



5 220

27<sup>ème</sup> journée d'étude

7 mars 2001

LES HARAS NATIONAUX

## HÉRITABILITÉ DES ANOMALIES OSTÉO-ARTICULAIRES JUVÉNILES CHEZ LE CHEVAL DE SPORT

Par :

A. Ricard, J-P. Valette\*, J-M. Denoix\*  
S.A.G.A., I.N.R.A., Chemin de Borde-rouge,  
Auzeville, B.P. 27, 31326 Castanet-Tolosan.

\*U.M.R.-I.N.R.A. d E.N.V.A. Biomécanique et pathologie locomotrice  
du cheval,  
7 avenue du Général de Gaulle,  
94704 Maisons Alfort Cedex.

### Résumé

L'héritabilité des anomalies ostéo-articulaires juvéniles a été estimée à partir d'un échantillon de 733 chevaux issus de 103 pères provenant des commissions d'achat des Haras nationaux, de la Garde républicaine, du Centre national d'enseignement zootechnique et d'un haras privé. Ces chevaux sont radiographiés avant leur utilisation sportive à 3 ans en grande majorité. 14 radios permettent de noter 15 sites sur les membres antérieurs et postérieurs. Deux types de notation sont utilisés : une notation « présence ou absence d'anomalie » et une notation graduelle allant de l'animal sain à celui qui cumule plusieurs images suspectes ou anormales dans un site (6 grades). L'héritabilité est estimée par comparaison entre ½ frères de même père en tenant compte de la parenté entre les 103 pères. Le modèle inclut les effets du sexe, de l'âge, de la race, de la région et du mois de naissance, du groupe d'achat et de l'année de la radiographie. L'héritabilité est variable selon le type de mesure utilisé et, après comparaison avec la bibliographie il est important de caractériser précisément les anomalies. Il est cependant possible de conclure à une héritabilité de la mesure binaire pour l'os sésamoïde distal (0,50) et des mesures graduées pour l'os sésamoïde distal (0,16), la phalange distale (0,15), les boulets antérieurs et postérieurs (0,21 ; 0,12), le carpe (0,21), le pied postérieur (0,21), les 2 articulations du grasset (0,11 ; 0,17). L'ostéochondrose du jarret ne semble pas présenter d'héritabilité chez le cheval de sport contrairement au trotteur. Il reste à mesurer la corrélation entre ces anomalies et l'aptitude au C.S.O. afin de pouvoir intégrer raisonnablement ce caractère dans un plan de sélection.

**Mots clés :** *héritabilité - cheval - ostéochondrose - radiologie*

### Summary

Heritability of juvenile osteo-articular lesions was estimated from a sample of 733 horses born from 103 sires issued from national stud, « garde républicaine », one teaching center and a private stud. Radiographies of these horses are taken before entertainment for sport at the age of 3 years in majority. 14 radios give notations on 15 localisations on fore and hind limbs. Two notations were used : one bivariate measure : site with and without abnormality and one gradual measure with distinguished 6 classes of severity of lesion. Heritability is estimated from variance between paternal half sib with inclusion of relationship between sires. The model included sex, age, breed, region and month of birth, group of owner and year of examination. Heritability is variable depending on measure used and after comparison with literature, importance of nature and precise definition of lesion must be investigated. However it is possible to conclude to a moderate heritability of the bivariate measure of sesamoïdal bone (0,50) and of the gradual measure of sesamoïdal bone (0,16), distal phalanx (0,15), front and hind fetlocks (0,21 ; 0,12) carpus (0,21), hind foot (0,21), femoropatellar and femorotibial joints (0,11 ; 0,17). Osteochondrosis of hock don't seem heritable contrary to results in trotters. It remains necessary to estimate correlation with performance before including such trait in breeding schemes.

**Key words :** *heritability - horse - osteochondrosis - radiology*

5 220

## INTRODUCTION

Faire naître un cheval sain est devenu une préoccupation majeure après l'amélioration des performances en compétition. Le statut locomoteur est un des éléments capitaux de la santé du cheval de compétition. Afin de prévoir les boiteries et les contreperformances, on réalise de façon de plus en plus systématique des radiographies des membres du cheval. Avant d'inclure ce type de critère dans un plan de sélection il faut :

- déterminer la pertinence des radios précoces dans la prévision des troubles locomoteurs
- estimer les paramètres génétiques : hérédité des anomalies détectées sur les radios, relation avec l'aptitude à la performance.
- déterminer le plan de sélection le plus efficace : à quel âge faire intervenir la sélection sur ce nouveau critère, quelle population radiographier (coût de l'opération) quelle influence sur le progrès génétique attendu sur la performance ? (en effet une sélection n'est jamais neutre : introduire un nouveau critère diminue de fait la pression de sélection sur un autre critère et selon leur liaison génétique a des incidences différentes).

Cette étude cherche à déterminer l'hérédité des anomalies radiographiques détectées à l'âge de 3 ans sur des chevaux de sport.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### *Echantillon*

Les chevaux étudiés sont ceux du protocole d'analyse des affections ostéo-articulaires juvéniles du professeur Denoix et de son équipe de l'gE.N.V. de Maisons-Alfort (Denoix et al., 2000). Afin de pouvoir réaliser des études d'hérédité, l'échantillon est réduit aux chevaux dont les pères ont au moins 3 produits et comprend finalement 733 chevaux issus de 103 pères. Les pères ont en moyenne 7 produits, 23 pères ont plus de 10 produits. Ces chevaux sont issus d'une part des commissions d'achat des étalons nationaux (65%), de la Garde républicaine (25%) et du Centre d'étude zootechnique (4%) et d'autre part d'un haras privé (6%). Les chevaux sont âgés en grande majorité de 3 ans (87%). Le caractère mesuré est donc bien l'état ostéo-articulaire avant l'exploitation du cheval et non sa conséquence. Ils sont majoritairement mâles (66%) ou hongres (25%) de race S.F. (80%). Ils ont été radiographiés entre 1991 et 1998.

### *Radiographies*

Quatorze radios (à droite et à gauche) ont permis la notation de 15 sites différents (membres antérieurs et postérieurs, voir tableau n°1) à l'aide d'une mesure binaire (présence ou absence d'une anomalie) ou d'une mesure graduelle dépendant de la gravité de l'atteinte. Dans le site observé on décrit les images :

- normales ou suspectes mais non transitionnelles vers une image pathologique
- suspectes transitionnelles entre une image normale et pathologique
- anormales avec 3 seuils de gravité : anormale d'expression clinique incertaine (Ai), d'expression clinique probable (Ap) d'expression clinique certaine (Ac).

A chacune de ces images est attribué un score en fonction de cette description : 1 point pour une image suspecte transitionnelle, 2 pour une Ai, 4 pour une Ap et 8 pour une Ac. Le score d'un site est le total des scores obtenus pour les images détectées. Les scores supérieurs à 5 sont regroupés dans une même classe. C'est ce que nous appelons notre mesure graduelle. La mesure binaire attribue simplement un 0 aux chevaux qui n'ont pas d'image anormale sur le site et un 1 aux chevaux qui ont au moins une image anormale même incertaine.

### *Méthode*

Les mesures des lésions sont des variables discrètes : elles ne prennent que peu de valeurs entières. Mais ce ne sont pas pour autant des caractères déterminés par peu de gènes comme la couleur de la robe, qui prend, elle aussi peu de valeurs différentes. Il y a certainement des facteurs environnementaux en plus des facteurs

génétiques qui interviennent dans le processus d'ossification. Chaque valeur prise dépend en fait d'une variable sous-jacente multifactorielle continue qui atteint successivement différents seuils qui révèlent l'anomalie de façon visible (Figure 1). La variable sous-jacente a été analysée selon le modèle de base :

$$y_i = s_j + a_l + b_n + o_p + r_q + m_t + n + u_v + e_{jlnpqrtvw}$$

Avec :  $i$  le  $w^{\text{th}}$  cheval produit du père  $v$

$y$  : la performance sous-jacente responsable des lésions à un site donné

$s$  : effet du sexe (mâle, femelle, hongre)

$a$  : effet de l'âge (3 ans, 4 ans, 5 ans et plus)

$b$  : effet de la race (Selle français, Anglo-arabe et Pur-sang)

$o$  : effet du groupe d'origine de l'échantillon (Achats des Haras Nationaux, de la Garde républicaine, du C.E.Z., Haras privé)

$r$  : effet de la région de naissance (4 régions)

$m$  : effet du mois de naissance (janvier et février ; mars avril, mai, juin et juillet)

$n$  : effet de l'année de l'examen (1991 à 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998)

$u$  : effet aléatoire du père (qui possède une variance à estimer)

$e$  : résiduelle

Les effets sont introduits un par un en retenant à chaque fois celui qui a un effet significatif et donne la plus grande vraisemblance au modèle (la probabilité la plus élevée d'observer ce qu'on observe avec le modèle donné). Seuls sont conservés les effets significatifs pour calculer l'héritabilité.

C'est l'estimation de la variance de l'effet du père qui permet de calculer l'héritabilité. On compare la variance entre ½ frères de même père à la variance totale. La variance entre ½ frère est réduite car ils sont censés être plus ressemblants du fait des gènes qu'ils ont en commun. La méthode d'estimation s'apparente à un REML (maximum de la vraisemblance restreinte) appliqué à des variables discrètes. La parenté entre les 103 pères est aussi prise en compte, ce qui représente 1 506 ancêtres inclus dans l'analyse.

## RÉSULTATS

### *Prévalence*

La prévalence des anomalies radiographiques est reportée au tableau n°2. Elle varie de 1% à 13% en fonction de la localisation. Ces occurrences atteignent 2% à 26% pour la moindre image suspecte. Les sites les plus atteints sont l'os sésamoïde (11% d'anormaux), l'articulation interphalangienne distale (12%) le boulet antérieur (11%), le carpe (11%), l'aspect plantaire du boulet postérieur (11%) et le jarret (11%-13%). Mais les chevaux avec aucune image anormale ne sont que 37% et avec aucune image suspecte que 15%.

### *Modèles retenus*

Peu d'effets inclus dans le modèle se révèlent significatifs (tableau 3), ce qui était en parti attendu puisque l'échantillon avait été construit pour respecter une certaine homogénéité (de la race et de l'âge notamment). L'effet de l'année de mesure est celui qui se révèle le plus significatif sur le plus de sites (la moitié) avec en général des scores plus élevés pour les années les plus récentes. Cela dénote sans doute une évolution dans la sévérité de la notation.

## ***Héritabilité***

Les héritabilités sont données dans le tableau 4. L'écart type d'erreur de ces estimations se situe autour de 0.02 pour une héritabilité de 0.20 et moins pour une héritabilité proche de 0. Les sites avec une héritabilité de plus de 0.20 sont :

- l'os sésamoïde (0.50 avec la mesure binaire)
- les autres parties du pied (0.87 et 0.63)
- l'articulation métacarpo-phalangienne (0.21 mesure graduelle)
- le carpe (0.21 avec la mesure graduelle)
- le pied postérieur (0.21)

Il ne s'agit donc que de 5 sites sur les 15 mesurés. 4 sites ont encore des héritabilités entre 0.10 et 0.20. Il n'y a pas de relation évidente entre l'occurrence d'un site et son héritabilité. Les écarts entre les héritabilités selon les deux types de mesure pour un même site sont dans les deux sens (positifs et négatifs) et peuvent atteindre 0.34 point.

## ***Corrélations phénotypiques entre site***

Il y a peu de corrélations phénotypiques positives entre sites mais toutes celles qui le sont, sont positives et modérées (tableau 5). Intra membre (antérieur ou postérieur) les corrélations notables sont entre le carpe et la phalange distale (0.28) pour le membre antérieur et le paturon et le pied (0.29) pour le membre postérieur. Entre membre on a une corrélation entre l'os sésamoïde et le pied postérieur (0.22), l'articulation interphalangienne distale et le pied postérieur (0.25) et le paturon (0.21), les paturons (0.33), les boulets (0.32).

## **DISCUSSION**

La force de ce travail réside dans l'homogénéité de l'échantillon présenté âgé en majorité de 3 ans et issu des commissions d'achat de 2 acheteurs principaux et l'homogénéité de l'analyse des radiographies réalisées par la même équipe selon les mêmes méthodes. La faiblesse est que l'échantillon n'est pas aléatoire et que le groupe des achats des étalons nationaux constitue certainement un échantillon sélectionné au moins sur l'aptitude au C.S.O.. C'est pourquoi il était important de tenir compte de ce facteur dans l'analyse. De plus, la répartition des chevaux par père n'est pas optimum. Un nombre important de chevaux sont « inutiles » : sur les 1050 chevaux radiographiés, seuls 733 ont été retenus par leur parenté paternelle. Un plan d'expérience idéal nécessiterait principalement un plus grand nombre de chevaux par père (20 environ). Il est cependant à noter que les écart-type d'erreur des estimations des héritabilités restent raisonnables (0.02 en général).

Dans la bibliographie, la prévalence de telles mesures dans l'étude de l'héritabilité est reportée pour des races de chevaux de selle en Allemagne et aux Pays Bas. Ces auteurs utilisent le même type de nomenclature qu'ici (déterminée par la commission européenne de radiographie). Mais les écarts parfois énormes entre prévalence à un même site laissent penser que chacun en a une interprétation particulière à moins qu'il n'existe effectivement de grosses différences entre races. (figure 2). Il n'est donc pas possible de faire réellement de comparaisons.

Les héritabilités obtenues sont variables en fonction de la mesure utilisée. Cette différence s'explique par le classement différent des chevaux entre eux pour le caractère donné en fonction de ces mesures. Avec la mesure graduelle 2 chevaux dont l'un a une Ai et une image suspecte (score 3) et l'autre 2 Ai (score 4) sont supposés différents et le score 4 est supposé plus mauvais que le score 3. Dans le cas de la mesure binaire ces deux chevaux sont similaires (au moins une image anormale). Avec la mesure graduelle un cheval avec 2 images suspectes (score 2) et un cheval avec 1 image Ai (score 2) sont supposés identiques alors qu'ils seront différents dans la mesure binaire (le premier aura 0 le second 1). Suivant les sites, ces interprétations peuvent correspondre plus au moins bien au déterminisme génétique. Ainsi pour l'os sésamoïde les images réellement anormales se révèlent plus pertinentes que l'accumulation d'images suspectes (héritabilité de 0.50 et 0.16 respectivement) alors que c'est l'inverse pour le pied postérieur (héritabilité de 0.06 et 0.21 respectivement). Cette remarque met l'accent sur l'importance de la mesure dans l'interprétation des résultats et peut aussi expliquer certaines différences bibliographiques.

Dans la bibliographie, les comparaisons de résultats d'héritabilité ne sont pas toujours aisées car parfois ce sont les anomalies sur un site qui sont mesurées, parfois une pathologie particulière sur plusieurs sites. Le tableau 6 recense les résultats obtenus sur des races de chevaux de selle.

Pour l'os sésamoïde distal et de façon générale l'étude de la maladie naviculaire dans les études allemandes et hollandaises, l'héritabilité varie de 0.07 à 0.31 avec une moyenne de 0.21. L'estimation la plus basse est obtenue avec une méthode d'analyse de variable continue appliquée à une variable discrète ce qui sous-estime généralement le résultat. Les travaux de Willms et al. (1996) et Van Heelsum et al. (1996) sont réalisés sur un effectif comparable au notre et si celui de Winter et al. (1994) concerne une population beaucoup plus large il s'agit sans doute aussi d'une population triée puisque ce sont des chevaux vendus aux enchères. Globalement il semble raisonnable d'espérer une héritabilité moyenne entre 0.20 et 0.30 et il est peut être plus pertinent d'utiliser une mesure qui distingue nettement les chevaux très atteints des autres, les signes incertains semblant ne rajouter que de la confusion.

Pour l'ostéochondrose, les études de Winter et al (1996) et Willms et al (1994) ne précisent pas la localisation alors que Van Hellesum et al. (1996) analyse le jarret, de même que dans les études sur les trotteurs. Chez les trotteurs d'ailleurs une héritabilité a été trouvée (0.24 dans Philipsson et al (1993), 0.52 dans Grondahl et al (1993)) mais manifestement, quelle que soit l'interprétation, pas chez les chevaux de selle (0.09, 0.02) ou dans notre étude pour le jarret.

Pour les boulets, nous avons étudié les boulets antérieurs et postérieurs en distinguant pour ces derniers la région plantaire et dorsale. Les travaux étrangers portent uniquement sur les os sésamoïdes proximaux (région dorsale). Malgré ces variations de site à l'intérieur des boulets, les héritabilités sont assez homogènes entre 0.09 et 0.24 avec une moyenne de 0.18, en accord avec nos estimations : 0.10 et 0.21 pour le boulet antérieur et 0.04 à 0.12 pour l'aspect dorsal du boulet postérieur. Une héritabilité aux alentours de 0.15 semble correcte.

Pour le carpe, il n'y a pas de résultats sur les chevaux de selle mais Dolvik et al (1994) l'ont étudié chez le trotteur Norvégien. Il obtenait 0.25 et même 0.65 quand on ne distinguait que les lésions bilatérales. Nos estimations de 0.17 et 0.21 vont dans le même sens. Et si une anomalie diffuse des carpes n'est que moyennement héritable une anomalie systématique sur les 2 carpes serait sans doute un critère plus intéressant à prendre en compte.

## CONCLUSION

L'étude de plusieurs mesures pour caractériser les anomalies et les comparaisons avec la bibliographie nous montre l'importance de la définition de la lésion. Deux effets semblent se juxtaposer : une sensibilité diffuse, qui ne toucherait peut être pas un site en particulier et qui serait peu héritable et sensible à l'environnement mais aussi des lésions très précises dans des sites précis dont seul l'importance de la gravité révèle un mécanisme génétique important. On peut cependant conclure que, dans l'ensemble de ces populations de chevaux de selle, les atteintes visibles à la radio de l'os sésamoïde distal, des autres parties du pied antérieur et notamment la phalange distale, des boulets, du carpe, du pied postérieur et du grasset semblent faiblement à moyennement héritables. Les anomalies du jarret ne présentent pas d'héritabilité contrairement à ce qui est observé chez le trotteur.

L'estimation de l'héritabilité n'est qu'une étape dans l'introduction d'un critère dans un programme de sélection. Koenen et al (2000) ont modélisé différents plans de sélection dans le but de faire baisser l'incidence de l'ostéochondrose. En partant d'une héritabilité de 0.20 et d'une prévalence de 25% de chevaux atteints, une sélection des étalons involontaire lors de l'élevage et volontaire au vu des radios lors des tests de sélection aboutit à une fréquence de 21.5% (- 3,5 points) en 2 générations (20 ans). Il nous reste à mieux déterminer la valeur pronostique des radiographies et à modéliser les meilleures stratégies de sélection ainsi que leur incidence sur les autres caractères à améliorer.

## BIBLIOGRAPHIE

- Denoix J-M, Valette J-P., Heiles P., Ribot X., Tavernier L., 2000. Etude radiographique des affections ostéoarticulaires juvéniles (A.O.A.J.) chez des chevaux de races françaises âgés de 3 ans : présentation globale des résultats sur 1150 sujets. *Prat. Vet. Equine*, 126, 39-41.
- Dolvik, N.I., Klemetsdal, G., 1994. Arthritis in the carpal joints of Norwegian trotter – heritability, effects of inbreeding and conformation. *Livest. Prod. Sci.*, 39, 283-290.
- Grondahl, A.M., Dolvik, N.I., 1993. Heritability estimations of osteochondrosis in the tibiotarsal joint and of bony fragments in the palmar/plantar portion of the metacarpo and metatarsophalangeal joints of the horses. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, 203, 101-104.
- Koenen, E.P.C, Dik, K.J., Knaap, J.H., Van der Kuil, R.J.G., Van Weeren, P.R., 2000. Evaluation of selection strategies against osteochondrosis for the Dutch warmblood riding horse population. 51th Annual Meeting of the EAAP, The Hague.
- Philipsson, J., Andreasson, E., Sandgren, B., Dalin, G., Carlsten, J., 1993. Osteochondrosis in the tarsocrural joint and osteochondral fragments in the fetlock joints in standardbred trotters. II. Heritability. *Equine vet. J. Suppl.*, 16, 38-41.
- Van Heelsum, A.M., Van Veldhuizen, A.E., Brascamp, E.W., Dik, K.J., Van der Meij, G.J.W., Barneveld, A., 1996. A radiographical investigation into the heritability of bone quality traits in the legs of Dutch Warmblood riding horses. 47th Annual Meeting of the EAAP, 26-29 August 1996, Lillehammer.
- Willms, F., Roehe, R., Kalm, E., 1996. The importance of radiographical investigations of bone diseases in breeding sport horses. 47th Annual Meeting of the EAAP, 26-29 August 1996, Lillehammer, Norway.
- Winter, D., Bruns, E., Glodek, P., Merz, A., Leonhardt, K., Hertsch, B., 1994. Genetic disposition of bone diseases in sport horse population. 45th Annual Meeting of the EAAP, Edimburgh.

**Tableau I**

Dénomination des 15 sites radiographiés et notés.  
(Name of the 15 localisations of radiography)

Abréviation	Membre	Nom commun	Dénomination	Dénomination en Anglais
SD	Antérieur	Pied	Os séamoïde distal	sesamoidal bone
P3	Antérieur	Pied	Phalange Distale	distal phalanx
AIPD	Antérieur	Pied	Articulation inter-phalangienne distale	distal interphalangeal joint
Autre	Antérieur	Pied	Autre sites du pied antérieur	other parts of foot
AIPP ant.	Antérieur	Paturon	Articulation interphalangienne proximale	proximal interphalangeal joint
AMcP	Antérieur	Boulet	Articulation métacarpo-phalangienne	metacarpo-phalangeal joint/Fetlock
Carpe	Antérieur	Genou	Carpe	Carpus
Pied post.	Postérieur	Pied	Pied Postérieur	hind foot
AIPP post.	Postérieur	Paturon	Articulation interphalangienne proximale	proximal interphalangeal joint of the hind limb
AMtP d.	Postérieur	Boulet	Articulation métatarso-phalangienne	dorsal aspect of the metatarso-phalangeal joint
AMtP pl.	Postérieur	Boulet	Articulation métatarso-phalangienne	plantar aspect of the metatarso-phalangeal joint
Tarse prox.	Postérieur	Jarret	Tarse Proximal	proximal tarsal row
Tarse dist.	Postérieur	Jarret	Tarse Distal	distal tarsal row
AFP	Postérieur	Grasset	Articulation fémoro-patellaire	femoropatellar joint
AFT	Postérieur	Grasset	Articulation fémoro-tibiale	femorotibial joint

**Tableau 2**  
Prévalence des Images radiographiques  
(prevalence of radiographic findings)

Mesure binaire	Localisation											
	SD	P3	AIPD	Autre AIPP	AMcP	Carpe Pied post.	AIPP post.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse pr.	Tarse dist.	AFT
% de chevaux mesurés	99%	99%	99%	99%	95%	81%	92%	97%	97%	98%	98%	78%
% sans image anormale	89%	93%	88%	97%	89%	89%	98%	92%	89%	89%	87%	99%
% avec image anormale	11%	7%	12%	3%	11%	11%	2%	8%	11%	11%	13%	1%

Mesure graduelle	Localisation											
	SD	P3	AIPD	Autre AIPP	AMcP	Carpe Pied post.	AIPP p.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse p.	Tarse dist.	AFT
% de chevaux avec 0	75%	86%	77%	95%	92%	82%	94%	87%	83%	84%	79%	98%
% de chevaux avec 1	9%	3%	7%	1%	3%	4%	2%	4%	3%	3%	6%	1%
% de chevaux avec 2	9%	7%	9%	3%	4%	9%	4%	6%	10%	8%	9%	1%
% de chevaux avec 3	2%	4%	3%	2%	1%	4%	1%	3%	4%	1%	1%	3%
% de chevaux 4 et +*	5%		5%	1%	4%		2%			4%	5%	

\* quand le nombre de chevaux avec un score élevé est trop faible, ils sont rassemblés dans la catégorie inférieure



**Tableau n°3**  
 Signification des effets inclus dans le modèle  
 (significance of fixed effects of the model)

Mesure Binaire															
Localisation :	SD	P3	AIPD	Autre	AIPP ant.	AMcP	Carpe	Pied post.	AIPP post.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse prox.	Tarse dist.	AFP	AFT
Sexe	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Age	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	°	NS
Race	NS	NS	NS	°	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Groupe	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	°	NS	NS
Région de naiss.	NS	NS	°	*	NS	NS	NS	NS	°	NS	NS	NS	NS	*	NS
Mois de naissance	NS	NS	NS	*	NS	°	NS	NS	NS	NS	NS	°	NS	NS	-
Année de l'analyse	*	NS	**	*	NS	°	*	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	-

NS = non significatif, ° = 10%, \* = 5%, \*\* = 1%, \*\*\* = 0.1%

Mesure graduelle															
Localisation :	SD	P3	AIPD	Autre	AIPP ant.	AMcP	Carpe	Pied post.	AIPP post.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse prox.	Tarse dist.	AFP	AFT
Sexe	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Age	°	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	°	°	NS	°
Race	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Groupe	°	*	NS	°	NS	NS	*	NS	NS	°	°	NS	NS	NS	NS
Région de naiss.	NS	NS	°	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	°	NS
Mois de naissance	NS	°	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	-
Année de l'analyse	°	**	***	***	NS	°	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-

NS = non significatif, ° = 10%, \* = 5%, \*\* = 1%, \*\*\* = 0.1%

**Tableau n°4**  
 Héritabilité des anomalies des sites radiographiés  
 (*heritability of abnormality on different localisation*)

	Localisation												
	SD	P3	AIPD	Autre AIPP ant.	AMcP	Carpe Pied post.	AIPP post.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse prox.	Tarse dist.	AFP	AFT
Mesure binaire	0.50	0.08	0.04	0.87	0.10	0.17	0.06	0.04	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00
Mesure graduelle	0.16	0.15	0.00	0.63	0.21	0.21	0.21	0.12	0.01	0.00	0.00	0.17	0.11

**Tableau n°5**  
 Corrélations phénotypiques entre site  
 (*phenotypic correlation between localisation*)

	Localisation												
	SD	P3	AIPD	Autre AIPP ant.	AMcP	Carpe Pied post.	AIPP post.	AMtP d.	AMtP pl.	Tarse prox.	Tarse dist.	AFP	AFT
SD							0.22*						
P3	0.13*						0.25**						
AIPD							0.33**						
Autre	0.13*						0.21**						
AIPP ant.							0.33**						
AMcP							0.21*						
Carpe							0.32**						
Pied post.							0.15*						
AIPP post.				0.33**									
AMtP d.				0.21*									
AMtP pl.				0.32**									
Tarse prox.				0.18**									
Tarse dist.													
AFP													
AFT													

**Tableau 6**

Résultats bibliographiques d'héritabilité des anomalies radio dans des races de chevaux de selle.  
(*Bibliography of heritability of radiological abnormality on riding horses*)

Site	Référence						
	WILLMS	WINTER	VAN HEELSUM	France Binaire	France Graduelle		
SD/Maladie naviculaire	0.24	0.07	0.31	0.50	0.16		
P3/Sidebone	0.17	0.18		0.08	0.15		
Tarse distal/Bone Spavin	0.65	0.01	0.31	0.02	0.00		
AIPD/Arthropathia deformans	0.21	0.07		0.04	0.00		
digitorium							
<i>Boulet</i>							
Boulet Antérieur			0.24	0.10	0.21		
Boulet Postérieur distal				0.04	0.12		
Sesamoiditis / boulet plantaire	0.15	0.16	0.14	0.00	0.01		
Ostéocondrose disséquante (OCD)							
OCD	0.64	0.09					
OCD/Tarse proximal			0.02	0.00	0.00		

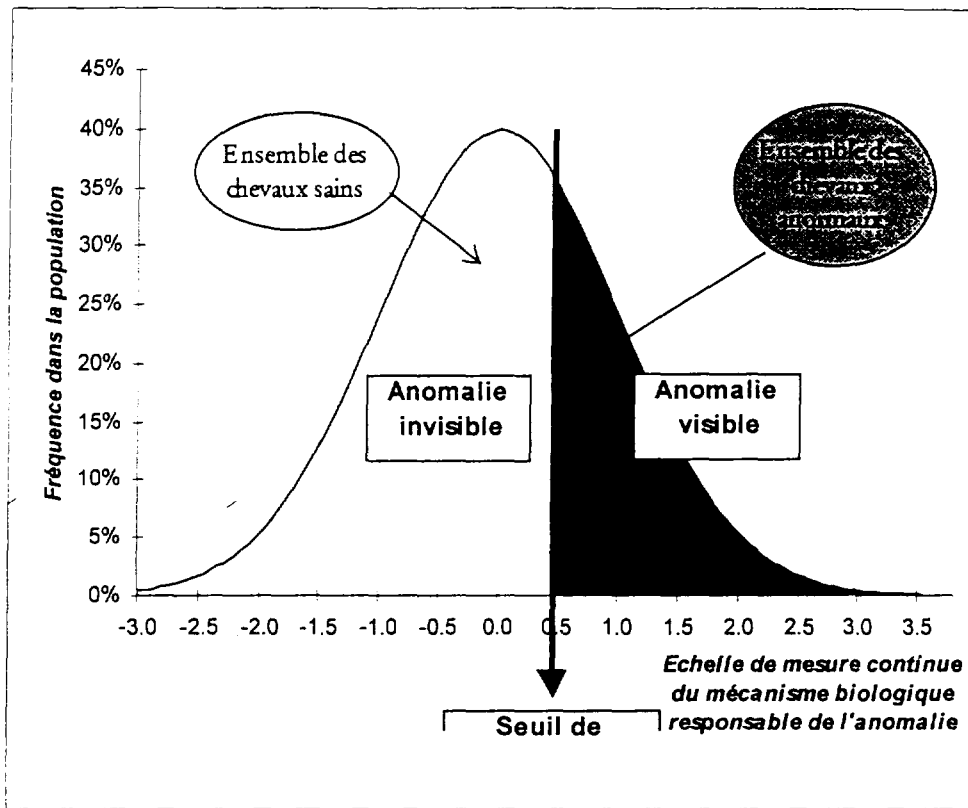
Willms - Willms et al, 1996. Echantillon de 472 poulinières allemandes de 3 ans présentée au test de performance.

Winter - Winter et al, 1994. Echantillon de 2182 chevaux présentés aux ventes au enchères issus de 7 associations d'éleveur allemands âgés de 3 à 8 ans.

Van Heelsum et al, 1994. Echantillon de 590 poulinières du KWPN agés principalement de 3 ans choisies au hasard.

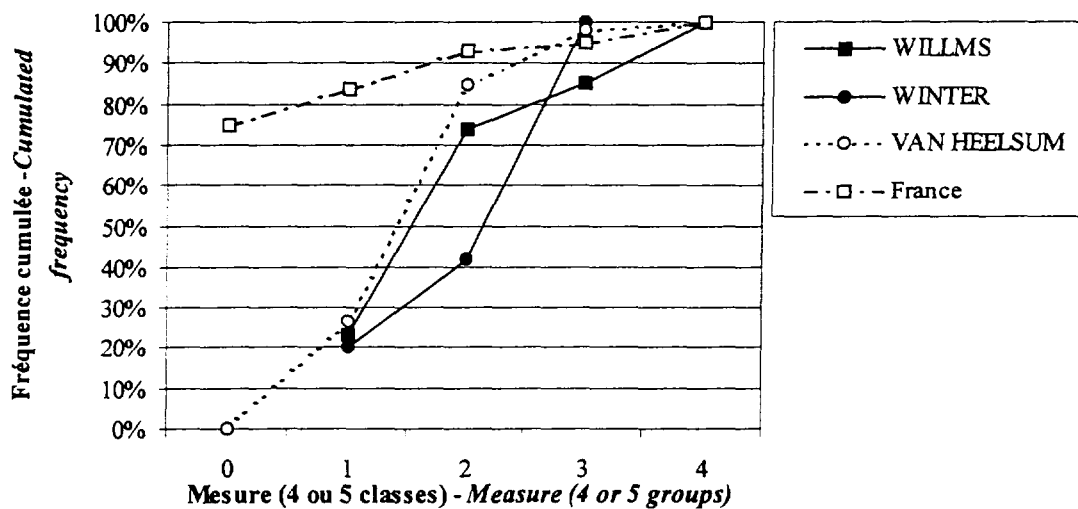
**Figure 1**

Explication du mécanisme sous-jacent responsable des Anomalies observées  
(*Schema of the underlying mechanism responsible of visible abnormality*)



**Figure 2**

PRÉVALENCE DES ANOMALIES RADIOGRAPHIQUES SUR L'OS SÉSAMOÏDE DISTAL  
COMPARAISON BIBLIOGRAPHIQUE  
(*prevalence of abnormality on sesamoidal bone d A review*)



Willms = Willms et al, 1996. Echantillon de 472 poulinières allemandes de 3 ans présentée au test de performance.

Winter = Winter et al, 1994. Echantillon de 2182 chevaux présentés aux ventes au enchères issus de 7 associations d'éleveurs allemands âgés de 3 à 8 ans.

Van Heelsum et al, 1996. Echantillon de 590 poulinières du KWPN âgés principalement de 3 ans choisies au hasard.