

Les principales thématiques de la recherche française sur le cheval

The main topics in French equine research

Par Pierre SELLIER⁽¹⁾
(communication présentée le 6 novembre 2003)

RÉSUMÉ

Cet article passe en revue les orientations et les résultats des principales recherches conduites en France dans les domaines de l'alimentation, de la reproduction, de la génétique et de la performance sportive chez les équidés. Des pratiques nouvelles ont été développées à partir de la plupart de ces travaux de recherche. Les perspectives des recherches dans ces quatre domaines d'intérêt sont également évoquées brièvement.

Mots-clés : cheval, recherche, reproduction, génétique, nutrition, performance sportive.

SUMMARY

The present article reviews the main studies, and their resulting guidelines, carried out in France in horse nutrition, reproduction, genetics and sport performance. Most of these studies have lead to the development of new practices. Research prospects in these four areas are also briefly presented.

Key words: horse, research, reproduction, genetics, nutrition, sport performance.

(1) INRA, Direction Scientifique " Animal et Produits Animaux ", 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07

• INTRODUCTION

Les travaux de recherche sur le cheval ont commencé à prendre un véritable essor en France au milieu des années 1970, en particulier à travers une coopération suivie entre Les Haras Nationaux et l'INRA. Au cours des trois dernières décennies, ces travaux ont concerné principalement trois domaines, comme le montre la mise au point très complète publiée par LANGLOIS, MARTIN-ROSSET et PALMER (2001) :

- **la reproduction** : il s'agissait de développer les connaissances génériques sur cette fonction physiologique essentielle en mettant l'accent sur les spécificités de la reproduction équine, d'améliorer les pratiques en vue d'augmenter la fertilité du couple jument-étalon et de développer de nouvelles techniques de reproduction artificielle ;

- **l'alimentation** : les recommandations d'apports alimentaires pour les chevaux avaient reposé jusque là sur les normes nutritionnelles établies pour les ruminants et l'objectif était de mieux connaître l'utilisation digestive et métabolique des aliments et donc de prédire avec une meilleure précision leur valeur énergétique et azotée chez le cheval ;

- **l'amélioration génétique** : les activités de recherche dans ce domaine ont quasi exclusivement porté sur le cheval de sport et de courses avec l'objectif de définir des critères de sélection appropriés, visant à apprécier la réussite en compétition sur des bases statistiques rigoureuses, puis de développer des procédures d'évaluation génétique qui se sont perfectionnées au fil du temps.

Plus récemment, l'effort de recherche s'est également orienté vers des études sur les bases physiologiques et biomécaniques de l'**effort physique** chez le cheval-athlète et vers l'établissement de critères prédictifs de la **performance sportive** dans différentes disciplines.

Nous nous proposons ici de passer rapidement en revue les principaux acquis et les perspectives de la recherche dans ces quatre domaines (reproduction, alimentation, génétique, performance sportive). Les recherches ayant trait aux pathologies infectieuses touchant l'espèce équine, au comportement et au tempérament du cheval ainsi qu'à divers aspects socio-économiques de la filière équine sont présentées par ailleurs.

• ALIMENTATION

Jusque dans les années 1980, les recommandations nutritionnelles utilisées en France pour l'alimentation des chevaux reposaient sur les tables de référence établies antérieurement pour les ruminants. Cette extrapolation entre espèces d'herbivores peut s'avérer inadéquate dans la mesure où l'anatomie du tractus digestif et le déroulement de la digestion chez le cheval (monogastrique avec un gros intestin très développé) présentent des particularités par rapport aux herbivores polygastriques (WOLTER, 1993 ;

DULPHY *et al.*, 1995). On s'est vite aperçu, par exemple, que la valeur nutritive de certains fourrages diffère assez fortement selon qu'il s'agit du bovin ou du cheval. Des recherches spécifiques visant à améliorer les méthodologies d'estimation de la valeur énergétique et azotée des aliments et à préciser les apports alimentaires recommandés chez le cheval ont été entreprises il y a quelque vingt-cinq ans. A partir des résultats des études réalisées sur l'utilisation digestive et métabolique des aliments, leur valeur énergétique et azotée est aujourd'hui exprimée respectivement en quantité d'énergie nette et d'acides aminés disponibles pour couvrir les dépenses du cheval (MARTIN-ROSSET *et al.*, 1994).

La **valeur énergétique nette** des aliments, exprimée en Unités Fourragères Cheval (UFC), est estimée à partir de leur composition chimique et de leur digestibilité, en prenant en compte la quantité des nutriments absorbés, le rendement de l'utilisation de l'énergie et la dépense énergétique liée à l'ingestion, variable selon l'aliment concerné (VERMOREL *et* MARTIN-ROSSET, 1997). La **valeur azotée** des aliments, exprimée selon le système MADC (Matières Azotées Digestibles Cheval), correspond à la quantité d'acides aminés d'origine alimentaire et microbienne absorbés dans l'intestin grêle et, pour une petite part, dans le gros intestin (TISSERAND *et* MARTIN-ROSSET, 1996). Des tables de composition chimique et de valeur nutritive des aliments pour le cheval ont été publiées pour la première fois en 1984, puis complétées et actualisées à plusieurs reprises. Il vaut d'être noté que l'ouvrage "multi-espèces" récemment publié et consacré aux matières premières entrant dans la composition des aliments composés industriels inclut le cheval et couvre, pour cette espèce, près de 80 matières premières (SAUVANT *et al.*, 2002).

Les **besoins nutritionnels** du cheval à l'entretien ou en production, exprimés également en UFC et MADC, ont été expérimentalement déterminés et des recommandations d'apport alimentaire journalier ont été établies pour les différentes catégories d'animaux : la jument (selon le stade physiologique et l'état corporel à la mise bas), le poulain en croissance (selon le poids corporel et le gain de poids journalier), le cheval au travail (selon le type d'utilisation, la durée et l'intensité de l'effort physique : voir MARTIN-ROSSET, 1993).

Il apparaît donc que les bases scientifiques de la nutrition équine et de l'évaluation des matières premières alimentaires ont été notablement rénovées au cours des deux dernières décennies. Ce progrès des connaissances a permis, sur le plan opérationnel, d'élaborer et de diffuser auprès des utilisateurs des recommandations plus précises pour une alimentation rationnelle du cheval (MARTIN-ROSSET *et al.*, 1996)

Parallèlement, les études réalisées sur divers **systèmes de conduite alimentaire** des chevaux d'élevage ont concerné, entre autres choses, les modes d'utilisation des ressources fourragères (MICOL *et al.*, 1997) et les facteurs

qui sont à l'origine du **comportement du cheval au pâturage**. L'espèce équine présente, par rapport aux autres espèces d'herbivores domestiques, un comportement assez singulier dans l'utilisation des prairies. Les chevaux passent la majeure partie du temps qu'ils consacrent à s'alimenter sur des zones d'herbe courte et évitent les zones d'herbe plus haute où leurs fèces sont concentrés et les risques de contamination parasitaire plus élevés (FLEURANCE *et al.*, 2001 ; MENARD *et al.*, 2002). Si l'on se réfère à l'étude récente réalisée par FLEURANCE *et al.*, (2003), les décisions alimentaires du cheval au pâturage sembleraient davantage répondre à une stratégie nutritionnelle (maximiser l'ingestion journalière de nutriments) plutôt qu'à une stratégie anti-parasitaire (éviter la contamination).

Le thème "**nutrition et santé digestive**" a pris plus d'importance ces dernières années. Chez le cheval, une proportion élevée des cas de mortalité est d'origine digestive et les **coliques** sont connues pour être la cause majeure des affections du tractus digestif. Une synthèse récente d'une douzaine d'études épidémiologiques sur les coliques (GONCALVES *et al.*, 2002) a montré que les facteurs de risque potentiels sont nombreux, mais elle a confirmé une nouvelle fois que la cause première du syndrome colique réside dans des erreurs d'alimentation, qu'il s'agisse du choix des aliments ou de certaines pratiques alimentaires (en particulier un changement brusque de régime). Des recherches sont en cours en France pour mieux comprendre le fonctionnement et la physiopathologie de la digestion antecæcale, en s'appuyant sur des études approfondies de l'écosystème microbien du tractus digestif dans diverses situations nutritionnelles (JULLIAND *et al.*, 2001 ; MEDINA *et al.*, 2002).

Mentionnons enfin qu'un programme de recherche pluridisciplinaire a été mis en œuvre en 2002 afin de développer un modèle expérimental permettant d'étudier l'influence des facteurs nutritionnels sur la **croissance de l'os** et l'évolution du "**statut osseux**" (apprécié par densitométrie), et ceci en liaison avec la survenue éventuelle d'affections ostéo-articulaires juvéniles (AOAJ) (DENOIX et VALETTE, 2001) chez des produits d'étalons présentant une faible ou une forte prédisposition héréditaire aux AOAJ. A terme, l'objectif est de déterminer le niveau optimal de croissance pondérale et les besoins alimentaires afférents du jeune cheval, en prenant en compte les spécificités du cheval destiné à la compétition sportive.

• REPRODUCTION

Au début des années 1970, le mode de reproduction pratiqué chez les équins était de façon très générale la monte naturelle en main, même si la monte en liberté était parfois utilisée dans les races de trait. Les techniques d'appui à la reproduction se limitaient alors à l'examen des ovaires par palpation rectale et au diagnostic de gestation réalisé soit par palpation rectale au-delà de 30 jours après l'accouplement, soit par dosage de la PMSG au-delà de 45 jours et par dosage des oestrogènes urinaires au-delà de

5 mois. Les recherches à entreprendre avaient pour principaux objectifs de faire progresser la fertilité des juments (elle était alors de l'ordre de 50 %) et de faciliter l'organisation pratique de la reproduction, côté étalon comme côté poulinière.

Il était nécessaire d'acquérir, en amont, une meilleure compréhension des particularités de la reproduction équine pour fonder sur des bases scientifiques solides le développement de nouvelles pratiques ou de technologies innovantes. Des recherches cognitives ont été ainsi conduites au centre INRA de Tours-Nouzilly, en étroite collaboration avec Les Haras

nationaux et avec le concours de la Jumenterie du Pin et de la Station expérimentale des Haras, dans trois principaux champs d'investigation :

1. connaissance de la **fonction ovarienne** et de son contrôle hypothalamo-hypophysaire, y compris sous l'angle des mécanismes hormonaux de la **saisonnalité de l'activité ovarienne** – sous la dépendance de la mélatonine (GUILLAUME et PALMER, 1992) – et des mécanismes en jeu au cours de la croissance et de la maturation pré-ovulatoire du follicule (GOUDET *et al.*, 1997 ; GERARD, 1999);

2. analyse du contrôle hormonal de la **spermatogénèse** (VIDAMENT, 1999), caractérisation de la **fonction spermatique** de l'étalon (quantité de semence et surtout qualité fonctionnelle des spermatozoïdes), études sur l'origine de la subfertilité ou de l'infertilité de certains étalons (CLEMENT, 1995) et, dans l'optique notamment du développement souhaitable de l'**insémination artificielle** chez le cheval, études sur la conservation en frais et la "congélabilité" du sperme (MAGISTRINI et VIDAMENT, 1999) ;

3. plus récemment, étude de l'**embryon équin** : méthode de collecte de l'embryon, évaluation *in vitro* de sa qualité, conservation de l'embryon par réfrigération sur 24 heures ou par congélation, technologie du transfert d'embryon (BRUYAS et LAGNEAUX, 1992 ; LAGNEAUX et DUCHAMP, 1999). On peut rattacher à ce champ les travaux conduits sur l'obtention d'embryons équins issus de **fécondation *in vitro***, le premier succès dans ce domaine datant d'une douzaine d'années (PALMER *et al.*, 1991).

Les travaux réalisés sur la **saisonnalité de l'activité ovarienne** ont permis d'établir les principes de base qui doivent être respectés pour une pleine efficacité de la modification de la photopériode avant la saison de reproduction : attendre les jours courts pour débiter le programme d'éclairage artificiel des juments, tenir compte de l'importance essentielle du rythme journalier du traitement (qui joue plus que l'intensité ou la durée totale de l'éclairage artificiel). Des programmes de **photo-stimulation** – et également d'alimentation – ont ainsi été proposés pour la maîtrise de la première ovulation annuelle. Ces traitements photopériodiques peuvent être associés à des traitements destinés à contrôler, et éventuellement synchroniser, les chaleurs : emploi de progestagènes et/ou de prostaglan-

dines pour induire la lutéolyse ou emploi d'antagonistes de GnRH (BRIANT *et al.*, 2003). L'assemblage de ces techniques permet ainsi de parvenir à une véritable « programmation » de la reproduction chez la jument.

Les progrès des techniques de l'imagerie *in vivo* ont conduit dès le début des années 1980 à une large utilisation de l'**échographie** par ultra-sons pour le suivi des gestations, permettant notamment de réaliser un diagnostic de gestation fiable au 14^e jour après l'ovulation, c'est-à-dire avant le possible retour en chaleurs de la jument. On peut également avoir recours à l'échographie trans-rectale pour examiner les ovaires et suivre l'activité ovarienne chez la femelle cyclique.

Concernant le volet « mâle » de la reproduction, les résultats de recherche ont conduit à des avancées dans l'évaluation de la qualité de la semence. Ils ont aussi permis de proposer aux éleveurs des **techniques d'insémination artificielle** (IA) utilisables sur le terrain. Ce mode de reproduction, qui présente un intérêt majeur à la fois sur le plan génétique, sur le plan sanitaire et sur le plan de la conduite d'élevage, a connu un développement très significatif en France depuis 15-20 ans. A l'heure actuelle, un tiers des naissances – toutes races confondues – résultent d'IA, bien que des obstacles réglementaires limitent son emploi dans certaines races de sport (l'IA est totalement interdite chez le pur-sang et le transport de semence est prohibé chez le trotteur). Les **techniques de conservation du sperme** d'étalon (type de dilueur par exemple) ont évolué et il est possible aujourd'hui de réaliser des IA avec de la semence fraîche (utilisée immédiatement après la récolte de l'éjaculat ou de façon différée, la semence étant alors réfrigérée) ou avec de la semence congelée (MAGISTRINI et VIDAMENT, 1999). Cette dernière technique n'est cependant pas applicable à l'ensemble des étalons du fait de la qualité insuffisante de la semence d'environ 15 % d'entre eux. Globalement, le recours à l'IA avec de la semence fraîche ou réfrigérée permet d'obtenir des résultats de fertilité proches de ceux observés en saillie naturelle.

Des progrès en matière de taux de **fertilité de l'étalon** peuvent être attendus des études actuellement en cours ou en projet sur de **nouveaux critères d'évaluation** de la fonction de reproduction chez le mâle (par exemple, stabilité de la chromatine et qualité de l'acrosome des spermatozoïdes). Les critères conventionnels d'évaluation (basés sur un « spermogramme »), s'ils permettent de détecter la plupart des étalons à problème, ne sont pas complètement satisfaisants puisque certains étalons ayant un bon spermogramme se révèlent d'une fertilité médiocre (MAGISTRINI, 1999). Dans ce domaine, une voie particulièrement prometteuse est offerte par l'approche protéomique. Mieux connaître la nature et la fonction de l'ensemble des protéines présentes dans le liquide séminal (FOUCHE-COURT *et al.*, 2000) et sur la membrane des spermatozoïdes pourrait déboucher sur la mise en évidence de marqueurs de la fertilité du gamète mâle.

Dans le domaine de la **transplantation embryonnaire équine**, des méthodes non chirurgicales de collecte puis de transfert immédiat d'embryons frais ont été mises au point à la fin des années 1980 et donnent des résultats satisfaisants, y compris avec des embryons dont les mères sont des femelles âgées mais de haute valeur génétique ou des femelles poursuivant leur carrière sportive (LAGNEAUX et DUCHAMP, 1999). Dans la pratique, du fait de son coût élevé et de ses contraintes techniques lourdes – par exemple nécessité de synchroniser donneuse et receveuse(s) –, le transfert d'embryons équins est utilisé à une échelle modeste mais non négligeable chez les chevaux de sang. La possibilité de congeler les embryons est une perspective attrayante puisqu'elle permet potentiellement de dissocier récoltes et transferts d'embryons dans le temps et dans l'espace. Des progrès ont déjà été obtenus dans ce domaine mais la **cryopréservation de l'embryon équin** (par congélation classique ou par vitrification) n'est pas, à l'heure actuelle, suffisamment maîtrisée pour être considérée comme une technique de routine, et elle reste une question de recherche.

Les premiers embryons équins issus de fécondation *in vitro* (FIV) ont été obtenus en France en 1989. Cette technique offre un intérêt pour répondre aux problèmes posés par les juments subfertiles, voire infertiles. Cependant, la production *in vitro* d'embryons équins est encore loin d'être maîtrisée à ce jour : les taux de réussite restent faibles quand on les compare, par exemple, à ceux obtenus dans l'espèce bovine (la FIV est utilisée en routine dans les schémas de sélection des races bovines laitières pour augmenter le nombre de produits des « mères à taureaux »). Pour apporter des solutions au cas des juments ayant de gros problèmes de reproduction, des alternatives à la FIV conventionnelle ont été mises à l'étude, comme le transfert d'ovocytes de la jument donneuse dans l'oviducte ou dans le follicule d'une jument receveuse inséminée (BEZARD, 1999).

Mentionnons enfin que des projets de recherche sont actuellement à l'étude dans le domaine de la **maîtrise de la parturition** chez la jument (y compris en recourant à l'induction du poulinage) et dans le domaine de la **néonatalogie** (réduction de la mortalité très précoce des poulains, transfert d'immunité *via* le colostrum...).

• GÉNÉTIQUE

L'espèce équine a longtemps fait figure de pionnière dans l'histoire de la sélection animale. Bien avant les autres espèces d'animaux de rente, elle a fourni, avec les courses de chevaux (galop et trot), le premier exemple d'un choix objectif des reproducteurs basé sur les résultats d'un système « public » de contrôle des performances. De façon un peu paradoxale, la réussite d'un cheval dans les compétitions relevant de sa discipline n'est pas un caractère si facile à mesurer, et le **choix d'une « métrique »** satisfaisante, sur le plan biologique et statistique, pour l'appréciation de la performance sportive a été une première étape à franchir quand les recherches sur la génétique quantitative

du cheval ont vu le jour à l'INRA au milieu des années 1970. Cette étape franchie, la démarche classique de calcul des **paramètres génétiques** (héritabilités des caractères, corrélations génétiques entre caractères) a pu être réalisée dans les différentes populations de cheval de courses ou de sport : voir, par exemple, LANGLOIS (1980a) pour le pur-sang en courses de plat. Les premiers **indices de sélection**, visant à estimer la valeur génétique – transmissible aux descendants – des reproducteurs équins ont été publiés à la même époque en se fondant sur le critère “gain annuel par départ” dans les races de courses et de concours hippiques (LANGLOIS, 1980b).

En matière d'estimation des valeurs génétiques, une avancée majeure des quinze dernières années a été le recours à la **méthode du “BLUP-modèle animal”** (BLUP = “best linear unbiased prediction”). Cette méthode présente, par rapport aux procédures d'évaluation antérieures, des avantages substantiels : estimation simultanée des effets génétiques et des effets de milieu, prise en compte des performances de tous les apparentés connus, correction des biais dus à la sélection et aux accouplements préférentiels. Comme c'est le cas dans les autres espèces, elle s'est avérée un outil efficace chez le cheval, avec toutefois une utilisation effective très inégale selon les races. En complément du développement du BLUP, une approche originale a été proposée pour intégrer, dans l'information utilisée pour l'indexation, la variable “**classement en compétition**” (RICARD, 1998), qui permet, entre autres avantages, de s'abstraire des modes assez particuliers de distribution des gains dans les courses hippiques et les compétitions équestres. Enfin, les travaux plus récents (RICARD, 2002) ont porté sur un nouvel “**enrichissement**” de l'**information** entrant dans le calcul des valeurs génétiques, par exemple les performances précoces (à l'âge de 4 ans) en concours de saut d'obstacles et la réussite ou l'échec aux épreuves de qualification qui ouvrent le droit à participer aux compétitions chez le trotteur. Une étape à venir devrait être la mise au point d'une procédure d'évaluation génétique internationale (groupe de travail “Interstallion”) pour les races à extension mondiale.

Avec la découverte en 1987 de la technique PCR (“polymerase chain reaction”), les méthodes et outils de la génétique moléculaire, qui permettent un accès direct à la molécule d'ADN, ont connu un développement spectaculaire et riche de promesses (SELLIER, 2002). Concernant les espèces de rente, les premiers travaux de **génétique moléculaire** (cartographie des génomes) ont surtout porté sur les bovins, le porc et la poule, mais les chercheurs s'intéressant au génome du cheval ne sont pas restés inactifs. Une coopération internationale a ainsi vu le jour en 1995 et a permis d'accomplir des progrès significatifs dans la connaissance de la carte du génome équin (GUERIN, 2000). On dispose aujourd'hui d'une **carte génétique de “basse densité”** chez le cheval, basée notamment sur des marqueurs “anonymes” (c'est-à-dire non codants) de type microsattellites (GUERIN *et*

al., 2003). Selon la base de données «Horsemap» entretenue au centre INRA de Jouy-en-Josas, environ un millier de *loci* sont actuellement assignés à l'une des 32 paires de chromosomes du cheval. L'effort de recherche se poursuit pour densifier encore la carte génétique équine. Ceci constitue une étape essentielle pour être capable, avec des chances raisonnables de succès, de localiser dans un premier temps puis d'identifier, directement au niveau de l'ADN, les gènes intéressant l'élevage et enfin, d'étudier leurs polymorphismes. D'ores et déjà, quelques gènes ayant trait à des caractères de coloration de la robe ou responsables d'anomalies ou de maladies ont été identifiés et les **typages ADN** correspondants commencent à être mis à la disposition des éleveurs (GUERIN, 2001 ; MARIAT *et al.*, 2003 ; MILENKOVIC *et al.*, 2003). Mentionnons aussi une autre application effective des travaux de génétique moléculaire : le **contrôle de filiation**, qui a été longtemps basé sur des gènes de groupes sanguins ou de variants électrophorétiques de protéines, repose depuis quelques années sur des typages ADN. Cette évolution a permis d'accroître la fiabilité des résultats et de réduire le coût du contrôle et elle ouvre la perspective d'utiliser les crins, à la place du sang, comme matériel biologique.

• PERFORMANCE SPORTIVE

Des travaux de recherche, nombreux et diversifiés, ont été conduits pour tenter de progresser dans la connaissance de la physiologie et de la biomécanique de l'effort physique du cheval-athlète, du déterminisme de l'aptitude sportive dans diverses disciplines et de la prédiction de la réussite en compétition chez le jeune cheval de sport.

Sur ce dernier point, les concours de “modèle et allures” sont pratiqués depuis longtemps dans de nombreuses races chevalines mais le caractère subjectif des notations visuelles données par les juges n'est pas sans soulever des débats. L'analyse des liaisons entre la **morphologie corporelle** et l'aptitude sportive est un thème d'étude qui a été abordé, sur un plan scientifique, dès les années 1970 : voir, par exemple, l'étude de LEGAULT (1997) dans laquelle la caractérisation objective de la conformation (longueur des segments osseux, angles scapulo-huméral et coxo-fémoral...) s'appuyait sur la photographie du cheval au repos, muni de marqueurs servant de repères anatomiques.

Les progrès de l'**électronique** et de l'**informatique** (prise de mesures à l'aide de capteurs, logiciels d'analyse des signaux, numérisation des images...) ont permis d'aller au-delà de l'examen de la seule conformation, d'imaginer de nouvelles méthodes instrumentales pour l'étude du cheval en mouvement et de son métabolisme d'effort et donc de renouveler l'approche expérimentale des facteurs physiologiques et biomécaniques de la performance, et ceci dans les disciplines très variées où le cheval-athlète est appelé à s'exprimer.

Dans le domaine de **l'analyse instrumentale des caractéristiques locomotrices** à différentes allures, une première approche a été le développement d'un système d'enregistrement des mouvements verticaux et longitudinaux du cheval au moyen de capteurs d'accélération (BARREY *et al.*, 1994). Des tests standardisés visant à établir des profils locomoteurs spécifiques à chaque discipline (courses de trot et de galop, saut d'obstacle, dressage) ont été mis au point – voir par exemple BARREY *et al.*, (1995) ; BARREY *et* GALLOUX (1997) – et certains d'entre eux sont mis en œuvre depuis quelques années. Il vaut d'être mentionné ici que ce système d'analyse accélérométrique de la locomotion équine, baptisé Equimérix, a été ensuite adapté pour des applications humaines (système Locomérix : AUVINET *et al.*, 1999). Plus récemment, une autre approche, basée sur l'enregistrement (sous plusieurs angles) puis l'analyse informatisée d'images vidéo numériques chez l'animal se déplaçant au pas, a été développée pour étudier l'influence de la morphologie du jeune cheval sur son aptitude sportive ultérieure et aussi sur le risque d'apparition de lésions de l'appareil locomoteur (POURCELOT *et al.*, 2002).

Concernant la **typologie musculaire** du cheval-athlète, une avancée notable a été la mise au point d'une technique standardisée de micro-biopsie de la musculature de l'arrière-main (VALETTE *et al.*, 1998). Elle a été mise à profit sur le plan expérimental pour étudier la composition en isoformes de la chaîne lourde de la myosine, déterminée par dosage ELISA (BARREY *et al.*, 1998), et l'analyse histo-enzymologique des fibres musculaires (type contractile, surface de section). Quelques relations significatives ont été trouvées entre ces caractères de typologie musculaire et certains aspects de l'aptitude sportive.

Les travaux de recherche sur la **physiologie de l'exercice physique** chez le cheval-athlète ont d'abord porté sur le métabolisme énergétique de l'animal au cours d'un test d'effort standardisé à vitesse croissante. Deux indicateurs classiquement retenus sont le "**seuil anaérobie**", défini par la vitesse qui induit une lactatémie de 4 mmol/l

(V4), et la **capacité cardiaque**, définie par la vitesse à laquelle la fréquence cardiaque atteint 200 battements par minute (V200). Chez le trotteur, des corrélations phénotypiques de l'ordre de 0,20-0,30 ont été trouvées entre ces deux indicateurs et les performances en course. Il apparaît que la variable V4 présente une plus forte corrélation génétique avec les performances que la variable V200. Il est aujourd'hui envisagé de s'intéresser de plus près à la **fonction respiratoire** du cheval-athlète, sous l'angle de son rôle comme facteur limitant potentiel de la performance mais aussi sous l'angle physio-pathologique. Dans cet esprit, un masque respiratoire étanche vient d'être mis au point pour mesurer la ventilation et les échanges gazeux du cheval à l'exercice.

En termes d'applications, ces différentes approches de la physiologie de l'aptitude sportive sont susceptibles de déboucher sur des critères précoces de prédiction des performances ultérieures chez le jeune cheval mais ils peuvent aussi servir en tant qu'outils d'aide à la préparation physique et au programme d'entraînement du cheval de compétition.

• CONCLUSION

Des résultats significatifs ont été obtenus ces vingt-cinq dernières années par les chercheurs s'intéressant au cheval. Ce progrès des connaissances a engendré la mise au point, puis le développement de nouvelles pratiques intéressant directement les professionnels de la filière équine, qu'il s'agisse de méthodes d'alimentation et d'élevage, de techniques de reproduction (côté mâle comme côté femelle), d'outils d'amélioration génétique, etc. L'annonce récente – et très médiatisée – de la naissance, en Italie, de la première pouliche issue de clonage somatique montre, s'il en était encore besoin, toute l'étendue des possibilités offertes par les biotechnologies en matière de "reproduction assistée". Dans un autre domaine, les avancées rapides de la génomique et des approches associées (transcriptomique, protéomique...) ouvrent potentiellement un nouveau champ de perspectives qui concerne le cheval comme les autres animaux de rente.

BIBLIOGRAPHIE

- AUVINET B, CHALEIL D, BARREY E (1999) Analyse de la marche humaine dans la pratique hospitalière par une méthode accélérométrique. *Rev. Rhumat.*, **66**, 447-457.
- BARREY E, GALLOUX P (1997) Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. *Equine Vet. J.*, suppl. **23**, 45-49.
- BARREY E, HERMELIN M, VAUDELIN JL, POIREL D, VALETTE JP (1994) Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. *Equine Vet. J.*, suppl. **17**, 7-12.
- BARREY E, AUVINET B, COUROUCE A (1995) Gait evaluation of race trotters using an accelerometric device. *Equine Vet. J.*, suppl. **18**, 156-160.
- BARREY E, VALETTE JP, JOUGLIN M (1998) Analyse de la composition en chaînes lourdes de myosine chez le cheval : application à la sélection du cheval de course. *INRA Prod. Anim.*, **11**, 160-153.
- BEZARD J (1999) De la collecte des ovocytes à la production d'embryons. *I.N.R.A. Prod. Anim.*, **12**, 339-341.
- BRIANT C, OTTOGALLI M, MOREL M, GUILLAUME D (2003) Contrôle de l'ovulation avec les antagonistes de GnRH chez la jument. In : *Comptes rendus de la 29^e journée de la recherche équine*, Paris, 26 février 2003. Paris : Les Haras Nationaux, 11-18.
- BRUYAS JF, LAGNEAUX D (1992) Transplantation embryonnaire équine. *Rec. Méd. Vét.*, **168**, 937-946.
- CLEMENT F (1995) *Etude d'une population d'étalons infertiles : apport au diagnostic et à l'étiologie de l'infertilité*. Thèse de Doctorat, ENSA Montpellier, 155 pages.
- DENOIX JM, VALETTE JP (2001) Pathologie ostéo-articulaire chez le jeune (incidence, évaluation clinique, facteurs de risque et conséquences). In : *Comptes Rendus de la 27^e journée de la recherche équine*, Paris, 7 mars 2001. Paris : Les Haras Nationaux, 101-113.
- DULPHY JP, MARTIN-ROSSET W, JOUANY JP (1995) Ingestion et digestion comparées des fourrages chez différentes espèces d'herbivores. *INRA Prod. Anim.*, **8**, 293-307.
- FLEURANCE G, DUNCAN P, MALLEVAUD B (2001) Daily intake and the selection of feeding sites by horses in heterogeneous wet grasslands. *Anim. Res.*, **50**, 149-156.
- FLEURANCE G, DUNCAN P, FRITZ H (2003) Importance des stratégies nutritionnelles et anti-parasitaires dans les décisions alimentaires des chevaux – Test expérimental. In : *Comptes Rendus de la 29^e journée de la recherche équine*, Paris, 26 février 2003. Paris : Les Haras Nationaux, 71-82.
- FOUCHECOURT S, METAYER S, LOCATELLI A, DACHEUX F, DACHEUX JL (2000) Stallion epididymal fluid proteome : qualitative and quantitative characterization, secretion and dynamic changes of major proteins. *Biol. Reprod.*, **62**, 1790-1803.
- GERARD N (1999) Développement folliculaire terminal : évolution biochimique du follicule. *INRA Prod. Anim.*, **12**, 336-338.
- GONCALVES S, JULLIAND V, LEBLOND A (2002) Risk factors associated with colic in horses. *Vet. Res.*, **33**, 641-652.
- GOUDET G, BEZARD J, DUCHAMP G, GERARD N, PALMER E (1997) Equine oocyte competence for nuclear and cytoplasmic in vivo maturation : effect of follicle size and hormonal environment. *Biol. Reprod.*, **57**, 232-245.
- GUERIN G (2000) La cartographie du génome équin. *INRA Prod. Anim.*, numéro hors série "Génétique moléculaire : principes et applications aux populations animales", 115-117.
- GUERIN G (2001) Nouvelles perspectives en génétique moléculaire dans l'espèce équine. In : *Comptes Rendus de la 27^e journée de la recherche équine*, Paris, 7 mars 2001. Paris : Les Haras Nationaux, 41-45.
- GUERIN G, BAILEY E, BERNOCO D, ANDERSON I et al. (2003) The second generation of the International Equine Gene Mapping Workshop half-sibling linkage map. *Anim. Genet.*, **34**, 161-168.
- GUILLAUME D, PALMER E (1992) *Lumière, mélatonine et reproduction chez la jument*. *Ann. Zootech.*, **41**, 263-269.
- JULLIAND V, DE FOMBELLE A, DROGOUL C, JACOTOT E (2001) Nutrition and microbial disorders in horses 3. Effects of three hay:grain ratios on microbial profile and activities. *J. Equine Vet. Sci.*, **21**, 543-546.
- LAGNEAUX D, DUCHAMP G (1999) Le transfert d'embryons chez les équidés. *INRA Prod. Anim.*, **12**, 344-345.
- LANGLOIS B (1980a) Heritability of racing ability in thoroughbreds. A review. *Livest. Prod. Sci.*, **7**, 591-605.
- LANGLOIS B (1980b) Estimation de la valeur génétique des chevaux de sport d'après les sommes gagnées dans les compétitions équestres françaises. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, **12**, 15-31.
- LANGLOIS B, MARTIN-ROSSET W, PALMER E (2001) Les résultats de la recherche équine et leurs développements. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **87**, 137-158.
- LEGAULT P (1977) *Contribution à l'étude de la morphologie comparée des chevaux de pur-sang anglais et trotteurs français*. Thèse Méd. Vét., d'Alfort, 74 pages.
- MAGISTRINI M (1999) La qualité des spermatozoïdes et du plasma séminal : quelles sont les fonctions explorables ? *INRA Prod. Anim.*, **12**, 350-352.
- MAGISTRINI M, VIDAMENT M (1999) L'insémination artificielle équine : des technologies à géométrie variable. In : *Comptes Rendus de la 25^e journée de la recherche équine*, Paris, 27 février 2002. Paris : Les Haras Nationaux, 117-128.
- MARIAT D, TAOURIT S, GUERIN G (2003) A mutation in the MATP gene causes cream coat colour in the horse. *Genet. Sel. Evol.*, **35**.
- MARTIN-ROSSET W (1993) Dépenses et apports énergétiques chez le cheval à l'effort. *Sciences & Sports*, **8**, 101-108.
- MARTIN-ROSSET W, VERMOREL M, DOREAU M, TISSERAND J.L., ANDRIEU J (1994) The French horse feed evaluation systems and recommended allowances for energy and protein. *Livest. Prod. Sci.*, **40**, 37-56.
- MARTIN-ROSSET W, VERMOREL M, TISSERAND JL (1996) Bases rationnelles de l'alimentation du cheval. *INRA Prod. Anim.*, numéro hors série "50 ans de recherches en productions animales", 81-84.

- MEDINA B, GIRARD ID, JACOTOT E, JULLIAND V (2002) Effect of a preparation of *Saccharomyces cerevisiae* on microbial profiles and fermentation patterns in the large intestine of horses fed a high fiber or a starch diet. *J. Anim. Sci.*, **80**, 2600-2609.
- MENARD C, DUNCAN P, FLEURANCE G, GEORGES JY, MALLEVAUD B (2002) Comparative foraging and nutrition of horses and cattle in European wetlands. *J. Appl. Ecol.*, **39**, 120-133.
- MICOL D, MARTIN-ROSSET W, TRILLAUD-GEYL C (1997) Systèmes d'élevage et d'alimentation à base de fourrages pour les chevaux. *INRA Prod. Anim.*, **10**, 363-374.
- MILENKOVIC D, CHAFFAUX S, TAOURIT S, GUERIN G (2003) A mutation in the LAMC2 gene causes the Herlitz junctional epidermolysis bullosa (H-JEB) in two French draft horse breeds. *Genet. Sel. Evol.*, **35**, 249-256.
- PALMER E, MAGISTRINI M, BEZARD J, DUCHAMP G (1991) Gestation après fécondation *in vitro* dans l'espèce équine. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **310**, 71.
- POURCELOT P, AUDIGIE F, LACROIX V, DENOIX JM, CREVIER-DENOIX N (2002) Suivi des paramètres morphométriques et des aplombs du cheval : une méthode 3D. In : *Comptes Rendus de la 28^e journée de la recherche équine*, Paris, 27 février 2002. Paris, Les Haras Nationaux, 137-148.
- RICARD A (1998) Developments in the genetic evaluation of performance traits in horses. In : *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale, Australia, January 1998, vol. **24**, 388-395.
- RICARD A (2002) Nouveauté en matière d'indices génétiques : les indices multi-caractères, "Interstallion". In : *Comptes Rendus de la 28^e journée de la recherche équine*, Paris, 27 février 2002. Paris, Les Haras Nationaux, 123-135.
- SAUVANT D, PEREZ JM, TRAN G, coord. (2002) *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. Paris : INRA Editions, 301 pages.
- SELLIER P (2002) Prospective en génétique animale. In : *Comptes Rendus de la 28^e journée de la recherche équine*, Paris, 27 février 2002. Paris : Les Haras Nationaux, 199-209.
- TISSERAND JL, MARTIN-ROSSET W (1996) Evaluation of the protein value of feedstuffs in horses in the MADC system. *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the E.A.A.P.*, 25-29 August 1996, Lillehammer, Norway, 13 pages.
- VALETTE JP, BARREY E, JOUGLIN M, COUROUCE A, AUVINET B, FLAUX B (1998) Standardisation of muscular biopsy of Gluteus medius in French trotters. *Equine Vet. J., Suppl.* **30**, 342-344.
- VERMOREL M, MARTIN-ROSSET W (1997) Concepts, scientific bases, structure and validation of the French horse net energy system (UFC). *Livest. Prod. Sci.*, **47**, 261-275.
- VIDAMENT M (1999) Endocrinologie de l'étalon. *I.N.R.A. Prod. Anim.*, **12**, 345-347.
- WOLTER R (1993) Particularités digestives du cheval-athlète. *EquiAthlon*, **19**, 3-5.