

Conservation et valorisation de la diversité des ressources génétiques du poulet en Europe : initiatives et perspectives

LARIVIÈRE J.-M., LEROY P.

Département des Productions animales, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège,
20 Boulevard de Colonster, Bâtiment B43, 4000 Liège, Belgique.

Subsidié par le Ministère de l'Agriculture et de la Ruralité, Région wallonne

Correspondance: Jean-Marc Larivière Email : Jean-Marc.Lariviere@ulg.ac.be

RÉSUMÉ : La diversité génétique de l'espèce poule (*Gallus gallus domesticus*) est composée d'un ensemble de populations : les lignées expérimentales, les souches commerciales et les races traditionnelles. La sélection intensive a commencé au cours du 20^e siècle et a mené à la spécialisation de souches commerciales soit pour la viande, soit pour les œufs. Bien que les races anciennes de poulet soient encore très étroitement liées aux valeurs culturelles, aux origines géographiques et adaptées à l'environnement local, beaucoup d'entre-elles ont subi une diminution importante de la taille de leurs populations et par conséquent, une érosion de leur diversité génétique. Selon les pays, les changements socio-économiques, la libéralisation des marchés de produits industriels d'origine animale, l'urbanisation, l'instabilité politique, les conflits, les catastrophes naturelles, le manque de contrôle sanitaire et les risques épidémiques tels que la grippe aviaire, rendent les races anciennes très vulnérables. La nécessité de conserver prioritairement ces ressources s'est accentuée et a créé l'urgence d'une coordination d'efforts afin d'inventorier, d'évaluer et de préserver cette diversité génétique du poulet. Une revue de ces initiatives permet de mieux constater l'importance des efforts liés à la conservation en Europe. En outre, les perspectives qu'offrent certaines races traditionnelles de poulet à travers leur caractérisation phénotypique et génétique, en vue de leur valorisation, y sont présentées.

INTRODUCTION

1. Évolution et domestication

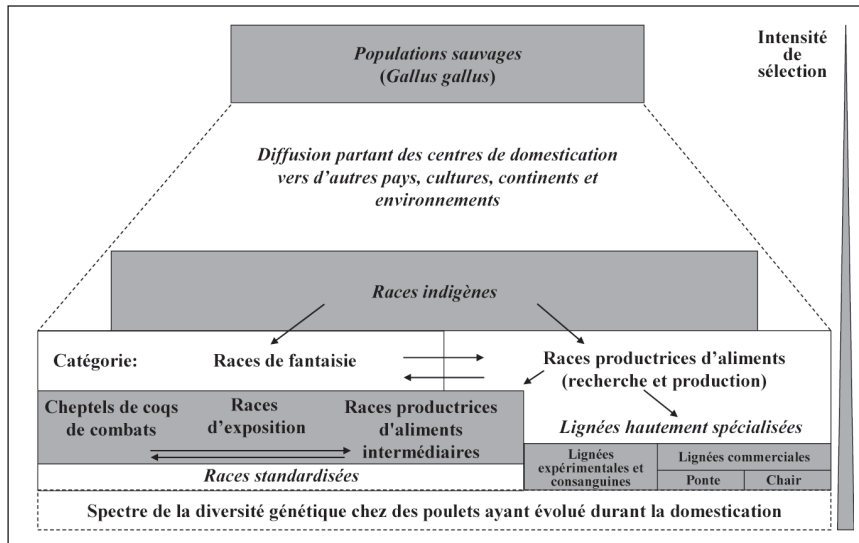
La diversité génétique de l'espèce *Gallus gallus domesticus*, constituée d'un ensemble de populations (figure 1), serait le résultat d'une domestication de 7 à 8 millénaires à travers une dissémination qui fût assurée par les migrations humaines (West et Zhou, 1987). Quatre espèces sauvages de jungle sont classifiées : coq rouge (*Gallus gallus*), coq gris (*Gallus sonnerati*), coq vert (*Gallus varius*) et coq de Ceylan (*Gallus lafayetti*). Bien que l'origine exacte de la poule domestique soit contestée depuis des siècles (Darwin, 1868 ; Hutt, 1949 ; Crawford,

1984), une étude plus récente semble confirmer que de multiples ancêtres seraient à l'origine de cette espèce (Eriksson *et al.*, 2008). En effet, le caractère phénotypique de la couleur jaune de la peau chez le poulet ne proviendrait pas de *Gallus gallus*, présumé longtemps comme seul ancêtre sauvage, mais bien de *Gallus sonnerati*. La création des races traditionnelles semble avoir été réalisée vers la fin du XIX^e siècle alors que les souches plus productives pour la viande ou les œufs de consommation, à coquille blanche ou colorée, apparurent après la seconde guerre mondiale (Périquet, 2006). En plus de contribuer à l'alimentation humaine, ces ressources génétiques jouent un rôle crucial dans la recherche fondamentale et appli-

quée, sans oublier l'agrément que procure l'aviculture comme activité ou passe-temps chez l'homme.

Les méthodes de sélection au 20^e siècle ont considérablement amélioré la productivité des lignées commerciales, dont l'usage à très grande échelle s'est fait au détriment du développement ou de la survie des races locales. Ces dernières constituent pourtant un réservoir pour approvisionner les multiplicateurs et répondre à l'évolution des demandes des consommateurs. L'érosion de cet héritage génétique a fragilisé certaines races traditionnelles et les a placées sous danger d'extinction ou de vulnérabilité face aux risques épidémiques. Les estimations de diverses études réalisées sur la

Figure 1 : évolution de la diversité génétique du poulet (Weigend et Romavov, 2001).



base de polymorphisme moléculaire, à partir de marqueurs différents d'une espèce à l'autre, ont démontré que la variabilité moyenne du génome de la poule domestique était inférieure à celle des humains, des bovins, des porcs et des poissons (Hillel *et al.*, 2003). Une grande vigilance dans la conservation des ressources de cette espèce est requise à cause de l'intensité et de la durée de sélection qui peut résulter en une perte de variation génétique, ainsi que d'une base génétique restreinte des souches industrielles, accentuée par la restructuration et la réduction drastique du nombre de sélectionneurs approvisionnant en reproducteurs les filières poulet de chair et ponte (Delany, 2003). En effet, dans ce contexte élevé d'intégration verticale, 100 % du marché mondial des hybrides produisant l'œuf brun et blanc, et plus de 90 % de celui du poulet de chair serait chacun approvisionné par seulement trois sélectionneurs (Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, Germany, sans date). Les reproducteurs parentaux issus des lignées pures des firmes de sélection constitueraient environ 3 % de la population mondiale totale de volaille, estimée à 18 milliards (Emsley, 2006).

2. Inventaire des ressources génétiques

Considérant que la collecte et la diffusion d'information sur les ressources génétiques sont nécessaires à la construction d'une banque de données fiables sur l'origine, le développement, la description phénotypique, les

performances ainsi que l'utilisation de la race, différentes initiatives ont été menées. En France, un nombre de 154 lignées et variétés, issues de 70 races de poulets provenant d'élevages amateurs, de centres de recherche et de multiplicateurs/sélectionneurs avicoles, ont d'abord été recensés (Tixier-Boichard *et al.*, 2001). En Italie, un constat sur la situation des races avicoles traditionnelles (dont 53 races de poulet) fait état de la disparition de plus de 61 % de ces races (Zanon et Sabbioni, 2001). Aux Pays-Bas, un rapport sur les ressources génétiques animales a démontré que 28 des 32 races ou variétés de poulet existantes avaient un statut critique ou en danger (Woelders *et al.*, 2006). L'évaluation du statut d'une population est généralement basée sur les règles de classification des animaux domestiques, où un statut critique compte moins de 100 femelles ou de 5 mâles, et un statut en danger comprend entre 100 et 1000 femelles ou entre 5 et 20 mâles (Scherf, 2000). Un recensement des ressources génétiques du poulet en Europe, en Ukraine et en Russie, basé sur les modalités de celui effectué en Amérique du nord (Pisenti *et al.*, 1999), impliquait 30 gestionnaires de base de données provenant de 10 pays (Tixier-Boichard, 2003). L'origine et la gestion génétique (taille des populations et niveaux de consanguinité), le critère de sélection, le domaine de recherche et la stratégie de conservation étaient étudiés chez 149 lignées expérimentales et 30 races traditionnelles, conservées principalement par les institutions publiques. La plupart des lignées expérimentales (92 sur

149) étaient issues d'une seule race. Leur diversité génétique résultait de l'obtention de lignées consanguines ou congéniques accouplées aléatoirement ou de lignées sélectionnées intensivement pour des caractères de performance. Les lignées d'origine utilisées en génétique expérimentale ont été sélectionnées sur des caractères spécifiques, non considérés par la sélection commerciale, à cause des coûts d'étude ou du manque de connaissances du déterminisme génétique de ces caractères. Les pays possédant le plus grand nombre de lignées expérimentales étaient la France, la République tchèque, l'Allemagne, le Royaume-Uni suivi d'Israël, du Danemark, de l'Espagne, des Pays-Bas et de la Roumanie. La création de ces lignées datait de 1960 à 1990 et certaines lignées pouvaient être dans un processus de création au moment du recensement. Les domaines de recherche portaient principalement sur l'immunologie et la résistance aux maladies. Un nombre de 66 lignées avait été développé pour l'étude du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) ou celle de la susceptibilité à l'oncologie virale. Un nombre de 29 et de 17 lignées était utilisé pour la recherche biomédicale ou biologique. En revanche, le nombre de lignées destinées à l'étude de la ponte, de la production de chair, du comportement et des techniques de reproduction était modeste, avec seulement 12, 15, 5 et 5 lignées, respectivement. Une trentaine de races traditionnelles constituait des réserves génétiques importantes. Cette étude de 2003 a montré également que plusieurs pays avaient un programme de conservation de races traditionnelles dans des institutions de recherche (incluant des races transfrontalières) avec, en premier lieu, la Pologne puis l'Ukraine, la Russie, la Hongrie et enfin la Norvège et la République slovaque. Certains pays ne possèdent pas de lignées expérimentales ou commerciales (Belgique, Norvège, Italie et Finlande) mais leur diversité en races anciennes constitue parfois une réserve sous-estimée. C'est le cas de la Belgique, avec l'existence de 40 races traditionnelles de poulet, dont la moitié est de type nain, ce qui en fait l'un des pays européens les plus diversifiés mais dont la majorité des races souffre d'un statut précaire (Larivière et Leroy, 2005 ; 2007). Toutes ces situations décrites en Europe reflètent celles des races de volaille dans le monde dont plus de la moitié serait à risque

(Hoffmann, 2005).

Un inventaire de 238 races traditionnelles de poulet provenant de 34 pays d'origine différents a été effectué (Larivière, 2009). Ce recensement a été réalisé à partir de diverses sources d'information datant de 1984 à 2008. Il totalise plus de 2,5 millions de sujets (reproducteurs ou effectif total) de grande race (races naines et transfrontalières non incluses), ce qui représente moins de 5 % des 61 millions de reproducteurs (poulet de chair) distribués commercialement en Europe en 2005 (Emsley, 2009). Certaines races sont considérées comme reliques avec quelques dizaines de femelles reproductrices, tandis que celles avec de très petits ou de petits effectifs comptent de 100 à 1000, et de 1000 à 10000 reproductrices, respectivement (Verrier, 2009). En supposant que chaque population des races traditionnelles recensées soit égale en nombre de mâles et de femelles, les races reliques, celles à très petits ou à petits effectifs compteraient 15, 173 et 41 races, respectivement. Près de 75 % de ces races sont donc des populations à très petits effectifs. Sous réserve que les effectifs étudiés soient comparables (sujets reproducteurs ou effectif total), seulement 9 races possèdent de

grands effectifs et contribuent à elles seules environ 85 % du cheptel total. La Bresse en France est une exception car le nombre cité d'un million correspond au nombre de poussins mis en élevage sur un an.

3. Évaluation des performances zootechniques et des paramètres génétiques

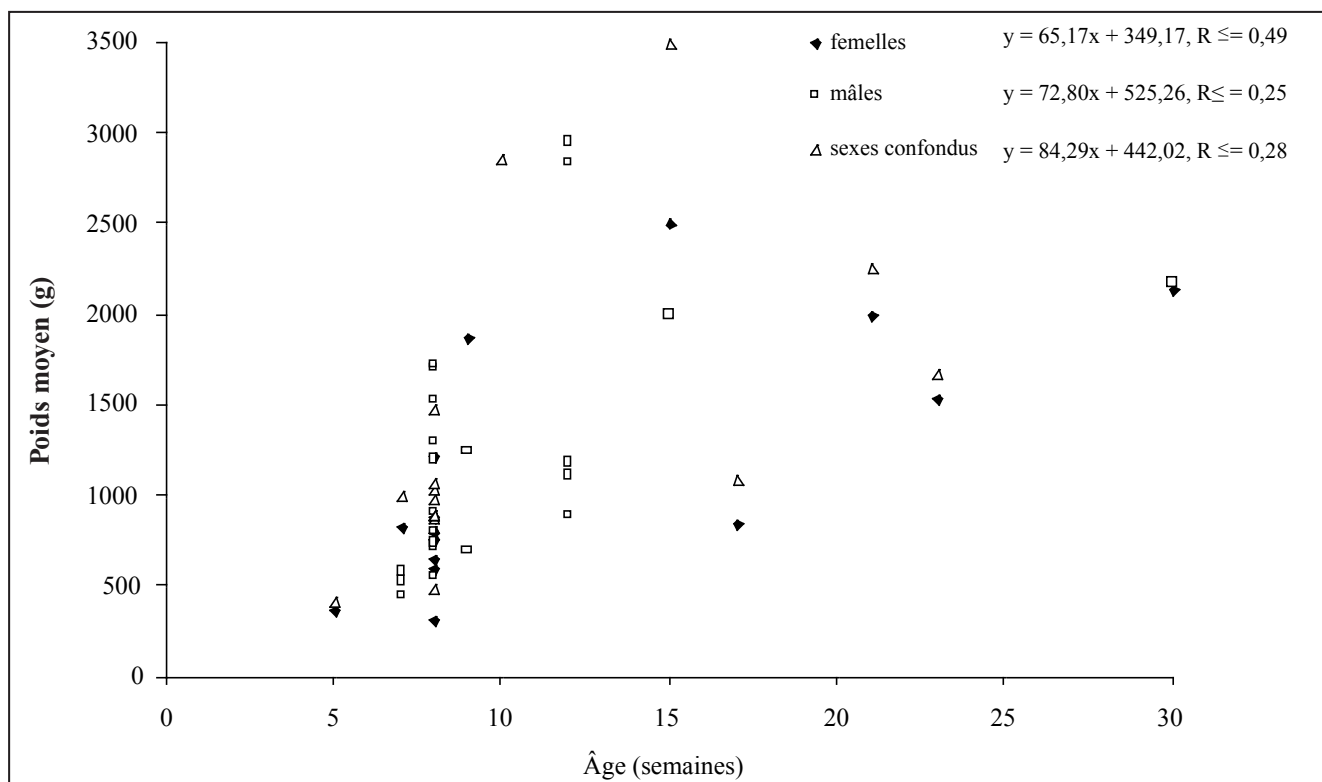
Afin de mieux cibler leurs atouts pour la valorisation, une revue des performances zootechniques de ces races et des paramètres génétiques de certains caractères a été réalisée (Larivière, 2009). Ces informations proviennent de publications et de communiqués scientifiques, d'associations d'éleveurs et d'organismes non gouvernementaux. On constate qu'une information complète pour chaque race est difficile à obtenir ou est parfois quasiment inexistante. De plus, malgré le manque de précisions sur la gestion en élevage ou en reproduction, et l'environnement (régimes lumineux et alimentaires, accès extérieur...) pouvant influencer grandement les résultats d'une race à l'autre, d'importantes variations de performances et de valeurs estimées des paramètres génétiques peuvent être observées. Les différences de

milieu d'élevage ne permettent pas une comparaison entre races mais la récapitulation des données montre les races étudiées et les types de caractères mesurés.

3.1. Performances zootechniques

Sur le plan zootechnique, il s'agit généralement d'animaux à croissance lente dont les durées d'élevage sont nettement plus élevées que celles d'un poulet à croissance rapide. L'analyse de données fournies pour 35 races a contribué à l'estimation des poids vifs (Larivière, 2009). Les données sont reprises à la figure 2. Les corrélations entre l'âge et le poids vif sont toutes positives mais faibles à modérées ($R^2 = 0,25$ à $0,49$). Le poids corporel supérieur de certaines races comme les espagnoles Castellana Negra (Miguel *et al.*, 2007) et Empordanesa Roja (Francesch *et al.*, 1997) peut s'expliquer par l'antériorité de sélection sur ce caractère. Les indices de consommation (quantité d'aliment consommé pour produire 1 kg de poids vif) de 7-17 semaines varient de 4 à 7. Ce critère demeure sans doute le principal facteur limitant sur le plan économique. Quatre races seulement ont servi à évaluer le rendement de leurs carcasses

Figure 2 : Poids vif moyen (g) des femelles, des mâles et des deux sexes confondus de 35 races traditionnelles de poulets conservées en Europe.



ses qui variait de 58 à 72 %, entre 12 et 30 semaines d'âge. Le pourcentage de filet sur la carcasse était de 12 à 20 % tandis que celui des cuisses et pilons se situait entre 20 et 33 %. À des fins de comparaison, un poulet commercial à croissance rapide (Ross 308) atteignant 5,52 kg à 12 semaines d'âge avec un indice de consommation de 2,7, obtient un rendement de 76 % pour la carcasse, de 22 % en filet et de 31 % en cuisses et pilons (Havenstein *et al.*, 2003).

Quant aux performances de ponte (nombre d'œufs par poule « mise en contrôle » (à savoir, pendant 52 semaines après le 1^{er} œuf) et/ou le poids moyen de l'œuf), les publications concernant 193 races ont permis d'effectuer une analyse comparative (Larivière, 2009). Il se dégage de ces résultats que la production d'œufs annuelle par poule varie de 60 à 320 œufs (35-72 œufs entre 32-39 semaines) avec un poids de l'œuf compris entre 39 et 90g. On observe un nombre d'œufs plus important en Utrerana espagnole (320), en Landaise française (280-300) et en Slovène argentée (285) mais un meilleur poids d'œuf chez la Yurlov russe (90 g), ainsi que les françaises Marans, Cou nu du Forez (65-80 g) et La flèche (60-75 g) (Food and Agriculture Organization, sans date). Les données présentées en figure 3 ont été reprises à partir de 85 races pour lesquelles une infor-

mation sur le poids des œufs et le nombre d'œufs correspondants était disponible. Il n'y a pas de corrélation ($R^2 = 0,02$) entre ces deux caractères. L'intensité de ponte, mesurée sur 17 races anciennes, peut atteindre 80 %. La fertilité et l'éclosion (basé sur le nombre d'œufs mis en incubation ou d'œufs fertiles) variait de 64 à 97 % et de 46 à 85 %, respectivement. La mortalité embryonnaire totale atteint 13 à 15 %. La majorité de ces performances demeure tout de même inférieure à celle d'une pondeuse commerciale (Isa White), qui atteint 95 % de ponte avec un nombre total de 303 œufs par poule mise en contrôle pendant 52 semaines et un poids moyen d'œuf de 61,8 g (Hendricks Genetics Company, 2009). L'éclosion atteint 92 % à 45 semaines d'âge. La mortalité embryonnaire totale affecte environ 8 % des embryons de poulets à croissance rapide (Scott et Mackenzie, 1993).

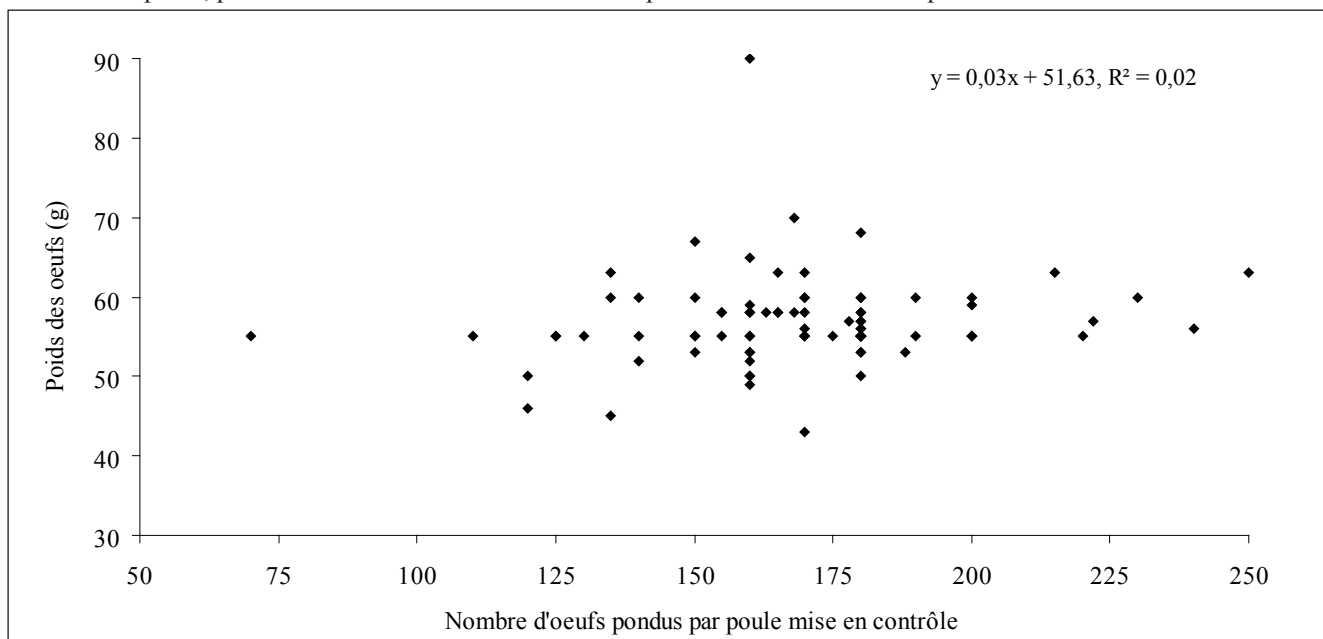
Par ailleurs, certaines races traditionnelles comme la Hratica croate ou la Bohémienne tchèqe auraient une résistance à la maladie de Marek (Food and Agriculture Organization, sans date). D'autres, comme la Zielononoka Kuropatwiana polonaise ou la Landrace danoise (photo 1), seraient moins sensibles aux parasites internes (Food and Agriculture Organization, sans date). La sensibi-

lité liée au stress, à travers des tests d'immobilité tonique a également été évaluée chez les races espagnoles Andaluza, Castellana, Menorca, Prat, Vasca, Birchen Leonese et Villafrantina (Campo et Alvarez, 1991 ; Campo et Prieto, 2009) ou chez les races italiennes Bianca di Saluzzo, Bionda Piemontese et Valdarnese Bianca (Ferrante *et al.*, 2005). Le temps d'immobilité tonique variait de 80 à 547 secondes. En résumé, plus la durée de ces tests sera longue et plus la propension à ressentir la peur sera importante. Cela peut se traduire par des réactions violentes d'envol ou

Photo 1 : La Landrace danoise : une résistance naturelle au parasite interne *Ascaridia galli* (Permin et Ranvig, 2001) (gracieuseté des Éditions Komet).



Figure 3 : Poids moyen des œufs (g) et nombre correspondant d'œufs pondus par poule mise en contrôle pendant 52 semaines de ponte, provenant de 85 races traditionnelles de poulet conservées en Europe.



d'inhibition de mouvement (immobilité tonique), des facteurs de stress pouvant nuire à la productivité et au bien-être de ces races lorsque utilisées dans les systèmes de production. À titre de comparaison avec le poulet de chair à croissance rapide, des temps d'immobilité tonique moyens de 121 à 127 secondes ont été enregistrés (Ghareeb *et al.*, 2008).

3.2 Paramètres génétiques

Les caractères comportent presque tous une part de variabilité due à la génétique, l'autre part étant essentiellement due aux effets environnementaux. Les paramètres génétiques renseignent sur la part de la performance d'un parent pour un caractère qui sera transmise à ses descendants et sur la relation entre l'amélioration de ce caractère et les autres caractères. Connaître les paramètres génétiques comme l'héritabilité et les corrélations génétiques permet de mesurer l'efficacité de la sélection sur un caractère. L'estimation de paramètres génétiques tels que l'héritabilité, concerne uniquement 5 races traditionnelles pouvant être ou avoir été en processus de sélection (Larivière, 2009). Ces estimations ont souvent été réalisées par la méthode du maximum de vraisemblance restreint. Les valeurs d'héritabilité étaient élevées pour le poids vif de 7 à 11 semaines ($h^2 = 0,48-0,56$) et le poids de l'œuf ($h^2 = 0,48-0,68$), mais demeuraient modérées pour le nombre d'œufs ($h^2 = 0,20-0,33$). La couleur de la coquille présentait une héritabilité moyenne à élevée ($h^2 = 0,27-0,53$) pour trois races. L'unique valeur pour l'intensité de ponte était modérée ($h^2 = 0,35$). Les estimations pour la fertilité, l'éclosion et les mortalités embryonnaires montrent que ces caractères étaient faibles ($h^2 = 0,03-0,10$). À titre de comparaison, les estimations pour le poids vif à partir de 7 semaines chez le poulet de chair à croissance rapide varient de 0,10 à 0,63 (Danbaro *et al.*, 1995 ; Le Bihan-Duval *et al.*, 1997 ; Mignon-Grasteau *et al.*, 1999). Pour le nombre d'œufs de 19 à 54 semaines et le poids de l'œuf, ces estimations chez la poule pondeuse oscillent entre 0,04 et 0,28 (Engström *et al.*, 1992 ; Besbes *et al.*, 1992) et entre 0,47 et 0,75 (Hagger *et al.*, 1992 ; Besbes *et al.*, 1992), respectivement. Enfin, les estimations pour les caractères de reproduction tels que la fertilité et l'éclosion sont

faibles à modérées, variant de 0,01 à 0,18 (Liljedahl *et al.*, 1979 ; Beaumont *et al.*, 1997 ; Sewalem *et al.*, 1998 ; Szwaczkowski *et al.*, 2000) et celles pour la mortalité embryonnaire totale est faible, atteignant 0,08 à 0,09 (Brah *et al.*, 1991).

4. Caractérisation moléculaire et diversité génétique des populations

La variabilité génétique peut être évaluée en utilisant les polymorphismes de l'ADN. Des typages moléculaires, après amplifications de réactions en chaîne par polymérase (PCR), peuvent être alors réalisés afin de compléter la caractérisation de chaque race ou population par une évaluation de la variabilité au niveau du génome, contribuant ainsi à établir son originalité et son unicité génétique. Les marqueurs moléculaires (i) procurent une information utile sur la variabilité génétique à l'intérieur d'une population (intra) ou entre les populations (inter), (ii) renseignent sur le lien de parenté entre les populations et (iii) permettent également de détecter les introgressions (à savoir, introduction d'un gène désiré d'une population à une autre par le biais de rétrocroisement(s) i.e. le croisement entre un hybride et l'un de ses parents) (Tixier-Boichard *et al.*, 2009). Les concepts employés pour évaluer la diversité sont les tests F-Statistics et les coefficients de parenté ainsi que les distances génétiques. Ces dernières produisent des statistiques basées sur la similitude des fréquences alléliques entre les populations et permettent différentes interprétations afin d'établir la diversité génétique et les priorités de conservation. La distance génétique moyenne entre les populations indique l'ampleur avec laquelle une population donnée partage sa diversité génétique avec celle des autres populations testées et elle constitue un critère global d'évaluation de la diversité génétique. Dans la prise de décision sur le choix d'une population contribuant à la diversité, une information spécifique est nécessaire. Deux méthodes d'évaluation existent : celle de Weitzman et celle de *core set*. La première est un algorithme qui, basé sur les distances génétiques, permet de calculer l'importance relative d'une race dans la diversité totale d'un ensemble de populations (Weitzman, 1992 ; Thaon d'Arnoldi *et al.*, 1998) et sert donc à

évaluer la diversité inter-populations. La seconde, basée sur la consanguinité (Eding *et al.*, 2002 ; Eding et Meuwissen, 2001 ; Bennewitz et Meuwissen, 2005), vise à éliminer les similarités génétiques entre les lignées incluses dans l'ensemble de base, équivalant au coefficient de parenté, et peut servir à établir la diversité intra-population ou inter-populations. Un total de 72 races a fait l'objet d'investigations moléculaires afin d'estimer des distances génétiques (Larivière, 2009). La contribution à la diversité a été évaluée pour la moitié d'entre-elles avec soit la méthode Weitzman, soit celle de *core set*.

4.1. Diversité inter- et intra-population(s)

Dans un premier projet d'envergure (AVIANDIV), la comparaison de populations de poulets provenant de pays européens, à travers 22 locus, a d'abord été effectuée (Hillel *et al.*, 2003). Le génotypage sur des mélanges d'ADN pour 52 populations étudiées dont seulement 20 ont fait l'objet de typages individuels (Rosenberg *et al.*, 2001) a permis d'estimer le taux d'hétérozygotie pour chacune de ces populations. Les mesures de polymorphisme incluaient donc le nombre total d'allèles par locus (n_a) et l'hétérozygotie (H) attendue sous l'équilibre Hardy-Weinberg. Celles-ci étaient données pour chaque type et sous-type de populations qui se différenciaient par leur historique de sélection et leur environnement, et incluaient des lignées de poulet de chair et de poules pondeuses, commerciales et expérimentales, des races traditionnelles et des populations sauvages. Trois estimations de distance génétique étaient utilisées : la distance de Nei, la mesure d'accord de Cavalli-Sforza (CS) et la distance de Reynold (Rey). De plus, la distance de delta-mu-carré ($(\Delta\mu)^2$), basée sur la taille allélique et appliquée relativement aux valeurs de la distance génétique moyenne, renseignait sur la structuration de la diversité entre les populations (Golstein *et al.*, 1995).

L'étude a révélé que l'hétérozygotie observée variait de 0,05 à 0,64 avec une moyenne de 0,47 et que le nombre moyen d'allèles par locus présent et par population était de 3,5. Parmi les populations, les types sauvages tels que *Gallus gallus spadiceus* et les

rares non sélectionnées demeuraient les populations les plus polymorphes ($H = 0,62$ et $H = 0,56$ avec $n_a = 4,8$ et $n_a = 4,1$, respectivement). En revanche, une lignée expérimentale consanguine était la population la moins polymorphe ($H = 0,05$ et $n_a = 1,3$). Un déficit d'hétérozygotie plus élevé pouvait quand même être observé chez les populations de races anciennes telles que Houdan ($H = 0,22$; $n_a = 2,2$) et Padovana ($H = 0,17$; $n_a = 1,8$). Ceci était probablement lié à une fragmentation de la population en élevages de petite taille, ayant peu ou pas d'échanges de reproducteurs entre eux (effet Wahlund), ou bien à l'apport de gènes étrangers par croisement. En moyenne, les poules pondeuses étaient un peu moins polymorphes ($H = 0,45$ et $n_a = 3,4$) que les poulets de chair à croissance rapide ($H = 0,57$ et $n_a = 3,6$).

À l'intérieur des populations de poules pondeuses, les pondeuses à œufs bruns étaient les plus polymorphes. Les poules pondeuses White Leghorn à œuf blanc présentaient les niveaux les plus bas de toutes les lignées commerciales et étaient moins polymorphes que les autres races de pondeuses à œufs blancs. À l'intérieur des populations de poulets de chair à croissance rapide, des différences négligeables existaient entre les lignées maternelles et paternelles. Les races traditionnelles standardisées et sélectionnées sur la morphologie avaient des niveaux de polymorphisme variables, très élevés avec les races russes Yurlow et Orloff, et faibles avec la française Houdan et l'italienne Padovana. Les races traditionnelles ne s'aggloméraient pas en un seul groupe génétique. Par ailleurs, Muir et Cheng (2007) tel que cité par Muir et collaborateurs (2008) ont estimé que les lignées commerciales individuelles qui auraient perdu jusqu'à maintenant 70 % ou plus d'hétérozygotie, ne pourraient récupérer que seulement 25 % de cette perte, et ce en combinant toutes les réserves commerciales provenant de l'espèce poule.

5. Gestion génétique des populations (conservation *in vivo*)

Tout programme de conservation *in vivo* comporte un volet de gestion génétique des populations. La maximisation du nombre d'individus sains contribuant au réservoir génétique est requise pour réduire d'une part, le risque de perte d'allèle lié à la dérive

génétique (Wright, 1931) ne dépendant pas de la nature ou de la fonction des allèles et, d'autre part, des effets phénotypiques de la consanguinité (dépression) dépendant du caractère. En outre, des effets négatifs de la consanguinité (dépression), qui ont été démontré pour certains caractères comme la fertilité et/ou le taux d'éclosion (Cahaner *et al.*, 1980 ; Nordskog and Cheng, 1988 ; Flock *et al.*, 1991 ; Sewalem et Wilhelmson, 1999 ; Sewalem *et al.*, 1999 ; Szwaczkowski *et al.*, 2000).

Une étude portant sur la taille de population de 37 races locales de poulets conservés dans les institutions de cinq pays européens (Spanola *et al.*, 2007) a démontré que les taux de consanguinité estimés étaient relativement peu élevés ($\Delta F = 0,02-0,71$ % par génération). En revanche, ces coefficients sur 50 ans chez dix populations de races espagnoles, supposant des accouplements aléatoires, pouvaient atteindre 9 à 30 % (Campo *et al.*, 2009) et ceux chez quarante races traditionnelles belges étaient similaires (Larivière *et al.*, 2009). Dans le recensement de Tixier-Boichard (2003), les niveaux moyens estimés étaient très variables et pouvaient atteindre 99 % dans les lignées consanguines, avec une moyenne de 28 % pour 38 lignées. Selon Simon et Buchenauer (1993), les populations avec des taux de consanguinité de moins de 5 % courent le moins de risque de disparaître, entre 5 et 15 % sont potentiellement à risque, entre 25 et 40 % sont en danger et à plus de 40 % sont sous un statut critique.

De façon pratique, l'accouplement d'un mâle unique provenant d'un même élevage et qui serait accouplé à un grand nombre de femelles est à proscrire. Il faut maintenir un nombre de femelles constant avec un nombre de mâles aussi élevé que possible, effectuer une rotation de mâles entre les familles et assurer un renouvellement lent de ces coqs afin d'allonger l'intervalle de génération. Une stratégie collective à partir d'une station d'élevage commune organisant les échanges des mâles obtenus d'œufs à couvrir de chaque éleveur, serait privilégiée comme dans le cas de la race allemande Vorwerkhühner (photo 2). Toutefois, ce principe de faire circuler les coqs entre les éleveurs peut sembler utopique pour les collectionneurs qui ont des critères de sélection souvent très précis et ne choisiront pas le mâle provenant d'une exploitation voisine.

La mise en place d'un livre généalogique et l'enregistrement systématique de l'origine et des performances est une pratique pour laquelle une prime à l'élevage peut être octroyée mais demeure cependant peu fréquente

Photo 2 : La race allemande Vorwerkhühner : une gestion génétique rigoureuse à travers une rotation des coqs entre éleveurs amateurs afin de limiter la consanguinité (Erhaltungszuchtring Vorwerkhühner, 2009) (gracieuseté de Dr Elmar Titze).



en Europe. En effet, la tenue de tels registres comme la participation des éleveurs à des tests de performances en station est subventionnée par certaines provinces en Allemagne mais ne concerne que 5 % des éleveurs amateurs (Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, Germany, sans date). Sa faible popularité est due à l'effort requis pour la gestion de « nids trappes » assurant la filiation jusqu'à l'éclosion.

6. Cryopréservation (conservation *in vitro*)

Les récents épisodes de maladies, le réchauffement climatique, les guerres et le développement d'armes bactériologiques ont sensibilisé la FAO et les représentants des États sur la valeur des ressources génétiques utilisées pour la production alimentaire. La perte de ces ressources et les investissements à réaliser pour les reconstituer lorsqu'on les a perdues, oblige souvent un approvisionnement extérieur. La cryopréservation est une composante importante d'un programme de conservation et les techniques et méthodes qu'elle utilise pour préserver la diversité génétique de l'espèce poule sont d'un grand intérêt pour la communauté scientifique et l'industrie en général. Une sauvegarde du matériel génétique par la cryopré-

servation sécurisée de façon sanitaire les systèmes de production, conserve des génotypes originaux ou améliorés, en améliore leur diffusion ainsi que l'efficacité de la sélection. Les collections vivantes ne peuvent cependant pas être remplacées ou assurées par la cryopréservation (Delany, 2003) car même si des cellules, des tissus ou de l'ADN peuvent être conservés par une technique simple de congélation dans le nitrogène liquide, il demeure actuellement difficile ou impossible de recouvrir le matériel en un animal vivant. La cryopréservation des cellules germinales primordiales du blastoderme ou de l'embryon présente un potentiel mais celle pour la semence de coq est la seule technique faisable pour la préservation du plasma germinatif (Chalah *et al.*, 1999 ; Tselutin *et al.*, 1999 ; Blesbois, 2007).

6.1 Outils techniques disponibles à ce jour pour la congélation de la semence

Plusieurs études ont été effectuées pour standardiser les méthodes de préservation des spermatozoïdes chez les volailles (Lake, 1986 ; Bellagamba *et al.*, 1993 ; Surai et Wishart, 1996). Ces techniques consistent en des procédures de collecte de la semence, de congélation et décongélation (lente ou rapide) et, de conditionnement des paillettes ou d'ampoules. Les méthodes ont été étudiées chez d'autres espèces aviaires domestiques ou sauvages mais demeurent souvent moins réussies que celles utilisées chez le poulet avec une variabilité intra espèce très importante (Blesbois, 2007). Des estimations fiables et appropriées sont nécessaires pour optimiser la gestion de la semence congelée. La qualité de cette dernière à l'état frais est mesurée par des paramètres morphologiques, métaboliques et des tests de motilité. Une évaluation plus spécialisée telle que la fluidité membranaire des spermatozoïdes indiquera la faculté des gamètes à être congelés. Des différences importantes existent entre les substances cryoprotectrices et les méthodes utilisées sur l'efficacité de la cryopréservation (Tselutin *et al.*, 1999). La comparaison d'un large spectre de diluants combiné à des vitesses de congélation différentes pour conserver la semence de coq de races locales, a également montré des variations inter raciales significatives pour la viabilité et la morphologie des spermatozoïdes (Siudzinska et Lukaszewicz, 2008).

De plus, la capacité à obtenir un poussin afin de restaurer une race ou une lignée à partir de sperme congelé est également très importante d'une souche à l'autre, avec un taux de réussite compris entre 7 et 68 % (Blesbois *et al.*, 2007).

6.2. Outils techniques en développement

La taille énorme et la structure complexe de l'embryon aviaire (40 000-60 000 cellules au moment où l'œuf est pondu) nécessitent une stratégie différente de celle des embryons de mammifères pour la cryopréservation. En effet, chez l'oiseau, seuls les gamètes mâles (sexe homogamétique avec chromosomes Z et Z) peuvent être préservés, parce que ceux de la femelle (sexe hétérogamétique avec chromosomes Z et W) sont des ovocytes chargés sur le jaune de l'œuf, et ne peuvent pas être congelés. Or, la préservation d'une race ou d'une lignée nécessite la contribution des deux sexes. Les chimères peuvent alors servir d'intermédiaires pour reconstituer des lignées germinales congelées dans le nitrogène liquide. Les techniques s'effectuent par transfert de cellules du blastoderme (œuf fertile) ou de cellules germinales primordiales provenant du sang (CGPs) ou de gonades (CGPg) (Naito, 2003).

L'évaluation du chimérisme pour toutes ces méthodes se base sur la transmission des gènes de la couleur du duvet en utilisant le croisement d'une race White Leghorn (WL), homozygote dominant au locus *I* (blanc dominant) et d'une race Plymouth Rock barré (PRB), homozygote récessif pour l'allèle *i* (non blanc). Plusieurs embryons chimères mourant durant l'incubation se distinguent donc par le duvet noir propre au poussin PRB (*ii*), alors que le duvet jaune est typique de la WL (*II*). Des embryons chimères mâles survivant à l'éclosion (PRB/WL) sont ensuite accouplés à plusieurs poules de race PRB pour tester la transmission du phénotype PRB. Lorsque des poussins de phénotypes PRB (non blancs) sont produits, cela démontre que les cellules sont capables de s'incorporer dans la lignée germinale transférée (Petitte *et al.*, 1990). Cette conclusion peut être vérifiée par empreintes génétiques de l'ADN provenant du sang ou de la semence.

6.2.1. Cryopréservation de cellules du blastodisque (CB)

En bref, les cellules donneuses d'embryons, indifférenciées d'un blastodisque au stade X (Eyal-Giladi et Kochav, 1976), sont transférées dans des cellules hôtes au même stade de développement (Naito *et al.*, 1992 ; Petitte *et al.*, 1993 ; Kino *et al.*, 1997). Cette procédure est décrite dans la figure 4.

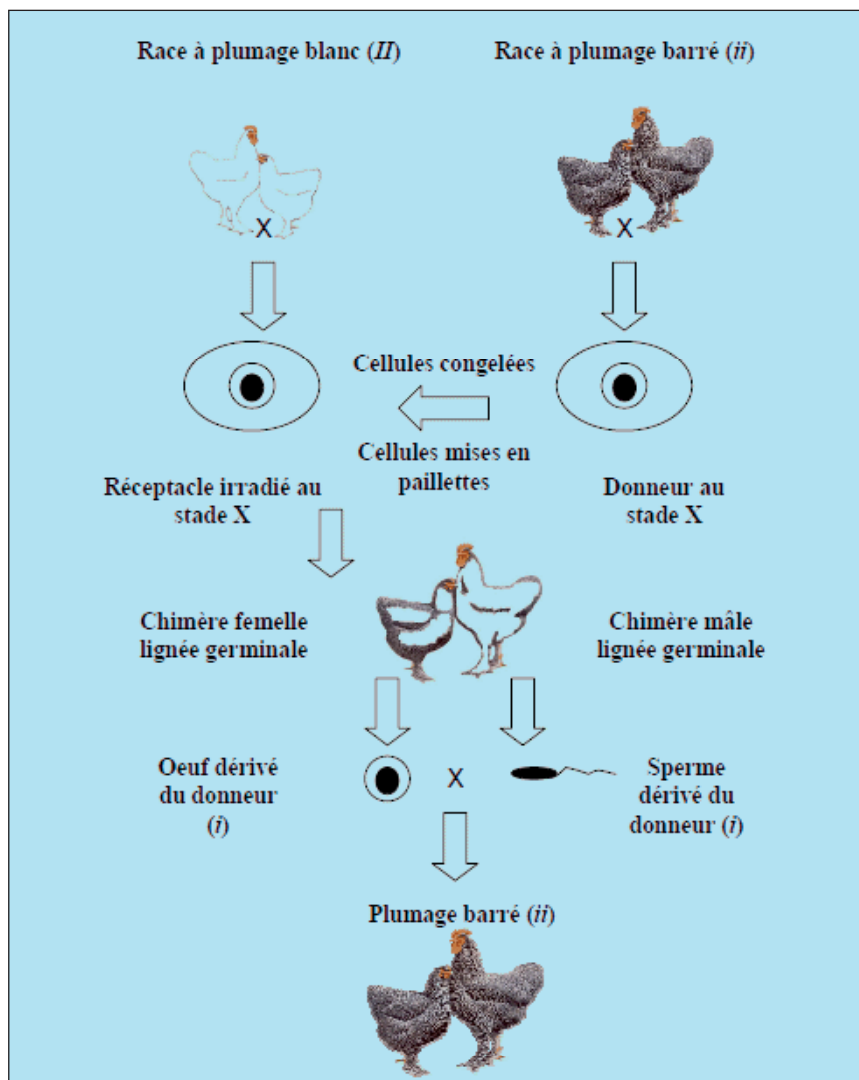
Quelques 500 cellules d'une race donneuse (PRB) sont transférées dans les embryons d'une race hôte (WL). Ceux-ci sont irradiés et incubés jusqu'à éclosion. Les poussins chimères qui en résultent (mélange de cellules donneuses et hôtes) arrivent à maturité normalement et l'accouplement de ces chimères entre elles produit des gamètes dérivées de cellules donneuses qui donneront une progéniture avec le génotype complet du donneur (PRB) à un taux de fréquence des gamètes donneuses dérivées de chacun des parents chimériques donneurs (Kino *et al.*, 1997) allant jusqu'à 100 % (Petitte *et al.*, 1990 ; 1993 ; Carsience *et al.*, 1993 ; Thoraval *et al.*, 1994 ; Kagami *et al.*, 1995).

Avec la mise en paillettes et la congélation des cellules, 10 % des chimères testées par accouplements provenaient de lignées germinales et 5-7 % de la progéniture était dérivée de la race donneuse (Kino *et al.*, 1997). Par contre, avec des cellules fraîchement prélevées et transférées dans des embryons hôtes, plus de la moitié (56,3 %) étaient des chimères de lignée germinale et plus de 30 % de la progéniture était dérivée de la race donneuse.

6.2.2. Cryopréservation des cellules germinales primordiales isolées du sang d'embryons

La cryopréservation des cellules germinales primordiales isolées du sang d'embryons (CGPs) a été réalisée par Naito et collaborateurs (1994). Brièvement, la technique consiste à prélever le sang d'embryons aux stades 13-15 (Naito, 2003). Les CGPs sont concentrées par centrifugation et congelées dans le nitrogène liquide. La viabilité de CGPs fraîchement prélevées varie entre 94 et 100 %. Une centaine de cellules sont alors injectées dans le système circulatoire d'embryons hôtes stérilisés (PRB ou WL, stades 14-15). Les embryons sont transférés dans des oeufs hôtes et mis en culture jusqu'à éclosion (Perry,

Figure 4 : Diagramme de la cryopréservation du blastodisque aviaire et reconstitution, d'après Reedy et collaborateurs (1995) tel que cité par Delany et collaborateurs (1999).



1988 ; Naito *et al.*, 1990). Les poussins seront élevés et accouplés avec la race PRB. Le taux de récupération de poulets obtenus par chimérisme de lignée germinale est de 90 % et une progéniture issue de la race donneuse, de CGPs congelées et mises en paillettes, est de 0,9-26 % (Naito, 2003).

6.2.3 Cryopréservation des cellules germinales primordiales isolées des gonades d'embryons

L'application de la cryopréservation à partir de tissus testiculaires (CGPg) a été réalisée par Tajima et collaborateurs (1998). Des œufs fertiles de WL sont incubés pendant 5 jours et des embryons sont isolés du jaune. Les gonades sont prélevées et congelées dans le nitrogène liquide. Une centaine de CGPg sont transplantées dans le système circulatoire d'embryons

hôtes (PRB). Les poussins sont élevés et accouplés à la race PRB. Le taux de récupération des chimères est d'environ 75 % et celui de la progéniture dérivée des donneurs est de 3-18 % (Naito, 2003).

6.3 Cryobanques existantes et facteurs à considérer pour leur mise en place

La congélation de la semence de coq dans le monde est réalisée par trois cryobanques opérant aux Pays-Bas, en France et en Amérique du Nord et ne sert en Europe que pour des lignées expérimentales, des génotypes individuels spécifiques et des races traditionnelles (Blesbois, 2007). Ces dernières comptent une douzaine de races (Larivière, 2009). Le coût pour la collecte de la semence de races locales

de poulet apparaît comme le facteur le plus limitant. La cryopréservation apporte un complément et une assurance aux « programmes en ferme » (conservation *in vivo*) avec l'objectif de rationaliser les collections vivantes. Outre le support financier, les difficultés actuelles dans l'établissement de cryobanques aviaires incluent le manque d'une procédure efficace adaptée pour les mâles hypofertiles, l'hétérogénéité du statut sanitaire des populations et les risques possibles de transmission de maladies par la semence. Les programmes de cryopréservation dans l'avenir mettront l'accent sur trois objectifs: l'amélioration de l'évaluation des mâles dont la semence serait destinée à la congélation, le développement de méthodes de congélation pour des espèces autres que le poulet et la mise en place d'un plus grand nombre de cryobanques aviaires (Delany, 2003).

7. Gestion sanitaire des troupeaux et des cryobanques

Il existe des précautions sanitaires à prendre pour la constitution d'une cryobanque ou celle d'un noyau d'élevage, cette dernière exigeant des efforts plus réguliers. Un programme de prévention dans la conservation *in situ* ou *ex situ* à travers le dépistage d'agents pathogènes, l'assainissement des troupeaux à statut sanitaire inconnu et l'éradication des maladies doit être implanté afin d'éviter la transmission verticale (de la mère à l'œuf ou de la semence du père à l'œuf) et horizontale de maladies infectieuses. Pour la cryopréservation ou la création d'un noyau de sélection, les troupeaux de parentales sont soumis à des contrôles sérologiques utilisant des antigènes spécifiques tels que *Mycoplasma gallisepticum*, *Mycoplasma synoviae* et *Salmonella gallinarum pullorum* (Blesbois *et al.*, 2007). Lorsqu'un résultat sérologique est positif, les parentales sont traitées à répétition, parfois sur quelques générations, avec différents traitements anti-infectieux dans l'eau de boisson. L'alternance de ces produits pour le traitement est nécessaire car certains pathogènes sont hautement sensitivo-chimiques (Cerdeira *et al.*, 2002). Les œufs d'incubation sont désinfectés et traités avec un antibiotique à 8 jours d'incubation. L'absence d'agents infectieux est testée après l'éclosion. Les traitements et les dépistages continuent au cours de l'élevage. Compte tenu de la grande

sensibilité de l'espèce *Gallus gallus* aux virus *influenza*, les États membres de l'Union Européenne ont l'obligation de mettre en place des mesures de surveillance contre les sous types H5 et H7. Les contrôles sérologiques testeront les anticorps et une élimination de cheptels en cas de résultats positifs sera effectuée. Des échantillons d'excréments seront analysés pour les endoparasites. Un programme de vaccination assurera une prévention contre les maladies importantes. Le suivi sanitaire des races traditionnelles conservées *in situ* qui est généralement très incomplet, représente un risque réel de disparition de ces populations en cas de maladies contagieuses.

8. Perspectives pour la valorisation des races traditionnelles

8.1 Opportunités pour la recherche

Les généticiens recherchent des gènes influençant la production, la qualité des produits, la résistance aux maladies et la reproduction des volailles. À travers cette quête, l'analyse d'une grande diversité de races et de croisements de poulets présentant des caractéristiques extrêmes est requise pour garantir un haut degré d'hétérozygotie et de déséquilibre de liaison, afin de détecter les associations entre les marqueurs d'un locus hautement polymorphe et celui d'un caractère quantitatif ou qualitatif désiré. L'identification de certaines mutations chez ces races peut servir de modèle pour la biologie et la recherche biomédicale. En effet, les gènes du plumage barré (*B*) et non-barré (*b*) sont utilisés comme modèle d'étude des maladies pigmentaires de la peau chez l'humain (Bowers *et al.*, 1994). Ces gènes de coloration du plumage liés au sexe, permettent aussi de sexer les poussins à un jour par la couleur du duvet substituant le sexage par voie anatomique, qui exige une main-d'œuvre qualifiée et coûteuse.

Le gène absence de queue (*Rp*), caractérisé par le manque de vertèbres coccygiennes et observé en outre chez le Barbu de Grubbe (photo 3), procure un modèle utile pour étudier les déviations de la colonne vertébrale (scoliose polygénique aviaire) chez l'embryon de poulet (Rucker *et al.* 1986 ; Mochida *et al.* 1993).

Les gènes barbe et favoris (*Mb*), huppe (*Cr*) et targes emplumées (*Pti*) causant des variations pléiotropiques dans la disposition des plumes permettent

l'étude de la morphogénèse, la pathogénèse et l'éthologie, affectant souvent le comportement et la viabilité (Bartels, 2003). Par exemple, la masse de plumes des races barbues ou huppées aveugle, dans certains cas, les sujets, les rendant craintifs, parfois même incapables de se reproduire ou d'accéder aux aliments. De plus, cela les rend particulièrement sensibles à l'humidité et aux salissures, favorisant ainsi l'apparition de certaines maladies respiratoires ou mycosiques (Coquerelle, 2001). Les indices comportementaux des génotypes issus du nanisme (*dw*) suggèrent toutefois que le bien-être des reproductrices poulet de chair, soumis à des restrictions alimentaires, serait amélioré (Jones *et al.*, 2004).

L'utilité du gène cou-nu (*Na*) chez la race hongroise Cou-nu de Transylvanie (photo 4), comme celui de l'absence de plumes (*Sc*), du plumage frisé (*F*) ou du nanisme lié au sexe (*dw*) a été démontrée à travers des stratégies de prévention contre les stress de chaleur (Mérat, 1984 ; Cahaner *et al.*, 1993 ; 2003 ; Mathur, 2003 ; Lin *et al.*, 2006 ; N'Dri *et al.*, 2006). Cette tolérance inhérente à la chaleur du gène *dw* demeure toutefois incertaine chez la poule pondeuse (Decuyper *et al.*, 1991).

Certaines études ont démontré la faible diversité génétique chez des races anciennes de volailles consanguines mais une diversité plus élevée chez des populations non commerciales, ce qui est corrélé avec le type de gestion des populations étudiées (Hillel *et al.*, 2003 ; Granevitze *et al.*, 2007). En revanche, le pool génétique des races traditionnelles est plus diversifié que celui des lignées commerciales et constitue une réserve de variabilité susceptible de permettre l'identification de mécanismes de résistance à certaines maladies. Bien qu'il ait été proposé que les races traditionnelles de poulet étaient moins susceptibles aux infections causées par H5N1 (*influenza aviaire* hautement pathogénique) et d'autres virus comme celui de la maladie de Newcastle, aucune étude expérimentale n'a jusqu'à maintenant démontré cette suggestion qui demeure anecdotique. Cela ne donne donc pas une réponse concluante sur une plus grande résistance des races locales de poulets à des souches virales hautement pathogéniques.

Parallèlement aux niveaux de fertilisants et de concentrés utilisés dans

Photo 3 : La race belge Barbu de Grubbe, caractérisée par l'absence de vertèbres coccygiennes (gracieuseté des Éditions Komet)..

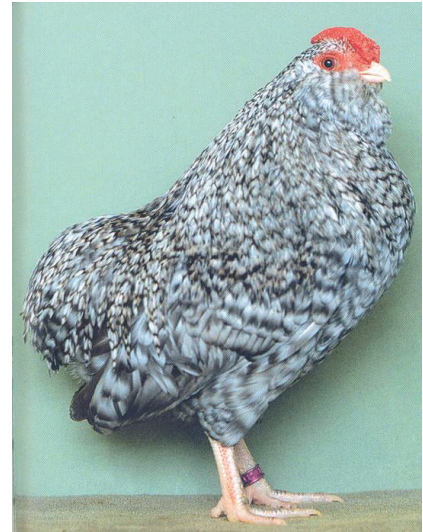


Photo 4 : La race hongroise Cou-nu de Transylvanie, étudiée et utilisée pour sa thermorésistance (gracieuseté des Éditions Komet).



les systèmes à hauts investissements et rendements, la fréquence des traitements vétérinaires à des fins préventives et cliniques est parfois très élevée. La résistance des agents pathogènes à certains médicaments peut s'accompagner d'infections chroniques amenant une consommation plus élevée en aliment (Mathis et McDougald, 1982 ; Chapman, 1989 ; Stephan *et al.*, 1997) ou une vulnérabilité plus grande aux épidémies (Poppe *et al.*, 1998 ; Wang *et al.*, 2007). De nouvelles maladies pourraient aussi apparaître suite à l'échange grandissant de matériel biologique à travers les régions du monde et des possibles changements climatiques. Parmi les autres changements en production, la suppression d'anticoccidiens comme additifs alimentaires est annoncée

pour 2012 avec le règlement européen 1831/2003 (Commission Européenne, 2009). Les coccidies qui sont des protozoaires parasites omniprésents exposent les poulets à un risque permanent de coccidiose ou de cryptosporidiose engendrant une chute du gain de poids et une augmentation des indices de consommation. La seule alternative efficace actuellement disponible serait un vaccin vivant atténué dont le coût en limite l'utilisation à certains types de production. D'autres alternatives aux anticoccidiens sont recherchées dans le cadre de systèmes de production raisonnée de développement durable. Dans ce contexte, la contribution de races ou de souches de poulets possédant une résistance naturelle à des parasites internes (Pinard-Van der Laan, 1998 ; Permin et Ranvig, 2001) n'est pas négligeable. De plus, les enjeux de ces nouvelles réglementations imposant de nouveaux systèmes de production soulèvent la question de l'adaptation des souches actuelles qui auraient toujours évolué dans un environnement intensif. Ces nouveaux systèmes permettant aux poules des comportements dits naturels amènent des inconvénients pour la pathologie et l'hygiène de l'œuf. Ces systèmes avec parcours extérieur pourraient favoriser l'utilisation de races présentant des aptitudes intéressantes concernant les phénomènes d'interaction génotype-environnement. Toutefois, les caractères comportementaux tels que l'agressivité et le cannibalisme se développant à une certaine densité d'animaux doivent être également pris en considération.

Enfin, des paires de lignées ou de races, ayant des caractéristiques génétiques similaires ou un même historique génétique, peuvent être comparées d'un point de vue de la biologie ou de la détection de *quantitative trait loci* (QTL) pour l'identification de gènes. Les nombreuses mutations peuvent également servir à mieux connaître l'historique des races. Les collaborations de recherche scientifique sont des arguments forts pour maintenir les populations ou leur semence qui peuvent être échangées afin d'être conservées sur deux sites différents. Prioriser la conservation d'un pool de mutations présentes dans une ou deux races plutôt qu'un ensemble de races serait plus facile.

8.2 Valeurs socio-économiques des races traditionnelles

Les races traditionnelles de poulet

assurent, dans plusieurs pays, la principale source de revenu dans des régions où les systèmes à hauts niveaux d'investissements et de rendements ne sont pas possibles. Ces dernières sont utilisées par des petits groupes de fermiers parfois pour des raisons spéciales (ex : production biologique) ou des utilités particulières (ex : produits locaux pour marchés niches). Elles créent également un revenu pour les populations humaines de zones rurales moins développées.

8.2.1 Opportunités pour répondre aux demandes futures des marchés

Les systèmes industriels pour la viande de volaille et les œufs comptent respectivement pour 67 % et 50 % des systèmes de production actuels en Europe (Food and Agriculture Organization, 2007). L'uniformisation des modes de production et celles des modes de consommation peuvent constituer une menace pour la biodiversité. La demande pour des aliments spécialisés alternatifs (label, bio...) dans les pays industrialisés augmente et résulte en une diversification de la production et des produits avicoles. Cette prospérité dans ces pays à haut niveau de vie permet sans doute l'expansion de l'élevage amateur et peut résulter en une variabilité génétique de l'espèce, alors que les quelques races traditionnelles utilisées dans des systèmes de production à hauts investissements et rendements ne suffisent pas pour rencontrer ces demandes du marché futur. Il est intéressant de noter que 54 % de l'accroissement de la production carnée pour 2008 provient de la viande de volaille. Une prévision récente de la production avicole mondiale pour cette même année se chiffre à 93 millions de tonnes, ce qui constitue presque 4 % de plus que l'année précédente (Food and Agriculture Organization, 2008).

8.2.2 Valorisation économique des races

La valorisation économique des races est un processus où interfèrent des facteurs sociaux, technico-économiques, zootechniques, génétiques, sanitaires et réglementaires (Tixier-Boichard *et al.*, 2006). La motivation initiale d'un plan de valorisation, avec la volonté collective de sauvegarder la race, passe par l'appui d'une structure de type « Chambre d'Agriculture » (en France), la mise en place d'une micro-filière et le choix du signe de qualité avec le dépôt d'une marque commer-

ciale. Maintenir une race locale implique la mise en œuvre d'un programme de sélection dont le but est défini préalablement avec une information sur la généalogie et l'implantation de règles sanitaires strictes. De plus, la productivité amenée par les anciennes méthodes d'élevage n'est pas suffisante pour garantir le maintien d'une race. Certaines races traditionnelles (Ardennaise (photo 5), Bourbonnaise) sont utilisées en croisement avec une femelle parentale d'une souche label à croissance lente pour la production d'un poulet de chair. D'autres races anciennes, telles que la Vorwerkhühner (Allemagne), sont utilisées en croisement avec une lignée commerciale de poule pondeuse. L'hybride possède alors des performances de ponte acceptables pour les poules (260 œufs, 62 grammes de poids d'œuf) et un potentiel de croissance modéré pour les mâles (poids vif de 1420 g à 16 semaines avec un rendement de carcasse de plus de 70 %) (Kollbecksmoor Huhn Hähnchen, 2009). Même s'il y a parfois une ambiguïté entre l'usage du nom de la race et l'utilisation de la race en pur ou en croisement, il n'en demeure pas moins que dans les deux cas, le but visé de maintenir une race est atteint.

8.2.3 Aspects réglementaires et outils de protection des produits

Les activités de sélection avicole s'exerçaient en totale liberté pour le choix des races car, en France par exemple, les espèces avicoles n'étaient pas visées par la loi sur l'Élevage de 1966. En 2006, cette loi a été rem-

Photo 5 : La plus ancienne race de Belgique, l'Ardennaise, avec une population de moins de 700 sujets, est menacée de disparition (Larivière et Leroy, 2007) (gracieuseté des Éditions Komet).



placée par la loi sur l'Orientation agricole qui concerne les volailles pour les mesures concernant les ressources génétiques seulement, mais pas la sélection. En outre, il n'existe pas de système de protection juridique des races animales dans les lois communautaires au niveau communautaire européen. Communiquer et attester de l'authenticité d'une race et de ses produits par son standard et son extension géographique permet de revendiquer la race et sa propriété. Les animaux qui constituent la ou les lignées du troupeau de reproducteurs de la race choisie appartiennent donc à l'association ou au syndicat qui aurait instruit un dossier même s'il manque un outil juridique pour protéger les noms de races de poules actuellement (Tixier-Boichard *et al.*, 2006). Les stratégies de protection technologique et les pratiques contractuelles plutôt que celles liées aux droits de propriétés intellectuelles ont dominé dans le secteur avicole commercial jusqu'à présent. Même si les brevets ne jouent pas vraiment un rôle dans la sélection des races de volailles, cela pourrait changer dans le futur, notamment pour la résistance aux maladies (Hoffmann, 2005).

Enfin, la certification de l'origine des viandes étant une préoccupation majeure pour les consommateurs, les producteurs et les distributeurs, il est important que les fraudes dues à la vente sous une fausse dénomination puissent être détectées par la mise en place de systèmes analytiques de discrimination. Les marqueurs moléculaires peuvent être utilisés pour attester de l'origine du produit d'une race et permettent le contrôle de filiation ou de traçabilité de l'élevage à l'assiette du consommateur. Cependant, une technique d'authentification par spectrométrie dans le proche infrarouge sera plus efficace pour contrôler l'authenticité des produits issus de carcasses de poulets à croissance lente, valorisés pour une qualité particulière avec un différentiel de prix important, de ceux issus de souches industrielles à croissance rapide (Fumière *et al.*, 2000).

8.2.4 Démarches de qualification des produits

Sur 238 races répertoriées (Larivière, 2009), 64 sont à vocation de ponte, 55 sont à vocation chair, 69 sont utilisées pour les deux productions et 50 sont uniquement des races de loisir.

Leurs produits qui ne sont pas tous certifiés ont souvent un avantage compétitif, basé notamment sur la qualité différenciée, par rapport à des produits industriels parce qu'ils sont partiellement exclus d'une stratégie basée uniquement sur le prix. Par ailleurs, ces démarches actuelles concernent davantage la viande que les œufs. Une vente directe à la ferme peut également dynamiser la démarche de valorisation. Pour la chair, les démarches de qualification sont les suivantes :

8.2.4.1 L'appellation d'origine contrôlée et l'appellation d'origine protégée

L'appellation d'origine contrôlée (AOC) est un signe officiel français qui garantit l'origine de produits alimentaires traditionnels français et qui fait partie des appellations d'origine protégée (A.O.P.). Celles-ci ne sont ni des marques commerciales, ni des modèles déposés, mais des certifications officielles de qualité délivrées par un organisme dépendant d'un ministère et sanctionnées par un service de répression des fraudes. Les AOC identifient un produit, l'authenticité et la typicité de son origine géographique. Elles sont garantes de ses qualités et de ses caractéristiques, de son terroir d'origine, du savoir-faire du producteur, de l'antériorité et de la notoriété d'un procédé et d'une dénomination qui sont trop anciens pour faire l'objet d'un brevet. La quantité et le contrôle d'étiquetage des produits répondent à un cahier des charges validé par un institut des appellations d'origine dépendant du ministère de l'agriculture. Aujourd'hui, une quinzaine de races possèdent ce signe de qualité. Par exemple, la volaille de Bresse bénéficie de cette appellation depuis 1957 et représente la première démarche délivrée pour un produit carné en France (Verrier *et al.*, 2005). La zone de production définie pour l'obtention d'une AOC (la Bresse) est née de la volonté de réserver le nom à une seule variété (blanche) d'une race (Gauloise) élevée dans une zone géographique délimitée. Particulièrement bien aboutie, cette initiative a permis de développer une filière aujourd'hui florissante.

8.2.4.2 L'indication géographique protégée

L'indication géographique protégée (I.G.P.) est un signe d'identification

européen qui est attribué aux produits spécifiques portant un nom géographique et lié à leur origine géographique. Il permet la protection de ceux-ci dans toute l'Union européenne et défend les noms géographiques et est une manière de déterminer l'origine d'un produit. Au plan réglementaire, en France, depuis le 1^{er} janvier 2007, l'indication n'est plus nécessairement couplée à un Label Rouge ou à une Certification de Conformité Produit (CCP). La définition du cahier des charges est une étape cruciale pour garantir la qualité mais aussi distinguer une race ancienne d'une autre. Toutefois, le règlement communautaire n° 2080/92 ne permet plus à un produit sous I.G.P. de porter le nom d'une race animale. L'alternative, qui consisterait à débaptiser une race au profit du produit, est très mal perçue par les éleveurs car elle ne respecte pas le caractère patrimonial du nom de la race. Environ six races françaises et une espagnole possèdent cette appellation à l'heure actuelle, du fait des dispositions antérieures au règlement 2081/92.

8.2.4.3 Le label

La production de volailles « sous label » est une spécificité française initiée en 1967 avec la création du Label Rouge, garantissant un niveau de qualité supérieur du produit, en utilisant un type génétique différent du poulet standard mais ne reposant pas sur l'idée de valoriser la diversité et les ressources génétiques. Le système repose sur un âge élevé à l'abattage de 81 jours, l'utilisation spécifique de souches à croissance lente, une alimentation à base de céréales et l'accès à un parcours extérieur. Par exemple, l'État français, par le biais de l'Institut national de l'Origine et de la Qualité (INAO), attribue le label à un organisme de défense et de gestion (ODG) représentant une filière collective. À toutes les étapes de la production et de l'élaboration, le produit Label doit répondre à des exigences définies dans un cahier des charges homologué. Le respect de ce dernier par les opérateurs est contrôlé régulièrement tout au long de la production par des organismes certificateurs indépendants et impartiaux. Des tests organoleptiques sont aussi réalisés régulièrement pour démontrer la qualité gustative du produit qui doit être toujours supérieure à celle des produits courants de même nature. Le poulet certifié Label Rouge

est devenu emblématique et a atteint une place économique de premier rang en France, avec une part globale du marché de 30 % et d'une part de marché de 62 % en poulet entier prêt à cuire (Magdelaine *et al.*, 2008). La spécificité d'une race ancienne et du travail lié à la préservation de cette race est en revanche mal reconnue par le label. Les organismes gérant sept races françaises et une seule race belge de poulet ont adhéré à ce type de démarches de qualifications de leurs produits.

8.2.4.4 Intérêt du Slow food pour le développement des races locales

Slow Food également connu sous le nom de « écogastronomie », est une association internationale à but non lucratif, fondée à Paris en 1989, et reconnue par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Slow Food, 2009). Le mouvement cherche à préserver la cuisine régionale, les races animales et les espèces végétales en danger d'extinction ainsi que les techniques agricoles qui lui sont associées. L'objectif étant de développer un modèle d'agriculture moins intensif, moins nocif et moins nuisible pour l'environnement, capable de préserver et d'améliorer la biodiversité et d'offrir aussi des perspectives pour les régions moins prospères.

8.3 Valeurs culturelles et historiques

Beaucoup de races anciennes sont le résultat d'une longue période de domestication et d'adaptation au climat local. Elles reflètent une longue histoire de symbiose entre l'homme et l'animal de ferme ou celui de la basse-cour et peuvent aider à clarifier les processus d'adaptation, pouvant être utiles dans la gestion des systèmes de production des cheptels actuels. En général, l'histoire des populations rurales est documentée et peut être considérée comme une propriété culturelle avec une vocation pour l'éducation pouvant illustrer la façon de vivre de l'homme dans le passé. Ainsi on accorde une valeur historique de la race « Scots Dumpy » (photo 6) sur base d'évidences archéologiques qui ont permis de démontrer qu'une race à courtes pattes existait déjà en Grande-Bretagne au 11^e siècle (Rare Breed Survival Trust, 2009). Doter le produit d'un signe de qualité ou d'origine revient à le distinguer en

Photo 6 : La Scots Dumpy, conservée aujourd'hui pour sa valeur patrimoniale dans l'un des nombreux parcs animaliers de Grande-Bretagne (Rare Breed Survival Trust, 2009) (gracieuseté de Caithness Rare Breeds).



reliant la race pure à un terroir et à son histoire afin de satisfaire la quête culturelle du consommateur. Les programmes de conservation en ferme dans le monde anglo-saxon sont fortement encouragés par une législation nationale permettant un allègement fiscal et encourageant l'investissement de commanditaires privés dans des « fermes-écoles » ou des parcs animaliers. Dans les pays latins, des projets associatifs entre les conservatoires, les parcs naturels et les domaines du tourisme, de la muséologie et des accueils champêtres font également

leur chemin. Ces derniers servent souvent d'intermédiaires entre l'éleveur et le consommateur.

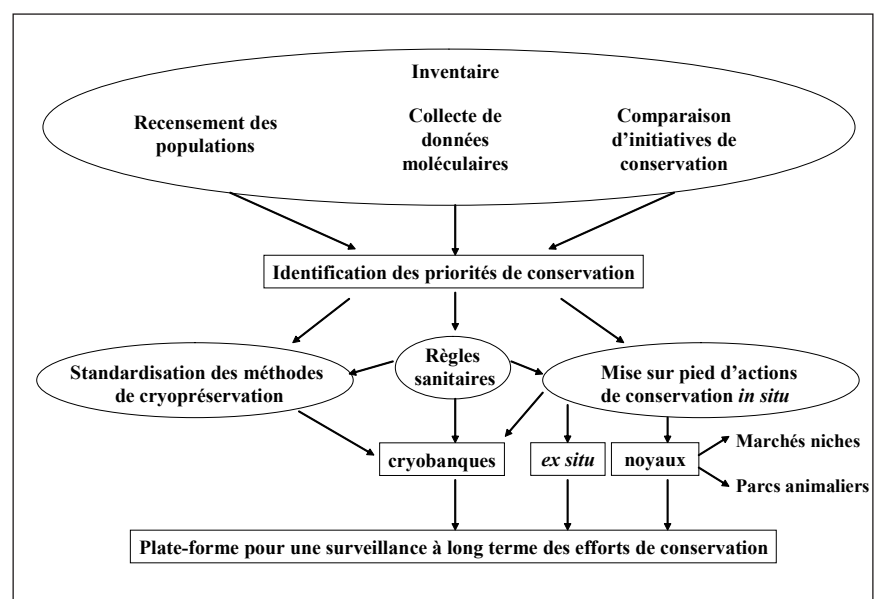
DISCUSSION ET CONCLUSION

À la lumière des initiatives naissantes ou réalisées récemment et mettant en valeur de nouvelles perspectives, le besoin d'une stratégie intégrée pour la conservation des ressources génétiques du poulet en Europe est nécessaire afin de rassembler les éleveurs amateurs, la communauté scientifique et l'industrie (figure 5).

Dans l'avenir, il serait donc intéressant d'étoffer certaines données par de plus amples analyses, notamment par un recensement à jour des populations ainsi que la collecte de données moléculaires complémentaires, en comparant les initiatives de conservations non répertoriées ou en déploiement. En effet, plusieurs rapports nationaux et internationaux font état d'un statut précaire pour les ressources génétiques de l'espèce poule. De plus, l'évaluation préliminaire de la diversité génétique par les données moléculaires indique que sa variabilité au niveau du génome serait inférieure à celle des autres espèces domestiques.

Il serait également judicieux d'identifier les priorités en conservation pour procéder à une standardisation de méthodes de cryopréservation avec l'établissement de règles sani-

Figure 5 : Développement d'une stratégie intégrée pour la conservation de la diversité génétique du poulet en Europe (Larivière *et al.*, 2007).



taires et la mise sur pied d'actions de conservation *in situ*, encourageant une démarche dynamique de valorisation et mettant en avant-plan la protection des ressources. La mise en place de cryobanques additionnelles assurant une sauvegarde systématique de la semence serait complémentaire afin de prévenir la perte accidentelle due à des catastrophes. Des alternatives *ex situ* ainsi que l'établissement de noyaux d'élevage sains approvisionneraient les marchés niches et les parcs animaliers. Les programmes en ferme seraient encadrés par une gestion génétique et économique, contribuant à l'enseignement scientifique et culturel, au développement sociétal et à l'économie rurale.

Enfin, la diversité génétique du poulet et la grande variété des produits de qualité réfèrent à différentes origines culturelles et géographiques, représentant une richesse pour l'Europe et le Monde. La conservation est une œuvre collective faisant intervenir de nombreux partenaires dont il importe de coordonner les actions afin d'assurer la pérennité des ressources et transmettre cet héritage aux générations futures. Il serait donc intéressant de poursuivre l'élaboration d'une stratégie intégrée qui fournirait globalement des outils de coordination à long terme pour la conservation des ressources génétiques avicoles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les membres du groupe de travail en génétique et reproduction (WG 3) de la branche européenne de l'Association mondiale des Sciences avicoles (WPSA) qui ont contribué par leur réflexion et leur sou-

ten à l'initiation d'un projet communautaire sur une stratégie intégrée pour la conservation des ressources génétiques du poulet en Europe : Michèle Tixier-Boichard (Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, France), Steffen Weigend (Centre Fédéral de Recherche en Agriculture, Allemagne), Paul Hocking (Institut Roslin, Grande-Bretagne), Luigi Guibono Cavalchini (Université de Milan, Italie), Sipke Joost Hiemstra (Université et Centre de Recherche de Wageningen, Pays-Bas), Poul Sørensen (Centre de Recherche de Foulum, Danemark), Stanislas Wecyk (Institut National de Recherche sur les Productions Animales, Pologne), Antony Brodacki (Université Agricole de Lublin, Pologne), Agathe Vieaud (Institut National de la Recherche Agronomique, France), András Hidas (Institut de Recherche en Reproduction et en Nutrition Animale, Hongrie), Badi Besbes (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Italie), Bernard Coudurier (Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquicoles Français, France) et Dawn Teverson (Rare Breed Survival Trust, Grande-Bretagne).

ABSTRACT

Conservation and enhanced utilization of chicken genetic resources in Europe: initiatives and perspectives

Chicken (*Gallus gallus domesticus*) genetic diversity is made up of a range of populations: experimental lines, commercial stocks

and traditional breeds. These were developed over many centuries and the rise of intensive genetic selection for production traits led to specialized lines for meat or eggs. Although ancient chicken breeds are still highly connected to cultural values, geographical origins and adapted to local environments, many of them have undergone a major decrease in their population size, thus erosion of their genetic diversity. Socio-economic changes, liberalization of markets for industrial animal products, urbanisation, political instabilities, wars, natural disasters, poorly monitored sanitary status and the additional risk of epidemic outbreaks such as Avian influenza has led ancient breeds, to a risk of extinction. Awareness of the need to conserve such resources has increased and created an urgent need to coordinate efforts for inventory, evaluation and preservation of chicken diversity. A review of these initiatives is overviewed to understand the importance of settled conservation programmes in Europe. Moreover, perspectives offered by some traditional breeds through their phenotypic and genetic characterization, toward enhanced utilization, are presented.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTELST. Variations in the morphology, distribution, and arrangement of feathers in domesticated birds. *J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.)*, 2003, **298B**, 91-108.
- BEAUMONT C., MILLET N., LE BIHAN-DUVAL E., KUPI A., DUPUY V. Genetic parameters of survival to the different stages of embryonic death in laying hens. *Poult. Sci.*, 1997, **76**, 1193-1196.
- BELLAGAMBA F., CEROLINI S., CAVALCHINI L.G. Cryopreservation of poultry semen : a review. *World's Poult. Sci. J.*, 1993, **49**, 157-166.
- BENNEWITZ J., MEUWISSEN T.H.E. A novel method for the estimation of the relative importance of breeds in order to conserve the total genetic variance. *Genet. Sel. Evol.*, 2005, **37**, 315-337.
- BESBES B., DUCROCQ V., FOULLEY J.L., PROTAIS M., TAVERNIER A., TIXIER-BOICHARD M., BEAUMONT C. Estimation of genetic parameters of egg production traits of laying hens by restricted maximum likelihood applied to a multiple-trait reduced animal model. *Genet. Sel. Evol.*, 1992, **24**, 539-552.
- BLESBOIS E. Current status in avian semen cryopreservation. *World's Poult. Sci. J.*, 2007, **63**, 213-222.
- BLESBOIS E., SEIGNEURIN F., GRASSEAU I., LIMOUZIN C., BESNARD J., GOURICHON D.,

- COQUERELLE G., RAULT P., TIXIER-BOICHARD M. Semen cryopreservation for ex situ management of genetic diversity in chicken : creation of the French avian cryobank. *Poult. Sci.*, 2007, **86**, 555-564.
- BOWERS R.R., LUJAN J., BIBOSO A., KRIDEL S., VARKEY C. Premature avian melanocyte death due to low antioxidant levels of protection : fowl model for vitiligo. *Pigment Cell Res.*, 1994, **7**, 409-418.
- BRAH G.S., SANDHU J.S., CHAUDHARY M.L. Heritability estimates of components of incubation mortality in white leghorns. *Br. Poult. Sci.*, 1991, **32**, 871-874.
- CAHANER A., ABPLANALP H., SCHULTZ F.T. Effects of inbreeding on production traits in turkeys. *Poult. Sci.*, 1980, **59**, 1353-1362.
- CAHANER A., DEEB N., GUTMAN M. Effects of the plumage-reducing naked neck (Na) gene on the performance of fast-growing broilers at normal and high ambient temperatures. *Poult. Sci.*, 1993, **72**, 767-775.
- CAHANER A., DRUYAN S., DEEB N. Improving broiler meat production, especially in hot climates, by genes that reduce or eliminate feather coverage. *Br. Poult. Sci.*, 2003, **44** Suppl., 22-23.
- CAMPO J.L., ALVAREZ C. Tonic immobility of several Spanish breeds of hens. *Arch. Geflügelk.*, 1991, **55**, 19-22.
- CAMPO J.L., GIL M.G., DAVILA S.G., TORRES O. Conservation of genetic diversity in Spanish chicken, 25 years of a conservation program. [en ligne] (sans date) Adresse URL : http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/infpd/documents/papers/2000/3018_CAM1.DOC Consulté le 14/08/2008.
- CAMPO J.L., PRIETO M.T. Associations among fluctuating asymmetry, duration of tonic immobility, heterophil-to-lymphocyte ratio, and one-legged standing, crooked toes, or foot-pad dermatitis in chickens. *Poult. Sci.*, 2009, **88**, 65-71.
- CARSIENCE R.S., CLARK M.E., VERRINDER GIBBINS A.M., ETCHES R.J. Germline chimeric chickens from dispersed donor blastodermal cells and compromised recipient embryos. *Development*, 1993, **117**, 669-675.
- CERDA R.O., GIACOBONI G.I., XAVIER J.A., SANSALONE P.L., LANDONI M.F. In vitro antibiotic susceptibility of field isolates of mycoplasma in Argentina. *Avian Dis.*, 2002, **46**, 215-218.
- CHALAH T., SEIGNEURIN F., BLESBOIS E., BRILLARD J.P. In vitro comparison of fowl sperm viability in ejaculates frozen by three different techniques and relationship with subsequent fertility in vivo. *Cryobiology*, 1999, **39**, 185-191.
- CHAPMAN H.D. Eimeria tenella, E. acervulina and E. maxima: studies on the development of resistance to diclazuril and other anticoccidial drugs in the chicken. *Parasitology*, 1989, **99**, 189-192.
- COMMISSION EUROPÉENNE Règlement (CE) No 1831/2003 du Parlement Européen et du Conseil du 22 septembre 2003 relatif aux additifs destinés à l'alimentation des animaux. Journal officiel de l'Union européenne. [en ligne] (18/10/2003) Adresse URL : <http://www.reach-compliance.eu/french/REACH-ME/engine/sources/regulations/launch-1831-2003-EC.html> Consulté le 14/08/2008.
- COQUERELLE G. Principaux gènes affectant la structure, la longueur, ou la répartition des plumes. In : INRA (Eds.), Les poules, diversité génétique visible. INRA : Paris, 2001, 95-110.
- CRAWFORD R.D. Domestic fowl. In : Mason I.L. (Ed.), Evolution of domesticated animals. Longman : London, 1984, 298-310.
- DANBARO G., OYAMA K., MUKAI F., TSUJI S., TATEISHI T., MAE M. Heritabilities and genetic correlations from a selection experiment in broiler breeders using Restricted Maximum Likelihood. *Jpn. Poult. Sci.*, 1995, **32**, 257-266.
- DARWIN C. The variation of animals and plants under domestication. John Murray : London, 1868, 897 p.
- DECUYPERE E., HUYBRECHTS L.M., KÜHN E.R., TIXIER-BOICHARD M., MÉRAT P. Physiological alterations associated with the chicken sex-linked dwarfing gene. *Crit. Rev. Poult. Biol.*, 1991, **3**, 191-221.
- DELANY M.E. Genetic diversity and conservation of poultry. In : Muir W. M., Aggrey, S. E. (Eds.), Poultry genetics, breeding and biotechnology. CABI Publishing : Cambridge, 2003, 257-281.
- EDING H., MEUWISSEN T.H.E. Markers based estimates of between and within population kinships for the conservation of genetic diversity. *J. Anim. Breed. Genet.*, 2001, **118**, 141-159.
- EDING H., CROOIJMANS R.P.M.A., GROENEN M.A.M., MEUWISSEN T.H.E. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genet. Sel. Evol.*, 2002, **34**, 613-633.
- EMSLEY A. The risk of AI transmission through breeding stock. The market and trade dimensions of avian influenza prevention and control. [en ligne] (14/10/2006) Adresse URL : <http://www.fao.org/docs/eims/upload//234378/ah673e00.pdf> Consulté le 14/08/2008.
- ENGSTRÖM G., LILJEDAHL L.E., WILHELMSON M., JOHANSSON K. The pattern of genetic and environmental variation in relation to ageing in laying hens. *Genet., Sel., Evol.*, 1992, **24**, 265-275.
- ERHALTUNGSZUCHTRING VORWERK HÜHNER, Erhaltungszuchtring für Vorwerkhühner. [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.erhaltungszucht-vorwerkhuhn.de/> Consulté le 14/08/2009.
- ERIKSSON J., LARSON G., GUNNARSSON U., BED'HOM B., TIXIER-BOICHARD M., STRÖMSTEDT L., WRIGHT D., JUNGERIUS A., VEREIJKEN A., RANDI E., JENSEN P., ANDERSSON L. Identification of the yellow skin gene reveals a hybrid origin of the domestic chicken. *PLoS Genet.*, 2008, **4**, e1000010.
- EYAL-GILADI H., KOCHAV S. From cleavage to primitive streak

- formation: a complementary normal table and a new look at the first stages of the development of the chick: general morphology. *Dev. Biol.*, 1976, **49**, 321-337.
- FEDERAL MINISTRY OF FOOD, AGRICULTURE AND CONSUMER PROTECTION, GERMANY. Animal genetic resources in Germany. National programme for conservation and sustainable use. Recent activities and achievements. [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/381764/publicationFile/22677/AnimalGeneticResources.pdf> Consulté le 14/08/2008
- FERRANTE V., MARELLI S., PIGNATELLI P., BAROLI D., CAVALCHINI L.G. Performance and reactivity in three Italian chicken breeds for organic production. In : Witkowski A. (Ed.), Proceedings of the 7th European Symposium on Poultry Welfare, Animal Science Papers and Reports : Lublin, 2005, **23**, Suppl. 1, 223-229.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION Domestic animal diversity information system (DAD-IS). [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://dad.fao.org/> Consulté le 14/08/2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. [en ligne] (2007) Adresse URL : <http://zunia.org/uploads/media/knowledge/report%20on%20the%20state%20of%20the%20worlds%20animal%20genetic%20resources%20for%20food%20and%20agriculture.pdf> Consulté le 14/08/2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION Perspectives de l'alimentation : analyse des marchés mondiaux : viandes et produits carnés, viande de volaille. [en ligne] (2008) Adresse URL : <http://www.fao.org/docrep/010/ai466f/ai466f08.htm> Consulté le 14/08/2008.
- FLOCK D.K., AMELI H., GLODEK P. Inbreeding and heterosis effects on quantitative traits in a White Leghorn population under long-term reciprocal recurrent selection. *Br. Poult. Sci.*, 1991, **32**, 451-462.
- FRANCESCH A., ESTANY J., ALFONSO L., IGLESIAS M. Genetic parameters for egg number, egg weight and eggshell colour in three Catalan poultry breeds. *Poult. Sci.*, 1997, **76**, 1627-1631.
- FUMIÈRE O., SINNAEVE G., DARDENNE P. L'authentification rapide des poulets de chair sous label : distinction entre les poulets issus de souches à croissance lente ou rapide par la spectrométrie dans le proche infrarouge. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2000, **4**, 214-220.
- GHAREEB K., AWAD W.A., NITSCH S., ABDEL-RAHEEM S., BÖHM J. Effects of transportation on stress and fear responses of growing broilers supplemented with prebiotic and probiotic. *Int. J. Poult. Sci.*, 2008, **7**, 678-685.
- GOLDSTEIN D.B., LINARES A.R., CAVALLI-SFORZA L.L., FELDMAN M.W. An evaluation of genetic distances for use with microsatellite loci. *Genetics*, 1995, **139**, 463-471.
- GRANEVITZE Z., HILLEL J., CHEN G.H., CUC N.T., FELDMAN M., EDING H., WEIGEND S. Genetic diversity within chicken populations from different continents and management histories. *Anim. Genet.*, 2007, **36**, 6, 576-583.
- HAGGER C. Two generations of selection on restricted best linear unbiased prediction breeding values for income minus feed cost in laying hens. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 2045-2052.
- HAVENSTEIN G.B., FERKET P.R., QURESHI M.A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.*, 2003, **82**, 1509-1518.
- HENDRICKS GENETICS COMPANY ISA [institut de selection animale] White commercial layers performances, [en ligne] (2008) Adresse URL : <http://www.hendrix-poultry.nl/template.php?sectionId=643> Consulté le 14/08/2008.
- HILLEL J., GROENEN M.A.M., TIXIER-BOICHARD M., KOROLA., DAVIDL., KIRZNER V., BURKE T., BARRE-DIRIE A., CROOIJMANS R.P.M.A., ELO K., FELDMAN M.W., FREIDLIN P.J., MÄKI-TANILA A., OORTWIJN M., THOMSON P.A., VIGNAL A., WIMMERS K., WEIGEND S. Biodiversity of 52 chicken populations assessed by microsatellite typing of DNA pools. *Genet. Sel. Evol.*, 2003, **35**, 533-557.
- HOFFMANN I. Research and investment in poultry genetic resources: challenges and options for sustainable use. *World's Poult. Sci. J.*, 2005, **61**, 57-70.
- HUTT F.B. Genetics of the fowl. McGraw Hill : New York, 1949, 590 p.
- JONES E.K.M., ZACZEK V., MACLEOD M., HOCKING P.M. Genotype, dietary manipulation and food allocation affect indices of welfare in broiler breeders. *Br. Poult. Sci.*, 2004, **45**, 6, 725-737.
- KAGAMI H., CLARK M.E., VERRINDER GIBBINS A.M., ETCHES R.J. Sexual differentiation of chimeric chickens containing ZZ and ZW cells in the germ-line. *Mol. Reprod. Dev.*, 1995, **42**, 379-387.
- KINO K., PAIN B., LEIBO S.P., COCHRAN M., CLARK M.E., ETCHES R.J. Production of chicken chimeras from injection of frozen-thawed blastodermal cells. *Poult. Sci.*, 1997, **76**, 753-760.
- KOLLBECKSMOOR HUH N HÄHNCHEN Leistungen. [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.kollbecksmoorhuhn.de/index.php?id=14> Consulté le 14/08/2009.
- LAKE P.E. The history and future of cryopreservation of avian germ plasma. *Poult. Sci.*, 1986, **65**, 1-15.
- LARIVIÈRE J.-M. Relevé des études existantes sur l'estimation des caractères phénotypiques ou génétiques, de la distance génétique, et de la contribution à la diversité génétique, le recours à la cryopréservation de la semence, l'année de la dernière estimation et la taille de population, l'utilisation et les démarches de

- valorisation économique par race traditionnelle de poulet en Europe. (2009) [en ligne] Adresse URL : http://www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/jml_synthese_tableau.pdf Consulté le 12/2/2008.
- LARIVIÈRE J.-M., LEROY P. Poultry biodiversity in Belgium. In : Proceedings of the IVth European Poultry Genetics Symposium (WPSA), Dubrovnik, 2005, **22**.
- LARIVIÈRE J.-M., WEIGEND S., VIEAUD A., HOCKING P., SØRENSEN P., COUDURIER B., CAVALCHINI L., HIEMSTRA S., TEVERSON D., HIDAS A., BRODACKI A., BESBES B., TIXIER-BOICHARD M. Development of an integrated strategy for conservation of genetic diversity of chickens in Europe, In : Proceedings of the Vth European Poultry Genetics Symposium (WPSA), Brødstrup, 2007, 109.
- LARIVIÈRE J.-M., DETILLEUX J., LEROY P. Estimates of inbreeding rates in forty Belgian chicken breed populations. Soumis pour publication.
- LE BIHAN-DUVAL E., BEAUMONT C., COLLEAU J.J. Estimation of the genetic correlations between twisted legs and growth or conformation traits in broiler chickens. *J. Anim. Breed. Genet.*, 1997, **114**, 239-259.
- LILJEDAHN L.-E., KOLSTAD N., SØRENSEN P., MAIJALA K. Scandinavian selection and crossbreeding experiment with laying hens. *Acta Agric. Scand.*, 1979, **29**, 273-286.
- LIN H., JIAO H.C., BUYSE J., DECUYPERE E. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poult. Sci. J.*, 2006, **62**, 71-85.
- MAGDELEINE P., SPIESS M.P., VALCESCHINI E. Poultry meat consumption trends in Europe. *World's Poult. Sci. J.*, 2008, **64**, 53-63.
- MATHIS G.F., MCDUGALD L.R. Drug responsiveness of field isolates of chicken *Coccidia*. *Poult. Sci.*, 1982, **61**, 38-45.
- MATHUR P.K. Genotype-environment interactions: problems associated with selection for increased production. In: Muir W.M., Aggrey S.E. (Eds.), Poultry genetics, breeding and biotechnology. CABI Publishing : Cambridge, 2003, 83-99.
- MÉRAT P. The sex-linked dwarf gene in the broiler chicken industry. *World's Poult. Sci. J.*, 1984, **40**, 10-18.
- MIGNON-GRASTEAU S., BEAUMONT C., LE BIHAN-DUVAL E., POIVEY J.P., ROCHAMBEAU H., RICARD F.H. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. *Br. Poult. Sci.*, 1999, **40**, 44-51.
- MIGUEL J.A., ASENJO B., CIRIA J., CALVO J.L. Growth and lay modelling in a population of Castellana Negra native Spanish hens. *Br. Poult. Sci.*, 2007, **48**, 6, 651-654.
- MOCHIDA J., BENSON D.R., ABBOTT U., RUCKER R.B. Neuromorphometric changes in the ventral spinal roots in a scoliotic animal. *Spine*, 1993, **18**, 350-355.
- MUIR W. M., WONG G. K., ZHANG Y., WANG J., GROENEN M.A.M., CROOIJMANS R. P. M. A., MEGENS H.-J., ZHANG H.M., MCKAY J.C., MCLEOD S., OKIMOTO R., FULTON J.E., SETTAR P., O'SULLIVAN N.P., VEREIJKEN A., JUNGERIUS-RATTINK A., ALBERS G.A.A., TAYLOR LAWLEY C., DELANY M.E., CHENG H.H. Review of the initial validation and characterization of a 3K chicken SNP. *World's Poult. Sci. J.*, 2008, **64**, 219-225.
- NAITO M. Cryopreservation of avian germline cells and subsequent production of viable offspring. *Jpn. Poult. Sci.*, 2003, **40**, 1-12.
- NAITO M., NIRASAWA K., OISHI T. Development in culture of the chick embryo from fertilized ovum to hatching. *J. Exp. Zool.*, 1990, **254**, 322-326.
- NAITO M., NIRASAWA K., OISHI T. Preservation of quail blastoderm cells in liquid nitrogen. *Br. Poult. Sci.*, 1992, **33**, 449-453.
- NAITO M., TAJIMA A., TAGAMI T., YASUDA Y., KUWANA T., Preservation of chick primordial germ cells in liquid nitrogen and subsequent production of viable offspring. *J. Reprod. Fertil.*, 1994, **102**, 321-325.
- N'DRI A.L., MIGNON-GRASTEAU S., SELLIER N., BEAUMONT C., TIXIER-BOICHARD M. Interactions between the naked neck gene, sex, and fluctuating ambient temperature on heat tolerance, growth, body composition, meat quality, and sensory analysis of slow growing meat-type broilers. *Livest. Sci.*, 2006, **110**, 33-45.
- NORDSKOG A.W., CHENG S. Inbreeding effects on fertility and hatchability associated with the formation of sub-lines. *Poult. Sci.*, 1988, **67**, 859-864.
- PÉRIQUET J.-C. Coqs et poules : races françaises. Rustica : Paris, 2006, 223 p.
- PERMIN A., RANVIG H. Genetic resistance to *Ascaridia galli* infections in chickens. *Vet. Parasitol.*, 2001, **102**, 101-111.
- PERRY MM. A complete culture system for the chick embryo. *Nature*, 1988, **331**, 70-72.
- PETITTE J.N., CLARK M.E., LIU G., VERRINDER GIBBINS A.M., ETCHES R.J. Production of somatic and germline chimeras in the chicken by transfer of early blastodermal cells. *Development*, 1990, **108**, 185-189.
- PETITTE J.N., BRAZOLOT C.L., CLARK M.E., LIU G., VERRINDER GIBBINS A.M., ETCHES R.J. Accessing the genome of the chicken using germ-line chimeras. In : Etches R.J., Verrinder Gibbins A.M. (Eds.), Manipulation of the avian genome. CRC Press : Boca Raton, 1993, 81-101.
- PINARD-VAN DER LAAN M.-H., MONVOISIN J.-L., PERY P., HAMET N., THOMAS M. Comparison of outbred lines of chickens for resistance to experimental infection with coccidiosis (*Eimeria tenella*). *Poult. Sci.*, 1998, **77**, 185-191.
- PISENTI J.M., DELANY M.E., TAYLOR JR R.L., ABBOT U.K., ABPLANALP H., ARTHUR J.A., BASKT M.R., BAXTER-JONES C., BITGOOD J.J., BRADLEY F.A., CHENG K.M., DIETERT R.R., DODGSON J.B., DONOGHUE A.M., EMSLEY

- A.B. ETCHESR.J., FRAHMR.R., GERRITS R.J., GOETINCK P.F., GRUNDER A.A., HARRY D.E., LAMONT S.J., MARTIN G. R., MCGUIRE P.E., MÖBERG G.P., PIERRO L.J., QUALSET C.O., QUERESHI M.A., SHULTZ F.T., WILSON B.W. Avian genetic resources at risk: an assessment and proposal for conservation of genetic stocks in the USA and Canada. *Avian Poult. Biol. Rev.*, 1999, **12**, 1-102.
- POPPE C., SMART N., KHAKHRIA R., JOHNSON W., SPIKA J., PRESCOTT J. Salmonella typhimurium DT104: a virulent and drug-resistant pathogen. *Can. Vet. J.*, 1998, **39**, 559-565.
- RARE BREED SURVIVAL TRUST Scots Dumpy. [en ligne] (2008) Adresse URL : <http://www.rbst.org.uk/watch-list/poultry/scotsdumpy> Consulté le 14/08/2008.
- ROSENBERG N.A., Burke T., Elo K., Feldman M.W., Freidlin P.J., Groenen M.A.M., Hillel J., Mäki-Tanila A., Tixier-Boichard M., Vignal A., Wimmers K., Weigend S. Empirical evaluation of genetic clustering methods using multilocus genotypes from 20 chicken breeds. *Genetics*, 2001, **159**, 699-713.
- RUCKER R.B., OPSAHL W., ABBOTT U.K., GREVE C., KENNEY C., STERN R. Scoliosis in chickens: a model for the inherited form of adolescent scoliosis. *Am. J. Pathol.*, 1986, **123**, 585-588.
- SCHERF B.D. World watch list of domestic animal diversity. Food and Agriculture Organization : Rome, 2000, 726 p.
- SCOTT T.A., MACKENZIE C.J. Incidence and classification of early embryonic mortality in broiler breeder chickens. *Br. Poult. Sci.*, 1993, **34**, 459-470.
- SEWALEM A., JOHANSSON K., CARLGREN A.B., WILHELMSON M., LILLPERS K. Are reproductive traits impaired by selection for egg production in hens? *J. Anim. Breed. Genet.*, 1998, **115**, 281-297.
- SEWALEM A., WILHELMSON M. Genetic study of embryonic mortality in White Leghorn lines selected for egg production traits. *Br. Poult. Sci.*, 1999, **40**, 467-471.
- SEWALEM A., JOHANSSON K., WILHELMSON M., LILLPERS K. Inbreeding and inbreeding depression on reproduction and production traits of White Leghorn lines selected for egg production traits. *Br. Poult. Sci.*, 1999, **40**, 203-208.
- SIMON D.L., BUCHENAUER D. Results of monitoring animal genetic resources by the EEAP Working Group on Animal Genetic Resources. In : Simon D.L., Buchenauer D. (Eds.), Genetic diversity of European livestock breeds. EEAP Scientific Series : Wageningen, 1993, **66**, 582 p.
- SIUDZINSKA A., LUKASZEWICZ E. Effect of semen extenders and storage time on sperm morphology of four chicken breeds. *J. Appl. Poult. Res.*, 2008, **17**, 101-108.
- SLOW FOOD [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.slowfood.com/> Consulté le 14/08/2008.
- SPALONA A., RANVIG H., CYWA-BENKO K., ZANON A., SABBIONI A., SZALAY I., BENKOVA J., BAUMGARTNER J., SZWACZKOWSKI T. Population size in conservation of local chicken breeds in chosen European countries. *Arch. Geflügelk.*, 2007, **71**, 49-55.
- STEPHAN B., ROMMEL M., DAUGSCHIES A., HABERKORN A. Studies of resistance to anticoccidials in *Eimeria* field isolates and pure *Eimeria* strains. *Vet. Parasitol.*, 1997, **69**, 19-29.
- SURAI P., WISHART G.J. Poultry artificial technology in the countries of the former USSR. *World's Poult. Sci. J.*, 1996, **52**, 27-43.
- SZWACZKOWSKI T., WEZYK S., PIOTROWSKI P., CYWA-BENKO K. Direct and maternal genetic and environmental effects for fertility and hatchability in laying hens. *Arch. Geflügelk.*, 2000, **64**, 115-120.
- TAJIMA A., NAITO M., YASUDA Y., KUWANA T. Production of germ-line chimeras by transfer of cryopreserved gonadal primordial germ cells (gPGCs) in chickens. *J. Exp. Zool.*, 1998, **280**, 265-267.
- THAON D'ARNOLDI C. FOULLEY J.L., OLLIVIER L. An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genet. Sel. Evol.*, 1998, **30**, 149-161.
- THORAVAL P.F., LASSERRE F., COUDERT F., DAMBRINE G. Production of germline chimeras obtained from Brown and White Leghorns by transfer of early blastodermal cells. *Poult. Sci.*, 1994, **73**, 1897-1905.
- TIXIER-BOICHARD M., COQUERELLE G., DURANTARDIF M., PLANCHENAULT D., JAMILLOUX V., BLESBOIS E., BOULAY M., CHAPUIS H., REFFAY M. Biodiversity of domestic birds. *Br. Poult. Sci.*, 2001, **42**, S29-S31.
- TIXIER-BOICHARD M. A survey of experimental poultry lines in Europe: prospects for research and conservation issues. In : Proceedings of the 3rd European Poultry Genetics Symposium (WPSA), 2003, Wageningen, **72**.
- TIXIER-BOICHARD M., AUDIOTA., BERNIGAUD R., ROGNON X., BERTHOULY C., MAGDELEINE P., COQUERELLE G., GRINAND R., BOULAY M., RAMANANTSEHENO D., AMIGUES Y., LEGROS H., GUINTARD C., LOSSOUARN J., VERRIER E. Valorisation des races anciennes de poulets : facteurs sociaux, génétiques et réglementaires. In : VI^e Actes du Bureau des Ressources Génétiques, 2006, La Rochelle, 495-520.
- TIXIER-BOICHARD M., BORDAS A., ROGNON X. Characterisation and monitoring of poultry genetic resources. *World's Poult. Sci. J.*, 2009, **65**, 272-285.
- TSELUTIN K., SEIGNEURIN F., BLESBOIS E. *In vitro* comparison of fowl sperm viability in ejaculates frozen by three different techniques and relationship with subsequent fertility in vivo. *Poult. Sci.*, 1999, **79**, 586-590.
- VERRIER E. La gestion génétique des petites populations. *Prod. Anim.*, 1992, hors série, 265-271.

- VERRIER E., TIXIER-BOICHARD M., BERNIGAUD R., NAVES M. Conservation and value of local livestock breeds: usefulness of niche products and/or adaptation to specific environments. *Anim. Genet. Res. Inform.*, 2005, **36**, 21-31.
- WANG S.Q., DU Q.S., CHOU K.C. Study of drug resistance of chicken influenza A virus (H5N1) from homology-modeled 3D structures of neuraminidases. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2007, **354**, 634-640.
- WEIGEND S., ROMANOV M. N. Current strategies for the assessment and evaluation of genetic diversity in chicken resources. *World's Poult. Sci. J.*, 2001, **57**, 275-288.
- WEITZMAN M. L. On diversity. *Quart. J. Econ.*, 1992, **107**, 363-405.
- WEST B., ZHOU B.X. Did chickens go north? New evidences for domestication. *World's Poult. Sci. J.*, 1989, **45**, 205-218.
- WOELDERS H., ZUIDBERG C.A., HIEMSTRA S.J. Animal genetic resources conservation in the Netherlands and Europe: poultry perspective. *Poult. Sci.*, 2006, **85**, 216-222.
- WRIGHT S. Evolution in mendelian populations. *Genetics*, 1931, **16**, 97-159.
- ZANON A., SABBIONI A. Identificazione e salvaguardia genetica delle razze avicole italiane. *Ann. Fac. Med. Vet. di Parma*, 2001, **21**, 117-134.