

Déterminisme génétique de la résistance à la chaleur

Geraert P.A.

INRA Recherches Avicoles
37380 Nouzilly

Résumé

En aviculture, les interactions génotype x environnement sont étudiées depuis longtemps avec un intérêt tout particulier pour la résistance à la chaleur. Pour améliorer les performances au chaud, différents gènes majeurs qui favorisent les pertes de chaleur, peuvent être utilisés. Les gènes réduisant l'emplumement (Cou nu, Na) ou augmentant les pertes convectives (plumage frisé, F) permettent ainsi d'améliorer les performances en climat chaud et ce, d'autant plus que le niveau de production est élevé. L'existence d'interactions spécifiques gène x gène permet d'envisager des lignées synthétiques combinant plusieurs gènes majeurs. Mais il existe des interactions négatives. Une autre voie de sélection consiste à réduire la production de chaleur métabolique. Dans les lignées "ponte", la diminution du métabolisme basal est possible en utilisant des souches naines (dw). La modification génétique de l'extrachaleur (lignées sélectionnées sur la consommation alimentaire résiduelle, R) devrait également affecter la résistance à la chaleur. Enfin, une amélioration indirecte de l'adaptation à l'exposition chronique au chaud existe également chez les génotypes maigres. Mais de nouvelles stratégies de sélection sont-elles encore possibles ?

Abstract

Genetic control of heat resistance in birds

Genotype-environment interactions have long been considered with a particular emphasis on heat resistance. To enhance performance under hot conditions, heat loss mechanisms could be increased by use of the tropically relevant major genes. The major genes for feather restriction (Na) and for curly feather structure (F) are known to improve performance in such conditions. Moreover, because of the additional existence of gene x gene interaction, special synthetic lines combining several major genes may be useful. However, there is some negative interactions. Another genetic strategy to improve heat resistance is based on the reduction of heat production. In laying hens, the basal metabolic rate can be reduced using lighter birds like the dw genotypes. The genetic reduction of diet-induced thermogenesis or heat increment of food (lines selected on the RFC) would also affect heat resistance. Indirect improvement of heat adaptation might also come from selection for leaner broilers. Finally, are there new genetic strategies to be developed to improve heat resistance ?

Introduction

L'été 1994 a encore laissé un terrible souvenir aux éleveurs de volailles : les pertes économiques furent lourdes. La période estivale est en effet caractérisée par deux phénomènes : le coup de chaleur qui correspond à une augmentation brutale de la température ambiante, en général au début de l'été ou même au printemps, et une période de chaleur chronique qui peut durer plusieurs semaines avec des températures ambiantes supérieures à 30°C dans les bâtiments. Ces deux phénomènes n'ont pas les mêmes conséquences : dans le premier cas, c'est l'hécatombe, les poulets meurent par milliers, dans le second c'est la chute des performances : baisse du gain de poids et augmentation de l'indice de consommation.

Les solutions à ces deux problèmes ne sont pas les mêmes. L'écèlement des pics de température par des systèmes de refroidissement (Franck et al., 1993) permet de supprimer les mortalités excessives. Par contre, les chaleurs chroniques par leurs effets sur le métabolisme de l'animal et l'orientation de l'utilisation des substrats sont plus délicates à contre-balancer. Des solutions nutritionnelles associant des changements de composition de l'aliment et des modifications des techniques d'alimentation sont à l'étude actuellement. Mais ne serait-il pas possible de sélectionner des animaux résistants à la chaleur ? Dans les pays à climat chaud, il existe des souches locales particulièrement bien adaptées aux températures élevées. Les poules des souches Sinaï... montrent en effet une bien meilleure résistance à la chaleur que les poules des souches Leghorn (Arad & Marder, 1982) mais leurs performances restent faibles.

En ambiance chaude, les oiseaux comme tous les homéothermes doivent maintenir leur température interne dans des limites raisonnables. Etant donné l'efficacité d'isolation thermique de leur plumage, ils diminuent leur ingéré pour réduire leur production de chaleur. L'objectif du sélectionneur qui désire améliorer la résistance aux températures d'élevage élevées va donc être soit d'accroître les déperditions caloriques soit de réduire la production de chaleur soit encore de combiner les deux. Il a à sa disposition des gènes majeurs facilement utilisables qui sont présentés au Tableau 1.

Tableau 1 : Gènes majeurs intéressant en climat chaud

| Gène | | Mode de transmission | | Effets | |
|------|------------------------------------|--|---------------------------------|---------|---|
| | | | | directs | indirects |
| dw | dwarf (nanisme) | récessif, lié au sexe, allèles multiples | réduction de taille (10 à 30 %) | | réduction du besoin d'entretien et du métabolisme basal |
| Na | Naked Neck (Cou nu) | dominant incomplet | perte des plumes du cou | | augmentation des pertes par conduction et convection |
| F | Frizzle (frisé) | dominant incomplet | plumes recourbées | | augmentation des pertes par convection |
| K | slow feathering (emplumement lent) | dominant, lié au sexe allèles multiples | retard d'emplumement | | augmentation des pertes sensibles |
| h | silky (soie) | récessif | modifications des plumes | | augmentation des pertes par convection |

Amélioration génétique des capacités de perte de chaleur

Les pertes de chaleur des oiseaux sont limitées par l'importance et l'efficacité d'isolation thermique du plumage. Chez le poulet, les plumes représentent environ 5 % du poids vif en conditions d'ambiance normales. Depuis longtemps, les sélectionneurs de volailles chair utilisent des génotypes à emplumement rapide pour éviter l'augmentation des pertes de chaleur en début de croissance. De même chez les pondeuses, on sait qu'un plumage en mauvaise condition (zones déplumées) accroît les pertes de chaleur et réduit l'efficacité alimentaire. En conditions climatiques chaudes, la réduction génétique de l'emplumement peut au contraire s'avérer intéressante. Mérat (1986) a fait un excellent travail de synthèse sur les avantages et inconvénients du gène Cou nu dans l'espèce Gallus en croissance ou en ponte. Il en concluait qu'à température normale, les performances en croissance ou en ponte des homozygotes Cou nu (Na/Na) étaient inférieures à celles des animaux témoins (na/na) mais qu'à une température ambiante supérieure à 25°C, leurs performances devenaient significativement meilleures (indice de consommation diminué, gain de poids augmenté, production d'oeufs accrue...).

Les souches chair Cou nu utilisées jusqu'à maintenant se rapprochaient cependant plus du type Label que du poulet industriel. Les performances de croissance étaient donc peu convaincantes. Plus récemment une étude réalisée par Cahaner et al. (1993) à partir d'un croisement souche Cou nu et souche commerciale (broilers Anak) apparaît plus intéressante. Les poulets obtenus ont un emplumement réduit de 30 % mais ont des performances à température normale de 2000 g de poids vif à 6 semaines et 290 g de filets. Leurs homologues normaux avaient un poids de 1895 g et 257 g de filets. Au chaud (32°C) (Tableau 2), l'avantage du Cou nu est encore plus évident. Entre 4 et 8 semaines, le gain de poids est alors augmenté de 23 % chez les homozygotes Na/Na par rapport aux na/na. L'efficacité alimentaire est améliorée de 10 %. Alors qu'il n'y a pas de différence de gras abdominal entre les deux souches, le gras sous-cutané est significativement réduit au chaud chez les poulets Cou nu. La réduction de l'emplumement permet de disposer de plus de protéines pour la croissance musculaire, d'améliorer les pertes de chaleur ce qui favorise la consommation et de diminuer l'engraissement par utilisation des graisses pour les besoins énergétiques de thermorégulation. De plus, comme il y a moins d'eau dans les plumes que dans le reste du corps, la diminution d'1 g de plumes correspond à un gain de poids de 1.5 g (Cahaner et al., 1993).

Enfin, chez le broiler, l'amélioration des performances en climat chaud avec le gène Cou nu est plus important chez les animaux plus lourds ou à croissance plus forte (Eberhart & Washburn, 1993a) et chez les mâles (Cahaner et al., 1994). Chez les pondeuses, Horst & Mathur (1994) révèlent que le gène Cou nu a plus d'effet chez les poules mi-lourdes (Rhode Island Red) que chez les poules légères (White Leghorn). Salchow (1992) trouve aussi que le gène Cou nu améliore plus le poids de l'oeuf et surtout le poids de jaune des poules RIR comparées aux poules WL.

Tableau 2 : Avantages du gène Cou nu sur la croissance en climat chaud (température constante de 32°C entre 4 et 8 semaines d'âge) (d'après Cahaner et al., 1993)

| Génotype | nana | Nana | NaNa | Variation (% nana) | Stats |
|----------------------------|------|------|------|-----------------------|-------|
| Poids vif (g) 8 sem | 1723 | 1835 | 2018 | + 17 | *** |
| Gain de poids (g) | 977 | 1072 | 1265 | + 30 | *** |
| Indice (4-8 sem) | 2.77 | 2.83 | 2.51 | - 10 | * |
| Plumes (% PV) | 5.0 | 3.8 | 3.4 | - 31 | *** |
| en g par 100 g de carcasse | | | | | |
| Filets | 13.1 | 14.2 | 14.6 | + 12 | *** |
| Peau | 8.5 | 7.6 | 7.1 | - 16 | *** |
| Gras abdominal | 2.57 | 2.95 | 2.60 | + 1 | NS |
| Gras sous-cutané | 3.66 | 3.36 | 2.80 | - 24 | ** |

La modification génétique de la conformation des plumes en favorisant la circulation de l'air (convection) permet aussi d'améliorer les performances au chaud. Le gène Frisé ou F est ainsi connu pour augmenter le nombre d'oeufs, la masse d'oeufs et l'efficacité alimentaire de pondeuses hétérozygotes Ff en ambiance chaude (Haaren-Kiso et al., 1988). L'association de plusieurs gènes majeurs, Na et F notamment, favorisant les pertes de chaleur a également été envisagé (Mathur & Horst, 1990, Horst & Mathur, 1994, Cahaner et al., 1994) (Tableau 3).

Tableau 3 : Poids vif (PV, g), plumes (en % du PV) et filets (en % du PV) chez des poulets mâles et femelles normaux, Cou nu et frisé exposés à 24 ou 32°C constants entre 3 et 7 semaines (d'après Cahaner et al., 1994).

| Type génétique | | normal | Frisé | Cou nu | Cou nu - Frisé |
|----------------|------|---------|---------|---------|----------------|
| | | nana ff | nana Ff | Nana ff | Nana Ff |
| Poids vif | 24°C | 1810 | 1800 | 1805 | 1800 |
| | 32°C | 1250c | 1420b | 1450ab | 1500a |
| Plumes | 24°C | 5.5a | 5.3a | 4.0b | 4.1b |
| | 32°C | 5.1a | 4.9a | 4.0b | 4.1b |
| Filets | 24°C | 12.60 | 12.70 | 12.75 | 12.70 |
| | 32°C | 11.80 | 11.88 | 11.90 | 12.10 |

Alors que la réduction d'emplumement chez le poulet de chair n'est pas différente entre le Cou nu et le croisement Cou nu - Frisé, l'amélioration de croissance au chaud est d'environ 10 % pour les types génétiques Na ou F comparés au génotype normal et de + 15 % pour le croisement NaF. Chez les pondeuses, l'additivité n'est pas aussi nette (Horst & Mathur, 1994). La réduction d'emplumement est de 27 % chez les Na, 10 % chez les F et de 42 % chez les NaF. Elle est associée à une température cutanée plus élevée : elle est de 40,3°C chez les NaF contre seulement 34,4 °C chez le témoin et au contraire une température centrale plus basse au chaud (Haaren-Kiso et al., 1994). Elle est également associée à une moindre perturbation de l'équilibre acido-basique au chaud (moins de risque d'alcalose respiratoire). Pour Mathur & Horst (1994), les gènes modifiant l'emplumement affectent surtout les performances de reproduction et non le poids vif ou le poids moyen de l'oeuf. L'efficacité alimentaire (masse d'oeuf/ingéré) est ainsi améliorée de 5,9% chez Na et de 4,4% chez F. En théorie, l'amélioration de l'efficacité chez le croisement NaF devrait être de 10,3 %, elle n'est en réalité que de 7,2 %. Il existe donc selon Mathur & Horst (1994) des interactions négatives entre les gènes Na et F.

Enfin, l'intérêt de la combinaison des gènes Cou nu et Frisé permet d'utiliser les hétérozygotes Nana et Ff et de rattrapper les performances des homozygotes Cou nu NaNa en évitant vraisemblablement les conséquences négatives sur la reproduction (Cahaner et al., 1994). L'effet très positif des gènes réduisant l'emplumement s'observent surtout dans des conditions climatiques chaudes et sèches (cellules climatisées ou conditions Sud Egypte) mais elles sont beaucoup moins évidentes en climat chaud humide (Malaisie) (Horst & Mathur, 1994).

Réduction génétique de la production de chaleur métabolique

L'autre possibilité de sélection réside dans la diminution de la dépense énergétique ou production de chaleur métabolique. La dépense énergétique comprend : le métabolisme basal qui représente le niveau minimum de fonctionnement de l'organisme, le coût énergétique associé à l'activité physique et la thermogénèse alimentaire ou extrachaleur. La sélection doit avoir pour objectif de réduire l'une ou l'autre de ces composantes. La réduction génétique de l'activité physique n'est pas forcément souhaitable. Les animaux plus " actifs " en étant plus souvent debout, favoriseraient en effet leurs pertes de chaleur en améliorant la circulation d'air autour d'eux. Mais l'activité physique est vraisemblablement plus une composante individuelle qu'un caractère héritable. Le sélectionneur peut donc surtout jouer sur le métabolisme basal ou l'extrachaleur.

- réduction du besoin d'entretien ou du métabolisme basal : souches naines

Les gènes réduisant la taille des poules sont connus depuis longtemps et particulièrement le gène de nanisme lié au sexe (dw). Les conséquences en production " chair " ou en production d'oeufs ont été résumées récemment par Mérat (1990). La réduction de taille de 30% chez les femelles à 40% chez les mâles s'accompagne d'une diminution de la ponte et du poids moyen de l'oeuf. Mais compte tenu de la baisse de consommation, l'efficacité alimentaire est améliorée selon les cas de 10 à 25%. Bien qu'une réduction du poids corporel s'accompagne d'une augmentation du rapport surface/volume favorisant donc les échanges de chaleur, l'avantage du gène dw en climat chaud n'apparaît pas toujours évident (Mérat, 1990).

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'association de gènes réduisant l'emplumement (Na, F) et du gène de nanisme (dw). Dans la majorité des cas (Manner, 1991 ; Haaren-Kiso et al., 1994), la réduction de performances chez les dw est évidente mais l'efficacité reste améliorée. En ambiance chaude, le gène Cou nu améliore les performances de ponte, le poids moyen de l'oeuf et diminue la mortalité de souches naines (Bordas & Mérat, 1992). La résistance à la chaleur est améliorée pour les croisements dw-Na même si les avantages du Cou nu sont toujours supérieurs chez les souches normales comparées aux souches naines (Manner, 1991). L'effet de la chaleur est minimum pour le croisement Na-F-dw (Manner, 1992).

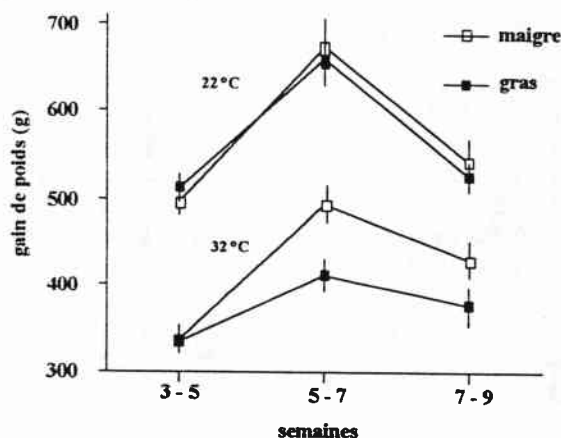
- sélection sur l'extrachaleur : lignées R+ R-

A partir d'une sélection divergente sur la consommation alimentaire résiduelle (Bordas et al., 1992), il a été montré la possibilité de sélectionner des génotypes à thermogénèse différente. Les deux lignées R+ et R- ont la même dépense énergétique basale, mais alors que la lignée R- (efficace) est caractérisée par une thermogénèse induite par l'aliment faible, la lignée inefficace R+ a une extrachaleur particulièrement élevée. Au chaud, la thermogénèse réduite des R- devrait être favorable mais un premier essai réalisé par Bordas (communication personnelle) montre au contraire une diminution des performances de ponte au chaud plus faible chez les R+, notamment l'intensité de ponte et le poids moyen de l'oeuf, qui pourrait s'expliquer par des capacités de pertes de chaleur accrues dans cette lignée.

Amélioration indirecte de la résistance à la chaleur

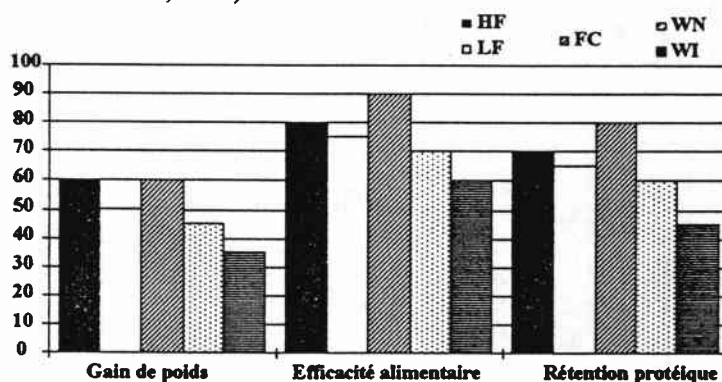
Les souches chair actuelles, dont le potentiel de croissance s'est considérablement accru au cours des dix dernières années, sont devenues particulièrement sensibles aux températures chaudes. Dans les années à venir, la sélection va s'orienter vers des souches plus efficaces dans la capacité à déposer les protéines : des souches plus maigres caractérisées par plus de filets, moins de rejets azotés et une meilleure valorisation des matières grasses alimentaires. Quelles seront les conséquences d'une telle stratégie de sélection sur la sensibilité à la chaleur ? Des résultats récents obtenus sur des lignées expérimentales différant dans la proportion de gras abdominal, montrent qu'au chaud, la chute d'ingéré est la même, mais la croissance est significativement plus ralentie chez les poulets gras que chez les poulets maigres (Geraert et al., 1993) (Figure 1). De plus, alors que la chaleur détériore considérablement l'efficacité alimentaire et l'efficacité de conversion protéique chez le poulet gras, elle n'affecte pas l'indice et ne diminue que faiblement l'efficacité protéique chez le poulet maigre (Geraert et al., 1993).

Figure 1 : Performances de croissance de poulets de chair génétiquement maigres ou gras en ambiance chaude (32°C) ou thermoneutre (22°C) (Geraert et al., 1993)



Cahaner & Leenstra (1992) observent aussi que les lignées sélectionnées sur l'efficacité alimentaire (FC) ont la plus faible réduction de croissance au chaud comparées aux lignées sélectionnées sur le poids vif (WI, WN) (Figure 2). Cependant ces auteurs observent aussi que les lignées grasses HF (sélection sur le gras abdominal) tolèrent mieux la chaleur que leurs homologues maigres (LF). Mais ce dernier résultat est à mettre en relation avec l'absence de différence d'efficacité alimentaire entre les deux génotypes dans les conditions normales.

Figure 2 : Performances de croissance obtenues en conditions chaudes (32°C constant) de poulets de chair sélectionnés sur l'engraissement abdominal fort (HF) ou faible (LF), sur l'efficacité alimentaire (FC), sur la croissance aux Pays-Bas (WN) ou en Israël (WI) exprimées par rapport aux performances obtenues en conditions normales. (Cahaner & Leenstra, 1992)



Les génotypes maigres ou gras ont la même dépense énergétique basale (MacLeod & Geraert, 1988), mais la production de chaleur exprimée en % de l'EM ingérée est toujours plus élevée dans les souches maigres (Geraert et al., 1993) ou efficaces (Cahaner & Leenstra, 1992) soulignant leurs capacités plus grandes à éliminer la chaleur. En exposition aigue (coup de chaleur), cette caractéristique pourrait au contraire s'avérer défavorable.

Conclusion : La sélection d'animaux résistants à la chaleur est-elle possible ?

Il est surprenant de constater la quasi-absence de comparaisons rigoureuses (conditions d'ambiance contrôlées, effectifs suffisants) de performances de souches commerciales en climat chaud. Existe-t-il des souches mieux adaptées que d'autres à la chaleur ? Ou s'agit-il plus de variations individuelles ? Dans un lot d'animaux exposés au chaud, il y a toujours des individus qui atteignent des niveaux de performances élevés et qui ne paraissent donc pas souffrir de la chaleur. Pourrait-on envisager une sélection d'individus résistants à la chaleur ?

Cahaner (1990) dans un exposé d'introduction à l'étude de l'interaction génotype x milieu, indiquait que cette interaction était d'autant plus élevée que l'héritabilité du caractère considéré était élevée. Chez les pondeuses, l'interaction génotype x milieu est élevée pour le taux de ponte, le poids moyen de l'oeuf et la mortalité alors qu'elle est très faible pour le poids vif. Au contraire pour les broilers, l'interaction est très élevée pour le poids vif et faible pour le gras abdominal.

Les essais de sélection ont cependant souvent montré une opposition entre la tolérance à la chaleur et l'amélioration du poids vif (Bowen & Washburn, 1984). Récemment, Picard & Ricard (1992, données non publiées) ont effectué une sélection sur la croissance en ambiance chaude contrôlée (32°C) à partir de lignées expérimentales. Leurs résultats, obtenus en température chaude, montrent qu'il n'y a pas d'amélioration nette de la croissance mais que l'engraissement abdominal est significativement réduit dans la lignée sélectionnée au chaud. Toutefois le gain génétique de croissance obtenu par ces mêmes lignées en conditions normales était faible. Des possibilités d'amélioration génétique de la tolérance à la chaleur semblent donc exister dans les lignées chair et mériteraient d'être étudiées à nouveau. Une autre stratégie serait de bénéficier des effets favorables des génotypes présentés plus haut en combinant les avantages des gènes de réduction d'emplumement (Na et F), de modification de l'extrachaleur (R) et d'amélioration de la rétention protéique (Maigre). De tels croisements devraient être testés pour analyser les éventuelles interactions négatives.

Le choix du critère et les conditions de sélection sont également importants. Le taux circulant d'hormones thyroïdiennes (T3, T4) impliquées dans le contrôle de la thermogénèse, a été envisagé par Bowen & Washburn (1984) mais n'a pas permis d'améliorer la tolérance à la chaleur sans réduction du poids vif. Enfin, il semble qu'une sélection en milieu contrôlé (température et humidité constantes) ne soit pas forcément efficace pour des milieux d'élevage ouverts (Mathur & Horst, 1994).

Il faut enfin distinguer la sensibilité à l'exposition chronique au chaud de la résistance au coup de chaleur. La variation de température corporelle en réponse au stress thermique est souvent considérée comme un bon indicateur de la résistance. Ainsi un animal habitué à la chaleur, voit sa température interne changer beaucoup moins lors d'un stress thermique comparé à un animal maintenu à la thermoneutralité. Mais de façon surprenante, chez les génotypes Cou nu, la variation de température corporelle mesurée après stress thermique est plus grande que chez les génotypes normaux suggérant une résistance plus faible à court terme (Eberhart & Washburn, 1994). La sélection d'animaux moins sensibles au stress thermique a également été entreprise sur un modèle expérimental caille. Après cinq générations de sélection, Kawamoto et al. (1983) montrent que le temps de survie à 45°C est doublé chez les lignées résistantes (45 vs 26 min) avec une héritabilité élevée (>0.50). Les auteurs ne précisent toutefois pas le poids de leurs animaux.

Enfin, la résistance à la chaleur ne concerne pas que l'espèce *Gallus*, les dindes et les autres espèces de volailles y sont également confrontées. Des études interspécifiques apporteraient certainement des informations importantes pour mettre au point des stratégies de sélection efficaces.

Références

- Arad Z., Marder J., 1982. *Br. Poult. Sci.* 23, 333-338.
 Bordas A., Mérat P., 1992. *Arch. Geflügelk.* 56, 22-27.
 Bordas A., Tixier-Boichard M., Mérat P., 1992. *Br. Poult. Sci.* 33, 741-754.
 Bowen S.J., Washburn K.W., 1984. *Poult. Sci.* 63, 430-435.
 Cahaner A., Leenstra F., 1992. *Poult. Sci.* 71, 1237-1250.
 Cahaner A., Deeb N., Gutman M., 1993. *Poult. Sci.* 72, 767-775.
 Cahaner A., Yunis R., Deeb N., 1994. in *Proceedings 9th Europ. Poult. Conf.* 07-12/08/1994, vol II, 67-70.
 Eberhart D.E., Washburn K.W., 1993. *Poult. Sci.* 72, 1385-1390 et 1391-1399.
 Franck Y., Gérard A., Le Menec M., Souloumiac J., Allard F., Boutalbi O., 1993. *Sci. Tech. Avicoles* 4, 13-28.
 Geraert P.A., Guillaumin S., Leclercq B., 1993. *Br. Poult. Sci.* 34, 643-653.
 Haaren-Kiso A., Horst P., Valle Zarate A., 1994. *Arch. Geflügelk.* 58, 248-257.
 Horst P., Mathur P.K., 1994. in *Proceedings 9th Europ. Poult. Conf.* 07-12/08/1994, vol II, 79-82.
 Kawamoto Y., Ino T., Sato K. 1983. in *Proceedings 5th World Conf Anim Prod.*, vol 2, 135-136.
 Manner K., 1991. *Arch. Geflügelk.* 55, 247-257.
 Manner K., 1992., *Arch. Geflügelk.* 56, 8-13.
 Mathur P.K., Horst P., 1994. *Poult. Sci.* 73, 1777-1784.
 Mérat P., 1986. *World's Poult. Sci. J.* 42, 124-142.
 Mérat P., 1990. *INRA Prod. Anim.* 3, 151-158 et 355-368.
 et aussi :
Proceedings 4th World Congress on genetics applied to livestock production, 23-27/07/1990, Edinburgh
Proceedings Genotype x environment interactions in poultry production. 09-11/05/1989, Les Colloques de l'INRA n°50.