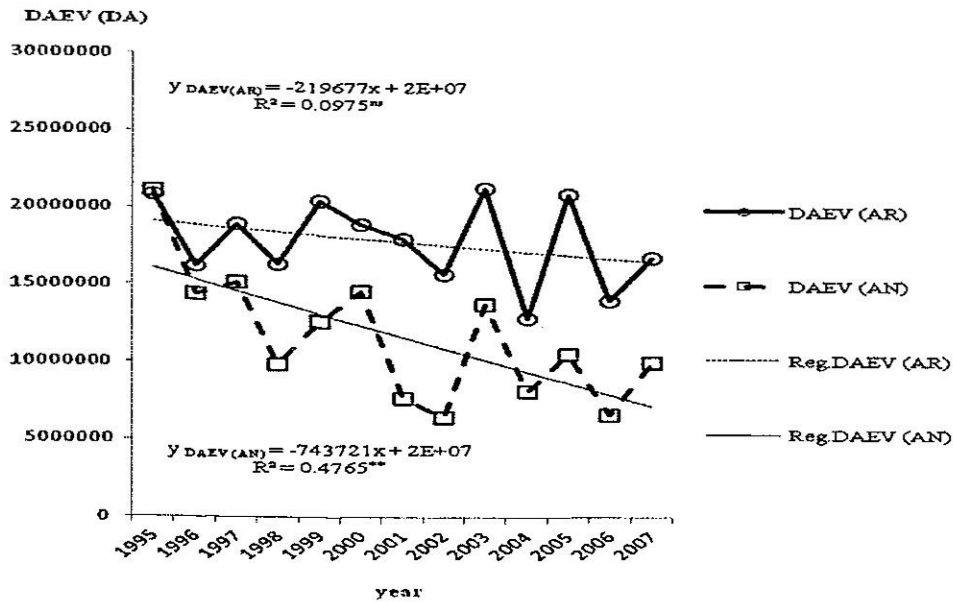


Fig 13a

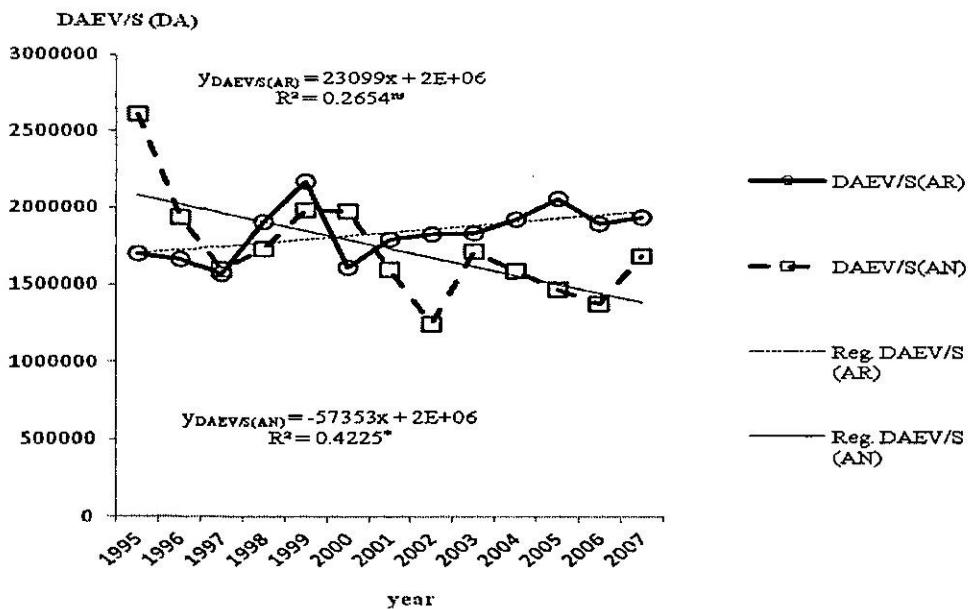


Fig 13b

Figure 13 Dotations virtuelles annuelles réelles DAEV (déflatées par rapport au taux d'inflation de 1995 à 2007) chez le pur sang arabe (AR) et le pur sang anglais (AN) (Fig 13a) et et les dotations virtuelles moyennes par départ DAEV/S chez les deux races (Fig 13b)

Ces résultats des régressions montrent que les dotations totales et moyennes réelles n'ont pas augmenté chez le pur-sang arabe (l'ajustement linéaire est non significatif) ; pour le pur-sang anglais les résultats de l'ajustement linéaire montrent que les dotations ont diminué significativement si on tient compte de l'inflation. On peut alors conclure, qu'en Algérie le pur-sang arabe profite d'avantage de la

politique de dotation et d'une popularité plus importante que celle accordée au pur-sang anglais. L'effet de l'année sur les caractères des gains a été également rapporté dans diverses études dont les résultats confirment ce que nous avons trouvé. Belhajyahia *et al.* (2003), ont signalé une fluctuation significative des gains avec des augmentations selon les années chez le pur-sang arabe. En Turquie, chez le pur-sang arabe, Ekiz & Kocak (2005) ont rapporté un effet de l'année significatif pour les caractères gain annuel et gain par départ. Chez le pur-sang anglais, Svobodova *et al.* (2005), Bokor *et al.* (2007) ont enregistré un effet significatif de l'année sur les caractères du gain. Langlois & Blouin (1998) ont aussi trouvé un effet très significatif de l'année sur le gain annuel et le gain par départ.

Concernant l'effet significatif de l'année sur le caractère PERF chez les deux races aucune tendance claire et stable avec l'année ne se dégage, les variations étant « en dents de scie ». Ces résultats pourraient être dû aux autres conditions du milieu qui n'ont pas changé et qui ne se sont pas améliorés dans le temps (l'entraînement, les techniques d'élevage, absence de formation des entraîneurs et des jockeys, le rythme d'exploitation des chevaux...). Cependant, l'effet significatif de l'année sur PERF pourrait être expliqué par les aléas extérieurs au cheval, à son sexe et à son âge et qui se concentrent dans cette proxy un peu confuse qu'est l'année. L'effet de l'année sur le caractère de rang a été également relaté dans diverses études. Belhajyahia *et al.* (2003) ont trouvé chez le pur-sang arabe une diminution non significative, lente et régulière des classements avec les années. Toujours chez le pur-sang arabe, Ekiz & Kocak (2005) n'ont rapporté aucun effet significatif pour les rangs. Néanmoins, chez le pur-sang anglais, Svobodova *et al.* (2005), Bokor *et al.* (2007) ont enregistré un effet significatif de l'année sur le rang.

Effet des interactions

L'interaction entre le sexe et l'âge pour PERF chez le pur-sang arabe est expliquée par la différence entre les deux sexes qui n'est cependant observée que pour la dernière catégorie d'âge de chevaux (à partir de 7 ans) et montre une chute de la performance moyenne de ce groupe chez les mâles. Cette chute de la performance moyenne pourrait être expliquée par un effet physiologique des femelles qui sont retirées pendant une certaine période pour la reproduction, et donc, quand elles reviennent aux champs de courses, elles performant mieux que les mâles, qui

participent pour leur part de façon continue et ont alors plus de saisons de courses que les femelles. Notons enfin qu'un effet significatif de l'interaction sexe x âge a été signalé dans d'autres études (Langlois & Blouin 1998).

Pour les interactions entre l'âge des animaux et l'année de la course chez le pur-sang arabe, celle observée pour LAEV est expliquée par une tendance à l'augmentation des gains virtuels totaux avec les années chez les jeunes animaux (3 et 4 ans) alors que chez les vieux animaux aucune tendance ne se dégage. L'interaction âge x année pour LAEV/S est expliquée par le fait que les jeunes chevaux (3, 4 et 5 ans) ont tendance à améliorer leur performance d'une année à l'autre, alors que pour les chevaux des autres âges aucune tendance n'est claire. Ces tendances sont essentiellement dues aux fluctuations des dotations avec les années. L'interaction âge x année sur le caractère PERF peut être expliquée par la tendance à l'augmentation des performances avec les années chez les jeunes chevaux âgés de 3 ans et à la baisse des performances avec les années chez les chevaux âgés de 8 ans et plus, alors que pour les chevaux d'âges intermédiaires aucune tendance n'est observée avec les années. Les chevaux dont l'âge est de 3 ans sont en fait un échantillon sélectionné de la population des chevaux après leur première année de course à 2 ans. En effet, cette catégorie d'âge de 2 ans bénéficie d'une politique sportive de promotion des chevaux et d'une dotation particulière. Cette première année de course sert en effet de plus en plus de « bancs d'essai » pour les futurs chevaux de course. De même les chevaux de 8 ans et plus sont retirés des courses au fur et à mesure que leur performances diminuent avec les années. Concernant le pur-sang anglais, l'interaction entre l'âge et l'année observée pour LAEV, est due à l'augmentation des gains virtuels annuels avec les années observées chez les vieux chevaux de 7 et 8 ans. Elle pourrait être expliquée par la nature des importations de cette race effectuée en Algérie. Signalons que les chevaux pur-sang anglais sont importés après avoir effectué une carrière sportive de 3 ou 4 années de course dans leur pays d'origine, à un âge variant de 4 à 7 ans (MADR 2009). Ces chevaux importés ont bénéficié d'un débouillage et d'un entraînement certainement meilleur que ceux pratiqués avec les pur-sang anglais nés et élevés en Algérie. Ce qui expliquerait que les autres facteurs d'environnement et particulièrement l'entraînement n'ont pas évolué avec les années en Algérie. Cet effet significatif de l'interaction âge x année a été signalé dans d'autres études (Langlois & Blouin 1998).

3.5 Conclusion

Les résultats des corrélations trouvées entre les trois caractères montrent que, dans l'ensemble, ils rendent compte d'aptitudes similaires, ce qui justifie l'utilisation de caractères multiples pour bien cerner toutes les facettes de la qualité du cheval. Cette étude portant sur les performances de course des chevaux de pur sang arabe et anglais dans les courses de plat a montré l'effet significatif des facteurs non génétiques tels que le sexe, l'âge, l'année de la course et leurs interactions, sur les caractères de gains (LAEV et LAEV_s) et de classement (PERF). Les effets des facteurs non génétiques mis en évidence, indiquent la nécessité d'ajuster les gains et le classement dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique des chevaux de course en Algérie.

CHAPITRE 4 : ÉTUDE 3

4 Estimations des paramètres génétiques des performances de course des chevaux pur-sang arabes en Algérie par le modèle animal

4.1 Objectifs

Dans le cadre de l'évaluation génétique des reproducteurs, la connaissance de la variance génétique additive est nécessaire. Son estimation ne peut être réalisée qu'après élimination de la variance due aux facteurs non-génétiques de la variation totale des caractères de course. Cette élimination a pour but de réduire la variance erreur aléatoire de la composante liée aux facteurs non-génétiques, d'ajuster les données pour les facteurs non-génétiques afin de les rendre comparables entre elles, et donc d'augmenter la précision de l'estimation des paramètres génétiques ainsi que celle de l'évaluation génétique des reproducteurs.

L'objectif de cette troisième partie du travail est d'estimer les paramètres génétiques (héritabilité, répétabilité et corrélations génétiques) des caractères de course (gains et classement) à partir de l'estimation des composantes de variance et de covariance.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Description des bases de données et des variables utilisées

L'étude des paramètres génétiques a été réalisée à partir des données issues du chapitre précédent. Elle a été réalisée sur les 2 caractères de gains (le logarithme du gain virtuel annuel, et le logarithme du gain virtuel annuel par départ : LAEV et LAEV/S) et sur le caractère de classement (PERF). Les données pour lesquelles il n'y avait pas d'informations sur le pedigree des chevaux ont été éliminées de la base de données.

Afin de réaliser cette analyse, deux bases de données ont été constituées :

- la première concernait le pedigree des chevaux pur-sang arabe ; elle a été constituée à partir des stud-books publiés, et comportait le nom de l'animal, celui de son père, et celui de sa mère. Le fichier pedigree ainsi produit a été par la suite vérifié (pour éviter les duplicatas et les erreurs d'encodage...) par le logiciel « *Pedigree Viewer* » (Kinghorn & Sandy 2010). Le pedigree final après vérification était composé de 1812 animaux issus de 166 pères et 392 mères, le maximum du nombre de générations a été de 18. Parmi les 1812 individus du pedigree, 145 animaux sont sans père et 139 sans mère. La statistique descriptive des performances de course des chevaux pur sang arabe est résumée au Tableau 17.

Tableau 17 Effectifs, moyenne, écart-types, minimum et maximum des individus du pedigree

	Pedigree pur-sang arabe (N=1812)	
	Pères (N=166)	Mères (N=392)
	Nombre de descendants	Nombre de descendants
Moyenne	10,11	4,30
Std Dev	17,33	3,76
Min	1,00	1,00
Max	102,00	14,00

- la deuxième base de données concernait les résultats de courses et comportait les informations suivantes : le numéro de l'animal, celui de son père, celui de sa mère, son sexe, son âge, l'année de la course, son gain annuel (LGVIRAN), son gain par départ (LGVIRDEP), son classement (PERF).

La statistique descriptive des performances de course des chevaux pur sang arabe est résumée au Tableau 18.

Tableau 18 Effectifs, moyenne, écart-types, minimum et maximum des trois caractères analysés

	Pur-sang arabe (N=3419)		
	LAEV	LAEV/S	PERF
Moyenne	10,29	8,26	0,02
Std Dev	2,44	1,94	0,73
Min	-0,27	-0,27	-1,96
Max	13,93	11,44	2,30

4.2.2 Méthodes utilisées pour l'estimation des paramètres génétiques

4.2.2.1 Choix du modèle

Un modèle linéaire mixte a été ajusté à l'ensemble des données pour chacun des trois caractères (LAEV, LAEV/S et PERF), ce modèle inclut les effets fixes identifiés comme significatifs dans l'étude précédente (âge, sexe, année de la course et les interactions significatives entre eux), et deux effets aléatoires, l'effet génétique direct de l'animal et l'effet de son environnement permanent. Les composantes de la variance et les paramètres génétiques ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance restreint (REML) par l'utilisation de la procédure du programme MTDFREML (Boldman *et al.* 1995). L'analyse multi-caractères par un modèle animal répétable a conduit à l'estimation des paramètres génétiques.

Modèle retenu

$$Y_{ijkn} = \mu + S_i + Ag_j + An_k + S_i * Ag_j + S_i * An_k + Ag_j * An_k + a_n + pe_n + e_{ijkn}$$

où :

Y_{ijkn} = LAEV, ou LAEV/S ou PERF du $n^{i\text{ème}}$ cheval de sexe i , de classe d'âge j , dans l'année de course k ;

μ = moyenne générale;

S_i = effet fixe du sexe i (2 classes F et M);

Ag_j = effet fixe de la classe d'âge j (6 classes: 3, 4, 5, 6, 7 et ≥ 8 ans);

An_k = effet fixe de l'année de course k (13 années : de 1995 à 2007);

$A_i * B_j$ = interaction entre le niveau i de l'effet A et j de l'effet B ;

a_n = effet aléatoire génétique additif direct du $n^{i\text{ème}}$ cheval

pe_n = effet aléatoire d'environnement permanent du $n^{i\text{ème}}$ cheval

e_{ijkn} = effet résiduel aléatoire.

Explicitons quelque peu les termes correspondant aux effets aléatoires, les effets fixes ayant déjà longuement été évoqués précédemment dans l'étude 2 :

- a_n est l'effet aléatoire génétique additif direct du $n^{\text{ième}}$ cheval. La présence de cet effet dans l'équation du modèle définit celui-ci comme un *modèle animal*, modèle où phénotype et valeur génétique additive du même individu sont en relation linéaire.
- pe_n est l'effet aléatoire d'environnement permanent du $n^{\text{ième}}$ cheval. Il ne peut être évalué que dans la mesure où plusieurs performances sont connues pour le $n^{\text{ième}}$ concurrent, afin d'en extraire ce qui, en dehors de l'effet de ses gènes, contribue à l'homogénéité des performances de ce $n^{\text{ième}}$ cheval, c'est ce qu'on pourrait appeler la « *marque indélébile du vécu* », résultant de l'éducation et de l'expérience acquises par le cheval sous la férule de sa mère, son éleveur, son propriétaire, son entraîneur, les accidents de la vie (pathologies, blessures, échecs, peurs...) (Buttram *et al.* 1989).
- e_{ijkn} est l'effet aléatoire résiduel, l'erreur du modèle, tout ce qui ne peut être pris en compte car impossible à quantifier ou déterminer. L'ensemble de ces effets, innombrables et extrêmement faibles, est considéré comme suivant une distribution normale.

Il resterait à préciser les structures de variance covariance des différentes composantes aléatoires : préciser que a_n a une distribution normale multivariée de moyenne nulle et de variance $A \cdot \sigma_a^2$ où A est une matrice dont les éléments $A(i,j)$ sont les coefficients d'identité génétique entre les individus i et j et σ_a^2 est la variance génétique associée au caractère, tandis que les matrices de covariance pour pe_n et e_{ijkn} sont $I \cdot \sigma_{pe}^2$ et $I \cdot \sigma_e^2$, respectivement, où σ_{pe}^2 et σ_e^2 sont les variances d'environnement permanent et résiduelle, respectivement.

4.2.2.2 Choix de la méthode d'analyse des composantes de variance et estimation des paramètres génétiques

Les méthodes d'analyse des composantes de variance et d'estimation des paramètres génétiques ont considérablement évolué (Bidanel 1994). A cet égard, la méthode la plus robuste et la plus recommandée est celle du maximum de vraisemblance restreint « REML ». Elle est basée sur un processus itératif de maximisation d'une

fonction de vraisemblance des observations. Elle permet d'aboutir aux estimateurs des composantes de variance-covariance ayant la densité de probabilité maximum, après élimination de l'effet des variations systématiques de milieu (d'où le terme « restreint »). Les techniques de calcul varient en fonction de l'algorithme d'optimisation choisi (avec dérivées, sans dérivées = DFREML = Derivative Free REML).

Mis sous forme matricielle, le modèle animal répétable donné ci-dessus est le suivant :

$$Y = Xb + Z_a a + Z_{pe} pe + e \quad (\text{modèle 1})$$

où:

Y : vecteur des observations : LAEV, LAEV/S, PERF

b: vecteurs des effets fixes

a: vecteurs des valeurs génétiques additives de l'effet direct de l'animal

pe : vecteur des effets du milieu commun aux différentes performances d'un même cheval. Cet effet permanent est expliqué par le milieu constant dont bénéficie le cheval plusieurs années de suite.

e: vecteur des effets résiduels

X, Z_a, Z_{pe} : sont des matrices d'incidences de dimension n des observations b, a et pe

Les espérances des effets de ce modèle linéaire sont :

$$E \begin{bmatrix} Y \\ a \\ p_e \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La matrice de variance covariance est :

$$V \begin{bmatrix} a \\ p_e \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{pe}^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Avec :

$$\sigma_a^2 = h^2 \sigma_Y^2 ;$$

$$\sigma_{pe}^2 = (r - h^2) \sigma_Y^2 ;$$

$$\sigma_e^2 = (1 - r) \sigma_Y^2 ;$$

A et I ont été définies dans le paragraphe précédent.

$$h^2 = \text{héritabilité} = \sigma_a^2 / \sigma_Y^2$$

r = répétabilité ;

La résolution se fait de manière itérative à l'aide de logiciels développés à cet effet (dans notre cas : MTDFREML (Boldman *et al.* 1995)).

4.3 Résultats

4.3.1 Paramètres génétiques

Les estimations des composantes de la variance et les paramètres génétiques pour les trois caractères étudiés (LAEV, LAEV/S et PERF) sont présentés au Tableau 19.

Tableau 19 Composantes de la variance, héritabilité (\pm erreur standard) et répétabilité estimés pour LAEV, LAEV/S et PERF

composantes de la variance	LAEV	LAEV/S	PERF
σ^2_a	1,042	0,474	0,134
σ^2_{pe}	0,490	0,149	0,079
σ^2_e	3,088	2,273	0,149
σ^2_p	4,621	2,896	0,363
h^2	0,225 ($\pm 0,041$)	0,164 ($\pm 0,027$)	0,369 ($\pm 0,054$)
pe^2	0,106	0,051	0,218
r	0,330 ($\pm 0,040$)	0,215 ($\pm 0,022$)	0,587 ($\pm 0,045$)

σ^2_a : variance génétique additive, σ^2_{pe} : variance de l'environnement permanent, σ^2_e : variance erreur, σ^2_p : variance phénotypique, h^2 : héritabilité, pe^2 : σ^2_{pe}/σ^2_p , r : répétabilité

4.3.1.1 Héritabilité et répétabilité

L'analyse par un modèle animal répétable a conduit à l'estimation des paramètres génétiques suivants : l'héritabilité vaut **0,225 \pm 0.041**, **0,164 \pm 0.027** et **0,369 \pm 0.054** respectivement pour LAEV, LAEV/S et PERF ; la répétabilité vaut **0,33 \pm 0,040**, **0,215 \pm 0,022** et **0,587 \pm 0,045** respectivement pour le LAEV, LAEV/S et PERF. On peut remarquer à travers les résultats de cette étude que l'héritabilité de la valeur de classement est nettement plus élevée que celle des caractères de gains. Si nous excluons l'effet de dominance et des effets d'épistasie, la différence entre la répétabilité et les évaluations de l'héritabilité représente la part de la variation phénotypique attribuable aux effets environnementaux permanents (pe^2). Ces effets,

qui peuvent inclure l'influence d'éleveur, des blessures et le niveau nutritionnel dans la vie de l'animal, représentent 11%, 5% et 22 % de la variation phénotypique respectivement pour les caractères LAEV, LAEV/S et PERF.

4.3.1.2 Corrélations génétiques

Les estimations de corrélations génétiques entre les trois caractères étudiés sont présentées au Tableau 20

Tableau 20 Corrélations génétiques (\pm erreur standard) estimées pour LAEV, LAEV/S et PERF

	LAEV	LAEV/S	PERF
LAEV	-	-	-
LAEV/S	0,99 ($\pm 0,041$)	-	-
PERF	0,69 ($\pm 0,108$)	0,79 ($\pm 0,102$)	-

Dans cette étude les corrélations phénotypiques n'ont pas été estimées.

4.4 Discussion

4.4.1 Héritabilité et répétabilité

4.4.1.1 Le classement

Dans la présente étude, l'héritabilité du rang transformé est élevée (0.37), cette estimation est légèrement plus élevée comparée avec les résultats obtenus par (Sobczynska & Kownacki 1997) et (Sobczynska & Lukaszewicz 2003). En effet, ces auteurs ont obtenu une héritabilité de 0,25 pour le rang chez les chevaux pur-sang arabes polonais. Cependant, d'autres auteurs ont trouvés des valeurs d'héritabilité nettement plus faibles variant de 0,07 à 0,10 chez le pur-sang arabe turc (Ekiz & Kocak 2005) et de 0,12 chez le pur sang arabe tunisien (Belhajyahia *et al.* 2003). De même, chez le pur-sang anglais, les valeurs d'héritabilité rapportées étaient légèrement élevées de 0,18, 0,16 et 0,19, obtenues respectivement par (Sobczynska & Lukaszewicz 2004; Svobodova *et al.* 2005; Bakhtiari & Kashan 2009). Cependant, elles restent plus faibles que celle obtenue dans notre travail. Les différences dans les

valeurs d'héritabilité pourraient être expliquées par les résultats des classements des chevaux en Algérie, en effet, les classements sont publiés pour les chevaux classés du premier au dernier. Ce classement permet de fournir plus d'informations par rapport à l'estimation des paramètres génétiques des chevaux à évaluer, contrairement à ce qui se fait dans les autres pays, ces derniers attribuent la même valeur de classement à tous les chevaux classés après le cinquième gagnant. Ceci est certainement la raison de la diminution de l'héritabilité et la répétabilité de ce caractère dans leurs études.

L'estimation de la répétabilité du rang dans la présente étude est en accord avec ceux de Sobczynska & Lukaszewicz (2003) qui ont trouvé une répétabilité élevée de 0,47. Elle était de 0,35 dans les résultats rapportés par Belhajyahia *et al.* (2003). Cependant d'autres travaux ont rapportés une répétabilité plus faible 0,25 chez le pur-sang arabe polonais (Sobczynska & Kownacki 1997) et 0,13 chez le pur-sang arabe turc (Ekiz & Kocak 2005). Chez le pur sang anglais, les répétabilités obtenues ont été de 0,21 à 0,26 ; 0,23 ; 0,25 respectivement par (Chico 1994; Svobodova *et al.* 2005; Ekiz *et al.* 2005b). Ceci est certainement la raison de la diminution de l'héritabilité et la répétabilité de ce caractère dans leurs études.

4.4.1.2 Les gains

L'héritabilité du gain annuel LAEV et du gain moyen par départ LAEV/S obtenus dans notre étude (0,225, 0,164) sont en accord avec la littérature. En effet, Sobczynska & Kownacki (1997) ont également trouvé une héritabilité de 0,22 pour le logarithme des gains annuels des chevaux pur-sang arabes polonais. Ekiz & Kocak (2005) et Sobczynska & Lukaszewicz (2004) ont rapporté respectivement une héritabilité de 0,17 et 0,14 pour le logarithme du gain moyen par départ. Cependant, d'autres travaux ont rapporté des valeurs d'héritabilité plus faibles 0,09 pour le logarithme du gain annuel (Belhajyahia *et al.* 2003). Par contre, chez le pur-sang anglais (Langlois *et al.* 1996; Svobodova *et al.* 2005) ont obtenu des valeurs plus élevées de 0,28 ; 0,32 pour le logarithme du gain annuel et de 0,34 pour le logarithme du gain moyen par départ (Ekiz *et al.* 2005b).

La répétabilité pour le logarithme du gain annuel obtenue dans notre étude a la même valeur que celle trouvée par Ekiz & Kocak (2005), soit 0,34, et elle est légèrement plus élevée que celle rapportée par Sobczynska & Kownacki (1997), Belhajyahia *et*

al. (2003) et Sobczynska & Lukaszewicz (2003) respectivement 0,22 ; 0,25 et 0,29. Cependant la répétabilité du logarithme du gain moyen par départ obtenu dans notre étude (0,215) apparaît légèrement inférieure à ce qui a été rapporté par Ekiz & Kocak (2005) ; 0,32.

Considérant les gains, les effets environnementaux permanents (pe^2) étaient inférieurs à ceux du classement, montrant qu'il y aura une plus grande variation des gains dans les courses suivantes. Cependant, les variations seraient plus basses dans le classement des prochaines courses.

4.4.2 Corrélations génétiques

Dans cette étude, la corrélation génétique entre les deux caractères de gains était très élevée et proche de 1, suggérant que la sélection puisse être appliquée à seulement un des caractères. Cette haute valeur de corrélation génétique montre que les animaux avec une haute valeur génétique additive pour un caractère ont aussi une haute valeur génétique additive pour l'autre. De plus, les corrélations génétiques entre la valeur de classement et les deux caractères de gains étaient relativement élevées, allant de 0,69 à 0,79. Ce qui indique qu'un cheval qui a une bonne valeur de classement a aussi de bons gains. Les corrélations entre la valeur de classement et les deux caractères de gains apparaissent légèrement faible par rapport à celles rapportées dans la littérature. En effet, Belhajyahia *et al.* (2003) ont trouvé une corrélation de 0,97 entre la valeur de classement et le logarithme du gain annuel chez le pur-sang arabe tunisien. Chez le pur-sang anglais, la corrélation entre les deux caractères était aussi de l'ordre de 0,97 (Chico 1994; Svobodova *et al.* 2005).

4.5 Conclusion

En conclusion, chez les chevaux pur-sang arabes en Algérie, la valeur de classement réalisé par un cheval (PERF) est modérément héritable, tandis que le gain annuel (LAEV) ainsi que le gain par départ (LAEV/S) qu'il réalise, ont des valeurs d'héritabilité plus faibles. Par conséquent, le classement réalisé par un cheval dans les courses semble être le caractère le plus approprié à utiliser dans un plan de sélection et d'amélioration génétique des performances chez les chevaux pur-sang arabes en Algérie.

CHAPITRE 5 : ÉTUDE 4

5 Évaluation et indexation des reproducteurs pur-sang arabes en Algérie par le BLUP modèle animal

5.1 Objectif

L'objectif de cette étude est d'estimer la valeur génétique additive (appelée aussi valeur d'élevage ou « breeding value ») chez le pur-sang arabe et pour les trois caractères étudiés dans ce travail. L'estimation de cette valeur est une étape importante et nécessaire dans un programme de sélection ; et constitue donc un élément de la rentabilité du secteur d'élevage équin. Un deuxième objectif dans cette étude est de présenter les informations sur le coefficient de consanguinité du pur-sang arabe, estimées à partir du pedigree.

5.2 Introduction sur le prédicteur BLUP

Le monde de l'évaluation génétique doit beaucoup aux apports de l'américain Henderson qui a, dans les années 1950, établi la formulation générale, sous forme vectorielle et matricielle, de l'estimateur de maximum de vraisemblance de l'ensemble des valeurs génétiques des animaux d'une population (Henderson *et al.* 1959). Cet estimateur est plus connu sous le sigle BLUP « Best Linear Unbiased Prediction » ou « meilleur prédicteur linéaire non biaisé ». Dans le modèle utilisé pour calculer le BLUP, des effets sont dits fixes alors que d'autres, dont les valeurs d'élevage, sont dits aléatoires: le modèle utilisé pour calculer le BLUP est donc un modèle mixte.

Au milieu des années 70, l'apport des américains Henderson et Quaas (Henderson 1976) a été déterminant car ils ont démontré que, sous certaines conditions réalistes pour des pays pratiquant le contrôle des performances et des généalogies depuis longtemps, le BLUP met en œuvre des matrices numériques d'une structure particulière. Elles comportent une faible densité d'éléments non nuls, ce qui est bien commode d'une part pour limiter le nombre d'éléments à stocker en mémoire, un aspect important d'un point de vue pratique, étant donné la taille importante des systèmes d'équations à résoudre (typiquement quelques centaines de milles à quelques millions d'équations simultanées...), d'autre part pour améliorer la performance des algorithmes itératifs. De ce fait, on entrevoyait la possibilité de calculer l'estimateur BLUP des valeurs d'élevage dans le modèle génétique le plus exhaustif possible, celui où chaque animal se voit attribuer une valeur génétique individuelle, c'est-à-dire le BLUP modèle animal.

Le développement extraordinaire de l'informatique et du calcul numérique depuis le milieu des années 1980 ont permis d'appliquer ensuite le modèle animal à des populations de tailles de plus en plus grandes et avec des modèles de plus en plus complexes, pouvant inclure plusieurs facteurs génétiques (effets génétiques direct et maternel, environnement permanent,...) ou pouvant prendre en compte simultanément plusieurs variables (modèles « multi-caractères »). Au milieu des années 1990, le BLUP modèle animal est devenu une référence obligatoire au niveau mondial en matière d'évaluation génétique (Collau 1996).

5.3 Évaluation et indexation des reproducteurs pur-sang arabes

5.3.1 Matériel et méthodes

5.3.1.1 Estimation de la valeur génétique additive (*breeding value*)

Une fois les paramètres génétiques obtenus (variance génétique additive, variance d'environnement permanent et variance résiduelle), il devient relativement aisé d'estimer nos index génétiques, qui sont en fait les estimations de l'effet aléatoire valeur génétique additive sur la performance. Signalons toutefois que l'estimation des composantes de la variance (héritabilité, corrélations génétiques...) est, en pratique, simultanée au calcul des valeurs génétiques, et conduit à des prédictors (BLUP) de ces composantes. Par conséquent, le calcul des valeurs génétiques est ensuite basé sur ces prédictions, et, par conséquent, approximatif. Dans le cadre de l'évaluation génétique, on cherche à estimer les différents effets, et en particulier les estimateurs de valeurs génétiques, qui seront utilisés en sélection. L'objectif est alors de résoudre les équations suivantes qui sont déduites à partir de l'équation de l'étude précédente (*modèle 1*) : $Y = Xb + Z_a a + Z_{pe} pe + e$

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1} t_1 & Z'Z \\ Z'X & Z'Z & Z'Z + I t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \\ pe \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'Y \\ Z'Y \\ Z'Y \end{bmatrix}$$

Avec :
$$t_1 = \frac{\sigma^2_e}{\sigma^2_a} = \frac{1-r}{h^2}$$

$$t_2 = \frac{\sigma^2_e}{\sigma^2_{pe}} = 1 - r / r - h^2$$

Méthode de résolution:

Le modèle animal est caractérisé par des matrices de très grandes tailles, avec souvent plusieurs milliers d'équations et autant d'inconnues : une valeur génétique additive par animal (des individus ayant des performances et aussi des animaux n'ayant pas de performances dans le fichier), un effet d'environnement permanent par animal ayant des performances et quelques effets de milieu. On pourrait donner la taille pour notre problème : le nombre d'animaux dans le pedigree : 1812, le nombre d'animaux différents avec des performances : 3419 (pour chaque caractère évalué), le nombre d'animaux avec un effet d'environnement permanent : 840 enfin le nombre d'effets fixes (2 pour l'effet du sexe, 6 pour celui de l'âge, 13 pour les années de course, 78 pour l'interaction année*âge et 12 pour l'interaction sexe*âge). Dans les évaluations multivariées, le nombre d'équations doit être multiplié par le nombre de caractères évalués simultanément. La résolution se fait de manière itérative à l'aide de logiciels développés à cet effet (dans notre cas : MTDREML (Boldman *et al.* 1995).

5.3.1.2 Estimation du coefficient de détermination de la valeur génétique additive

Le logiciel MTDREML nous donne aussi avec l'estimation de chaque valeur génétique un indicateur de la précision de l'estimation représenté par une valeur exprimant la corrélation entre l'index estimé ou valeur d'élevage prédite et la vraie valeur génétique additive. Cependant il lui est généralement préféré le coefficient de détermination, noté CD, qui se déduit en prenant le carré de la précision. Ce CD est un indicateur de précision de l'estimation de l'index, dont la valeur se situe entre 0 et 1 et augmente avec la précision.

5.3.2 Résultats et discussions

5.3.2.1 Valeur génétique additive

Le modèle animal proposé a permis l'estimation de la valeur génétique additive des chevaux et de celle de leurs parents (même s'ils n'ont pas de performances) et ce

grâce à l'inclusion des relations génétiques à travers la matrice de parenté. Les animaux ont donc été classés selon leur valeur génétique estimée, les 100 premiers chevaux ayant les meilleurs index sont présentés dans l'annexe 1 parallèlement pour les trois caractères étudiés, avec indication des coefficients de détermination (CD) et des coefficients de consanguinité (F).

La distribution de la valeur d'élevage des 1812 chevaux, estimés selon la méthode BLUP pour les 3 caractères : LAEV, LAEV/S et PERF est donnée respectivement aux Figures 14, 15 et 16.

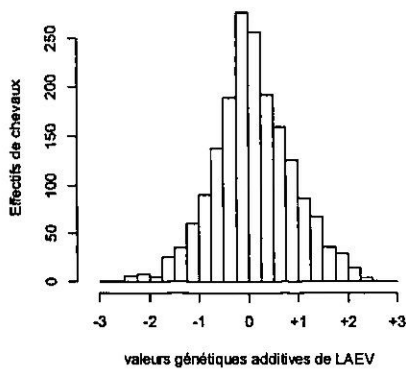


Figure 14 Distribution des valeurs d'élevage des chevaux pour le caractère LAEV

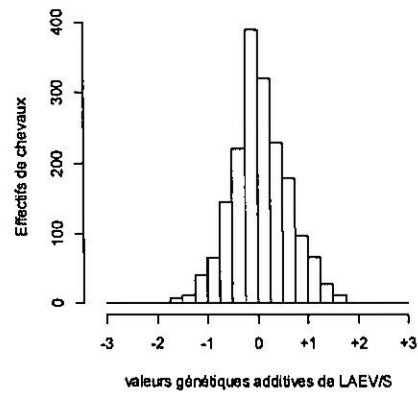


Figure 15 Distribution des valeurs d'élevage des chevaux pour le caractère LAEV/S

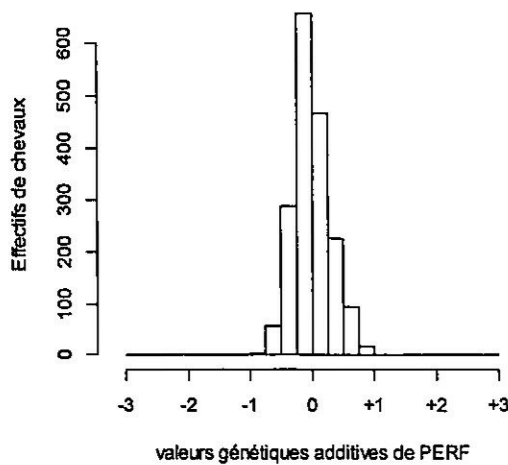


Figure 16 Distribution des valeurs d'élevage des chevaux pour le caractère LAEV/S

On constate que les trois distributions ont une allure comparable et présentent une bonne symétrie.

5.3.2.2 précision de l'estimation des valeurs génétiques additives

La précision est bonne pour les trois caractères avec une moyenne de $0,43 \pm 0,2$ pour l'estimation de LAEV/S et PERF comprises entre 0 et 1 ; 0 et 0,86 respectivement pour l'estimation des valeurs génétiques des deux caractères. Concernant la précision pour le caractère LAEV, la moyenne est de $0,42 \pm 0,2$ comprise entre 0 et 0,98.

5.3.2.3 Progrès génétique

Le progrès génétique a été mesuré par l'évolution de la valeur génétique additive des chevaux en fonction de leur année de naissance de 1956 à 2004. Le progrès génétique est représenté pour les trois caractères (LAEV, LAEV/S et PERF) sur les Figures 17, 18 et 19. Les Figures 18 et 19 montrent une légère augmentation du progrès génétique en fonction des années de naissance pour LAEV/S et PERF, contrairement à LAEV (Figure 17).

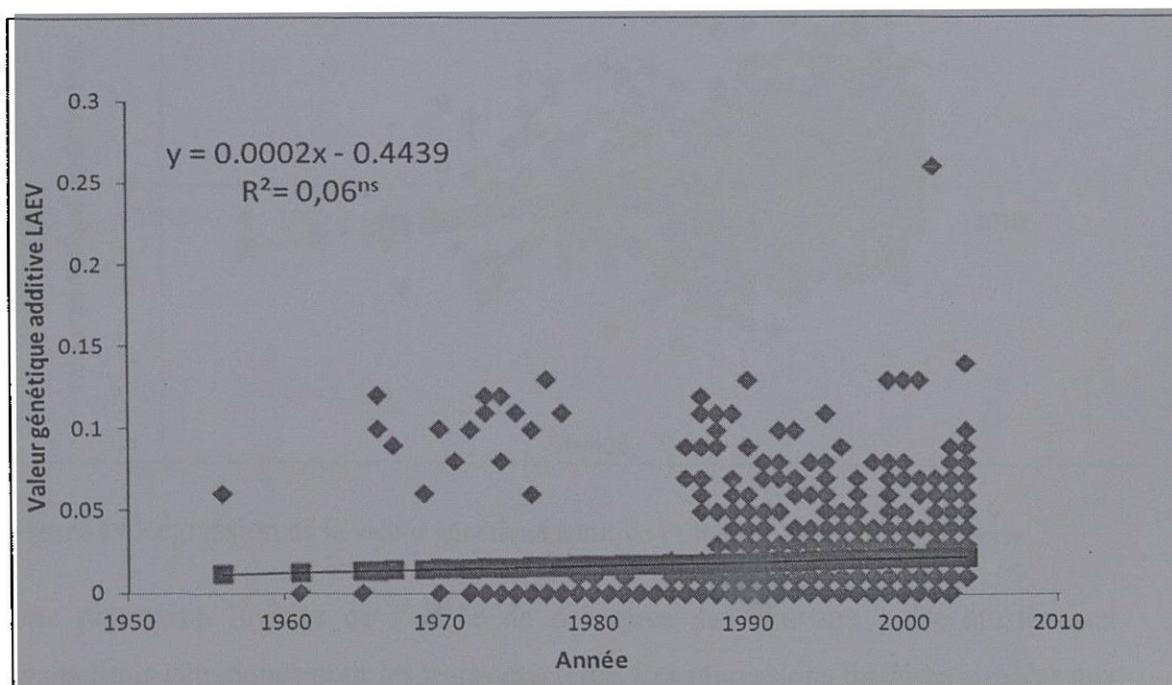


Figure 17 Régression de la valeur génétique additive LAEV sur l'année de naissance

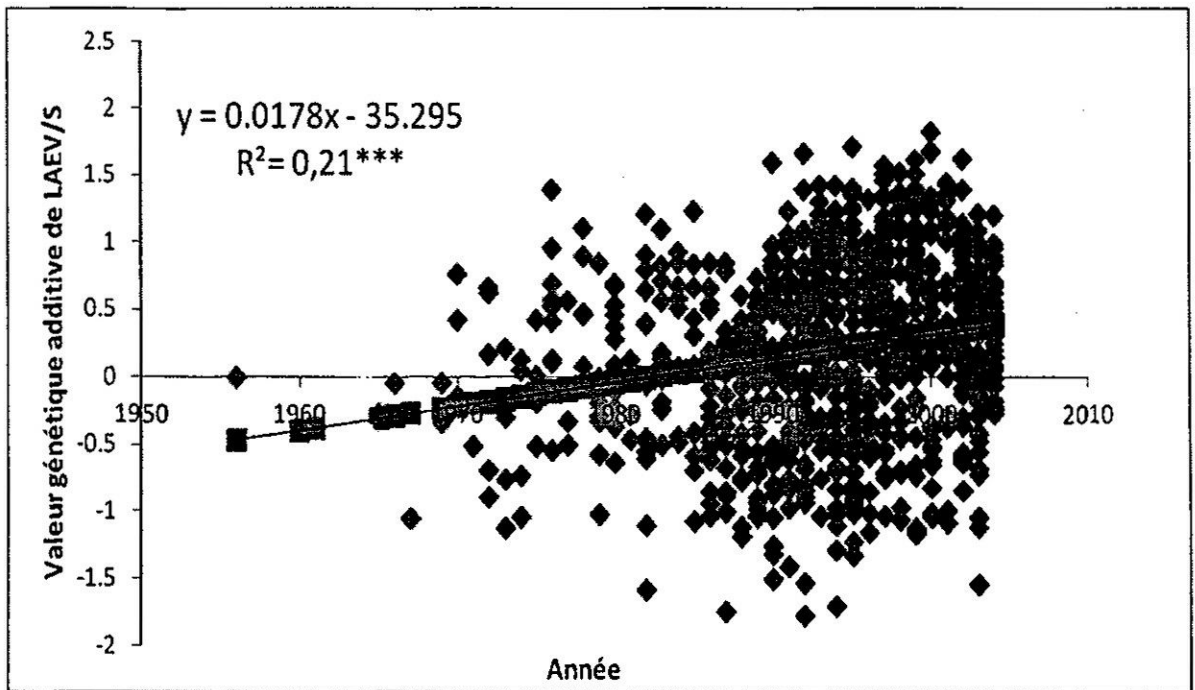


Figure 18 Régression de la valeur génétique additive LAEV/S sur l'année de naissance

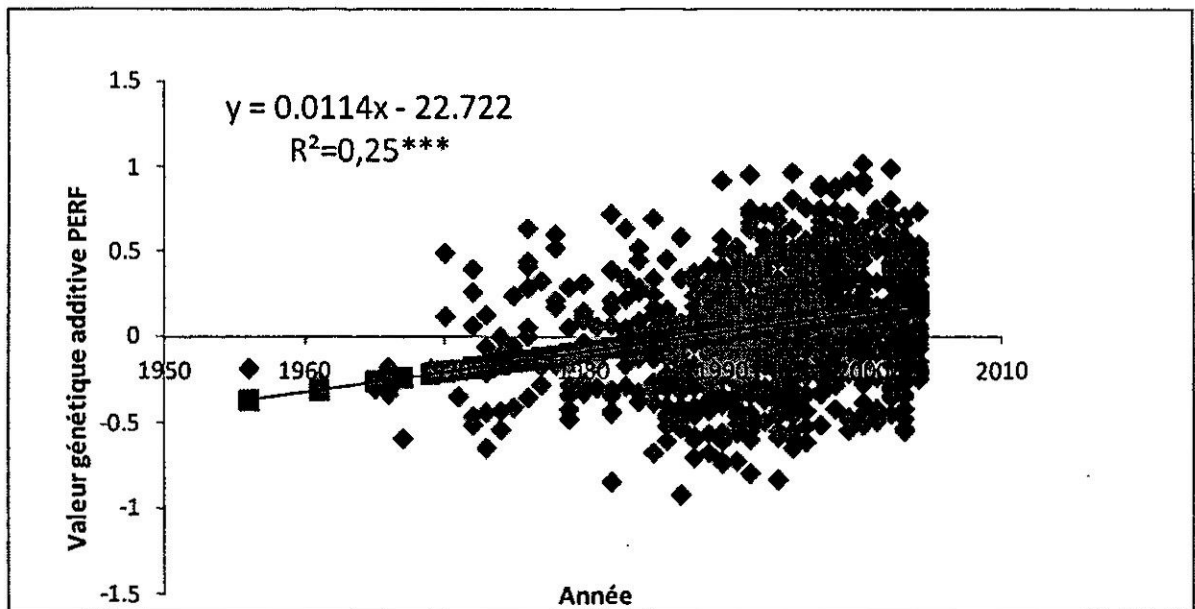


Figure 19 Régression de la valeur génétique additive PERF sur l'année de naissance

Une régression linéaire de l'année de naissance des chevaux a été ajustée aux évaluations génétiques pour les trois caractères. Les régressions linéaires ajustées aux valeurs génétiques additives pour les différentes années (Figures 18 et 19) s'avèrent significatives ($p < 0.0001$) pour LAEV/S et PERF. Cependant le coefficient de détermination R^2 est faible pour LAEV/S et PERF et représente respectivement 21% et 25% de la variation totale.

Ces régressions montrent que la valeur génétique additive moyenne a augmenté de 0,0178 point (1,8%) par année pour le gain par départ (LAEV/S) et de 0,011 point (1,1%) pour le classement transformé (PERF). Ces faibles progrès génétiques pourraient s'expliquer par l'absence de schéma de sélection, ou par l'utilisation de méthodes de sélection non fiables pour l'amélioration des performances de course des chevaux. Il est vraisemblable qu'une utilisation raisonnée des meilleurs reproducteurs pourraient améliorer ces évolutions.

5.4 Estimation du coefficient de consanguinité F des chevaux pur-sang arabes

La consanguinité est le résultat de l'accouplement de deux reproducteurs apparentés. La consanguinité peut avoir à la fois des résultats recherchés (fixation de caractéristique raciale, par exemple) mais, le plus souvent, l'impact est défavorable : baisse de la variabilité génétique, problèmes de reproduction, expression de gènes indésirables, ... Pour contrôler la consanguinité, il s'avère utile d'évaluer dans quelle mesure les individus qu'on veut accoupler sont consanguins. Pour calculer le coefficient de consanguinité, il est nécessaire de connaître la généalogie la plus complète possible du cheval. En effet, la valeur du coefficient de consanguinité calculé dépend des relations connues entre les individus. Si deux parents ne sont pas (apparemment) apparentés, la consanguinité du produit sera supposée nulle. Il n'est pas exclu d'utiliser des reproducteurs consanguins car la *consanguinité n'est pas transmissible*, mais il est nécessaire d'éviter qu'elle augmente – c'est-à-dire que l'apparentement moyen entre individus augmente – afin d'éviter les problèmes énoncés plus haut.

5.4.1 Matériel et méthodes

Les coefficients de consanguinité des chevaux présents dans nos données ont été estimés à l'aide du logiciel MTDREML et du logiciel « Pedigree Viewer » (Kinghorn & Sandy 2010), l'estimation étant réalisée sur la base des données du pedigree des chevaux pur sang arabe utilisés dans celle de l'étude précédente.

5.4.2 Résultats et discussions

Dans notre étude l'estimation du coefficient de consanguinité qui a été réalisée sur les 1812 chevaux du pedigree a montré que 1177 animaux parmi tous ceux présents dans le pedigree étaient consanguins. La moyenne du coefficient de consanguinité

était estimée à 0,0275 avec une erreur standard de $\pm 0,001$, un minimum est de 0,00002 et un maximum de 0,265.

Le coefficient de consanguinité moyen obtenu dans notre étude est inférieur au seuil de consanguinité établi par la littérature; en effet, selon Sabbagh *et al.*(2012), un coefficient de consanguinité qui dépasse les 0.06 (6%) est néfaste pour une population car, il peut engendrer des problèmes de fertilité des reproducteurs, une baisse des performances, des anomalies génétiques importantes...

Dans notre étude, si la consanguinité moyenne se situe autour de 3% pour la population totale, certains individus (n = 159, soit 13,5% de la population totale) montrent une consanguinité supérieure à ce seuil (le maximum de ce coefficient est de 26,5%), et l'utilisation de ces individus dans de futurs croisements est questionnable (Figure 20).

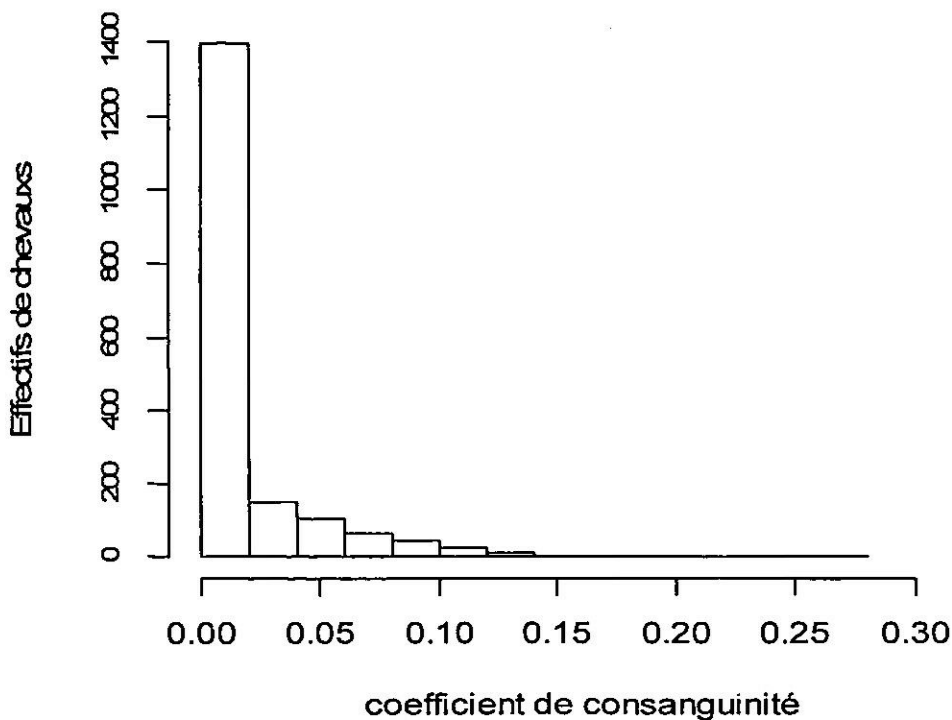


Figure 20 Distribution des coefficients de consanguinité des chevaux

La consanguinité évaluée dans notre travail serait probablement due à des ancêtres anciens communs à beaucoup de reproducteurs. Afin d'éviter une augmentation rapide de la consanguinité, laquelle entrainerait une diminution de la diversité

génétique, il est important de sensibiliser les éleveurs aux problèmes qui peuvent découler:

- d'une utilisation trop intensive d'un reproducteur issu d'un ancêtre majeur,
- de l'utilisation d'un petit nombre de reproducteurs,
- de l'utilisation intensive de croisements entre individus apparentés.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette thèse était double. D'abord il s'agissait de dresser un état des lieux de la sélection des chevaux de course (pur-sang arabe et pur-sang anglais) menée par les propriétaires-éleveurs en Algérie en présentant ainsi leurs perceptions, objectifs et pratiques en matière de sélection équine. Ensuite, il s'agissait d'étudier les paramètres non-génétiques et génétiques influençant les performances des chevaux de course en Algérie, afin de réaliser l'évaluation des reproducteurs pur-sang arabes par un modèle animal BLUP.

Dans le contexte actuel, et en conclusion de l'enquête menée, l'élevage de chevaux de course en Algérie est apparu peu professionnalisé, sans réel objectif financier autre que l'auto-financement. La sélection se cantonne, pour les éleveurs de l'échantillon ayant subi l'enquête, à une activité accessoire, dans un élevage de petite taille. Les pratiques se caractérisent également par un manque d'organisation et d'information des éleveurs et par l'importance des activités d'achat-revente de chevaux, obéissant à une logique à court-terme, en opposition avec celle nécessaire à la sélection animale. En dépit de pratiques souvent inadaptées, un intérêt pour la sélection est constaté et pourra servir de fondement à un plan d'amélioration génétique national dûment coordonné. En effet, une demande pour une meilleure organisation, menant à un certain encadrement de l'activité et une meilleure information a pu être exprimée au travers de l'enquête. De même, un intérêt pour la sélection est constaté chez les propriétaires-éleveurs. Se basant sur cette demande, il semble aujourd'hui primordial et urgent d'insuffler une logique économique et professionnelle dans la production équine en Algérie.

La première étape de tout plan de sélection animale est le choix des caractères à améliorer en fonction des objectifs de l'élevage. Dans le cas des courses, il a été détaillé dans le corps de la thèse que les performances en termes de gains et de classements sont deux possibilités distinctes pour la sélection, et un choix doit être fait sur des bases factuelles. Des mesures d'héritabilité pour ces caractères et des corrélations génétiques entre ces caractères ont donc été effectuées sur la base des données disponibles en Algérie, ce qui a conduit à l'estimation des paramètres non-génétique et génétique abordés dans ce travail.

Nous avons appliqué, pour la méthode d'indexation, la méthodologie du BLUP. L'approche linéaire propre à cette méthodologie permet une explication très simple de la performance (log du gain et rang transformé) par addition de différents effets

observés, non-génétiques et génétiques. Nous avons ainsi construit un modèle répondant à nos exigences en introduisant : des effets non-génétiques, démontrés significatifs lors de la 2ème étude de ce travail (l'âge, l'année de la course, le sexe et les différentes interactions), un effet « valeur génétique individuelle » qui permet de modéliser la partie génétique héritable des individus utilisés dans l'analyse en les reliant via une matrice de parenté, un effet « milieu commun aux différentes performances », qui permet de calculer la répétabilité (corrélation entre mesures successives sur le même individu).

On peut remarquer à travers les résultats de cette étude que l'héritabilité de la valeur de classement transformé est nettement plus élevée que celle des caractères de gains, ce qui indiquerait que la sélection sur ce critère permettrait une amélioration génétique plus rapide des performances de classement transformé des pur-sang arabes en Algérie.

La méthodologie utilisée ayant permis l'estimation des paramètres génétiques, nous pouvons mettre alors au service des parties concernées un index rigoureux et complet. Il serait également envisageable de construire un index combinant les différentes valeurs génétiques calculées afin d'optimiser, selon un critère à définir, les gains ultérieurs. Cependant, et pour aller plus loin, il faudra se pencher à l'avenir sur les problèmes qu'introduiraient la prise en compte d'effets supplémentaires, tels que l'entraîneur et le cavalier.

Par ailleurs, le taux de consanguinité moyen de la population des chevaux pur-sang arabe en Algérie, a été trouvé relativement élevé. Il est important de sensibiliser les éleveurs aux problèmes qui peuvent découler: d'une utilisation trop intensive d'un reproducteur issu d'un ancêtre majeur, de l'utilisation d'un petit nombre de reproducteurs, et enfin de l'utilisation intensive de croisements entre individus apparentés. Toutes ces mesures sont nécessaires afin d'éviter que la consanguinité n'augmente rapidement ce qui aurait comme conséquence une forte diminution de la diversité génétique, avec à moyen terme un effet potentiellement négatif sur les performances de course et de reproduction.

La réussite d'un plan de sélection reste tributaire d'une coordination efficace des efforts entre la recherche scientifique et les parties concernées par l'élevage des équidés. L'élaboration de tels projets n'est concevable que par une prise de

conscience et de participation des organismes de qui dépend l'élevage et pour lesquels le développement d'une telle recherche ne pourrait être que profitable.

La professionnalisation du secteur des courses hippiques passera par une organisation efficace de l'amélioration génétique à l'échelle nationale. En l'absence d'une organisation forte des éleveurs, les autorités politiques compétentes pourraient jouer un rôle majeur de coordination, à travers l'ONDEEC, les haras nationaux, le Centre National d'Amélioration Génétique et d'Insémination Artificielle, l'Institut de Recherche Agronomique, la Société des Course Hippique et du Pari Mutuel et les associations d'éleveurs. Des atouts viennent en soutien de cette entreprise, comme la disponibilité d'informations zootechniques fiables (résultats des courses et stud book). La sélection devra se baser sur la large variabilité génétique présente au sein de la population des chevaux de course en Algérie. Celle-ci devra être maintenue par le contrôle de la consanguinité, et éventuellement améliorée par l'importation de reproducteurs étrangers. Pour ce faire la propension naissante des éleveurs importateurs devrait être encouragée et contrôlée par les haras nationaux et l'ONDEEC. Les instances peuvent inciter les éleveurs à s'associer au programme d'amélioration de l'élevage équin en les encourageant à retirer les meilleures juments et mâles au plus tôt des courses et à mettre leur poulinières en reproduction. Pour ce faire, des primes à la reproduction pourraient être attribuées pour les juments titulaires de bonnes performances ou dont la famille a de bonnes performances en course. En effet, l'intérêt de la sélection sur les femelles est important dans le progrès génétique (Dubois & Ricard 2007).

La valeur génétique additive estimée dans ce travail exprime l'espérance conditionnelle du niveau moyen de performance de chaque reproducteur. Elle permet le classement des chevaux et l'agrément pour la monte des seuls meilleurs par les services des haras et l'ONDEEC.

Tout au long du processus de développement d'un plan de sélection national, les éleveurs devront être associés aux décisions et à la diffusion du progrès génétique à travers les associations de races. A l'instar du schéma adopté en France depuis juillet 1999, ces associations de races pourraient être le maître d'œuvre de la sélection équine, les haras devenant des prestataires de services destinés à l'ensemble des acteurs du développement des filières équines (Collectif 2008). La diffusion de

l'information concernant les index des meilleurs chevaux, y inclus des séminaires de vulgarisation, l'intérêt de l'utilisation de l'insémination artificielle et la proposition de formations des entraîneurs et jockeys seront des clés du succès dudit plan de sélection. Des mesures de soutien financier direct aux éleveurs telles que l'octroi de primes de naissance, la subvention de l'alimentation et les primes d'élevage pourraient constituer des incitants nécessaires à l'usage de ces services par les propriétaires-éleveurs.

L'issue de notre travail est donc telle que nous l'espérons : un plan de sélection génétique par indexation et évaluation des reproducteurs est possible, souhaitable et toutes les conditions sont favorables à sa mise en place. Cependant, il est nécessaire que les pouvoirs publics et le secteur privé investissent les moyens nécessaires pour développer la production chevaline en Algérie. La méthode d'évaluation des reproducteurs utilisée dans ce travail reste essentiellement ouverte et adaptable à de nouvelles évolutions; en particulier, elle peut être adaptée pour l'évaluation de l'autre race utilisée dans les courses de plat, à savoir le pur-sang anglais.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

- Amason T., Bendroth M., Philipsson J., Henriksson K., Darenius A. (1989). In EAAP Publication n042, Pudoc Wageningen, p 106-130.
- Arnason T. (1999). Genetic evaluation of Swedish standard-bred trotters for racing performance traits and racing status. *J. Anim. Breed. Genet.*, **116**, 387-398.
- Artz W. (1961). A contribution on the evaluation of performance tests in Thoroughbred breeding with special reference to the racing performance of individual stallion progeny groups. Giessen. ScheReihe Tierz. Haustiergenet. 2, 1 (Anim. Breed. Abstr., 31:313).
- Bailey C. J., Reid S. W. J., Hodgson D. R., Bourke J. M., Rose R. J. (1998). Flat, hurdle and steeple racing: risk factors for musculoskeletal injury. *Equine Veterinary Journal*, **30**, 498-503.
- Bakhtiari J., Kashan N. E. J. (2009). Estimation of genetic parameters of racing performance in Iranian Thoroughbred horses. *Livestock Science* **120**, 151-157.
- Belhajyahia T., Blouin C., Langlois B., Harzalla H. (2003). Breeding evaluation of arab horses from their racing results in Tunisia by a BLUP with an animal model approach. *Anim. Res.*, **52**, 481-488.
- Benabdelmoumene M. (2003). Races équinnes (chevaux, mulets, ânes). In, *Recueil des Communications «Biodiversité Importante pour l'Agriculture»*. pp. 62-67.
- Benabdelmoumene S. (2002). Naître à la jumenterie de Chaouchaoua. *Le Monde Hippique* 7-10.
- Bidanel J. P. (1994). Estimation des paramètres génétiques sous un modèle animal. In, *J.L. Foulley et M. Molénat (eds), Séminaire Modèle animal (26-29 sept. 1994)*. INRA, SGQA, 78352 Jouy-en- Josas Cedex, France. pp. 25-36.
- Bodo I. Critical considerations on variable estimates of the degree of inheritance in a racehorse population. In: Fed. Eur. Zotech (Comm. Chev.). 27th Congr., Zurich, 1976.
- Bokor A., Blouin C., Langlois B., Stefler J. (2005). Genetic parameters of racing merit of Thoroughbred horses in steeplechase races. *Italian J. Anim. Sci.*, **4**, 43-45.
- Bokor A., Nagy I., Sebestyen J., Szabari M. (2007). Genetic trends in the Hungarian racehorse populations (preliminary results). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, **63/64**, 143-148.
- Boldman K. G., Kriese L. A., Van Vleck L. D., Van Tassell C. P., Kachman S. D. (1995). A Manual for Use of MTDFREML. A Set of Programs To Obtain Estimates of Variances and Covariances [DRAFT]. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. ARS, Washington, DC, USA.
- Bongianni M. (1987). Les chevaux guide vert, édition SOLAR. 254PP.
- Bormann P. (1964). The use of biomathematical methods in the evaluation of racing performance in Thoroughbred horses. *Ergebn. Landw. Forsch. Justus Liebig- Univ.* **6**, 76 (Anim. Breed. Abstr. 33, 361).
- Bouakkaz A. (2011). WAHO CONFERENCE-DOHA,QUATAR. 1-8 November 2011. In., QUATAR.
- Bowling A. T. (1996). *HorseGenetics*. CAB International, Wallingford. pp. xvii + 200.
- Boyer S., Couzy C., Morhain B., Veron J., Pavie J. (2007). Les éleveurs équinns en recherche de rentabilité. In, *In : 33 ème Journée de Recherche Equine*. Les haras nationaux, Paris, France. pp. 105-117.
- Bugislaus A. E., Roehe R., Uphaus H., Kalm E. (2004). Development of genetic models for estimation of racing performances in German thoroughbreds. *Archiv fur Tierzucht*, **47**, 505-516.

- Buttram S. T., Wilson D. E., Willham R. L. (1989). Genetics of racing performance in the American Quarter horse: III. Estimation of variance components. *J. Anim. Sci.*, **66**, 2808–2816.
- Chico M. D. (1994). Genetic-analysis of thoroughbred racing performance in Spain. *Ann. Zootech.*, **43**, 393-397.
- Colenbrander B., Gadella B. M., Stout T. A. E. (2003). The predictive value semen analysis in the evaluation of stallion fertility. *Reproduction in Domestic Animals*, **38**, 05-11.
- Collau J. J. (1996). Evaluation génétique des animaux d'élevage. *INRA Productions Animales, Hors-série*, 27-40.
- Collectif (2008). L'amélioration génétique des équidés. In: H. Nationaux (ed.), *Guide pratique*. Institut français du cheval et de l'équitation, France. p. 334.
- Cunningham E. P. (1975). In Proc. Int. Sym. On genetics and horse breeding. Royal Dublin Soc., Ireland.
- Cunningham E. P., Dooley J. J., Splan R. K., Bradley D. G. (2001). Microsatellite diversity, pedigree relatedness and the contributions of founder lineages to Thoroughbred horses. *Anim. Genet*, **32**, 360–364.
- Dubois C., Ricard A. (2007). Efficiency of past selection of the French sport horse: Selle Français breed and suggestions for the future. *Livestock Science* **112**, 161-171.
- Dusek J. (1965). Príspevek ke studiu dedicnosti nekterych vlastnosti koni. [The heritability and some characters in horses.]. *Anim. Breed. Abstr*, **33**, 532.
- Ekiz B., Kocak O. (2005). Phenotypic and genetic parameter estimates for racing traits of Arabian horses in Turkey. *J. Anim. Breed. Genet.*, **122**, 349-356.
- Ekiz B., Kocak O. (2007). Estimates of genetic parameters for racing times of Thoroughbred horses. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, **31**, 1-5.
- Ekiz B., Kocak O., Demir H. (2005a). Estimates of genetic parameters for racing performances of Arabian horses. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, **29**, 543-549.
- Ekiz B., Kocak O., Yilmaz A. (2005b). Phenotypic and genetic parameter estimates for racing traits of thoroughbred horses in Turkey. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal Breeding*, **48**, 121-129.
- Evans J. W., Borton A., Hintz H., Van Vleck L. D. (1995). *The Horse*, New York, U.S.A.
- Falconer D. S., Mackay T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. 4ème Edition, Longman Group Ltd, p 480.
- FAOSTAT (2012). Statistical database 2010.
- Foye D. B., Dickey H. C., Sniffen C. J. (1972). Heritability of racing performance and a selection index for breeding potential in the Thoroughbred horse. *J. Anim. Sci.*, **35**, 11-41.
- Frown D. (2000). L'encyclopédie pratique du cheval. ML édition. pp185PP.
- Gadoud R., Joseph M. M., Jussiau R., Liseberney M. J., Mangeol B., Montmeas L., Tarrit A., Danvy J. L., Drogoul C., Soyer B. (1992). Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Les éditions Foucher- Paris.
- Gandini G. C., Baagnato A., Miglior F., Pagnacco G. (1992). Inbreeding in the Italian Haflinger horse. *J. Anim. Breed. Genet*, **109**, 433-443.
- Gillespie R. H. (1971). A new way to evaluate race horses, performance rates. In, *the Thoroughbred Record* pp. 961–977.
- Goebel G. (1995). Fortschritte bei der verhaltensmedizinischen Diagnostik und Behandlung quälender chronischer Ohrgeräusche. *Otorhinolaryngol Nova*, **5:1**, 78–89.
- Gold M., Siegel J., Russell L. (1996). Cost-Effectiveness in Health and Medicine. In, *New York: Oxford University Press*.
- Happich M., Mook J., Von Lengerke T. (2009). Health State Valuation Methods and Reference Points: The Case of Tinnitus. *VALUE IN HEATH*, Volume **12**, 88–95.

- Hassenstein C., Roehe R., Kahn E. (1996). Abstract 47th Ann. Meet. EAAP Lillehammer, p.289.
- Hecker W. (1975). Heritability of speed (In Hung.) *Állattenyésztés*, **24**, 117-121.
- Henderson C. R. (1976). A simple method to compute the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values. *Biometrics*, **32**, 69-83.
- Henderson C. R., Kempthorne O., Searle S. R., Von Krosigk C. N. (1959). Estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. *Biometrics*, **15**, 192-218.
- Hill W. G. (1988). Why are not horses faster? *Nature*, **332**, 678.
- Hintz R. L. (1980). Genetics of performance in the horse. *J. Anim. Sci.*, **51**, 582-594.
- IFAHR (2007). IFAHR objectives et IFAHR members. Site web: www.ifahr.net.
- Jelinek J. (1988). Differences in the manifested racing performance of the English Thoroughbreds: Evaluation of horses of different sexes and years of birth by the parametric and non-parametric tests. *Scientia Agriculturae Bohemoslovaca*, **20**, 131-138.
- Kadri A. (2006). Le cheval barbe, cheval du Nord de l'Afrique, son rôle en Algérie. *Revue Organisation Mondiale*, 9-45.
- Kieffer N. M. (1975). Heritability of racing capacity in the Thoroughbred. Proceedings of the International Symposium on Genetics and Horse Breeding. In, *Royal Dublin Society*. p. 9.
- Kinghorn B., Sandy K. (2010). Pedigree Viewer, Version 6.5b In. University of New England Armidale - Australia.
- Klemetsdal G. (1998). The effect of inbreeding on racing performance in Norwegian cold-blooded trotters. *Genet. Sel. Evol.*, **30**, 351-366.
- Klemetsdal G., Johnson M. (1989). Effect of inbreeding on fertility in Norwegian trotter. *Livestock Production Science* **21**, 63-72.
- Langlois B. (1975). Statistical and genetic analysis of the earnings of 3-yr-old Thoroughbreds in French flat races. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, **7**, 387-408.
- Langlois B. (1980a). Heritability of racing ability in Thoroughbreds - a review. *Livest. Prod. Sci.*, **7**, 591-605.
- Langlois B. (1982). The heritability of performance in the French Trotter. A bibliographic review. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, **14**, 399-414.
- Langlois B. (1984). Horse of leisure and sport : capacities and selection. In: R. Jarrige, Martin-Rosset, W (ed.), *The Horse, the reproduction, the selection, the supply, the exploitation*. INRA, Paris, France. pp. 423-435.
- Langlois B. (1986). La génétique appliquée à l'amélioration des productions chevalines françaises. In: C. d. p. a. d. Quebec (ed.), *Colloque du cheval*. Institut de technologie agricole et alimentaire Saint-Hyacinthe. pp. 27-40.
- Langlois B. (1990). Incidence de la sélection et de l'homogamie sur les paramètres du modèle génétique additif. *Genet. Sel. Evol.*, **22**, 119-132.
- Langlois B. (1996). A consideration of the genetic aspects of some current practices in Thoroughbred horse breeding. *Ann. Zootech.*, **45**, 41-51.
- Langlois B. (2007). History of equestrian competitions and horse races. A symposium organized by the with the collaboration of the National Equitation School and the Horse Show. In. Ethnozootecnical Society, Paris. P198. p. 198.
- Langlois B., Blouin C. (1998). Effect of a horse's month of birth on its future sport performance. II. Effect on annual earnings and annual earnings per start. *Ann. Zootech.*, **47**, 67-74.
- Langlois B., Blouin C. (2004). Practical efficiency of breeding value estimations based on annual earnings of horses for jumping, trotting, and galloping races in France. *Livestock Production Science*, **87**, 99-107.

- Langlois B., Blouin C., Tavernier A. (1996). Nouveaux résultats d'estimation de l'héritabilité des gains en course des pur-sang en France. [New results on the estimation of the heritabilities of earnings of thoroughbreds in France]. *Genet. Sel. Evol.*, **28**, 275-283.
- Langlois B., Minkema D., Bruns E. (1983). Genetic problems in horse breeding. *Livestock Production Science*, **10**, 69-81.
- Langlois B., Vrijenhoek T. (2004). Qualification status and estimation of breeding value in French trotters. *Livestock Production Science*, **89**, 187-194.
- Lemaire S. (2003). Economie et avenir de la filière chevaline. *INRA Prod. Animal.*, **16**, 357-364.
- Leroy P., Farnir F. (2002). Calculation of the Index Jumping Individual Performance based on the performance of jumping in the Cycle Classic. In. Seminars of 3rd doctoral, FMV ULG. p. 16.
- Leroy P., Kafidi N., Bassleer E. (1988). Estimation of breeding values of Belgian Trotters using an animal model. *Proceedings, VI World Conference on Animal Production.*, 774.
- Lesaffre R. (1964). Connaissance et utilisation des chevaux de course. CL Crepin-Leblond et Cie Editeurs. 419pp.
- MADR (2009). Balance sheet of agricultural statistics 2008. In. Sub-Department of Statistics, Ministry of Agriculture and Rural Development Algeria. P25. p. 25.
- Moritsu Y., Funakoshi H., Ichikawa S. (1994). Genetic evaluation of sires and environmental factors influencing best racing times of Thoroughbred horses in Japan. *Journal of Equine Science*, **5**, 53-58.
- Moritsu Y., Ichikawa S. (1995). In *Animal Breeding Abstracts* 63 :834.
- Mota M. D. S., Abrahao A. R., Oliveira H. N. (2005). Genetic and environmental parameters for racing time at different distances in Brazilian Thoroughbreds. *J. Anim. Breed. Genet.*, **122**, 393-399.
- Mota M. D. S., Oliveira H. N., Silva R. G. (1998). Genetic and environmental factors that affect the best time of Thoroughbred horses in Brazil. *J. Anim. Breed. Genet.*, **115**, 123-129.
- OIE (2010). Santé animale mondiale en 2009 In: OIE (ed.). Paris : OIE - Office International des Epizooties (Organisation mondiale de la santé animale), Paris. p. 619.
- Oki H., Sasaki Y., Lin C. Y., Willham R. L. (1995b). Influence of jockeys on racing time in Thoroughbred horses. *J. Anim. Breed. Genet.*, **112**, 171-175.
- Oki H., Sasaki Y., Willham R. L. (1994). Genetics of racing performance in the Japanese thoroughbred horse .2. Environmental variation of racing time on turf and dirt tracks and the influence of sex, age, and weight carried on racing time. *J. Anim. Breed. Genet.-Z. Tierz. Zungt. Biol.*, **111**, 128-137.
- Oki H., Sasaki Y., Willham R. L. (1995a). Genetic parameter estimates for racing time by restricted maximum-likelihood in the thoroughbred horse of Japan. *J. Anim. Breed. Genet.-Z. Tierz. Zungt. Biol.*, **112**, 146-150.
- Oliveira L. F. S. (1989). Fatores que influem no desempenho e selecao de cavalos de corrida da raca P.S.I. Masters thesei in agronomy, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de sao Paulo, Sao Paulo, p. 181.
- ONDEEC (2012). Bilan des saisons de monte de 2000 à 2011.
- Orhan H., Kaygisiz A. (2010). Genetic and Environmental Parameters Effecting Racing Performance of Turk-Arabian Horses Raised at Anatolian State Farm. *Asian J. Anim. Vet. Adv.*, **5**, 112-119.
- PIA (2009). Lexique du cheval.net. Dictionnaire des races de chevaux et d'équidés. <http://www.lexiqueducheval.net/> . a/c 8/8/08.
- Pieszka M., Luszczynski L., Baranowska A. (2011). Frequency of limb injuries between Thoroughbred and Arabian horses. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, **1(1)**, 69-71.

- Porter R. A. (1971). Performance rate calculations. In, *Thoroughbred Record* p. 960.
- Preisinger R., Wilkens J., Kalm E. (1990). Breeding values and estimation of genetic trends in German Thoroughbred horses. *Proceedings of the 4th World Congress on Genetics applied to Livestock Production*, , **16**, 217-220.
- Rahal K. (2005). Situation et enjeux du cheval barbe en Algérie. *Magvet*. Num spécial.
- Rahal K., Amimeur M., Lasnami K., Kaidi R. (2006). Infecundity problems detected by ultrasonography in 104 mares bred in Algeria - A field study. IXth World Equine Veterinary Association. Marrakech January 22-26. .
- Ricard A. (1984). Etude statistique et génétique des gains en course des Pur-Sang Anglais de 1969 à 1982. Mémoire de fin d'études. In. ENSSAA Dijon. p. 47.
- Ricard A., Bruns E., Cunningham E. P. (2000). Genetics of performance traits. In: A. T. Bowling and A. Ruvinsky (eds.), *Genetics of the Horse*. United Kingdom. pp. 411-418.
- Ricard A., Legarra A. (2010). Validation of models for analysis of ranks in horse breeding evaluation. *Genetics, Selection, Evolution*, **42**, (28 January 2010).
- Robertson W. (1971). Explanation of Performances Rates. In, *The Thoroughbred Record The Thoroughbred Record* p. 1132.
- Rognon X., Verrier E. (2008). Suivi de gestion de la variabilité génétique des populations équinés. In, *L'amélioration génétique des équidés, Haras Nationaux*. pp. 69-87.
- Röhe R., Savas T., Brka M., Willms F., Kalm E. (2001). Estimation of genetic parameters for racing performances in German trotters. In: Annual Meeting of the E.A.A.P., 52nd Congress. Budapest, Hungary, Session 5, H5.10: 350. 2001.
- Saastamoinen M. T., Ojala M. J. (1991). Estimates of genetic and phenotypic parameters for racing performance in Young trotters. *J.Agric. Sci., Finland*, **41**, 427-436.
- Sabbagh M., Danvy S., Ricard A. (2012). Consanguinité et Ancêtres majeurs chez les Chevaux Arabe. Point sur de l'analyse de la consanguinité et des ancêtres majeurs chez les Chevaux Arabe. *Les Haras Nationaux*, p12.
- SAS Institute (2000). SAS/STAT User's Guide. Version 8. SAS Inst. Inc., Cary, NC. In.
- Schulze W., Kalme E. (1985). Analysis of the racing of thoroughbred horses in the Federal Republic of Germany. In, *26 th Annual meeting of the European Association for Animal Production*. 30 september-3 october 1985, Grece.
- Silver C. (1976). Tous les chevaux du monde en couleurs. Elsevier Séquoia Paris-Bruxelles.223PP.
- Sivestrelli M., Pigarati C., Cacalhr C., Bonanzinga M. (1995). In Abstracts of the 46 th Annual Meeting of EAAP Pragus, p350.
- Sobczynska M., Kownacki M. (1996). In Abstract of 47 th Annual meeting of the EAAP Lillehammer, p288.
- Sobczynska M., Kownacki M. (1997). Genetic aspects of racing performance in Polish pure bred Arab horses. I. Genetic parameters. *J. Appl. Genet.*, **38**, 179-186.
- Sobczynska M., Lukaszewicz M. (2003). Heritability of racing merit of Arab horses. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, **21**, 233-239.
- Sobczynska M., Lukaszewicz M. (2004). Genetic parameters of racing merit of thoroughbred horses in Poland. *J. Anim. Breed. Genet.*, **121**, 302-306.
- Svobodova S., Blouin C., Langlois B. (2005). Estimation of genetic parameters of Thoroughbred racing performance in the Czech Republic. *Anim. Res.*, **54**, 499-509.
- Taveira R. Z., Mota M. D. S., Oliveira H. N. (2004). Population parameter in Brazilian Thoroughbred. *J. Anim. Breed. Genet.*, **121**, 384-391.
- Tavernier A. (1989). Caractérisation de la population Trotteur Français d'après leur estimation génétique par un BLUP modèle animal. *Ann. Zootech.*, **38**, 145-155.
- Tavernier A. (1990). Estimation of breeding value of jumping horses from their ranks. *Livestock Production Science*, **26**, 277-290.

- Tavernier A. (1991). Genetic evaluation of horses based on ranks in competitions. *Genet. Sel. Evol.*, **23**, 159-173.
- Thiruvankadan A. K., Kandasamy N., Panneerselvam S. (2009). Inheritance of racing performance of Thoroughbred horses. *Livestock Science*, **121**, 308–326.
- Thorén Hellsten E., Jorjani H., Philipsson J. (2008). Connectedness among five European sport horse populations. *Livestock Science*, **118**, 147-156.
- Tolley E. A., Notter D. R., Marlowe T. J. (1985). A review of the inheritance of racing performance in horses. *Animal Breeding Abstracts*, **53**, 163-185.
- Verrier E. (2011). L'amélioration génétique : une activité humaine organisée, au service de l'adaptation des populations animales. *37ème Journée de la Recherche Equine*, 85-92.
- Verrier E., Leroy G., Blouin C., Mériaux J. C., Rognon X., Hospital F. (2010). Estimating the effective size of farm animals populations from pedigree or molecular data : a case study on two French draught horse breeds. In, *9th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig*.
- Villela L. C. V., Mota M. D. S., Oliveira H. N. (2002). Genetic parameters of racing performance traits of Quarter horses in Brazil. *J. Anim. Breed. Genet.*, **119**, 229-234.
- Watanabe Y. (1969). Zeitmessung als Selektionsmassstab in der Vollblutzucht. [Timing as a measure of selection in Thoroughbred breeding.]. *Jap. J. Zootech. Sci.*, **40**, 271.
- Watanabe Y. (1974). Performance rates of Thoroughbreds as a criterion of racing ability. *Jap. J. Zootech. Sci.*, **45**, 408-411.
- Weitkamp L. R., MacCluer J. W., Guttormsen S., McKnight J., Wert N., Witmer J. (1982). Genetics of Standardbred stallion reproductive performance. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement* **32**, 135-142.
- Willett P. (1975). An Introduction to the Thoroughbred. Stanley Paul Ltd., London. (Cited by Cunningham, 2005).
- Williams R. B., Harkins L. S., Hammond C. J., Wood J. L. N. (2001). Racehorse injuries, clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from flat racing and National Hunt racing during 1996, 1997 and 1998. *Equine Vet. J.*, **33**, 478-486.
- Williamson S. A., Beilharz R. G. (1996). Heritabilities of racing performance in Thoroughbreds: A study of Australian data. *J. Anim. Breed. Genet.*, **113**, 505-524.
- Williamson S. A., Beilharz R. G. (1998). The inheritance of speed, stamina and other racing performance characters in the Australian Thoroughbred. *J. Anim. Breed. Genet.*, **115**, 1-16.
- Wolter R. (1975). L'alimentation du cheval. 2ème édition, Vigot Frères- Paris. *Zootech.* **43** (1994) 393–397.
- Wright H. (1989). Sir Charles Leicester Bloodstock Breeding. *Allen and Co Ltd., London*.
- Young L. E., Rogers K., Wood J. L. N. (2005). Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationship to race performance. *J. Appl. Physiol.*, **99**, 1278–1285.

ANNEXES

CODE	F	LAEV	CD	CODE	F	LAEV/S	CD	CODE	F	PERF	CD
679	0.01	2.50	0.59	679	0.01	1.83	0.61	679	0	1.02	0.61
188	0	2.34	0.61	188	0	1.72	0.62	1852	0	0.99	0.61
1179	0.02	2.34	0.61	1179	0.01	1.68	0.62	188	0.02	0.97	0.61
691	0.01	2.30	0.59	691	0	1.67	0.61	1677	0.02	0.96	0.56
1677	0.02	2.26	0.55	1677	0	1.66	0.56	691	0	0.93	0.61
540	0.02	2.22	0.62	1852	0.03	1.63	0.61	568	0	0.92	0.62
568	0	2.20	0.62	568	0.01	1.62	0.64	1499	0	0.92	0.64
1852	0.04	2.18	0.59	1499	0.01	1.59	0.67	422	0.04	0.90	0.58
488	0.01	2.17	0.61	496	0.05	1.58	0.59	1179	0.01	0.89	0.61
496	0	2.16	0.59	488	0.01	1.53	0.61	318	0.05	0.89	0.64
1499	0	2.16	0.67	438	0.03	1.52	0.61	438	0.03	0.89	0.55
138	0.08	2.08	0.69	438	0.04	1.51	0.59	496	0.02	0.87	0.58
422	0	2.05	0.61	540	0	1.51	0.64	456	0.03	0.86	0.62
438	0	2.04	0.58	318	0.02	1.46	0.66	880	0.02	0.81	0.64
544	0.04	2.03	0.62	718	0.11	1.44	0.61	805	0	0.80	0.59
115	0.06	2.03	0.64	1868	0.02	1.42	0.67	263	0.02	0.76	0.66
718	0	2.02	0.59	35	0.02	1.42	0.64	1705	0.08	0.75	0.64
144	0	2.01	0.76	115	0	1.41	0.64	973	0.02	0.75	0.55
1868	0	2.00	0.67	1472	0.01	1.40	0.61	378	0.1	0.75	0.64
361	0.03	2.00	0.66	1705	0.05	1.40	0.64	488	0	0.75	0.61
35	0.02	1.98	0.64	144	0	1.40	0.76	208	0	0.74	0.52
451	0.01	1.97	0.64	47	0	1.39	0.38	47	0	0.74	0.38
1472	0	1.97	0.61	544	0	1.39	0.64	717	0.06	0.74	0.61
318	0.01	1.95	0.64	805	0	1.39	0.59	35	0.05	0.74	0.62
47	0	1.94	0.38	456	0.06	1.38	0.62	541	0.01	0.73	0.52
1705	0	1.93	0.64	138	0.02	1.38	0.69	331	0.05	0.73	0.64
136	0.03	1.92	0.62	451	0.02	1.37	0.64	718	0	0.73	0.59
678	0.01	1.91	0.61	717	0.03	1.36	0.61	1831	0	0.73	0.66
742	0.02	1.91	0.59	378	0.01	1.35	0.66	1681	0	0.72	0.64
1122	0.02	1.89	0.62	742	0	1.35	0.61	733	0	0.72	0.83
805	0.01	1.89	0.58	880	0.03	1.35	0.66	1868	0	0.72	0.64
717	0	1.88	0.59	678	0	1.34	0.61	921	0.03	0.71	0.52
478	0	1.87	0.62	1122	0.01	1.32	0.64	808	0.07	0.71	0.58
452	0.04	1.87	0.64	263	0	1.32	0.67	1472	0.05	0.70	0.59
378	0.02	1.85	0.64	361	0	1.32	0.66	1058	0	0.69	0.76
627	0.03	1.83	0.61	452	0	1.32	0.66	776	0	0.69	0.59
642	0.03	1.83	0.62	973	0	1.31	0.53	78	0	0.68	0.58
431	0.02	1.82	0.64	1831	0.02	1.30	0.67	382	0.04	0.68	0.58
456	0.01	1.82	0.62	642	0	1.29	0.62	1400	0.03	0.67	0.56
158	0.06	1.82	0.67	541	0	1.29	0.50	1784	0.02	0.67	0.66
98	0	1.81	0.67	136	0.01	1.26	0.64	742	0.02	0.66	0.61
880	0.01	1.81	0.66	627	0	1.25	0.62	642	0.02	0.65	0.62
263	0	1.80	0.67	431	0	1.24	0.64	115	0	0.64	0.64
1630	0.01	1.80	0.69	158	0.04	1.24	0.67	144	0	0.64	0.76
973	0.07	1.79	0.52	98	0	1.24	0.66	452	0.02	0.64	0.64
1831	0.01	1.78	0.69	478	0	1.24	0.62	407	0.01	0.64	0.64
141	0.03	1.77	0.69	533	0	1.24	0.67	849	0	0.63	0.62
533	0.13	1.77	0.66	647	0	1.23	0.62	678	0.05	0.63	0.61
647	0	1.76	0.61	1630	0.03	1.23	0.69	1122	0	0.63	0.62
541	0.01	1.76	0.49	1058	0	1.23	0.76	540	0	0.63	0.62
377	0	1.75	0.52	78	0	1.22	0.56	451	0	0.63	0.62
1840	0.02	1.73	0.61	1400	0	1.21	0.56	1667	0.01	0.63	0.62

1876	0.02	1.71	0.67	733	0	1.21	0.83	313	0	0.63	0.56
703	0.01	1.69	0.56	1840	0.02	1.21	0.62	845	0	0.61	0.59
1058	0	1.67	0.76	208	0	1.20	0.50	41	0.02	0.60	0.56
78	0.02	1.67	0.55	377	0	1.19	0.53	551	0	0.60	0.61
1400	0.01	1.67	0.55	407	0	1.19	0.66	544	0.02	0.60	0.62
175	0	1.67	0.67	703	0.01	1.18	0.58	38	0	0.60	0.64
428	0	1.65	0.49	382	0.02	1.16	0.58	370	0	0.60	0.85
479	0.01	1.65	0.62	331	0	1.16	0.66	341	0.02	0.59	0.64
407	0.02	1.65	0.66	1876	0.01	1.15	0.67	375	0	0.59	0.62
20	0	1.64	0.64	808	0.06	1.14	0.58	1811	0	0.59	0.66
43	0.01	1.63	0.66	175	0	1.14	0.67	928	0.03	0.59	0.52
733	0	1.63	0.83	20	0.13	1.14	0.64	169	0	0.59	0.38
345	0	1.62	0.61	776	0	1.13	0.59	1	0.01	0.58	0.35
208	0.01	1.60	0.49	479	0.01	1.13	0.64	542	0.03	0.58	0.62
1573	0	1.60	0.62	542	0	1.12	0.64	533	0	0.58	0.66
181	0.01	1.60	0.67	577	0	1.12	0.62	1228	0.01	0.58	0.74
406	0	1.59	0.64	412	0.01	1.12	0.58	1503	0.03	0.58	0.64
785	0.08	1.58	0.66	370	0	1.11	0.85	647	0	0.58	0.61
577	0.01	1.57	0.62	849	0.03	1.10	0.62	1821	0.02	0.58	0.66
672	0.01	1.57	0.59	345	0	1.10	0.61	543	0	0.58	0.61
412	0.01	1.56	0.56	406	0.26	1.10	0.64	64	0	0.57	0.62
382	0.01	1.56	0.56	428	0	1.10	0.50	412	0.01	0.57	0.58
542	0.01	1.56	0.64	672	0.03	1.10	0.61	1840	0.04	0.57	0.62
145	0	1.56	0.67	607	0	1.09	0.61	104	0	0.57	0.66
607	0.02	1.56	0.59	38	0.06	1.09	0.66	1859	0	0.57	0.64
425	0.02	1.55	0.64	141	0.01	1.09	0.67	577	0.02	0.57	0.62
337	0.01	1.54	0.59	1784	0.02	1.09	0.67	895	0.04	0.56	0.53
1767	0.02	1.54	0.69	921	0.03	1.08	0.50	948	0.01	0.56	0.56
1594	0.01	1.54	0.66	181	0.02	1.08	0.66	1180	0.03	0.56	0.61
370	0	1.54	0.83	582	0.06	1.08	0.64	703	0.04	0.56	0.58
582	0.04	1.53	0.64	145	0.02	1.08	0.67	864	0	0.56	0.59
1802	0.03	1.53	0.67	425	0	1.08	0.64	396	0.04	0.56	0.62
331	0.05	1.53	0.66	864	0	1.07	0.59	250	0.08	0.56	0.64
808	0.01	1.52	0.56	1859	0.01	1.07	0.64	1048	0	0.54	0.55
776	0.02	1.51	0.59	1821	0	1.07	0.67	1575	0.02	0.54	0.52
849	0	1.50	0.62	169	0.06	1.07	0.37	277	0.06	0.54	0.48
864	0	1.50	0.58	785	0	1.07	0.67	881	0.01	0.54	0.56
38	0.02	1.49	0.67	313	0.01	1.06	0.55	582	0	0.53	0.64
1816	0	1.49	0.66	845	0	1.06	0.58	98	0	0.53	0.64
598	0	1.49	0.61	1573	0	1.06	0.62	1630	0.08	0.53	0.67
1859	0.01	1.49	0.64	598	0	1.06	0.61	1459	0.03	0.53	0.58
243	0.05	1.49	0.64	104	0	1.06	0.67	598	0	0.53	0.61
1821	0.07	1.48	0.67	1802	0.02	1.05	0.67	877	0.01	0.52	0.55
836	0.04	1.48	0.59	551	0.01	1.05	0.62	431	0	0.52	0.64
169	0	1.47	0.34	1681	0	1.05	0.67	158	0.01	0.52	0.66
1572	0.02	1.46	0.56	337	0.03	1.04	0.61	384	0.02	0.52	0.61
104	0.06	1.46	0.67	1594	0	1.04	0.66	570	0.07	0.52	0.62

Annexe 1 Code animal (CODE), coefficient de consanguinité (F), valeurs génétique additives (A) et coefficient de détermination (CD) des trois caractères étudiés (LAEV, LAEV/S et PERF). Classement des 100 premiers chevaux en fonction de l'ordre croissant de leurs valeurs génétiques additives.