

Histoire et Culture



Figure 01 : détail de la tête d'une poule

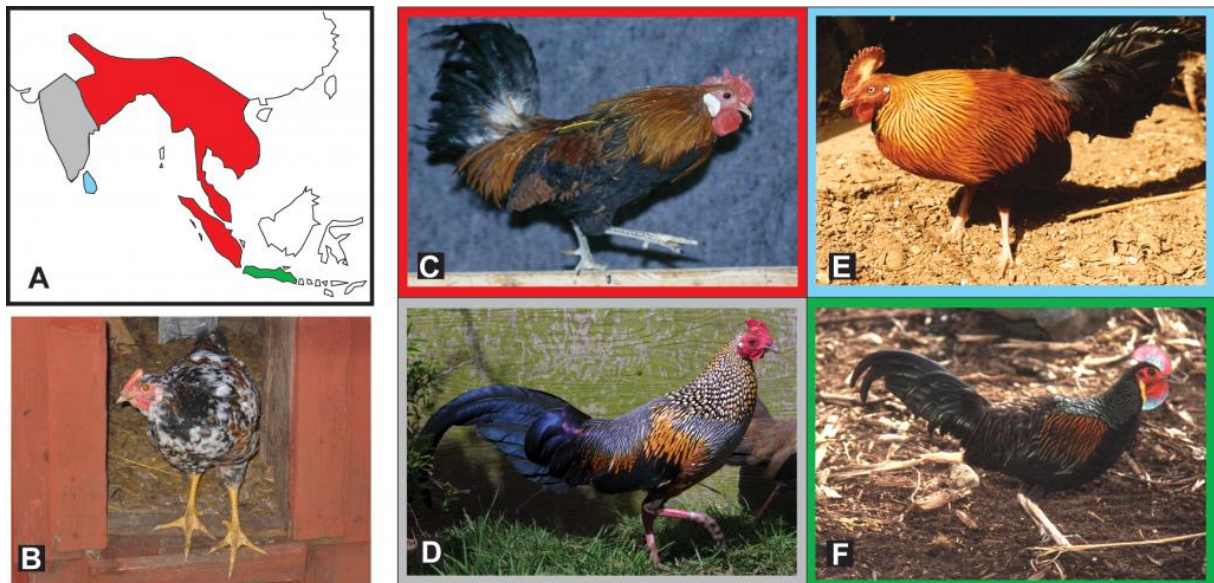
La poule domestique descend de la poule rouge « de jungle » de l'Asie du sud-est, dont l'espèce est *Gallus gallus*. L'espèce s'est ensuite dispersée dans le monde entier.

Origine sauvage

La poule actuelle descend d'une des espèces de poule sauvage.

Parmi les espèces sauvages, il y a :

- ***Gallus gallus***: coq Bankiva, coq doré ou rouge
- ***Gallus lafayettei***: coq de Lafayette, « Ceylon junglefowl » (considéré comme le coq jaune). Sa crête est multicolore.
- ***Gallus sonnerati***, coq de Sonnerat (considéré comme le coq gris). Les plumes du camail sont cornées.
- ***Gallus varius***: coq vert de Java, « Green junglefowl » ou coq vert de la jungle. Il a 16 rectrices à la queue, un seul barbillon et une crête non dentée.



A. Régions d'origine des 4 espèces sauvages.

B. Poule domestique actuelle avec des pattes jaunes.

C. Coq rouge (*Gallus gallus*).

D. Coq gris (*Gallus sonnerati*).

E. Coq Ceylon (*Gallus lafayetti*).

F. Coq vert (*Gallus varius*).

La couleur du bord des images C à F correspond à la zone géographique sur la carte A.

La plupart des poules domestiques actuelles descendent de *Gallus gallus*. On la trouvait dans une région qui s'étend du nord-est à l'est de l'Inde, et vers la Malaisie et l'Indonésie.

On a longtemps pensé que *Gallus gallus* est le seul parent sauvage de la poule domestique. Pourtant, des scientifiques ont montré récemment que le gène de la peau jaune de la poule ne provient pas de *Gallus gallus* mais de *Gallus sonnerati*.

Similitudes entre coq domestique et coq doré

Néanmoins, la poule domestique tient ses principales caractéristiques de la poule dorée car:

- les 5 sous-espèces de coq doré se différencient par la couleur du plumage, des oreillons, la forme des plumes,... comme pour la poule domestique
- le plumage du coq doré est très proche de celui de la Gauloise dorée ou la Naine allemande.
- Darwin a remarqué que des poules domestiques remises en liberté (sur l'île de l'Ascension en Atlantique) retournent à la couleur de Gallus gallus.
- Le coq doré a une crête simple et dentelée, comme le coq domestique
- Le chant du coq doré ressemble le plus à celui de nos basse-cours
- Il est possible de croiser un coq doré avec l'espèce domestique et les résultats sont bons. Par contre, la poule domestique croisée avec une autre espèce sauvage donne des poussins chétifs ou stériles.
- L'analyse ADN indique que le coq domestique descend principalement d'une sous-espèce du coq doré.

Différences entre coq domestique et coq doré

Le coq doré présente un plumage d'éclipse pendant l'été: il est alors très peu coloré et assez terne.

Ce plumage apparaît après la mue d'éclipse d'été.

Ce phénomène n'existe pas du tout chez la variété domestique.

Histoire :**Egypte ancienne :**

En Egypte ancienne, on retrouve même les premières traces d'incubateurs artificiels.

Grèce antique :

Son arrivée en Grèce daterait du VII^e siècle avant notre ère. Une illustration de poule a été trouvée sur une poterie corinthienne datant de cette époque.

Les descendants des poules sauvages d'Asie ont été domestiqués dans la vallée de l'Indus, avant d'arriver en Perse par les contacts commerciaux. Ensuite, de la Lydie (actuellement la Turquie) au temps du roi Crésus, la poule a gagné la Grèce.

Rome antique :

D'après Cicéron (106-43 av. J.-C.), orateur et historien romain, on considérait comme un bon présage de voir une poule arriver à gauche, en volant ou en marchant.

Dans son « Histoire romaine », Charles Rollin relate l'utilisation des poules comme auspices:

Pour ce qui regarde le manger des poulets, celui qui était chargé de les nourrir, & qu'on appelait pour cette raison Pull Arius, les faisait sortir de la cage où il les tenait renfermés, & leur jetait de la nourriture. S'ils la saisissaient avidement, & qu'ils en laissassent tomber par terre, l'augure était favorable, & cela s'appelait « tripudium solistimum ». Au contraire, s'ils refusaient de manger, l'augure était funeste. On sait l'histoire du Consul Publius Claudius, qui, prêt de donner un combat naval dans la première guerre punique, & apprenant que les poulets ne voulaient point sortir de la cage, les fit jeter dans la mer, en disant: Qu'ils boivent, puisqu'ils ne veulent pas manger. Aussi fut-il vaincu. Il n'est pas besoin que j'avertisse que ce fut sa témérité qui causa sa défaite, & non pas le mépris d'une cérémonie aussi vaine & aussi puérole.

Histoire romaine - Charles Rollin

Les Romains seraient aussi les inventeurs des chapons. La loi Faunia (an 588 de Rome, soit 165 av. J.-C.) interdit de manger des poules grasses, pour économiser le grain. Les éleveurs ont tourné la loi en dérision en décidant de castrer les jeunes coqs, qui devinrent 2 fois plus gros que la normale.

On chaste les estaudeaux et poulets à deux moys et demy ou à trois moys en pleine lune, quand ils commencent à approcher des poules, tout le long de l'esté jusqu'en automne, si l'hiver est trop aspre jusqu'à la fin de décembre.

Trésor de santé, manuscrit de la bibliothèque Mazarine

Les Romains connaissaient déjà aussi le couvoir. Ils faisaient éclore les œufs en quantité dans des étuves chauffées en permanence par de la vapeur bouillante. En fait, ils maîtrisaient aussi la plomberie et le chauffage central.

Il est probable que les Romains ont introduit la poule en Gaule et ont nommé la contrée « la Gaule », du mot latin Gallus.

Columelle (1^e siècle ap. J.-C.), dans son traité d'agriculture — Livre VIII — détaille l'élevage des poules:

- le choix de la race et de la couleur: des poules indigènes rouges ou brunes; les blanches manquent de vigueur et sont plus facilement capturées par les prédateurs
- le nombre d'animaux à acquérir: 200 par soignant
- la construction et le placement du poulailler: orienté à l'est près de la cuisine, avec des perchoirs et des nids
- la nourriture
- des bains de poussière ou de cendre pour la bonne santé du plumage
- la conservation des oeufs et la couvaion
- l'engraissement des poulets

Celtes :

Les Celtes connaissaient le coq et la poule, dont ils consommaient les œufs, avant la conquête par Jules César. Au gré des conquêtes, les poules ont été implantées de ci, de là, car elles sont faciles à transporter.

XIXe siècle :

Au milieu du XIXe siècle arrivent les races asiatiques, comme la cochin, qui pond des oeufs bruns. L'usage des poulaillers se répand dès lors.

La sélection des pondeuses a commencé à la fin du XIXe siècle.

La passion pour la poule en Angleterre s'est surtout développée grâce aux combats de coqs. Ce sport cruel est devenu illégal au Royaume-Uni en 1849. Il reste marginal en France mais reste encore fort pratiqué en Asie et dans l'état du Nouveau-Mexique (USA).

Aujourd'hui, l'élevage industriel des gallinacés risque de faire disparaître plus d'une race. Les petits éleveurs doivent rester vigilants.

Poulet et poularde cou-nu :

Le poulet cou-nu est un poulet fermier à croissance rapide pouvant atteindre 2,5 à 3 kg en 14 semaines. Il peut dépasser les 4kg. Il est réputé pour sa viande plus gouteuse que celle des poulets de chair.

La poularde fermière cou-nu est aussi très appréciée pour sa chair goûteuse. La poularde fermière cou-nu sera un peu moins lourde que le poulet. Elle peut atteindre près de 3,5kg mais sera plus en rondeur que le coq avec des filets et des cuisses plus charnus. La poularde cou-nu est aussi appréciée par le fait qu'en fin d'élevage au contraire du poulet, elle ne chante pas.

La poularde cou-nu peut aussi être utilisée pour la production d'œufs. Sachant qu'elle ne produit qu'entre 200 à 250 œufs par année.

Son plumage est roux, ses pattes et sa peau sont jaunes.

Disponibilité: toute l'année en poulet fini prêt à tuer.

De mars à novembre en poulet de 6 ou 8 semaines.

Le poulailler :

Fermé hermétiquement aux prédateurs, aérés tout en évitant les courants d'air. Utilisez une litière (paille, copeaux de bois dépoussiérés) sur la totalité du sol. L'élevage de vos volailles nécessite un sol sec, propre et bien abrité. Nettoyez et désinfectez avant chaque nouvelle mise en place.

La densité maximale d'élevage :

Dans le local pour le poulet ou la poularde cou-nu est de 10 volailles par mètre carré à l'Age de 6 semaines, jusqu'à 4 volailles par mètre carré en fin d'élevage. Il sera donc nécessaire d'agrandir le poulailler au fur et à mesure de la croissance des volailles ou de prévoir un poulailler assez grand dès le départ.

Installez environ 25 centimètres linéaire de perchoir par poulet ou poularde cou-nu.

Le parcours :

Herbeux (plus il y aura d'herbe, plus il y aura d'insectes), clos pour éviter l'intrusion de prédateurs ou de chiens et ombragé sur certaines parties.

La densité maximale d'élevage :

Du parcours pour le poulet ou la poularde cou-nu est de 4 mètres carrés par volaille de 6 semaines et de 6 mètres carrés par volaille en fin d'élevage. Cette donnée est une densité maximale d'élevage. Pour garder un parcours herbeux il est impératif de les adapter en fonction de votre parc (exposition, pluviométrie...)

L'alimentation :

Plus la claustration des poulets et poularde cou-nu et leur densité d'élevage sont élevées, plus l'alimentation ne doit être surveillée et équilibrée.

« Les céréales » qui dans l'esprit de chacun servent à nourrir les poules ne sont pas suffisantes, loin de là. Elles ne contiennent que entre 6 et 8% de protéines alors que les poulets et poulardes cou-nu en ont besoin de 17 à 20%. Pour vous fournir de la viande il est donc impératif d'alimenter vos volailles avec un aliment complet adapté à la croissance de vos poulets et poulardes, ou de distribuer un mélange composé de 70 à 75% de céréales

concassées finement et de 27 à 22% de tourteau de soja, supplémenté de 3% de complément minéral vitaminé (CMV).

La boisson :

Utilisez de l'eau toujours propre et distribuée dans un abreuvoir adapté à la taille et donc à l'âge de vos poulets et poulardes cou-nu.

Pensez à ajouter dans l'eau de boisson une vermifuge naturelle 1 fois tous les mois afin d'éliminer les vers intestinaux et éviter ainsi les pertes de croissance.

L'acclimatation :

Laisser les poulets et poulardes enfermées dans le poulailler durant la première semaine. Afin d'éviter une reprise croissance trop tardives il impératif de distribuer durant la première semaine, un aliment complet en miettine pour poulets et poulardes de chair.

Eviter de mélanger les jeunes poulets et poulardes avec les volailles déjà présentes dans le poulailler.

Le gène autosomal « Cou nu » (Na) a été identifié depuis longtemps chez la poule domestique (HuTr, 1949). Il réduit l'extension des ptérylies, en particulier dans la région du cou, avec dominance incomplète (CRAWFORD, 1976 ; Scott & CRAWFORD , 1977). Par suite de cette réduction du plumage, il paraissait intéressant de comparer le comportement physiologique et les performances des génotypes « Cou nu » (Na Na ou Na na+) et normal (na + na+) selon la température ambiante. SMITH & LEE (1977) observent moins de mortalité parmi des poussins « Cou nu » hétérozygotes que pour des poussins à plumage normal en réponse à une température élevée. Concernant la croissance, le gène « Cou nu » à l'état hétérozygote s'accompagne à température modérée d'une très légère diminution du poids corporel des mâles à 8 semaines d'âge, qui peut correspondre à la seule réduction du plumage (MÉ RAT , 1979). Par contre, à une température maintenue au-dessus de 30°C jusqu'à 10 semaines, le gène Na à l'état homozygote ou hétérozygote a été trouvé associé à un avantage de croissance de l'ordre de 10 p. 100 par BORDAS et al. (1978), MONNET et al. (1979), HANZL & SOMES (1983) ; dans ces conditions, l'indice de consommation n'était pas significativement modifié mais semblait légèrement amélioré par l'allèle Na. Entre les mêmes génotypes soumis après l'âge de 4 semaines à une température moyenne comprise entre 15 et 20°C, il n'y avait pas de différence significative de croissance pondérale, mais l'efficacité

alimentaire était moins bonne pour le génotype Na na+ et surtout Na Na. Cet effet différentiel de la température ambiante explique probablement l'avantage relatif de croissance observé par ZEIN -LD et al. (1981) à la saison chaude en Egypte pour des poulets « Cou nu » hétérozygotes comparés à des poulets à plumage normal dans un croisement d'une lignée Fayoumi, alors qu'en hiver aucune différence significative n'apparaissait.

Ces résultats suggèrent l'intérêt du gène Na dans des conditions climatiques relativement chaudes. Nous avons donc voulu préciser les conditions optimales d'une utilisation éventuelle d'animaux porteurs de ce gène, en particulier du point de vue du taux protéique de la ration. Le poids total du plumage est, en effet, réduit respectivement d'environ 30 et 40 p. 100 pour les oiseaux Na na+ et Na Na comparés au génotype normal (BORDAS et al., 1978 ; MONNET et al. , 1979) ; la matière sèche des plumes étant principalement composée de protéines, cette réduction peut représenter une économie du besoin azoté durant la période de pousse maximale du plumage. D'autre part, les animaux « Cou nu », consommant davantage d'aliment pour leur besoin énergétique, ingèrent la même quantité de protéines que les poussins normaux pour un taux protéique plus faible dans la ration.

Évolution et domestication

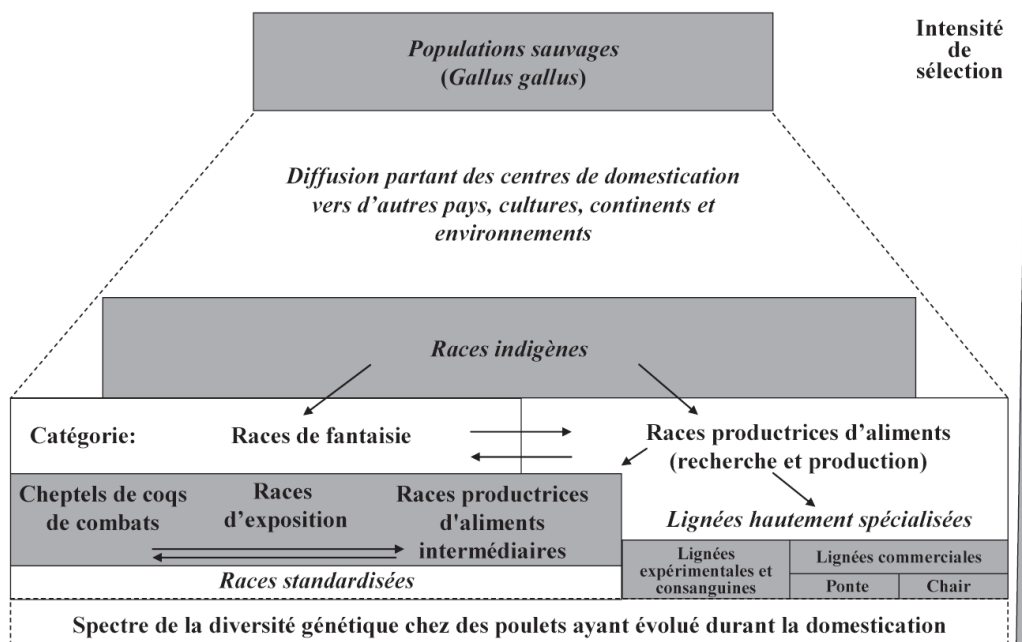


Figure 02 : évolution de la diversité génétique du poulet

(Weigend et Romavov, 2001).

La diversité génétique de l'espèce :

Gallus gallus domesticus, constituée d'un ensemble de populations (figure 2), 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 XIXe 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 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 XIXe siècle alors que les souches plus productives pour la viande ou les oeufs 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 appliquée, sans oublier l'agrément que procure l'aviculture comme activité ou passe-temps chez l'homme.

Les méthodes de sélection au 20e 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 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'oeuf 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).

Génétique et sélection avicoles :

Les caractéristiques biologiques des espèces avicoles sont particulièrement favorables aux études et aux applications de la génétique. Après avoir largement contribué au développement considérable de la filière avicole, la génétique pourrait permettre de répondre aux demandes actuelles des consommateurs et des professionnels. Pour ce faire, de nouveaux critères de sélection sont à l'étude. En parallèle les méthodes d'analyse progressent vers une meilleure modélisation mais aussi une intégration des résultats de génétique moléculaire. L'ensemble de cette démarche pourra être transposé à terme à d'autres espèces.

L'évolution des performances des espèces avicoles a été considérable : les résultats enregistrés à la Station de Ploufragan montrent que le poids vif à 42 jours des poulets de type chair a augmenté, entre 1962 et 1985, de 45 grammes par an en moyenne (L'Hospitalier et al 1986) tandis que le nombre d'œufs pondus en 47,5 semaines est passé de 194 en 1960 à 284 en 1994 (Besbès et Protais 1995). Il est classiquement admis que la sélection expliquerait au moins la moitié de ces gains, ce que confirment largement les calculs de Jégo et al (1995) sur les poulets de type chair et ceux de Besbès et Protais (1995) sur les poules pondeuses. L'efficacité de la sélection avicole doit beaucoup aux caractéristiques biologiques des espèces

avicoles. Ainsi, l'espérance du progrès génétique par unité de temps dépend de quatre paramètres, tous favorables en aviculture : - l'intensité de sélection (qui dépend de la pression de sélection, pourcentage d'animaux retenus par rapport au nombre d'individus mesurés), - la précision de l'estimation de la valeur des individus candidats à la sélection, - la variabilité génétique du caractère sélectionné et - l'intervalle de génération. En effet, la forte prolificité des espèces avicoles permet à la fois d'appliquer une pression de sélection importante et d'obtenir des tailles de familles suffisantes pour une bonne estimation des valeurs génétiques des candidats à la sélection. Cette évaluation génétique est d'autant plus précise que la petite taille des animaux permet de regrouper un grand nombre d'individus dans des conditions similaires, limitant ainsi les confusions entre effets génétiques et effets du milieu. Enfin le faible intervalle de génération permet une accumulation rapide des progrès génétiques réalisés à chaque génération de sélection. La qualité des dispositifs quasi-expérimentaux mis en place en aviculture a ainsi permis de mener, dès les années 30, une sélection efficace. Mais la sélection avicole a également largement bénéficié des progrès réalisés par la génétique quantitative, branche de la génétique qui s'intéresse à la transmission des caractères d'intérêt économique. En particulier, l'utilisation des méthodes modernes d'évaluation génétique et d'estimation des paramètres génétiques a permis de gagner en efficacité ; cette évolution se poursuit. En parallèle, le développement considérable de la génétique moléculaire annonce une intégration prochaine de certains résultats dans les schémas de sélection. Cette dernière suscite toutefois de nouvelles questions qui ne pourront être résolues que par une approche associant ces deux branches de la génétique. Enfin, la demande des consommateurs et de la filière amène à considérer de nouveaux critères de sélection, dans des études qui pourraient à terme être élargies à d'autres espèces.

1. Evolution des méthodes :

1.1. Evolution des modèles d'analyse des caractères :

Le modèle de base de la génétique quantitative est le modèle polygénique infinitésimal. Celui-ci explique la variabilité génétique d'un caractère donné par l'action conjointe d'une infinité de gènes additifs ou "polygènes" dont chacun a un effet infiniment petit sur le caractère. La valeur génétique des animaux, somme de l'effet de ces polygènes, a donc une distribution normale. Il en est de même du caractère ainsi modélisé ou phénotype. La quasi-normalité des distributions des principaux caractères sélectionnés (poids vif en particulier) a encouragé les théoriciens à développer des méthodologies statistiques qui

exploitent ce modèle. Celles-ci ont montré leur efficacité et continuent à progresser, notamment grâce à l'augmentation de la puissance des ordinateurs. Ainsi, les méthodes de Gibbs Sampling permettent d'affiner encore davantage les calculs et fournissent au généticien la distribution des paramètres génétiques estimés, permettant ainsi des comparaisons plus rigoureuses (voir par exemple Wang et al 1993). Toutefois, malgré sa remarquable puissance opérationnelle, ce modèle purement additif n'est pas totalement satisfaisant, notamment lorsque la distribution des caractères étudiés s'éloigne de la normalité. Il importe donc d'améliorer la modélisation des effets génétiques.

a. **Prise en compte de distributions non normales** Sous la pression des consommateurs, les préoccupations des différentes filières animales se sont orientées vers des critères plus qualitatifs (résistance aux maladies, coloration, performances de couvoir...), lesquels présentent, pour la plupart, une distribution discrète. Dans certains cas (Coquerelle 2000), l'existence de gènes majeurs a été démontrée (nanisme, couleur ou structure du plumage), ce qui permet de proposer des stratégies complémentaires à la sélection quantitative. Mais, le plus souvent, il faut avoir recours à la sélection sur des performances dont la distribution présente plusieurs catégories phénotypiques, correspondant par exemple à une échelle de couleur des pattes, ou peut se réduire à deux classes (présence/absence de germes, mortalité/survie...). Des méthodes d'analyses ont été développées (Gianola et Foulley 1983) pour ce type de caractère. L'utilisation en sélection avicole de méthodes adaptées aux caractères discrets est désormais effective, notamment pour la sensibilité aux boiteries (Le Bihan-Duval et al 1996, Chapuis et al 2001).

Mais des perfectionnements peuvent être apportés. Les modèles utilisés pour l'instant supposent en effet l'homogénéité des variances, ce qui conduit à accorder une pondération excessive aux performances obtenues dans les classes les plus variables. Ceci est d'autant plus préjudiciable que la grille de notation est arbitraire, ce qui est souvent le cas des notes de qualité, influencées par le niveau moyen du lot considéré. Différents modèles ont été proposés, qui prennent en compte des facteurs d'hétérogénéité de variance dans les modèles à seuils (Foulley et Gianola 1996, Jaffrezic et al 1999).

A notre connaissance, aucune application en aviculture n'a encore été publiée à ce jour. D'autres données actuellement à l'étude présentent une distribution éloignée de la normalité. Tel est en particulier le cas des données de survie qui présentent la particularité d'être censurées : soit les animaux meurent pendant la phase d'élevage, soit ils sont encore en

vie à la fin du cycle. Dans ce dernier cas il y a censure puisque l'on ne sait pas quelle aurait été leur durée de vie réelle si l'observation avait été poursuivie. Une méthode d'analyse de telles données (Ducrocq 1994) est désormais disponible, ce qui permet d'étudier la longévité, en particulier dans des conditions d'élevage éprouvantes, telles que des cages collectives où s'exprime le picage (Craig et Muir 1996a et 1996b), ce qui pourrait être un moyen d'obtenir des souches mieux adaptées aux conditions de l'élevage dit alternatif (Ducrocq et al 2000). L'étude de données répétées au cours de la vie de l'animal (comme le poids ou la ponte) constitue un autre domaine de recherches très actives (voir par exemple Foulley et al 2000). Le but est de mieux utiliser l'information disponible en intégrant aux calculs de sélection l'ensemble des mesures élémentaires. En aviculture, ces méthodes pourraient s'appliquer aux pesées à différents âges pour le poids corporel ou au nombre d'œufs par semaines pour la ponte. Parmi les approches statistiques possibles figure la modélisation des courbes de croissance (voir la revue de Mignon-Grasteau et Beaumont 2000) ou de ponte (voir par exemple Anang et al 2002) qui permet de prendre en compte la cinétique d'évolution des performances. L'étude des séries de ponte (pendant lesquelles la poule pond chaque jour un œuf) apparaît également comme une approche intéressante : déjà sélectionnée avec succès chez la poule (Chen et Tixier-Boichard 2003a), elle présente une héritabilité supérieure au taux de ponte (Chen et Tixier-Boichard 2003b).

L'ensemble de ces approches pose de nouvelles questions, notamment celle de combiner les valeurs génétiques estimées avec des modèles linéaires (caractères de production classiques) ou non (caractères discrets, données de survie...) pour obtenir un index. Besbès et al (2002) ont proposé une méthode dont les premiers résultats, encourageants, doivent encore être validés.

b. Vers une modélisation plus fine des mécanismes génétiques L'intégration, dans le modèle statistique utilisé pour l'évaluation génétique, d'autres effets aléatoires que la seule valeur génétique additive des candidats à la sélection vise le plus souvent à prendre en compte des effets maternels (ayant ou non une composante génétique) ou encore à mieux prévoir l'intérêt des croisements. Nombreuses sont en effet les raisons qui poussent le généticien à estimer la part de variabilité due à la dominance : une estimation sans biais de l'héritabilité, une meilleure prédiction des valeurs génétiques additives, voire l'exploitation d'une partie de la variance génétique non additive à travers le croisement, couramment utilisé en aviculture. Dans les espèces avicoles, plusieurs études ont porté sur l'estimation des paramètres de

croisement qui permettent de prévoir l'intérêt de croisements entre souches (par exemple pour le poids par Barbato 1991), mais beaucoup reste à faire, en particulier pour les caractères plus récemment étudiés.

La sélection en vue du croisement est une approche complémentaire qui comporte un volet expérimental (Minvielle et al 1999 et 2000a) et de la modélisation. Mais la combinaison des effets génétiques additifs et non-additifs dans une même évaluation génétique entraîne d'importantes difficultés numériques ayant trait à la construction et à la résolution des équations, ce qui explique le peu d'applications recensées à ce jour, en particulier dans les espèces avicoles. Dans le cas d'une espèce à diffusion mondiale comme le poulet, se pose inévitablement la question du choix du milieu de sélection et des éventuelles interactions entre l'environnement dans lequel sont entretenus le noyau de sélection et le classement d'animaux qui le constituent (Mathur 2003).

Ainsi, les poulets de chair issus d'un noyau sélectionné sous nos latitudes tempérées n'auront pas nécessairement des performances optimales dans des conditions de chaleur plus intense en région tropicale (Deeb et Cahaner 2002). Les études montrent l'intérêt à la fois de gènes majeurs comme le gène « cou-nu » (Bordas et al 1978, Chen et al 2002) et du test de nouveaux critères de sélection. L'estimation des corrélations génétiques entre performances réalisées dans les deux milieux, qui suppose l'identification et le suivi généalogique d'un effectif suffisant, apporte des éléments de réponse en vue d'une sélection plus efficace. Elle peut s'appliquer à la prise en compte de l'interaction entre génotype et température (Beaumont et al 1998) ou mode d'élevage (pour préciser les conséquences d'une sélection en claustration dans des milieux surprotégés qui constituent les centres de sélection) ou encore à l'étude des possibilités de modification du dimorphisme sexuel (écart de poids entre mâle et femelles, Mignon-Grasteau et al 1998). Enfin, cet énoncé des voies de recherche en génétique animale ne saurait être exhaustif sans évoquer le considérable apport potentiel de la biologie moléculaire. En effet, si les interrogations demeurent nombreuses sur le nombre de gènes régissant les différents caractères et leur effet, l'existence de gènes à effet notable, voire très important, sur certains caractères quantitatifs n'est plus à démontrer.

1.2. Vers une intégration des résultats de génétique moléculaire :

La recherche des gènes contrôlant les principales performances a débuté chez les volailles comme dans les autres espèces de rente. Ce type de démarche aura des répercussions

sur les modes de sélection avicoles. Plusieurs zones du génome (dites QTL pour Quantitative Trait Loci) viennent d'être identifiées, notamment en France, dans une démarche de génomique positionnelle, pour leur effet sur différents caractères : la composition corporelle (Pitel et al 2002), la résistance aux coccidies (Pinard-Van der Laan et al 2003a), l'efficacité alimentaire de la poule pondeuse (Pitel et al 2002, Tixier-Boichard et al 2002), la croissance en relation avec la qualité de viande et de carcasse (Cogburn et al 2003) ou la résistance au portage de salmonelles. Les QTL ainsi identifiés peuvent être intégrés dans les schémas de sélection, soit intra-lignée par sélection assistée par marqueurs (SAM), soit dans des croisements suivis d'introgression (Hillel et al 1993).

Dans les espèces avicoles, les applications de la SAM seront sans doute limitées : il faut en effet, avant toute application, identifier à quel allèle du marqueur est associé l'allèle favorable que l'on souhaite sélectionner. Cette étape préalable doit le plus souvent se faire à l'intérieur de chaque famille, ce qui entraîne des coûts élevés, en particulier pour des espèces à renouvellement très rapide. Ceux-ci ne pourront se justifier que pour des caractères difficiles à mesurer (comme la résistance aux maladies), ne s'exprimant que dans un sexe ou très tardivement.

L'application sera beaucoup plus aisée dès lors que la mutation causale expliquant le QTL aura été identifiée, mais ce travail d'identification de la mutation causale est généralement très long. Quel que soit l'avancement des connaissances sur le génome, des avancées notables ont d'ores et déjà été réalisées dans la modélisation et le traitement des cas d'hérédité mixte, mettant en jeu un gène majeur et des polygènes (voir par exemple Manfredi 2000). Utiliser des marqueurs répartis sur l'ensemble du génome facilite et accélère également l'introduction après croisement d'un nouvel allèle dans une population dite receveuse (Hillel et al 1993), en permettant de repérer les individus porteurs de l'allèle favorable et ayant éliminé les autres zones du génome donneur.

Enfin l'intérêt d'un croisement entre deux souches peut être prédit par la similarité entre les empreintes génétiques des animaux de ces deux origines (Haberfeld et al 1996), au moins dans le cas de sélection classique (Minvielle et al 2000b).

A plus long terme, la génomique aura d'autres conséquences sur la sélection : en améliorant la connaissance des mécanismes en jeu, notamment à travers l'étude du niveau d'expression des gènes (voir par exemple Carré et al 2002), elle permettra d'approfondir

l'étude de la variabilité génétique, débouchera sur de nouveaux critères de sélection et l'identification de nouveaux gènes. Tout ceci facilitera la sélection et permettra de mieux comprendre les interactions entre gènes.

2. Evolution des caractères sélectionnés :

2.1. Qualité des produits :

La qualité des produits est une préoccupation très générale de la filière. Certaines caractéristiques, comme la qualité interne de l'œuf, appréciée par les unités Haugh, ou la résistance de la coquille sont déjà prises en compte dans les schémas de sélection, mais pourraient bénéficier des nouvelles avancées faites sur la caractérisation moléculaire de la coquille (Nys et al 2001). Mais la plupart des études portent sur la qualité des viandes et carcasses. En effet, le marché français du poulet est en pleine mutation : si les ventes sous forme de carcasse entière sont en perte de vitesse, les produits élaborés connaissent une forte croissance, que ce soit pour les produits de type industriel ou pour ceux vendus sous signe de qualité tels que les labels. En conséquence, après la réduction de l'engraissement, la qualité des carcasses et en particulier le développement des muscles pectoraux, morceaux nobles de la carcasse, représentent aujourd'hui des objectifs prioritaires de la filière.

Ces caractères présentent des héritabilités élevées, ce qui montre les fortes possibilités d'amélioration génétique de ces caractères chez la dinde (Chapuis et al 1996), le poulet (Le BihanDuval et al 1998) et l'oie (Larzul et al 2000).

Ces caractères, déjà sélectionnés dans la très grande majorité voire la totalité des lignées de type intensif, seront sans doute de plus en plus souvent considérés dans les productions de type plus extensif et éventuellement sélectionnés indirectement (Leclercq et al 1989) par une modification génétique des courbes de croissance (Ricard 1975). Mais la principale innovation dans ce domaine viendra sans doute de l'importance accordée à la qualité de la viande.

La lourdeur de la mesure de la qualité organoleptique de la viande empêche, pour l'instant du moins, toute amélioration génétique directe de ce type de caractère. En revanche, les études sur la qualité technologique de la viande se développent et ce d'autant plus que des viandes de mauvaise qualité, présentant des pertes en eau excessives ou une instabilité de la couleur, sont de plus en plus souvent décrites. Ces défauts pourraient notamment résulter de

viandes de type Pale, Soft, Exsudative (PSE). Le déterminisme de ce phénotype PSE ainsi que de celui des viandes acides ont fait l'objet de nombreux travaux chez le Porc (Monin et Sellier 1985). Ceux-ci ont montré l'importance de la cinétique du pH dans la qualité technologique de la viande.

Les travaux sur les espèces avicoles sont, quant à eux, très récents. Chez le poulet, les premières études (Le Bihan-Duval et al 1999 et 2001) portaient sur la vitesse de chute du pH, le niveau du pH ultime, la coloration et les pertes en eau de la viande fraîche. Tous ces caractères présentent des héritabilités élevées (variant de 0,35 à 0,49 pour le pH et de 0,50 à 0,57 pour les paramètres de coloration de la viande), ce qui montre l'utilité de la prise en compte de ces caractères en sélection.

L'étude d'un croisement diallèle entre canard Pékin et canard de Barbarie montre également le rôle de la génétique, en particulier sur la couleur et les propriétés mécaniques de la viande (Larzul et al 2002).

Après la mise en évidence d'interactions entre génétique et stress avant abattage (Debut et al 2003), l'étude des mécanismes sous-jacents est en cours. Il en est de même du rôle, dans les espèces avicoles, des gènes analogues à ceux impliqués chez le Porc dans la régulation de la qualité de la viande : récepteur à la ryanodine, responsable du syndrome d'hypersensibilité au stress et gène RN, récemment cloné par Milan et al (2000).

2.2. Résistance aux maladies :

Les contraintes expérimentales ainsi que les modalités d'application diffèrent grandement selon que l'on considère des maladies d'origine infectieuse ou non. La sélection apparaît comme l'une des seules méthodes de lutte efficaces contre les troubles dits plurifactoriels (comme les boiteries), dont l'étiologie reste très mal connue mais pour lesquels plusieurs facteurs favorisants ont été identifiés. Mais leur fréquence étant peu prévisible, leur étude génétique nécessite l'observation d'un grand nombre d'animaux.

De plus, en l'absence de lésion spécifique, leur diagnostic est parfois délicat. A l'opposé, il est possible de reproduire expérimentalement les maladies infectieuses et donc de maîtriser les conditions de mesure, mais cela implique de disposer d'animaleries protégées et augmente considérablement les coûts. Comme les animaux infectés ne peuvent plus être utilisés comme reproducteurs (parce que morts ou porteurs du germe), la sélection ne pourra

se faire que sur collatéraux, en mesurant les frères des candidats à la sélection. Dans ce cas, disposer de marqueurs génétiques de la résistance améliorerait fortement la rentabilité de la sélection.

a. Résistance génétique aux troubles plurifactoriels La notion de troubles plurifactoriels regroupe un grand nombre de syndromes, tous susceptibles d'une amélioration génétique. Nous présenterons les principaux résultats obtenus pour deux types de caractères : discrets (les boiteries) et censurés (la longévité), l'approche retenue pouvant servir à d'autres troubles plurifactoriels, avant de présenter rapidement la démarche retenue dans la sélection pour la résistance aux ascites, laquelle fait davantage appel aux travaux physiopathologiques (Balog 2003). Réduction des boiteries Les troubles locomoteurs affectent la quasi-totalité des espèces avicoles. Ils sont responsables de graves souffrances pour l'animal et occasionnent de lourdes pertes, tant directes (par réforme des animaux) qu'indirectes en perturbant la croissance.

A la suite de la distinction par Leterrier et Nys (1992) des déformations de type varus et valgus des membres inférieurs du poulet de chair, les travaux de Le Bihan-Duval et al (1996) ont permis d'estimer les héritabilités de ces deux troubles à 0,23, ce qui permet d'espérer une sélection efficace contre les boiteries. La faible corrélation génétique estimée entre varus et valgus suggère que ces deux types de déformations aient deux origines différentes, ce qui a remis en cause le mode de sélection qui utilisait comme critère la note globale (présence ou absence de pattes tordues).

La sensibilité aux boiteries des autres espèces avicoles peut également être réduite par sélection (Chapuis et al 2001). Mais le succès de la sélection est également conditionné par la valeur des corrélations entre la résistance aux boiteries et les autres caractères sélectionnés. Estimer cette corrélation et l'utiliser dans les calculs de sélection facilite l'amélioration conjuguée des performances économiques et de la qualité des aplombs (Le Bihan-Duval et al 1997 chez le poulet, Chapuis et al 2001 chez le canard de Barbarie).

Cette approche pourra d'ailleurs se généraliser à d'autres caractères. Réduction de la mortalité en élevage Réduire la mortalité en élevage a une évidente justification économique. C'est également un objectif éthique. En analysant la survie d'un animal comme une variable binaire (mortalité/survie à l'issue de la période d'élevage), Chapuis et al (2001) obtiennent une héritabilité assez faible (0,10 chez le canard de Barbarie), mais qui permet d'identifier des familles présentant des gènes de viabilité favorables. Par ailleurs, différents travaux ont déjà

été consacrés à l'analyse et l'amélioration de la longévité de poules élevées en cages collectives (Craig et Muir 1996a et 1996b, Ducrocq et al 2000 et §1.1).

Réduction des ascites :

Ce syndrome, souvent fatal pour le poulet de chair, se caractérise par une accumulation de liquide œdémateux dans la cavité abdominale, le plus souvent liée à de l'hypertension pulmonaire (Sanchez et al 2000). D'abord apparu dans les fermes situées en altitude, ce syndrome a pris une importance croissante et suscité de nombreux travaux, notamment en génétique. Il est impossible de résumer ici l'ensemble des travaux, dont Balog et al (2003) ont fait une excellente synthèse. La difficulté de la sélection étant notamment liée à la faible incidence de ce syndrome, certains généticiens ont cherché des critères indirects de mesure de la sensibilité de l'animal en s'appuyant sur les connaissances de sa physiopathologie.

La solution alternative a consisté à augmenter la fréquence du syndrome, en plaçant les animaux dans des conditions favorisant les troubles cardiorespiratoires (notamment sous de faibles pressions, à température réduite ou en ayant recours à la chirurgie) et en faisant parfois appel à des méthodes de calculs très sophistiquées (Roush et al 1997). Le tout a permis de dégager plusieurs possibilités d'application, ce qui illustre l'importance d'une recherche pluridisciplinaire.

Mais, malgré l'ampleur et la qualité des recherches menées sur ce thème, la question de la rentabilité de cette sélection et, par suite, de son application reste posée par Balog et al (2003), et ce malgré le bénéfice certain qui en résulterait pour les animaux.

b. Résistance génétique aux maladies infectieuses Augmenter la résistance des animaux aux maladies infectieuses a été envisagé dès les années 30 pour réduire les conséquences des épizooties qui ravageaient alors les troupeaux, qu'elles soient dues à des bactéries, des virus (Beaumont et al 2003b) ou des parasites (Pinard-Van der Laan et al 2003b).

Avec les progrès sanitaires, ce type d'infection est devenu rare et le coût d'une sélection sur la résistance ne se justifie désormais qu'en l'absence de vaccin ou de traitement efficace et accepté par les consommateurs. Tel est en particulier le cas des coccidioses dont la chimio-prévention risque d'être restreint voire interdite en Europe, alors que le coût des vaccins reste très élevé. Des études sont en cours (Pinard-Van der Laan et al 2003a) qui

devraient permettre d'identifier des marqueurs de la résistance. De même la résistance au portage de salmonelles pourrait être utilisée comme moyen de lutte contre les risques de contamination humaine. En effet, si l'on sait vaincre les symptômes de cette maladie, il est par contre impossible d'éliminer cette bactérie d'un troupeau commercial, en raison de l'existence d'animaux dits "porteurs sains". Ceux-ci peuvent héberger des salmonelles pendant plusieurs semaines sans exprimer le moindre symptôme. Ils représentent une des principales difficultés de la lutte contre les salmonelles car ils ne se distinguent de leurs congénères indemnes qu'au prix d'analyses approfondies. En conséquence, sélectionner des animaux sur la résistance au portage pourrait réduire la fréquence des porteurs et donc les risques de toxi-infection alimentaire. Des estimations récentes de l'héritabilité de la résistance au portage, défini comme la persistance de la bactérie plusieurs semaines après inoculation, ont montré qu'il s'agissait d'un caractère qui pourrait bénéficier d'une amélioration génétique, que ce soit chez l'adulte (Beaumont et al 1999) ou le poussin (Berthelot 1998).

Toutefois cette sélection apparaît, comme toute expérience de ce type, délicate à appliquer à grande échelle, d'où l'intérêt de l'étude des gènes en cause (Beaumont et al 2003a), plusieurs gènes candidats ayant été identifiés (Mariani et al 2001, Kramer et al 2003). Une autre approche, plus générale, vise à sélectionner des lignées divergentes sur leur réponse immunitaire pour constituer des modèles animaux particulièrement appropriés à la recherche des gènes en cause et à la compréhension des relations entre capacité immunitaire, résistance aux maladies et niveau de production en relation avec le milieu. Plusieurs études ont montré la faisabilité d'une sélection sur la réponse humorale (Pinard-Van der Laan et al 1998) ; l'expérience de sélection menée par Pinard-Van der Laan (2002) sur la réponse en anticorps, la réponse cellulaire et les capacités de phagocytose montre à la fois la faisabilité d'une amélioration génétique de ces trois critères et leur indépendance. Enfin, des études récentes visent à tester les possibilités d'amélioration génétique d'autres mécanismes généraux de résistance, comme les capacités bactériostatiques de l'œuf, qui pourraient également améliorer la sécurité sanitaire (Vidal et al 2003).

2.3. Réduction des rejets dans l'environnement :

Les rejets des animaux d'élevage sont de plus en plus souvent critiqués. Or il est possible de les réduire par sélection. Les travaux précurseurs de Bordas et Mérat (1975) ont montré qu'il était possible de sélectionner des lignées de poules pondeuses divergeant pour leur consommation résiduelle, fraction de l'ingéré qui n'est expliquée ni par les besoins

d'entretien de l'organisme, ni par ceux de production (ponte dans ce cas), ce qui rend ce critère de sélection indépendant du niveau de performance de l'animal (Bordas et al 1992). Chez le poulet de type chair, c'est l'indice de consommation qui est considéré. Si sa sélection est déjà pratiquée dans certaines souches destinées aux élevages intensifs (Jego et al 1995), son coût reste élevé, d'où l'intérêt d'une amélioration indirecte à travers l'accélération de la croissance, la réduction du niveau d'engraissement, la modification de la forme de la courbe de croissance, mais aussi l'augmentation des capacités de digestion des animaux dont Mignon-Grasteau et al (2003) viennent de montrer qu'il s'agissait d'un caractère très héritable, au moins dans le cas de poulets nourris avec une forte proportion de blé de mauvaise qualité.

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 quasi 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 03. 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 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).

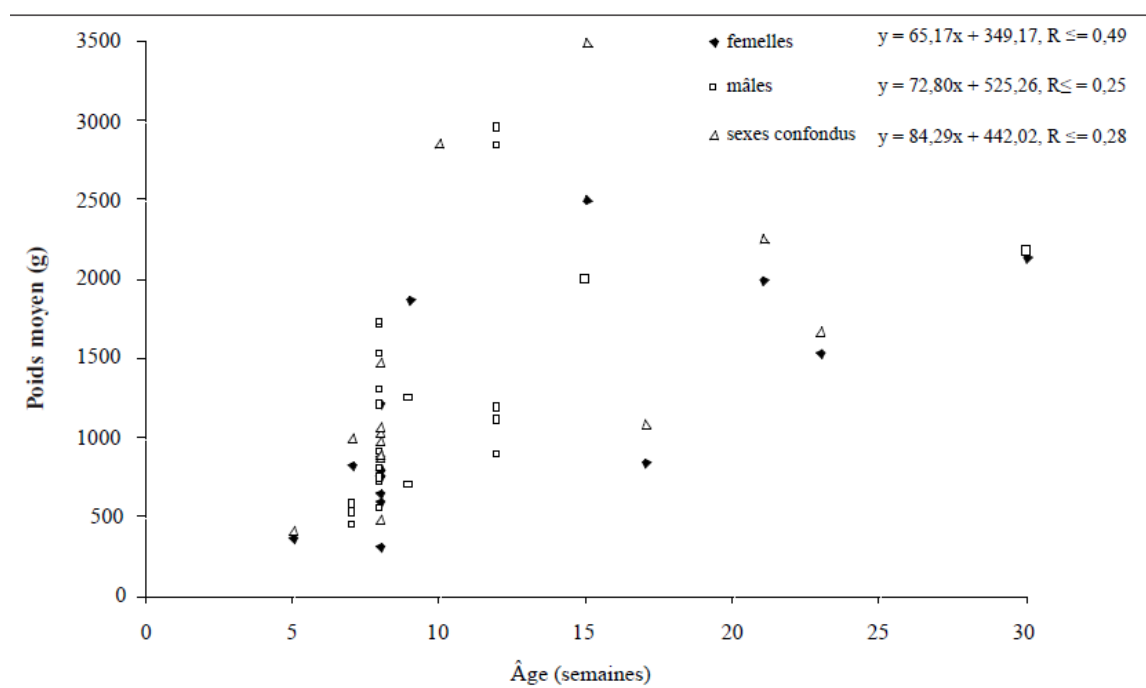


Figure 03 : Poids vif moyen (g) des femelles, des mâles et des deux sexes confondus de 35 races traditionnelles de poulets conservées en Europe.

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



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 intrapopulation 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 intrapopulation(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 différençaient 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 208 races 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.

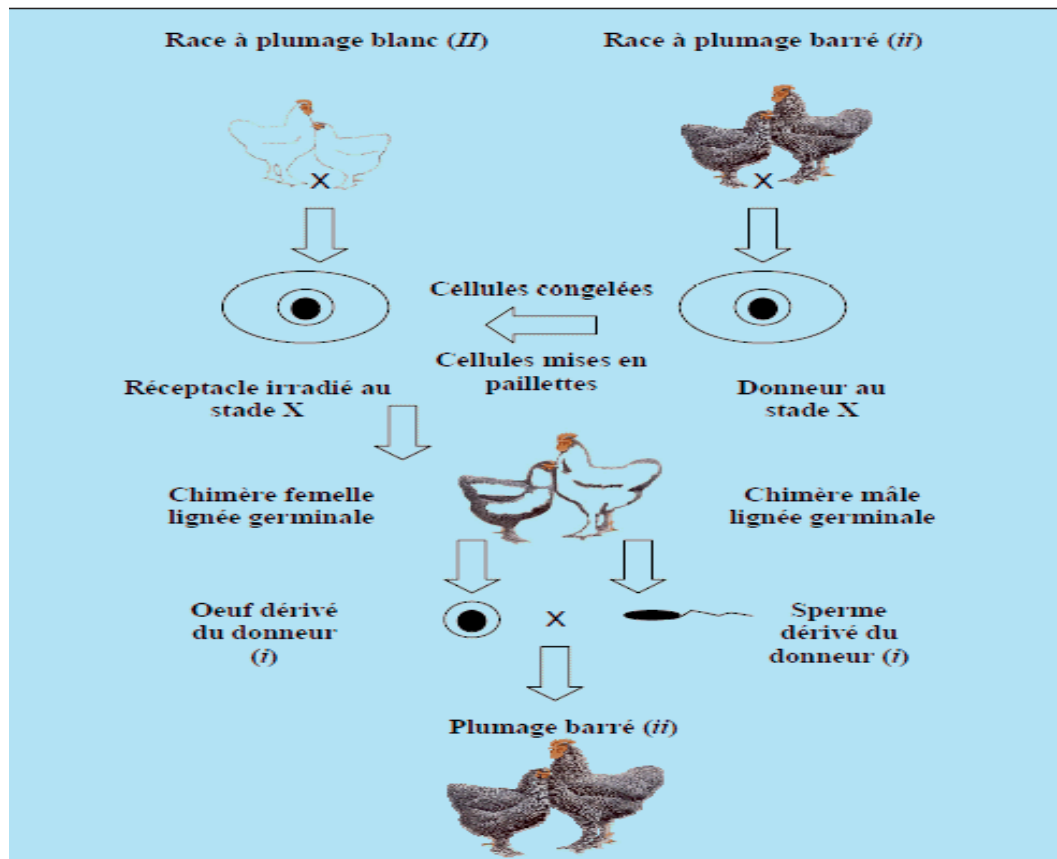


Figure 04 : Diagramme de la cryopréservation du blastodisque aviaire et reconstitution, d'après Reedy et collaborateurs (1995) tel que cité par Delany et collaborateurs (1999).

2.4. Amélioration des capacités de reproduction

Les capacités de reproduction des animaux sont nécessairement maintenues par la sélection naturelle. Mais la dégradation régulière des performances de reproduction des souches lourdes pourraient à terme renforcer l'importance accordée à ces critères ou susciter de nouvelles recherches, notamment sur les capacités de production spermatique, domaine dans lequel les recherches restent encore extrêmement limitées. L'augmentation de la durée de période fertile, période pendant laquelle la femelle peut pondre des œufs fertiles après une insémination, peut également permettre d'espacer les inséminations (Beaumont 1992). Cette démarche apparaît particulièrement intéressante dans les espèces comme le canard où la faible durée de période fertile, notamment pour la production de mulards, implique des inséminations rapprochées (Tai et al 1994, Brun et Larzul 2003).

2.5 / Amélioration du bien-être animal

Que ce soit à la demande des consommateurs ou pour tenir compte de la législation européenne, la question du bien-être animal est de plus en plus souvent discutée, ce

qui entraîne également des questions sur ses relations avec la génétique (voir revue de MignonGrasteau et Faure 2002). Deux grands types d'approches peuvent être considérés dans ce domaine. La première porte sur des aptitudes générales (tendance à la peur, motivation sociale, dominance...) qui peuvent modifier un grand nombre de comportements, la seconde se focalise sur un type de comportement particulièrement important. Améliorer la sociabilité et diminuer la sensibilité au stress pourraient permettre d'augmenter les capacités d'adaptation des animaux. En conséquence, plusieurs expériences de sélection ont déjà été menées sur des caractères généraux de tempérament : la motivation sociale (Mills et Faure 1991) et la sensibilité aux agents stressants mesurée par le taux de corticostérone après un stress social (Gross et Siegel 1985) ou thermique (Brown et Nestor 1973), l'activité en openfield (Faure et Folmer 1975) ou encore la durée d'immobilité tonique chez la caille (Mills et Faure 1991). Il faut maintenant tirer tous les enseignements, notamment moléculaires, de ces expériences et les transposer à d'autres espèces avicoles. En parallèle, d'autres aptitudes sont à étudier comme la peur vis-à-vis de l'homme, chez le canard (Faure et al 2002) ou d'autres espèces, ou encore l'activité locomotrice (Bizeray et al 2000). Par ailleurs, différents travaux ont été menés pour apporter une réponse spécifique à différentes sources de réduction du bien-être.

Tel est en particulier le cas des recherches menées sur la résistance aux maladies (§2.2), mais aussi de celle visant à limiter le comportement de picage des animaux. Celui-ci étant en partie sous contrôle génétique (voir revue de Chapuis et al 2000), la sélection de lignées de poulets moins sensibles au comportement de picage pourrait constituer une solution en réduisant les pertes économiques liées au phénomène, sans recourir au débecquage ou à l'élevage en obscurité, tous deux fortement contestés. Au moins trois stratégies de sélection sont recensées à ce jour : l'observation directe des animaux (Kjaer et Sorensen 1997, Kjaer et al 2001), la sélection en cages collectives d'apparentées pour les pondeuses (Craig et Muir 1996a et 1996b), ou le recours à un « picomètre » qui enregistre le nombre et la force de coups de becs portés à un leurre (Bessei 1999 cité par Chapuis et al 2003). La diversité des pistes suivies par les chercheurs pour limiter le picage illustre à la fois la difficulté de la démarche et l'intérêt qu'elle suscite. Si la génétique intervient dans ces caractères, son rôle n'est que très partiel puisque ce type de caractère est influencé par un nombre particulièrement important de facteurs (Beaumont et al 2002). De nombreuses questions sont à résoudre avant d'introduire en sélection un nouveau critère : - celui-ci doit s'exprimer de façon aussi cohérente que possible dans deux environnements très différents, de sélection et de production ; - il doit être à la fois de portée générale et susceptible d'être mesuré sur de

grands effectifs. Enfin, l'estimation des corrélations génétiques entre tout nouveau critère et les performances zootechniques reste un préalable à toute introduction dans les schémas de sélection commerciale. Si ces questions se posent pour tout critère de sélection, elles sont particulièrement délicates lorsqu'il s'agit de critères comportementaux.

Photo 02 : 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).



Photo 03 : La race belge Barbu de Grubbe, caractérisée par l'absence de vertèbres coccygiennes (gracieuseté des Éditions Komet).



Photo 04 : La race hongroise Cou-nu de Transylvanie, étudiée et utilisée pour sa thermorésistance (gracieuseté des Éditions Komet).



Photo 05 : 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).



Photo 06 : 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).



Reproduction de la poule :

La poule est ovipare. Elle pond des œufs qui peuvent être fécondés si la poule vit en compagnie d'un coq. Les œufs fécondés éclosent au bout de 21 jours de couaison ou d'incubation.

La sélection :

Comme dans tout élevage, il faut sélectionner les animaux les plus prometteurs, ceux qui ne présentent un minimum de défauts. Par exemple, les poules qui pondent peu sont à écarter de la reproduction. Par contre, les animaux les plus vigoureux, avec une bonne santé et un bon développement sont à retenir.

Si le cheptel de volaille est relativement important, il devient utile de pouvoir identifier les animaux. Pour se faire, on peut utiliser des bagues à placer aux pattes. Bagues en spirale de différentes couleurs ou bagues numérotées feront l'affaire. Il est alors utile de constituer une petite fiche où l'on notera l'éclosion, les parents ainsi que toutes les caractéristiques ou notes utiles pour la continuation de l'élevage.

Pour obtenir une généalogie sans inconnue, on peut même recourir à des nids à trappe. Ceci consiste à disposer d'un nid qui se referme dès que la poule vient y pondre. Quand on vient ramasser l'œuf, on est donc sûr de sa lignée maternelle.

La consanguinité :

Une autre règle à respecter est d'éviter la consanguinité. Il suffit de penser aux empereurs romains qui n'ont eu de cesse de se marier entre membres de la même famille pour savoir qu'il s'agit là d'une voie sans issue fructueuse.

Comment procéder? Une solution simple est de séparer les jeunes de leurs parents, par exemple dans un enclos séparé. Si l'infrastructure ne le permet pas, il faudra se séparer soit des jeunes, soit des parents (par exemple, achat/vente/échange). Une des solutions les plus simples consiste à changer le mâle reproducteur et à conserver les femelles.

La proportion entre mâles et femelles :

Pour les races « légères », un coq suffit pour 10 poules. Pour les races « lourdes », un coq pour 6 poules est nécessaire.

Les méthodes de reproduction :

Un accouplement permet de fertiliser tous les ovules. Des lors, tous les œufs pondus dans les 10 jours qui suivent l'accouplement peuvent être mis en incubation. Au-delà, le taux de fécondation est moindre.

La fertilité des reproducteurs et le taux d'éclosion dépendent de la génétique et de l'environnement. Des reproducteurs jeunes, bien nourris vivant dans de bonnes conditions donnent de meilleurs résultats.

Des études ont montré qu'un œuf pondu le lendemain de l'accouplement peut déjà être fécondé. Dans un petit groupe, un bon taux de fertilité peut déjà être atteint 4 jours après l'introduction du coq parmi les poules. Quand on retire le coq du groupe, la fertilité des poules diminue au bout de 4 à 5 jours. Elle reste satisfaisante pendant une semaine environ. La capacité de stockage des spermatozoïdes chez les poules est telle que la poule peut encore pondre des œufs fécondés jusqu'à 3 semaines après le retrait du coq du groupe.

Lorsque des œufs féconds sont disponibles, vous avez le choix entre laisser la poule couvrir: c'est la technique la moins onéreuse mais elle donne généralement moins de poussins. Par contre, en faisant incuber les œufs, les poules continuent de donner des œufs mais cela implique l'achat ou la fabrication d'un incubateur auquel il faut ajouter ses frais de fonctionnement.

La maturité sexuelle :

La poule ne commence généralement pas à pondre avant 6 mois. A partir de 2 ans, la ponte baisse significativement.

Comme elle ne pond pas souvent en hiver, il faut parfois patienter jusqu'au printemps suivant pour voir les premiers œufs.

Le coq reste fertile jusqu'à 4 ans environ.

La copulation :

La copulation s'effectue par contact entre le cloaque du coq et celui de la poule. Il s'y déverse des millions de spermatozoïdes; ils peuvent rester vivants une dizaine de jours dans les voies génitales femelles.

Cette particularité explique qu'il ne faut pas un coq en permanence parmi les poules pour obtenir des œufs fécondés. Certains éleveurs placent le coq dans 2 enclos de poules, en y alternant sa présence une semaine sur deux, par exemple.

Un seul acte sexuel permet de féconder plusieurs œufs. Le coq sait qu'il doit s'accoupler avec la poule entre l'ovulation et la formation du blanc; sinon, les spermatozoïdes seront bloqués par un œuf en formation.

La fécondation d'un œuf se produit dans l'oviducte de la poule.

Si la copulation n'est pas assez fréquente, voire totalement inexistante, plusieurs éléments sont à vérifier:

- la bonne santé: nourriture de qualité en suffisance, pas de maladies, reproducteurs ni trop jeunes, ni trop vieux, ni trop gros, ni trop maigres

- la bonne proportion entre mâles et femelles
- de bonnes conditions de vie: température, ventilation, espace suffisant
- les femelles ne dominant-elles pas trop les mâles?
- si l'imprégnation est trop forte, les animaux tiennent plus à vous qu'aux autres animaux, ils pourraient ne pas copuler en votre absence

L'espérance de vie :

L'espérance de vie est de l'ordre de:

- 5 à 8 ans pour une race ancienne
- 1 à 4 ans pour une poule d'un élevage intensif
- 1 à 3 ans pour un poulet de chair

Choisir une race de poule :

Si on choisit d'élever des poules pour avoir des œufs, il faut choisir avec soin la race. Si toutes les poules pondent des œufs, mais certaines races sont plus prolifiques que d'autres, certaines pondent des œufs plus gros ou de couleurs différentes; certaines consomment plus de nourriture que d'autres.

Les choses se compliquent davantage quand on sait qu'il existe plus de 200 races de poules :

Le plumage: blanc, brun, gris, feu, noir, tout à la fois et même à raies ou à points, le plumage de la poule est très varié.

On classe généralement aussi les poules suivant leur taille: races naines, moyennes ou grandes.

Elevées pour leur chair ou pour leurs œufs, race pure ou hybride, c'est un art, une science et parfois même un métier que de choisir la bonne race.

Classement selon l'origine :

Si vous souhaitez privilégier les races locales belges, orientez-vous vers les races Fauve de Hesbaye, Brabançonne, Brackel, Herve ou Ardennaise.

Si vous souhaitez privilégier des races françaises, voici une liste non exhaustive: Alsace, Bourbonnaise, Bresse gauloise, Combattant du Nord, Coucou de Rennes, Cou-nu du Forez, Crèvecoeur, Faverolles, Gâtinaise, Gauloise dorée, Houdan, La Flèche, coq de pêche du Limousin, Marans, Meusienne et Noire du Berry.

Les amateurs de poules suisses se tourneront naturellement vers l'Appenzelloise huppée.

Classement selon la taille :**Races naines :**

Les coqs des races naines ne dépassent pas 2 kg.

Les races naines sont souvent utilisées pour leurs compétences maternelles.

- Ardennaise
- Australorp
- Bantam de Pékin ou Pékin
- Barbu d'Anvers
- Barnevelder
- Combattant anglais moderne
- Faverolles
- Hambourg
- Hollandaise huppée
- Java

- Ko-Gunkei
- Nagasaki
- Naine allemande
- Padoue
- Pictave
- Sabelpoot
- Sebright

Races légères

Les coqs des races légères ne dépassent pas 2,5 à 3 kg, tandis que les poules pèsent 2 kg au plus.

Les poules sont bonnes pondeuses mais couvent rarement.

La plupart des races sont rustiques et précoces (maturité sexuelle dès 5 mois à 5 mois 1/2).

- Ardennaise
- Bresse gauloise
- Gauloise dorée
- Gournay
- Hambourg
- Livourne
- Padoue

Races moyennes :

Les races moyennes proviennent de croisement entre races légères et races lourdes. Les caractéristiques sont intermédiaires entre les 2 aussi. On y retrouve des races qui sont bonne pondeuse, bonne couveuse et bon poulet de chair.

La maturité sexuelle est intermédiaire aussi: vers 6 à 7 mois.

Les croisements hybrides donnent des souches pour l'industrie: pondeuse en batterie et poulet industriel.

- Plymouth Rock
- Rhode Island
- New Hampshire
- Sussex
- Orpington
- Grand combattant du Nord
- Wyandotte

Races lourdes :

Les coqs des races lourdes pèsent jusqu'à 5,5 kg tandis que les poules pèsent jusqu'à 4 kg. Les poules couvent rarement.

La maturité sexuelle est tardive: 8 mois, voire plus.

- Cochin chinoise
- Brahma
- Langshan

Classement selon l'utilisation :**Poules pondeuses :****Œufs à coquille blanche :**

- Alsace
- Barbu d'Anvers (race naine)
- Gâtinaise
- Hambourg (race naine)
- Java (race naine)
- Leghorn
- Naine allemande (race naine)
- Noir du Berry
- Padoue

Œufs à coquille blanc crème ou blanc jaunâtre :

- Gauloise dorée
- Pictave (race naine)

Œufs à coquille légèrement rosée :

- coq de pêche du Limousin
- Bantam de Pékin ou Pékin (race naine)

Œufs à coquille du jaune à brun :

- Australorp (race naine)
- Barnevelder (race naine)

- Faverolles
- Langshan
- New Hampshire
- Soie
- Sussex
- Wyandotte (pondeuse d'hiver)

Œufs à coquille bleu-vert :

- Araucana

Œufs à coquille très foncée, extra-roux :

- Marans

Poulets de chair :

La plupart des poulets ont la peau blanche ou jaune, en fonction de la race (ceci peut aussi être modifié par l'alimentation pour satisfaire les usages régionaux). Si ceci a de l'importance pour vous, pensez à vérifier ce détail au moment du choix de la race.

- Alsace
- Ardennaise
- Australorp (race naine)
- Bourbonnaise
- Brackel
- Brahma
- Bresse gauloise
- Coucou de Rennes

- Cou nu du Forez
- Crèvecoeur
- Faverolles
- Gâtinaise
- Houdan
- La flèche
- Langshan
- Meusienne
- New Hampshire
- Noir du Berry
- Orpington
- Sussex
- Wyandotte

Poules d'ornement ou d'exposition :

- Appenzelloise huppée
- Bantam de Pékin ou Pékin (race naine)
- Cochinchine
- Combattant anglais moderne (race naine)
- Espagnole à face blanche
- Hambourg
- Hollandaise huppée (race naine)

- Ko-Gunkei (race naine)
- Nagasaki (race naine)
- Padoue
- Sabelpoot (race naine)
- Sebright (race naine)

Pour les plumes :

- coq de pêche du Limousin

Pour les combats :

- Combattant du Nord

Comportement naturel de la poule :

Les poules domestiques sont des **animaux sociaux** qui, quand cela leur est permis, forment une structure sociale cohérente et communiquent par des appels, des contacts et des manifestations visuelles.

La poule domestique présente, si cela lui est possible, la même large gamme de comportements de confort et de toilettage que ses ancêtres de la jungle. Cela comprend notamment:

- Le lissage: ceci implique l'arrangement, le nettoyage et l'entretien général de la santé et de la structure des plumes avec le bec ou les doigts
- Le redressement et l'ébouriffage des plumes
- L'étirement des ailes
- Le bain de poussière: même en l'absence de parasites externes et d'un substrat adéquat, même chez les individus élevés sur grillage, ce comportement reste présent. Il est possible que l'impossibilité qu'une poule a de prendre un bain de poussière puisse être la cause des problèmes de picage.

La poule domestique a conservé face à des prédateurs de nombreux comportements tels que l'immobilité, les cris d'alerte, les tentatives soudaines de fuite face au danger et, si elle est capturée, le fait de se débattre et de crier.

Elle a également conservé un comportement de courquand les 2 sexes sont représentés dans un même groupe.

Morphologie de la poule :

La morphologie de la poule aborde la présentation extérieure de la poule: la tête, le corps et le plumage.

Les volailles, comme tous les oiseaux, ont deux pattes, mais également deux ailes, qui leur permettent de voler plus ou moins haut. L'anatomie est organisée autour de cette faculté: les os sont légers et l'appareil digestif court.

Les ailes, munies de 3 doigts, sont couvertes de diverses plumes:

- les rémiges primaires
- les rémiges secondaires
- les plumes de couverture

La queue, qui sert à l'équilibre et à diriger le vol, présente 14 plumes rectrices et des plumes de couverture plus petites.

La tête :

Les yeux sont placés latéralement, ce qui limite la vision. Mais un nombre important de vertèbres cervicales (14 chez la poule et 17 chez l'oie) permet de compenser la position des yeux.

La vision est d'ailleurs le sens le plus développé. Si les poulets voient jusqu'à 50 m de distance, les oies voient jusqu'à 120 m.

La crête est une petite peau rouge clair posée sur le dessus de la tête. Elle est plus grande chez le coq, avec ou sans dents. Sous l'effet de la colère, elle se redresse et devient rouge vif.

Certaines poules portent parfois une belle coiffe, appelée la huppe. Parfois imposante, on dirait un grand éventail posé au-dessus de leur tête.

Chez le coq, les plumes du dos et du cou peuvent être longues, une grande queue comme un éventail. Grandes et courbées, elles font penser à une faucille.

Le plumage :

Le plumage protège le corps. On distingue les plumes tectrices ou de couverture, protégeant contre les intempéries. Les plumules, sous les plumes tectrices, sont des plumes souples à même le corps, servant de couche isolante.

La ponte, l'incubation, les intempéries induisent une usure importante du plumage. Ceci conduit à leur remplacement une fois par an: la mue a lieu à l'automne. La mue peut prendre de 2 à 3 mois. Néanmoins, celle-ci sera plus rapide chez les animaux en bonne santé. C'est une période particulièrement difficile pour les animaux; ils sont plus vulnérables et nécessitent des soins les plus appropriés.

Les pattes :

Les pattes présentent 4 doigts.

A bien y regarder, les pattes de poules ressemblent à celles des dinosaures: elles sont recouvertes d'écailles et se finissent par de grosses griffes. L'ergot est un petit bout de corne, une arme redoutable pour le coq.

Crête de coq :

La crête de coq est l'un des éléments les plus visibles sur la tête d'un coq. Il en existe de différentes formes.

La crête est un appendice charnu, généralement rouge, placé au sommet de la tête du coq et de certaines poules. Chez certaines races, la crête peut être noire ou pourpre foncée.

Formes de crêtes de coq :

Il existe différentes formes de crêtes: simple, frisée, à cornes (La Flèche), en pois, en feuilles de chêne (Houdan), en coussin, en noix (combattant malais), perlée (Hambourg),...

Crête simple :

C'est la forme la plus courante. Elle comporte des petites dents appelées « crêtillons ». La plupart des images de coq présente un coq portant une crête simple.

Le coq la porte généralement droite. Chez la poule, elle peut avoir tendance à tomber car il lui manque un muscle fibro-élastique.

Le principal problème qui survient à cette forme de crête est que les crêtillons peuvent geler et finalement tomber, par temps très froid. Ceci n'est pas un problème de santé majeur pour l'animal. Toutefois, cela anéantit toutes ses chances lors d'expositions. Afin d'éviter ce problème, on peut enduire la crête de vaseline pour éviter le gel.

Crête rosacée :

La crête rosacée se rencontre notamment dans la race Rosecomb, une race anglaise Bantam, utilisée principalement en concours.

Crête en gobelet :

La crête en gobelet se rencontre notamment dans la race sicilienne.

Crête perlée :

La crête perlée peut se voir dans la race de Hambourg.

Fonction :

La crête pourrait un rôle de thermorégulation: quand la poule a trop chaud, l'excédent de chaleur s'évacuerait par la crête. En effet, la poule ne dispose d'aucun système de transpiration pour faire baisser la température du corps. Quand le sang circule dans la crête et les autres appendices de tête, il est refroidi, ce qui permet à la poule de faire baisser sa température corporelle.

La crête de coq est certainement un caractère sexuel secondaire: la crête est beaucoup plus grande chez le coq que chez la poule. D'ailleurs, un chapon - un coq ayant été stérilisé - ne développe pas de crête.

Les poules sont naturellement attirées par des grandes crêtes. Et la couleur rouge les attire davantage encore.

La crête est un bon indicateur de la santé de l'animal. Plus claire ou plus sombre que d'habitude, il vaut mieux surveiller son animal; il pourrait être malade.

Dans les expositions, l'examen de la crête est prise en compte et participe à l'évaluation de l'animal.

Usage :

La crête de coq fait partie de la tradition culinaire française. Elle sert notamment de garniture.

La crête de coq est aussi utilisée en médecine où on lui prête des vertus curatives. On la retrouve notamment dans des traitements contre l'ostéarthrose.

On en extrait de l'acide hyaluronique pour des soins cosmétiques de la peau.

Chromosomes de poule :

Comprendre les chromosomes des poules est nécessaire pour aborder la génétique et les croisements. Combien y en a-t-il? Comment sont-ils transmis?

Chez la poule, dans chaque cellule de son corps, il y a **78 chromosomes**.

Quand on parvient à les isoler et à les mettre en évidence, on se rend compte:

- qu'ils vont 2 par 2 — on dit qu'ils forment une paire —;, sauf les chromosomes sexuels
- 9 paires, dont celle des **chromosomes sexuels**, sont des macrochromosomes
- 30 paires sont des microchromosomes

- le **mâle** a 2 chromosomes sexuels identiques. On les appelle **ZZ**.
- la **femelle** a 2 chromosomes sexuels différents (la différence se voit au niveau de leur taille). On les appelle **ZW**.

Pour la poule, il y a donc 39 paires de chromosomes. On dit aussi $2n = 78$.

A quoi servent les chromosomes?

Pour faire simple, on peut dire que l'ensemble des chromosomes contient le mode d'emploi pour construire toutes les cellules du corps d'une poule ou d'un coq.

De quoi sont composés les chromosomes?

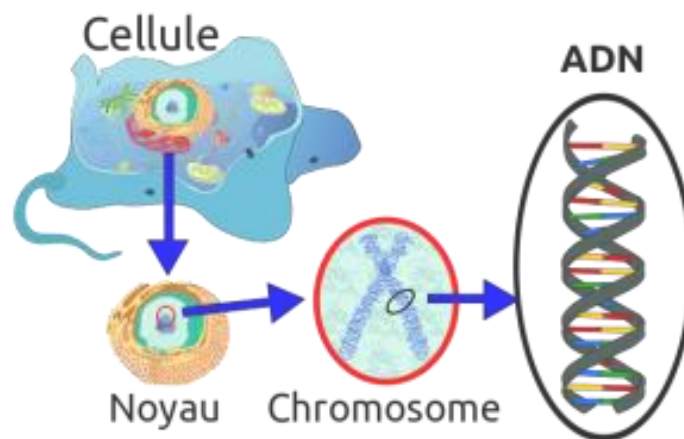


Figure 05 : Les chromosomes se trouvent dans le noyau d'une cellule.

Chaque chromosome est constitué d'ADN qui se présente sous la forme d'une double hélice. La double hélice est elle-même constituée de 2 brins qui se font face.

A l'intérieur de l'hélice, il n'y a que 4 structures différentes possibles: adénine (A), cytosine (C), guanine (G) ou thymine (T).

On sait que A est toujours placée en face de T, et C fait toujours face à G. Si les 2 brins de l'hélice sont séparés, il y a donc toujours moyen de deviner la structure de l'autre brin.

Pourquoi des paires de chromosomes?

Pour fabriquer un poussin, la poule donne 39 chromosomes et le coq donne aussi 39 chromosomes.

Le poussin a donc reçu la moitié des chromosomes de sa mère et l'autre moitié de son père. Il en a donc 78 au total.

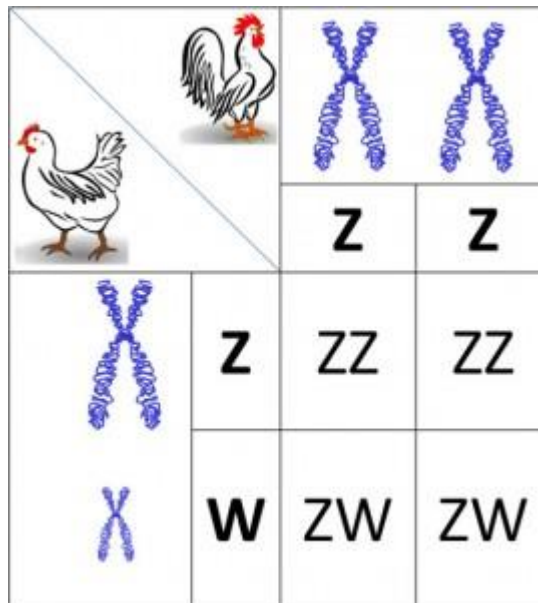


Figure 06 : Chromosomes ZZ et ZW chez les oiseaux

Selon que les chromosomes sexuels sont de même longueur ou non, ce sera une femelle (ZW) ou un mâle (ZZ).

Note: chez l'homme, c'est la femme qui a des chromosomes sexuels identiques (XX) et l'homme en a des différents (XY).

Facile donc de sexer un poussin avec ses chromosomes?

Non, pas vraiment. Tout ceci est infiniment petit. Les chromosomes se mesurent en micromètres. Sans matériel de laboratoire sophistiqué, impossible d'y voir quelque chose à l'œil nu.

Quand on n'a que quelques poussins, il vaut mieux essayer des techniques de sexage plus simples.

Comment se fait-il que la poule ne transmette pas ses 78 chromosomes au poussin?

Au moment de fabriquer un ovule ou un spermatozoïde, les 78 chromosomes d'une cellule sont séparés puis divisés pour former 4 gamètes (ovule ou spermatozoïde). Ce processus s'appelle la **méiose**.

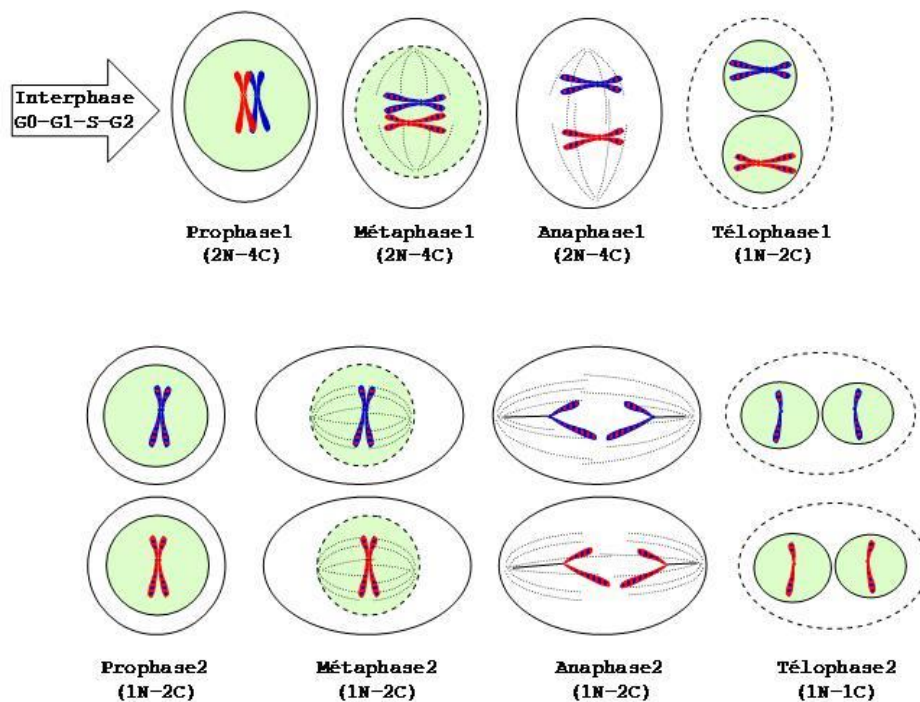


Figure 07 : Les différentes étapes de la méiose

Pour comprendre le schéma de la méiose ci-dessus:

- en haut à gauche
 - le cercle extérieur symbolise une cellule
 - le cercle intérieur symbolise le noyau de la cellule

seule une paire de chromosome est dessinée

les chromosomes de la paire ont des couleurs différentes pour rappeler que l'un vient du père et l'autre de la mère

La méiose se déroule en plusieurs étapes. Par souci de simplicité, seules les 2 étapes principales sont abordées. Elles correspondent respectivement à la 1e et 2e ligne du schéma ci-dessus.

- les paires de chromosomes sont d'abord séparés. On obtient 2 cellules de n chromosomes. L'ADN est sous la forme d'une double hélice.
- les 2 brins d'ADN d'un chromosome sont séparés ensuite. On obtient 4 cellules de n chromosomes avec l'ADN sous forme d'une hélice simple.

A partir d'une cellule, il y a eu fabrication de 4 ovules ou 4 spermatozoïdes.

Les yeux et la vision des poules :



Figure 08 : La poule perçoit les couleurs, tout comme nous.

Vous pensez peut être que la poule ne voit pas bien parce qu'elle a une petite tête. Vous serez surpris d'apprendre que la poule perçoit plus de choses que nous les humains. En plus, l'œil droit et le gauche peuvent fonctionner séparément.

La rétine, au fond de l'œil, perçoit 3 couleurs: rouge, jaune et bleu. 3 types de cônes: rien de bien particulier jusque-là.

Mais la rétine de la poule fait mieux encore: certains cônes perçoivent la lumière ultra-violette (UV).

C'est là un avantage appréciable pour trouver des graines et des petits insectes. Elle peut aussi plus facilement faire la différence entre l'herbe et la poussière. Cela renseigne en plus la poule sur la santé de ses poussins puisque des plumes en croissance reflètent la lumière UV.

Un 5e type de cône au fond de la rétine sert de détecteur de mouvement. Encore plus facile de trouver le petit insecte qui se déplace sous son bec ou de repérer un prédateur qui la menace.

Hyper uniformité désordonnée :

C'est le terme un peu étrange donné par les scientifiques pour décrire la manière dont les 5 types de cônes sont placés les uns par rapport aux autres au fond de la rétine.

Chez les insectes, les yeux sont composés d'éléments placés de manière géométrique (par exemple, un ensemble d'hexagones).

Chez la poule, l'organisation des cônes semble désordonnée. Et pourtant, les cônes de différentes tailles sont placés de telle sorte qu'aucun cône ne touche un cône du même genre.

C'est une particularité que les scientifiques aimeraient pouvoir imiter dans certains détecteurs de lumière ou circuits optiques.

Sensible à la lumière :

Les yeux de la poule sont donc bien plus sensibles à la lumière que les nôtres. Capable de détecter les petits mouvements d'un insecte, la poule capte aussi le clignotement des lampes d'éclairage artificiel. Le clignotement d'un néon est perçu par la poule et plutôt comme l'éclairage clignotant d'une discothèque. Pas étonnant qu'elles s'énervent parfois au point que le picage devient la norme au sein du groupe et met en péril leur bonne santé.

Vision nocturne :

Depuis le temps des dinosaures, les poules n'ont jamais été des animaux nocturnes. La rétine ne s'est donc jamais pourvue de cônes permettant une vision de nuit. C'est la raison pour laquelle une poule est si facile à attraper à la tombée de la nuit. La nuit, elle est donc très vulnérable face à un prédateur. Pensez à la protéger en fermant bien le poulailler.

Œil et bain de poussière :

Comme nous, l'œil de la poule a 2 paupières pour le protéger: une au-dessus et l'autre en-dessous. Mais face à un bain de poussière, c'est un peu court. La nature a bien fait les choses puisqu'elle a donné à la poule une 3e paupière qui se ferme horizontalement.

C'est surtout au moment du bain de poussière que la 3e paupière va se fermer afin de protéger l'œil du sable et des débris qui pourraient voler.

Angle de vision :

Si l'homme voit selon un angle de 180° environ, l'angle de vision de la poule couvre 300°.



Figure 09 : Les yeux sont placés plutôt sur le côté de la tête, comme c'est le cas de nombreuses proies. Ceci permet de mieux voir arriver un éventuel prédateur.

Taille de l'œil :

L'œil de la poule occupe tout de même près de 10% de la masse de sa tête. Comparativement, c'est seulement 01% chez l'homme.

Cela démontre bien à quel point la vue est un sens vraiment important pour la poule.

Œil gauche-œil droit :

La poule peut utiliser l'œil droit indépendamment du gauche. Les 2 yeux peuvent donc servir à 2 tâches différentes au même moment.

Et tout ceci commence dans l'œuf. Juste avant l'éclosion, la tête du poussin est placée de telle façon que l'œil droit est placé contre la coquille. Il perçoit donc la lumière extérieure qui passe à travers la coquille.

Par contre, l'œil gauche est placé contre le corps du poussin. Tant qu'il n'a pas éclos, il ne perçoit rien.

Après l'éclosion, on constate que l'œil gauche et l'œil droit se sont spécialisés. L'œil droit sert plutôt à trouver la nourriture. Sa vision de près est meilleure. L'œil gauche sert plutôt à repérer les prédateurs. Sa vision de loin est meilleure.

Un petit quizz? Quand un rapace survole une poule, quel œil tourne-t-elle vers le ciel? Mais oui, c'est le gauche.

Une poule aveugle?

Même quand la poule perd l'usage de ses yeux, elle reste capable de percevoir la présence ou l'absence de lumière grâce à la glande pinéale (parfois appelée 3e œil) qui se trouve dans son cerveau.

Alimentation de la poule dans la nature :

Comment se nourrit une poule livrée à elle-même dans la nature? Pour bien comprendre, il faut pratiquement aller revoir ce que mange une poule de jungle, l'ancêtre sauvage de notre poule domestique.

En fait dans la jungle, la poule est omnivore et assez opportuniste. Elle picore des graines, des semences, de la verdure très tendre, des fruits succulents (par opposition à fruits secs) et des légumes, des vers et des limaces, des insectes volants et rampants, des grenouilles et des lézards, des rongeurs et des petits oiseaux.

Dans le fumier d'autres animaux, la poule peut prélever des larves, des insectes et des graines non digérées.

Elle mange des œufs, de la viande fraîche - viande de volaille incluse, et des carcasses d'animaux d'autres espèces.

La poule n'est pas végétarienne. Elle ne broute pas l'herbe non plus, même si elle apprécie de temps en temps un peu de verdure, comme nous apprécions un peu de salade.

De la jungle vers la forêt :

La jungle peut sembler assez éloignée de nous. Il est plus facile de s'imaginer une forêt (ou un bois) dans laquelle une poule est en train de gratter le sol à la recherche de sa nourriture.

Mais les contes avec le grand méchant loup nous rappellent rapidement que les poules sont en danger en forêt, à cause des nombreux prédateurs qui y vivent.

De la forêt au jardin :

Pour mieux la protéger, l'homme a ramené la poule de la forêt vers son jardin. Plus facile à soigner et à nourrir, plus facile de ramasser les œufs aussi.

Evidemment, la nourriture disponible naturellement dans un jardin est différente de celle disponible dans la jungle. Et rares sont les poules qui peuvent continuer à se nourrir seules et en toute liberté.

La majorité des poules se voient servir une nourriture préparée par l'homme. Il faut donc adapter les ingrédients, les proportions, les mélanges pour que la poule continue à

disposer de tout ce qui est nécessaire à sa bonne santé, comme si elle était encore dans la jungle. Des informations plus détaillées à propos de l'alimentation de la poule ou de la composition industrielle des aliments sont disponibles dans d'autres articles.

En effet, même si elle a quitté la jungle, la poule reste omnivore.

Profitant de la proximité avec nous, la poule se délecte aussi de lait, de yaourt et d'autres produits laitiers, si on lui en propose.

Notre poule omnivore connaît un succès croissant, même dans les villes où elle est proposée à des habitants pour les aider à se débarrasser des déchets de cuisine et de table.

Alimentation de la poule

Quelle est donc l'alimentation de la poule? Elle est omnivore, et même principalement granivore. Outre les céréales (blé, orge, maïs), elle mange aussi des herbes, de petits insectes et des vers. On complètera avec des vitamines et des oligo-éléments.

Les besoins

Afin de rester en bonne santé, la poule doit trouver différents éléments dans son alimentation:

- des protides (protéines) qui contiennent des acides aminés:
 - essentiels: ils sont importants dans la nourriture car la poule ne peut les fabriquer. Il s'agit de la méthionine, la lysine, la camitine et de la cystine.
 - non essentiels: la poule peut les fabriquer s'il n'y en a pas dans l'alimentation

des glucides (hydrates de carbone ou sucres) qui constituent la source d'énergie.

Exemple: l'amidon

Des lipides (graisses) qui constituent une autre source d'énergie permettant notamment de combattre le froid

Des minéraux nécessaires en petite quantité: calcium, phosphore, chlorure de sodium, potassium,...

Des oligo-éléments nécessaires en très faible quantité: fer, iode, cuivre, vitamines,...

La composition des aliments

La composition des aliments doit être adaptée à l'âge et au type de volaille (poussin, poule pondeuse ou poulet de chair). Ces aliments diffèrent principalement par la quantité de protéines ainsi que la présence de calcium pour les pondeuses. Voyez aussi la page concernant la composition détaillée des aliments.

Pendant les 3 premiers mois de vie, il faut un sérieux apport de protéines afin d'assurer une bonne croissance. Les poulets de chair ont des besoins en protéines supérieurs. Les pondeuses auront besoin de calcium et d'autres minéraux pour garantir une bonne ponte.

A quoi faut-il faire attention lors de l'achat?

- la composition: surtout le % de protéines: plus de protéines pour les poussins, puis baisse du pourcentage pour les adultes
- les ingrédients: présence ou absence d'OGM, d'antibiotiques, d'anti-coccidiens,...
- la présentation: farine ou graines plus ou moins finement broyées

De même qu'une alimentation saine est recherchée pour la famille, une alimentation aussi naturelle que possible pour nos animaux est tout aussi souhaitable. Néanmoins, il faut savoir qu'il est difficile de trouver des aliments sans OGM (les producteurs ne sont pas obligés de mentionner la présence d'OGM dans la nourriture pour animaux) ni médicaments/additifs. Si l'étiquette indique que la nourriture ne peut être donnée dans les 5 jours qui précèdent l'abattage, c'est un signe de la présence d'anti-coccidiens.

NUTRIMENTS	QUANTITÉ
protéines	12.5%
lysine	0.58%
méthionine	0.25%
calcium	2.71%
phosphore (phytate)	0.24%
vitamine A	2500 UI
vitamine D3	250 UI
vitamine E	4 UI
vitamine K	0.40 mg
choline	875 mg
niacine	8.3 mg
acide pantothénique	1.7 mg
riboflavine	2.1 mg

Figure 10 : un exemple de composition pour une poule pondeuse, selon les sources ci-dessous

La nourriture

Céréales et autres sources de glucides

Environ 70% de la ration sera composée de:

- blé, maïs, orge, avoine, tournesol noir, sorgho, brisure de riz, ... concassé ou écrasé.
- des féculents: pommes de terre, pâtes alimentaires cuites à l'eau salée, châtaigne cuite, pain

Les graines concassées à bas prix contiennent souvent du blé et du maïs, ce qui ne convient pas trop aux pondeuses. Il vaut mieux choisir un des mélanges les plus complets possible (céréales, blé, riz, ...). Le maïs fait grossir et une bonne pondeuse n'est pas grasse.

Il est à noter que les graines de sorgho ont des propriétés antinutritionnelles: les tanins qu'elles renferment inhibent la ponte des poules pondeuses. Dès que l'on dépasse 2% de sorgho dans l'alimentation des poules pondeuses, le taux de ponte journalier chute.

Verdure et légumes :

Riches en fibres et oligo-éléments, les aliments suivants peuvent aussi être présentés:

- herbe fraîche.
- Pissenlits.
- Orties.
- graines d'ortie en petite quantité.
- chènevis en petite quantité.
- Trèfle.
- Luzerne.
- des épluchures, excepté celles de pommes de terre.
- des haricots.
- des pois.
- des feuilles de salades.
- des fruits trop mûrs, surtout appréciés en hiver.

Des protéines animales :

La poule en liberté se régale de limaces, vers de terre et insectes. Si elle n'y a pas accès en suffisance, on peut lui proposer des restes de viande et de poisson.

Pâtées :

On peut aussi proposer à la poule des pâtées-maison:

- farine de maïs et orge, additionnée de son, végétaux, épluchures, reste de viande ou poisson
- œufs durs trempés dans du lait, oignons et orties hachées, un peu de poivre

La pâtée humide se distribue 2 fois par jour. Une pâtée sèche peut être laissée dans la mangeoire.

Sources de calcium :

Aux **poules pondeuses**, il est recommandé de donner:

- des coquilles d’huîtres broyées, afin d’assurer une bonne qualité de coquille. Les coquilles d’huîtres sont dissoutes par les sucs digestifs et fournissent à la pondeuse le calcium indispensable à la formation de la coquille.
- fromage, lait écrémé, gruyère
- coquillages, os de seiches écrasés

Le grit :

Elle mange également des petits morceaux de **graviers**, nécessaires à la digestion. En effet, l’absence de dents est une caractéristique des oiseaux.

Les petits cailloux se chargent de la fonction des dents lors du broyage des aliments; ils ne quittent d’ailleurs pas le gésier. Ceci peut se trouver dans le commerce sous l’appellation «grit». Il s’agit le plus souvent de petits morceaux de silex, insoluble dans le gésier. Au contraire même, les petits cailloux restent dans le gésier une dizaine de jours où ils aident à broyer les aliments. Il faut compter environ 300 à 500 g de gravier par poule. Si l’alimentation est distribuée sous forme de farine, le grit n’est pas indispensable car il n’y a plus rien à broyer.

Les essais de la sélection chez le poulet

Essai de sélection sur la forme de la courbe de croissance chez le poulet.

L'amélioration génétique des animaux domestiques a fait depuis longtemps l'objet de travaux fondamentaux et appliqués. Pour les animaux de boucherie, l'augmentation de la vitesse de croissance est relativement facile à cause des valeurs souvent élevées de l'héritabilité du poids vif. Mais une croissance très rapide s'accompagne souvent d'une baisse des caractères de reproduction et d'une modification de la qualité traditionnelle de la viande.

L'influence de la vitesse de croissance sur les caractéristiques de reproduction et de carcasse a fait l'objet de nombreuses expériences de sélection effectuées sur des animaux de laboratoire comme la Souris (cf. les revues de ROSIN, 1965, et de FISCHER, 1974) ou le Rat (ZUCKER, 1960 ; BAXTER et al., 1975). Dans l'espèce poule, plusieurs expérimentateurs ont pratiqué avec succès une sélection divergente sur le poids vif à partir d'une même population de départ. Dès 1936, SCHNEIDER, travaillant sur une souche de Plymouth-Rock barrée, a montré qu'une telle sélection était possible. Une expérience portant sur le poids à 12 semaines dans la souche Silver Orléans a été menée par GONN : RAY et GOODMAN (1955) puis par MALONEY et al. (1963). Une autre portant sur le poids à 8 semaines en race Wyandotte a été réalisée par GILES et THOMAS (1963). Plusieurs expériences de sélection divergente sur le poids à 8 semaines ont été réalisées en race Plymouth-Rock blanche car il s'agit d'une race très utilisée dans la production du poulet moderne : BECKENBERG (1959), SIEGEL (1962), Fox (cité par FARRINGTON et MILLER, 1961). Une sélection divergente sur le poids adulte en race Leghorn a été pratiquée par MORGAN (1960) et par NORDSKOG et FOSTING (1962). Signalons également le travail de MACHIDA et BECKER (1970) sur le poids à 6 semaines de la caille japonaise. Les expériences ci-dessus ont permis d'obtenir en peu de générations des animaux ayant des courbes de croissance nettement différenciées. On peut aussi chercher à modifier l'allure normale de la courbe de croissance en travaillant non plus sur un seul, mais sur deux (ou plus) stades de la croissance. Les premiers auteurs à avoir modifié de cette façon la forme de la courbe de croissance ont utilisé des moyens nutritionnels, à la suite des travaux du zootechnicien anglais J. HAMMOND qui eut l'idée de donner aux animaux une ration très riche ou très pauvre par rapport à leurs besoins. La méthode a été appliquée par WILSON (1952) et par MCKAY (1960) à l'espèce poule. Mais il est possible, également, de manipuler la courbe de croissance par des moyens génétiques. En effet, la corrélation entre le poids à deux âges différents n'est jamais absolue : chez la Poule, les nombreuses références citées par KINNEY (1969) montrent que la corrélation génétique entre le poids à 8 semaines et le poids adulte est en moyenne de 0,5 ; dans la souche témoin de type chair « Ottawa », MERRITT (1968) trouve une corrélation

génétique de 0,65 (composante père) et une corrélation phénotypique de 0,47 entre les poids vifs à 9 et 44 semaines. Cela veut dire que la croissance à 8 ou 9 semaines est partiellement indépendante de la taille adulte, comme l'avaient pressenti JAAP et Morris (1931). Cela veut dire aussi qu'il doit être possible par sélection de modifier l'allure de la courbe de croissance (MERRITT et SLEN, 1965 ; CLAYTON et ROBERTSON, 1966 ; BULL, 1974, ARZ, 1974). Effectivement plusieurs essais ont été réalisés. Chez la Souris, MCARTHY (1971, 1974) cherche à augmenter le poids à 5 semaines et à diminuer le poids à 10 semaines, et inversement ; WILSON (1973) cherche à modifier le rapport des gains de poids à des âges différents. Chez les bovins, FOLEY et MOYER, INGLEVO (1971) ont étudié la possibilité de modifier la courbe de croissance des veaux avant sevrage comme moyen d'améliorer l'aptitude au vêlage des races à viande. Chez la Dinde, ABPI, NAP et al. (1963) ont cherché à sélectionner une souche ayant un poids à 8 semaines élevé et un poids à 24 semaines faible. Chez la Poule enfin, MERRITT et SLEN (1963) de même que GYLES et THOMAS (1963) ont essayé d'augmenter le poids du jeune Poulet tout en diminuant celui de la Poule à l'entrée en ponte (c'est-à-dire vers 20-1 semaines). L'intérêt pratique d'une souche à poids juvénile élevé mais à poids adulte faible est d'avoir à la fois une bonne productivité du Poulet et de la reproductrice. Malheureusement, les résultats obtenus sont assez peu encourageants. A la Station du Magneraud, au début des années 60, nous nous sommes posé la question de savoir si l'on pouvait obtenir des poulets ayant des courbes de croissance différentes, comme l'avaient fait Wilson (1952) ou MCANCE (1960), mais en utilisant des moyens génétiques. Une première idée était de sélectionner des animaux arrivant au même poids au même âge mais avec une croissance initiale forte ou faible. L'expérience a été ensuite généralisée à l'étude de l'ensemble des réponses corrélées à une sélection portant à la fois sur le poids juvénile et le poids adulte. A partir d'une même population de base, maintenue sans sélection, nous avons sélectionné les quatre types de souches : poids à 8 semaines fort ou faible, poids adulte fort ou faible. Dans ce premier article, nous présentons les réponses directes obtenues jusqu'à la génération née en 1973 ainsi qu'une première estimation des réponses corrélées concernant l'ensemble de la courbe de croissance et les performances de ponte.

Origine des animaux :

L'origine de nos souches expérimentales est une souche synthétique du Magneraud créée dans les années 1955-1960 à partir d'animaux de race Bresse-Blanche, New-Hampshire et White Amerindien, et appelée « Bresse-pile » (Cochez, 1975). En 1960, la souche était

divisée en z parties : - Une première sous-couche, dite « N », provenait des croisements les plus anciens. Les animaux présentaient une bonne uniformité pour les caractères extérieurs : plumage roux et blanc

Tableau 01 : moyenne et cart-type du poids à 8 semaines de l'angle de protéine et du poids adulte dans la population de départ (2 lots éclos en 1960 ; de 32 seuls animaux vivant à l'âge de 32 semaines).

Caractéristique	Souche « N »	Souche « W »
1° Mâles.		
Effectifs	102	108
Poids 8 semaines (g)	825 ± 160	890 ± 128
Angle de poitrine (grade) ...	54,9 ± 3,9	57,9 ± 3,3
Poids adulte (g)	3 178 ± 309	3 499 ± 369
Corrélation entre poids 8 sem. et poids adulte	0,39	0,33
2° Femelles.		
Effectifs	249	156
Poids 8 semaines (g)	748 ± 119	771 ± 110
Angle de poitrine (grade) ...	56,8 ± 3,9	58,2 ± 3,3
Poids adulte (g)	2 726 ± 332	3 040 ± 361
Corrélation entre poids 8 sem. et poids adulte	0,46	0,48

(Homozygotie pour les allèles C, I et s), crête simple (homozygotie pour les allèles r et P), pattes blanches ou bleues (homozygotie presque complète pour l'allèle W, polymorphisme au locus id). La conformation, de type longiligne, était celle d'une volaille méditerranéenne. Les caractéristiques de croissance et de ponte, non améliorées, en faisaient une souche purement expérimentale. - Une deuxième sous-couche, dite « W », provenait de croisements récents entre la population « N » et des reproducteurs de race White-American. Le phénotype des animaux était moins homogène mais les poulets étaient plus lourds et avaient une meilleure conformation, celle-ci étant mesurée par l'angle de poitrine (RICARD, 196). Deux lots éclos en juin 1960 ont constitué la population de départ de notre expérience. Dans le tableau 01 i, nous indiquons, pour chacune des sous-couches « N », et « W » les performances

mesurées sur les animaux qui étaient vivants à l'âge de 32 semaines : poids à 8 semaines, angle de poitrine à 8 semaines, poids adulte (mesuré à 32 semaines), corrélation phénotypique totale entre le poids à 8 et le poids à 32 semaines. Création des souches expérimentales A partir des animaux de type « N » nés en 1960, nous avons formé 6 parquets pédigrées de un coq et une douzaine de poules qui ont reproduit au printemps 196. Par la suite, la population (appelée X-88) a été maintenue sans sélection, avec une génération chaque année, en reproduction pédigrée. Le schéma utilisé est celui décrit par King et al. (1959) et utilisé par de nombreux chercheurs (par exemple MERRITT et GOWE, 1962) : choix au hasard d'un reproducteur mâle par coq, d'un reproducteur femelle par poule, accouplements au hasard en évitant les mariages frère X sœur et demi-frère X demi-sœur. Quand une mère n'a pas de descendant, on choisit comme remplaçante une poule du même parquet pédigrée de façon à égaliser la descendance de chaque père. 12 parquets pédigrées ont été constitués en 1962, une vingtaine de 1963 à 1973. A partir des animaux « N » et « W » nés en 1960, nous avons constitué 2 parquets pédigrées regroupant des animaux légers à 8 semaines et lourds à l'âge adulte (souche X-11) et 2 parquets regroupant des animaux lourds à 8 semaines et légers à l'âge adulte (souche X-22). En 1962, nous avons pu constituer 8 parquets pédigrées pour chacune de ces souches, en 1963, une dizaine à partir de 1964, une quinzaine depuis 1972. L'expérience a été complétée en 1964 par la création de deux autres souches, l'une ayant un poids à 8 semaines et un poids adulte élevés (souche X-33), l'autre ayant un poids à 8 semaines et un poids adulte faibles (souche X-44). En 1964, Et 8 parquets pédigrées leur ont été consacrés, une dizaine à partir de 1965, une quinzaine depuis 1972. À partir de 1965, le poids adulte a été mesuré à l'âge de 36 semaines (± 1 semaine). Le tableau 2 donne les effectifs de base de chaque souche pour chaque génération de 196 à 1973 : nombre de pères et de mères ayant eu au moins 1 poussin éclos, nombre total de poussins éclos. Le nombre de lots d'éclosion a varié d'une année à l'autre en fonction des possibilités d'élevage dont nous disposions. Cela explique en grande partie les variations qui apparaissent dans le nombre moyen de poussins par mère. Pour les années 1963, 1964 et 1965, deux séries d'éclosion ont été obtenues pour la souche X-88 : une première série utilisée comme témoin pour l'expérience courbe de croissance, une deuxième série pour avoir une population de référence plus importante. Jusqu'en 1965, la moitié environ des reproducteurs des 8 souches sélectionnées ont été choisis dans la souche témoin, l'autre moitié provenant de la souche du type considéré. En 1966 et 1967, l'apport de la souche témoin peut se chiffrer à 20 p. 100 des animaux mis en reproduction. Les 4 souches sélectionnées ont été fermées en 1968. Le but de cette migration dans les premières générations de sélection était de concentrer aussi

rapidement que possible les gènes responsables de la forme de la courbe de croissance sans augmenter notablement la consanguinité, et ce d'autant plus que nous ne pouvions entretenir qu'une seule souche par type. Tout au long de la période considérée, les deux critères de sélection ont été le poids à 8 semaines et le poids adulte, mesuré à un âge voisin de 36 semaines. Nous n'avons pas cherché à calculer un index de sélection : le principe du choix était de prendre comme reproducteurs des animaux en bonne santé se rapprochant le plus du type recherché, et si possible ceux dont l'écart à la moyenne était de l'ordre de l'écart-type pour chacun des deux critères de sélection. Jusqu'en 1971, aucun compte n'était tenu des performances d'élevage (caractères « fitness ») et en particulier de la mortalité. Mais au fil des ans, l'une ou l'autre souche sélectionnée présentait une grande fragilité, de façon variable selon les générations. Pour tenter de réduire cet inconvénient, nous avons tenu compte de ces caractères dans les dernières générations (à l'exception du témoin X-88), en éliminant : - le tiers des familles de pleins frères sur le nombre de poussins éclos ; - 25 à 30 p. 100 des familles sur le taux de mortalité.

Conditions d'entretien des animaux Au cours de la période étudiée, les animaux ont subi des conditions d'élevage aussi constantes que possible mais des variations sont toutefois à signaler : 1. Période d'éclosion : toujours comprise entre fin mai et mi-juillet. 2. Bâtiments d'élevage : les mêmes bâtiments n'ont pas été utilisés tout au long de la période étudiée mais il s'agissait toujours de poussinières et de poulaillers de type traditionnel, avec fenêtres et ventilation statique. 3. Éclairage : éclairage naturel jusqu'en 1967, puis complément pour avoir 16 heures de lumière par jour en poulailler à partir de l'âge de mois. 4. Prophylaxie sanitaire : peu d'interventions au cours des premières années (vaccinations contre la maladie de Newcastle et la variole). Puis, les programmes sont devenus complexes pour prévenir les coccidioses et les mycoplasmoses. L'année 1971 a été marquée par une attaque meurtrière de la maladie de Marek aiguë. A partir de 1972, les animaux ont toujours été vaccinés contre 5 cette maladie. 5. Alimentation : le programme alimentaire a subi lui aussi quelques modifications. À partir de 1961, cependant, un effort a été fait pour donner le même aliment (aux variations de composition des matières premières près). Le tableau 3 indique les différents types d'aliment utilisés en fonction de l'âge des animaux et le tableau 4 donne les caractéristiques principales de ces aliments.

Tableau 02 : différents types d'aliment utilisé en fonction de l'âge

Age des animaux	Année			
	1960 à 1963	1964 à 1965	1966 à 1969	1970 à 1973
0-3 semaines	A 1	R 1	R 1	R 1
3-8 semaines	A 2	R 1	R 1	R 1
8-11 semaines ⁽¹⁾	A 2	R 2	R 2	R 2
11-20 semaines ⁽¹⁾	C	R 2	C	C
après 20 semaines	D	R 3	R 3	D

⁽¹⁾ 13 semaines en 1972 et 1973.

Si les conditions d'élevage ont pu varier d'une année à l'autre, elles étaient les mêmes pour les cinq souches nées la même année. Tous les poussins nés le même jour ont été en effet élevés ensemble dans les mêmes bâtiments, à deux exceptions près : - comme indiqué précédemment, la souche témoin X-88 a eu deux séries d'éclosion en 1963, 1964 et 1965, seuls les animaux de la première série étant élevés en même temps que ceux des quatre souches sélectionnées ; - en 1965, les poussins ont été élevés dans la même poussinière mais dans des cases différentes pour chaque souche, les animaux étant regroupés dans un même poulailler après l'âge de 16 semaines.

Tableau 03 : caractéristique des aliments principaux des aliments utilisés

Aliment	Matières azotées totales (%)	Énergie métabolisable en kcal/g
A 1	23,1	2 910
A 2	20,0	2 590
C	16,9	2 270
D	16,0	2 300
R 1	22,2	2 940
R 2	16,2	2 540
R 3	16,9	2 790

Caractéristiques de la population de base Dans le tableau i, nous avons indiqué les paramètres statistiques du poids à 8 semaines et du poids adulte des animaux (nés en 1960) qui ont constitué notre population de départ. Nous avons d'autre part calculé les paramètres génétiques des mêmes caractères pour les animaux de la souche témoin nés en 1960 (sous-couches N), 196 et 1962 (souche X-88). Nous nous sommes limités aux lots d'éclosion (2 par année) où mâles et femelles ont tous été gardés jusqu'à l'âge adulte. Les calculs ont porté sur les valeurs brutes des deux poids vifs des seuls animaux vivant au moment de la pesée adulte. Les résultats sont indiqués dans le tableau 5 : moyennes, écarts type calculés intra-lot d'éclosion, composantes père et mère des héritabilités et des corrélations génétiques. Les résultats obtenus concordent avec les chiffres trouvés dans la littérature (voir par exemple les références citées par KINNEY, 1966). Les héritabilités sont relativement élevées : composante père de l'ordre de 0,4. La composante père de la corrélation génétique est de 0,2 pour les mâles et inférieure à 0,6 pour les femelles. Dans notre population, il paraissait donc possible de sélectionner indépendamment pour le poids juvénile et le poids adulte, comme l'avaient signalé nombre d'auteurs cités dans l'introduction.

Tableau 04 : paramètres génétiques du poids à 8 semaines et du poids adulte dans un échantillon X_88 (animaux nés en 1960 ; 1961 et 1962)

Caractéristiques	Mâles (1)		Femelles (2)	
	Poids à 8 semaines	Poids adulte	Poids à 8 semaines	Poids adulte
Moyenne (g)	900	3 179	772	2 719
Écart-type intra-lot d'éclosion (g)	147	362	113	340
<i>Héritabilité</i>				
Composante père (h_g^2)	0,42	0,35	0,45	0,41
Composante mère (h_d^2)	0,27	0,86	0,61	0,76
<i>Corrélation génétique</i>				
Composante père (r_{Gs})		0,22		0,56
Composante mère (r_{Gd})		0,74		0,68
Corrélation phénotypique totale		0,41		0,49

(1) Calculs portant sur 28 pères, 165 mères et 330 individus contrôlés.

(2) Calculs portant sur 28 pères, 209 mères et 575 individus contrôlés.

Tableau 05 : moyennes et écarts-type du poids vif dans la souche témoins X_88 Calculés réalisé sur les seuls animaux vivant au moment de la pesée adulte (36= 1 semaine)

Année	Mâles			Femelles		
	Effectif	Poids 8 semaines	Poids adulte	Effectif	Poids 8 semaines	Poids adulte
1961	104	819 ± 150	3 058 ± 390	388	715 ± 124	2 634 ± 355
1962	122	1 033 ± 139	3 282 ± 367	413	814 ± 107	2 754 ± 344
1963	320	939 ± 131	3 235 ± 380	598	804 ± 95	2 705 ± 319
1964	246	1 021 ± 125	3 264 ± 323	483	840 ± 110	2 736 ± 387
1965	218	893 ± 132	3 108 ± 332	622	766 ± 97	2 642 ± 346
1966	389	888 ± 154	3 163 ± 405	469	738 ± 112	2 686 ± 396
1967	328	932 ± 132	3 229 ± 362	380	765 ± 96	2 693 ± 376
1968	292	970 ± 129	3 167 ± 310	425	782 ± 103	2 651 ± 323
1969	319	810 ± 155	2 944 ± 329	416	665 ± 121	2 467 ± 317
1970	299	867 ± 133	2 908 ± 355	515	704 ± 104	2 363 ± 321
1971	249	802 ± 126	2 816 ± 344	443	654 ± 92	2 243 ± 334
1972	177	844 ± 145	2 931 ± 339	400	660 ± 122	2 358 ± 299
1973	212	877 ± 132	2 966 ± 319	394	657 ± 100	2 319 ± 281
Moyenne	251	900 ± 137	3 082 ± 350	457	736 ± 106	2 558 ± 338

Un autre point intéressant à étudier est l'évolution des caractéristiques de la souche témoin en fonction du temps. Le tableau 6 indique les paramètres statistiques du poids à 8 semaines et du poids adulte pour chacune des générations de la souche témoin X-88 de 1961 à 1973. La figure 11 permet de voir de façon plus claire l'évolution du poids vif (cas des femelles). Ici encore, les calculs ont été faits sur les seuls animaux vivant au moment de la pesée adulte (36 à 42 semaines). La plupart des auteurs ayant travaillé sur des souches témoins font état de variations non significatives avec le temps. C'est le cas de KING et al. (1963), de MERITT (1966), de SWG. R. (1970), et de JAAP (1971) pour le poids juvénile ; c'est le cas de Gower et al. (1959), de King et al. (1963) et de BOWMAN et POWELL (1971) pour le poids adulte ou le poids à l'entrée en ponte. Il existe cependant quelques cas de variations significatives : Kirty et al. (1968) observent une diminution du poids à 8 semaines et du poids adulte dans une souche Leghorn ; dans une souche de type observent une augmentation significative du poids à 55 semaines ; chez la Dinde, NESTOR et al. (1966) observent une augmentation significative des poids à 8, 16 et 24 semaines.

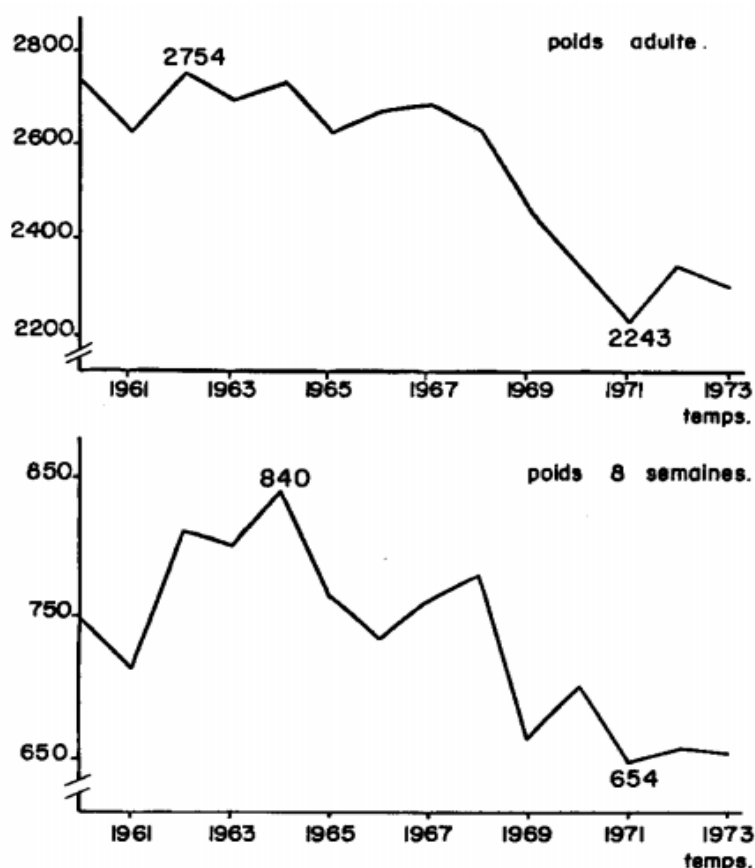


Figure 11: évolution des moyennes annuelles du poids vif dans la souche témoin X_88 ; cas des femelles

Dans notre souche témoin, des fluctuations importantes se manifestent d'une année à l'autre, plus d'ailleurs pour le poids à 8 semaines que pour le poids adulte. La tendance générale est une baisse des performances au fil des générations. Les régressions poids moyen/numéro de génération sont significatives. Nous obtenons pour les poules. : Toutefois, c'est à partir d'ig6g que la baisse du poids vif est importante. Si on calcule les coefficients de régression pour les années i à 8 seulement, on obtient des valeurs non significativement différentes de zéro : Pour les poules, la différence entre les moyennes annuelles maximum et minimum est de l'ordre de $r, 7$ écart-type pour le poids à 8 semaines et de $1,5$ écart-type pour le poids adulte. La différence entre les années bonnes (1962-8) et mauvaises (1969-1973) correspond approximativement à un écart-type, tant pour le poids à 8 semaines que pour le poids adulte. Pour les coqs, les courbes n'ont pas été tracées, mais les résultats sont analogues. Nous n'avons pas d'explication simple à donner à propos de ces baisses de performances. L'augmentation du taux de consanguinité, 10 p. 100 environ pour la période considérée, ne semble pas suffisante pour expliquer une telle chute. L'aliment distribué jusqu'à l'âge de 8 semaines avait la même composition de 1964 à 1973 ; celui distribué aux poules adultes a varié mais la même formule a été donnée avant 1964 et après 1969 et les poids adultes sont très différents. Nous pensons plutôt à une détérioration progressive de l'état sanitaire (le Domaine du Magneraud abrite en permanence 60000 à 80000 poules, coqs et poulets de divers âges). Une autre hypothèse serait que le fait d'avoir éclairé les poules nées en 1968 et les années suivantes pendant 16 heures par jour a entraîné une diminution de la vitesse de croissance dans les générations ultérieures.

Réponses directes à la sélection Les variations observées dans les performances de la souche témoin nous ont amené à prendre comme unité de mesure pour les réponses à la sélection l'écart-type du poids des animaux témoins élevés en même temps que les animaux sélectionnés. Nous avons exprimé ces réponses sous forme de graphique dans les figures 2 (pour les mâles) et 3 (pour les femelles) : la partie inférieure correspond au poids à 8 semaines et la partie supérieure au poids adulte. Les coefficients de régression poids moyen/numéro de génération sont donnés avec leur écart-type dans le tableau 7. Ici encore, les calculs ont porté sur les seuls animaux vivant au moment de la pesée adulte.

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

Amélioration génétique de la volaille : les performances du poulet « Wassa Chè »

Figure 12 : poulet de wassa chè

S'il existe depuis quelques années au Mali un poulet qui donne satisfaction aux paysans et aux éleveurs, c'est le Wassa chè. Littéralement le poulet qui comble. Cette nouvelle race de volaille est le fruit des recherches effectuées par l'institut d'économie rural du Mali (IER) du Mali, qui travaille depuis quelques années déjà sur l'amélioration génétique de la volaille. Cela afin de rendre plus performant la race locale en terme de production de viande et d'œuf.

Situé sur plusieurs dizaines hectares à Sotuba, le centre régional de recherche agronomique (CRRRA) abrite de nombreux programmes de recherche dont celui de la volaille. Un programme dont l'un des objectifs premiers est l'amélioration génétique de la volaille. Ainsi après de longues années de recherches, le programme volaille a pu créer une nouvelle race de poulet plus performant en termes de production d'œufs et de chair.

Le choix des races « La race « Wassa chè » est issue du croisement de la race mixte exotique « Rhode Island Red » (RIR) importée des USA avec la race mixte locale « Kokochè » (KKC). Le choix de la variété exotique RIR s'explique par les considérations de poids de la femelle. Elle pèse entre 2,5 et 3 kg. Le mâle pèse entre 3 et 3,8 kg à l'âge adulte. La femelle RIR pond entre 200 et 220 œufs par an. Le poids moyen de l'œuf atteint 53 grammes. « La RIR est réputée rustique. Elle s'adapte parfaitement à toutes nos conditions agro-climatiques et est présente dans notre pays depuis le temps colonial. Par ailleurs, le mâle

de la race mixte locale, la « Kokochè » ou « KKC » pèse 1,2 kg tandis que la femelle « KKC » ne pèse que 900 grammes à l'âge adulte. Elle pond entre 60 et 80 œufs par an. Le poids moyen de l'œuf atteint 35 grammes », soutient Modibo Sylla du Programme volaille du CRRA de Sotuba.

Pour M. Sylla le Kokochè est aussi plus facile à identifier par rapport aux autres races. C'est une poule qui a le plumage noir sur le dos avec un bas ventre blanc. Le Kokochè est par ailleurs plus représentatif des autres races locales et plus facile à obtenir pour les paysans. « En outre la race locale a la faculté de couvrir les œufs et de conduire les œufs. Il fallait pour nous un type de poulets qu'on peut amener en milieux villageois ».

Le croisement des races :

Après cette sélection, les chercheurs de Sotuba ont travaillé sur le croisement de ces deux races mixtes en vue de trouver un sujet performant en chair et en œufs, qui améliore le nombre et le poids de l'œuf. Le croisement a aussi pour but d'obtenir une race rustique qui conserve l'instinct de couvaison de la race locale. Ce qui a donné les 3/4 de sang qui répondent aux critères recherchés. « Le croisement nous a permis d'avoir des métis de différentes générations des demi-sang, les 3/4 de sang et 5/8 de sang. On a comparé ces métis entre eux et on a opté pour les métis 3/4 rhode island red et 1/4 Kokochè », note Mme Diallo Fatimata Coulibaly chargée de l'amélioration génétique de la volaille au niveau du Programme volaille du Centre régional de recherche agronomique (CRRA) de Sotuba. Les 3/4 de sang rhode island red et 1/4 sang Kokochè ont été testés en milieu villageois sur les plans de la morbidité, de la mortalité et de la production d'œufs. Et les paysans ont eu satisfaction avec ce type de poulets qui ont donné le nom de Wassa chè le poulet qui donne satisfaction. Cela depuis 2003 ajoute Diallo Fatimata Coulibaly.

De bonnes performances :

Ainsi à l'éclosion des œufs, les poussins « Wassa chè » pèsent 23 à 28 grammes, à 3 mois d'âge, ils pèsent entre 503 et 700 grammes et à 5 mois, les sujets pèsent entre 1 et 1,5 kg. Le mâle « Wassa chè » pèse 2 kg à 8 mois d'âge (période de reproduction) et la femelle pèse 1,5 kg au même âge. Mais à un an d'âge, le mâle pèse 3 kg et la femelle 2 kg. Elle pond 173 œufs par an. Le poids moyen de l'œuf est de 46 grammes.

Moussa Maguiraga un éleveur de volaille est satisfait des performances de cette nouvelle variété de poulet. Dans sa ferme située sur les hauteurs de Magnambougou concession rurale, il dispose de plus d'un millier de volaille. Il s'agit notamment des poussins, des poulets pour la production des œufs et des coqs qu'il vend à des ONG. « J'élève le Wassa ché depuis maintenant 6 ans. Je fais la reproduction, je vends des œufs fécondés et la volaille de deux à six mois. Du point de vue avantage c'est bien. Le Wassa ché est plus résistante vis-à-vis de la maladie », soutient-il.

Le picage chez les poules : causes, prévention, solutions :

Le picage est un phénomène fréquent dans un poulailler. Tout commence par des plumes éparées, puis des zones dénudées sur le corps des oiseaux et lorsque cela dégénère, des plaies plus ou moins profondes.

Lorsque cela se produit, hélas, il n'est pas toujours possible d'assister à la scène, aussi est-ce la plupart du temps un faisceau d'indices qui nous conduit à faire ce constat. Les zones les plus fréquemment touchées sont la tête, le dos et la base de la queue.

L'une des causes de picage chez les poules est la carence en protéines. Dès l'âge de neuf mois, elles muent. A partir de ce moment, leurs besoins en protéines augmentent considérablement. Un aliment de démarrage pour jeunes poules pondeuses peut alors rétablir l'équilibre. Il faut le mélanger à la nourriture habituelle à hauteur d'un tiers de celle-ci. Donner des œufs durs passés à la moulinette, coquille comprise, donne aussi de bons résultats. Il est possible d'y ajouter du yaourt entier. Ce sont des méthodes naturelles et sans danger pour résoudre le problème. De même, le stress, l'ennui, le manque d'espace ou l'établissement de la hiérarchie peuvent causer le picage.



Figure 13: poulet infecté a cause de piquage

Dans le cas de la hiérarchie, l'arrivée de nouveaux sujets ou un changement d'agencement dans le poulailler peuvent suffire à remettre en cause l'ordre établi, avec en général une repousse rapide du plumage dès que chacun retrouve sa place.

En ce qui concerne le nombre, il n'y a pas à proprement parler de règle. En effet, une ou plusieurs poules peuvent s'acharner sur une ou plusieurs autres. Mais à partir du moment où la peau est visible, le reste du groupe tend souvent à se comporter aussi en agresseur. Dès lors, si une blessure s'ensuit, la vue du sang ne va faire qu'augmenter leur obstination.

Il faut donc réagir rapidement, avant que la ou les victimes ne présentent de graves dommages corporels, parfois fatals. Si le groupe compte de nombreux individus, il est souvent facile de mettre à l'écart quelques jours les perturbatrices, le temps pour elles de se calmer et oublier leur objectif. Les victimes peuvent également être isolées provisoirement pour se refaire une santé et laisser le temps à leurs plumes de repousser.

Pour remédier à l'ennui, la mise en place régulière de nouvelles activités constitue un bon remède. Objets à escalader pour se percher, jouets de foraging, aliments cachés ou suspendus, tout ce qui est prétexte à l'occupation est bénéfique pour détourner poules et coqs de leur objectif premier. La distraction est le meilleur remède à l'ennui.

Il existe aussi dans le commerce spécialisé des accessoires comme les lunettes et les couvre-becs, qui se posent sur le bec, se fixent au moyen d'une tige qui traverse l'intérieur des narines et viennent occulter la vision frontale. Les anneaux anti-picage ne traversent pas les narines quant à eux mais empêchent l'animal de fermer entièrement le bec, donc d'arracher

les plumes de ses congénères. Ces méthodes rencontrent en général un succès modéré auprès des particuliers, moins soucieux du rendement de leurs oiseaux que de leur bien-être. Les solutions liquides à appliquer sur le plumage ont quant à elles un effet très limité.



Figure 14 : exemple de piquage sur un fruit

Pour remédier à l'ennui, la mise en place régulière de nouvelles activités constitue un bon remède. Objets à escalader pour se percher, jouets de foraging, aliments cachés ou suspendus, tout ce qui est prétexte à l'occupation est bénéfique pour détourner poules et coqs de leur objectif premier. La distraction est le meilleur remède à l'ennui.

Il existe aussi dans le commerce spécialisé des accessoires comme les lunettes et les couvre-becs, qui se posent sur le bec, se fixent au moyen d'une tige qui traverse l'intérieur des narines et viennent occulter la vision frontale. Les anneaux anti-piquage ne traversent pas les narines quant à eux mais empêchent l'animal de fermer entièrement le bec, donc d'arracher les plumes de ses congénères. Ces méthodes rencontrent en général un succès modéré auprès des particuliers, moins soucieux du rendement de leurs oiseaux que de leur bien-être. Les solutions liquides à appliquer sur le plumage ont quant à elles un effet très limité.



Figure 15 : quelques solutions pour lutter contre le piquage

Lorsque des poules en piquent d'autres sans être motivées par la dominance, cela signifie souvent que quelque chose ne va pas. Selon notre conception anthropomorphique, nous pourrions dire qu'elles ne sont pas heureuses. A nous de trouver alors pourquoi et d'y remédier, car ces oiseaux ne sont pas de simples machines à pondre des oeufs pour nos omelettes.



Figure 16 : une poule dans un cas dangereux à cause de piquage

Combattre le picage chez les poules

Le picage chez les volailles, notamment les poules, est un phénomène qui peut conduire au cannibalisme, et à la mort de certains animaux.

Plusieurs composantes sont à considérer dans ce phénomène complexe, et selon leur prépondérance, les solutions à mettre en place pour enrayer le picage sont différentes, ou complémentaires.

Le picage est principalement lié aux conditions d'élevage, à des carences alimentaires ou au phénomène de ponte.

Parmi les conditions d'élevage, les principales causes de stress conduisant au picage, sont :

- Le surpeuplement dû au manque d'espace.
- La chaleur excessive.
- Une lumière trop forte.
- Une aération insuffisante.
- Un taux d'humidité trop important.
- Une difficulté d'accès à la nourriture et à la boisson, ou simplement une insuffisance.
- Un "mélange" de races, de lignées ou d'individus d'âges différents.

D'autre part, l'équilibre alimentaire des volailles nécessite un apport de protéines, qu'elles ne trouvent pas toujours lorsqu'elles sont nourries au grain et privées d'un accès extérieur. En effet, l'accès à un parcours herbeux leur permet de se procurer les protéines végétales et animales indispensables grâce aux vers et insectes qu'elles chassent et aux végétaux qu'elles consomment.

Concernant les poules pondeuses, il faut également tenir compte du phénomène attractif de la couleur rouge.

En effet, au moment où l'oeuf est expulsé, une petite partie de l'oviducte est visible pendant un court moment (un cas extrême pouvant conduire à un prolapsus). Cette partie, très

rouge, attire certaines congénères qui se mettent à donner des coups de bec, provoquant ainsi des écoulements de sang. L'attrait du sang est tel que la pondeuse devient rapidement victime de cannibalisme par ses congénères.

Pour limiter ce risque, il est conseillé de placer les pondoirs dans une zone obscure du poulailler, et d'en installer un nombre suffisant.

Il existe quelques produits spécifiques qui permettent de limiter le picage.

PICAGIX : complément alimentaire à base d'acides aminés, spécifiquement formulé pour pallier aux carences protéiques qui conduisent les volailles au picage.

UKADEX : répulsif destiné à repousser les attaques du fait de son odeur très puissante.

ALUFILM : pour camoufler et isoler les plaies dues au picage.

Il y a donc deux types d'action à mettre en œuvre :

- Soigner les victimes,
- Supprimer les causes de picage chez les poules agressives.

Pour limiter les conséquences du picage au niveau des victimes, il est conseillé de désinfecter les plaies, à l'aide d'un produit vétérinaire adapté tel PICRI-BAUME afin de permettre la cicatrisation et éviter l'infection.

Pour cela, il est nécessaire d'isoler la volaille victime. Si cela n'est pas possible, il faut impérativement camoufler les plaies à l'aide d'un spray d'aluminium micronisé (ALUFILM) ; cela favorise la cicatrisation des plaies et limite leur attractivité due à la couleur rouge.

D'autre part, parmi les améliorations à mettre en œuvre, outre les conditions propres à l'élevage (locaux, accès extérieur, surpeuplement...), il est possible de corriger une carence alimentaire par apport de compléments :

PICAGIX : un complément purement protéique et spécifique au picage.

VITAVIL AMINE : un complexe vitaminique complet supplémenté en acides aminés pour équilibrer les apports (peut être utilisé après une cure de PICAGIX) apport de sel de cuisine durant quelques jours (dans l'eau de boisson ou dans une préparation)

Pour occuper les volailles, la mise à disposition d'objets à picorer (blocs minéraux, épis de maïs, choux...) permet de dissiper l'agressivité chez certains sujets.

Le Débarquement :

Rôles du bec chez les volailles.

1. Anatomie du bec :

1.1. Description du bec :

La tête des volailles a la forme d'une pyramide. Le sommet de la tête peut être séparé en une région frontale et une couronne. La région orbitale et l'ouverture de l'oreille externe sont localisées au-dessous de la couronne. Le début du front est couvert par la crête, près de laquelle se trouve l'opercule (narine). La partie antérieure de la tête se termine par le bec. Le bec des granivores est constitué des mâchoires inférieure et supérieure. La partie supérieure du bec (culmen) (voir figure 1b) est recouverte d'une couche de kératine dure et cornée (ramapithèque) (Lucas et Stettenheim 1972). Sur la partie inférieure du bec (gonys) se trouve également une couche de cellules cornées (gnathothèque). La base de la partie supérieure du bec peut être occasionnellement élargie pour donner des formes variées de bec (Mc Lelland 1979). Ainsi, les organes des sens spécialisés dans l'olfaction, la vision, l'audition, la palpation et la gustation se trouvent regroupés au niveau de la tête.

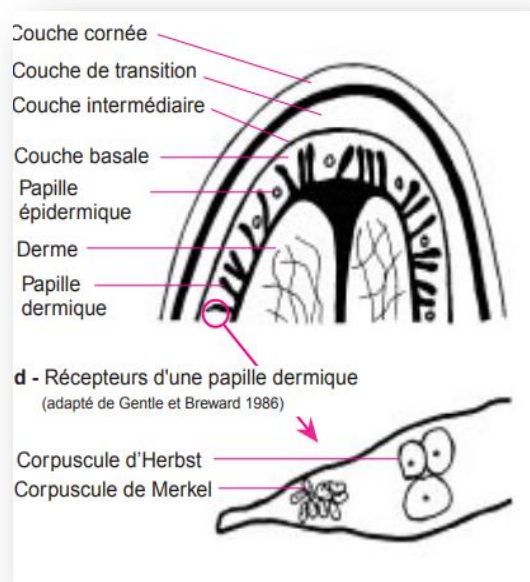
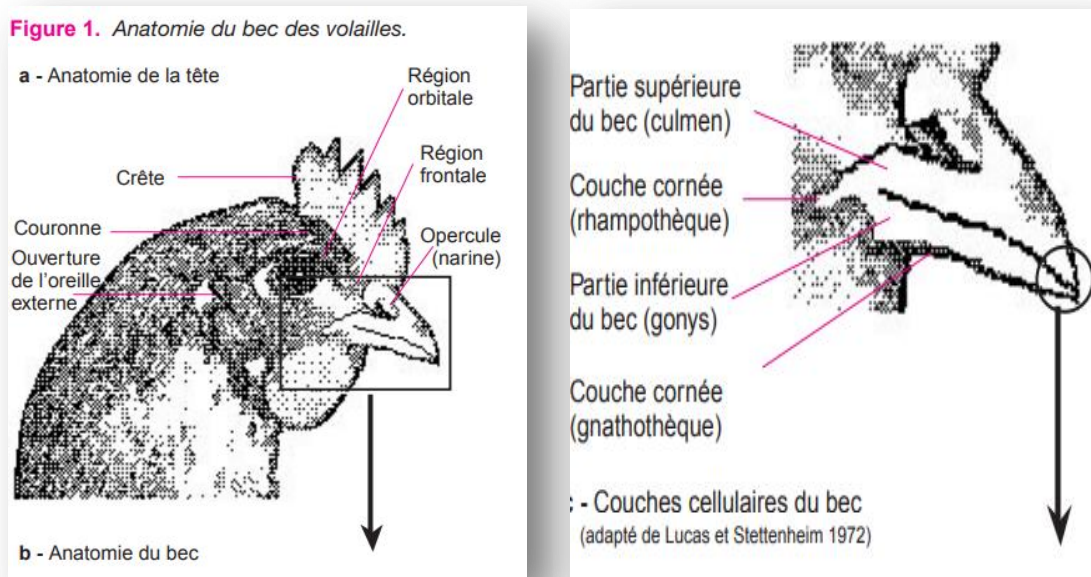


Figure 17 : Anatomie du bec des volailles.

1.2. Structure interne du bec :

L'extrémité de la partie supérieure du bec des volailles est la partie la plus touchée par le débarquage. Histologiquement, l'épiderme du bec des volailles dans cette région, peut être séparé en quatre couches (voir figure 16) : - une couche de cellules cornées fines et plates,

- une épaisse couche de cellules de transition contenant des cellules allongées, - une couche intermédiaire fine, - une couche basale constituée de grandes cellules en colonnes (Lucas et Stettenheim 1972). L'épiderme de la partie dorsale du bec est épais. Il est constitué de papilles épidermiques et dermiques qui semblent avoir de l'importance dans les discriminations tactiles fines (Gentle et Breward 1986). Les papilles dermiques sont longues et rétrécies et contiennent des capillaires qui s'insèrent dans l'épiderme. Le derme ne peut pas être divisé en couches distinctes bien qu'il occupe un espace important. Il contient du tissu collagène et élastique qui permet une bonne liaison entre la ramapithèque et la mâchoire (Lucas et Stettenheim 1972).

1.3. Les récepteurs sensoriels du bec :

Les papilles dermiques du bec contiennent plusieurs types de mécanorécepteurs (Gentle et Breward 1986) : - les corpuscules de Merkel ou de Gandry se trouvent au niveau de la partie distale de ces papilles. Ces mécanorécepteurs fournissent un ensemble complexe de réponses à un stimulus (Gentle, 1985); - les corpuscules d'Herbst sont localisés à la base de ces papilles (voir figure 1d). Ils sont présents sur les faces dorsales et ventrales du bec et sur la narine inférieure (on en trouve également à la base de la crête). Chaque papille dermique contient généralement trois corpuscules d'Herbst, mais il peut y avoir cinq corpuscules dans certaines papilles (Gentle et Breward 1986). Ces corpuscules fournissent une réponse unique à un stimulus mécanique à des fréquences de 40 à 1 500 Hz (Gentle 1985). Le bec des volailles comporte également un nombre important de thermorécepteurs et de récepteurs à la douleur (nocicepteurs) qui sont affectés par le débecquage. L'association internationale de l'étude de la douleur (IASP) définit un nocicepteur comme un récepteur sensible à un stimulus nuisible ou potentiellement nuisible (Gentle 1986).

2. Rôle du bec :

Dans le comportement alimentaire Le jeune poussin doit, dans un premier temps, localiser et identifier ce qu'est « l'aliment » sans l'aide de ses parents. Ceci se fait au moyen du bec, qui reste fermé et joue ainsi un rôle explorateur (Rogers, 1995). La recherche de l'aliment chez les volailles est un mécanisme complexe ; elle ne se réduit pas à une identification visuelle, mais implique différents types de récepteurs sensoriels. Ainsi, chez le jeune poulet, l'olfaction est une voie majeure de détection et d'identification de l'aliment (Turro et al, 1994). En revanche, le sens du goût semble relativement limité chez les volailles

(Kuenzel 1989). Ces trois canaux sensoriels (vision, olfaction, gustation) interviennent dans le comportement exploratoire des volailles et complètent le rôle de palpation tactile du bec. Lorsque le jeune poussin a localisé l'aliment, le bec a pour fonction principale de saisir et de manipuler les particules alimentaires pour les ingérer.

2.1. Les deux fonctions du bec dans la prise alimentaire :

Quand les volailles picorent l'aliment, elles reçoivent en retour des informations tactiles. Les trois premiers jours après l'éclosion, les réserves du résidu vitellin constituent une source alimentaire qui limite les sensations de faim. Les sensations tactiles perçues par le poussin participent au début de la vie au moins autant que la sensation de faim à l'apprentissage d'un système de récompense (Rogers 1995). Lorsque le bec des volailles est fermé, la fonction du coup de bec est d'explorer un aliment. C'est alors la mandibule supérieure qui est en contact avec l'objet car celle-ci dépasse de la mandibule inférieure. Cependant, les informations tactiles sont transmises aux deux mandibules (Rogers 1995). Lorsque le bec est ouvert, la fonction du coup de bec est la préhension des particules alimentaires. L'expérience est nécessaire pour que le poussin puisse associer le picorage de particules alimentaires à la diminution de la sensation de faim (Hogan 1977).

2.2. Systèmes sensoriels impliqués dans la prise alimentaire :

La préhension des particules alimentaires chez les volailles est influencée par divers systèmes sensoriels tels que la vision, l'olfaction et la gustation. Les trois étapes de la prise alimentaire impliquant le bec sont la préhension, l'ingestion et la déglutition. Les systèmes sensoriels impliqués sont la mécanoréception, la thermoréception, la chimioréception, la proprioception et la nociception (Gentle 1985). Le contrôle de la prise de nourriture implique deux aires différentes du cerveau, le noyau ventromédian de l'hypothalamus (VMN) et l'aire hypothalamique latérale. Cinq voies nerveuses ont un rôle dans le contrôle de la prise alimentaire : le système visuel, le système gustatif, la voie de l'olfaction, la voie parasympathique et le système sensoriel du nerf trijumeau. La préhension et la déglutition des particules alimentaires sont principalement commandés par le système.

3. Influence du débecquage :

3.1. Définitions du débecquage :

Le débecquage correspond à une amputation partielle du bec. Il consiste en la suppression d'une partie du bec supérieur, mais peut parfois concerner le bec inférieur (Gentle 1986). La portion de bec enlevée au cours du débecquage est très variable (Cunningham 1992) : la moitié du bec supérieur (débecquage à moitié), les deux tiers du bec supérieur et un tiers du bec inférieur (débecquage au trois-quarts) ou la partie située entre l'extrémité du bec et les narines (débecquage total) (Hargreaves et Champion 1965). Le débecquage des volailles a pour but essentiel de limiter le cannibalisme et de réduire le picage des plumes des congénères. En réduisant la prise alimentaire, le débecquage permettrait aussi une limitation du gaspillage de nourriture et un retard de maturité sexuelle (Cunningham 1992). Les poussins sont souvent débecqués jeunes car la procédure est moins stressante et plus efficace en terme de production que chez des volailles plus âgées (Carey 1990). Cependant l'âge du débecquage, comme nous le verrons plus loin, est un facteur de variation essentiel des conséquences induites par cette opération sur la douleur.

3.2. Aspects législatifs :

La législation relative au débecquage diffère d'un pays à l'autre. Elle est relativement imprécise dans beaucoup de cas. Par ailleurs, la nécessité technique du débecquage dépend du mode d'élevage des animaux. Les codes de recommandations du Royaume-Uni pour la protection des animaux domestiques indiquent que le débecquage ne devrait être réalisé « qu'en dernier ressort ». Le débecquage ne doit être pratiqué que lorsque les souffrances engendrées sont minimales et il doit être fait par des personnes expérimentées (Hughes et Gentle 1995). Des pays comme la Norvège, la Finlande et la Suède interdisent le débecquage. Au Royaume-Uni, les poules élevées en cages sont rarement débecquées. En effet, l'incidence du cannibalisme en cage est faible, même si les animaux ne sont pas débecqués (Hughes et Gentle, 1995). Dans d'autres pays comme les Etats-Unis ou la France, le débecquage est fréquemment pratiqué. Le Journal officiel de la République française du 27 Janvier 1988 (page 1312) stipule : « Le débecquage peut être effectué quand il apparaît évident que son exécution est préférable afin de préserver la santé et le bien-être des animaux : i) Lorsqu'on sait que la race, le type de la bande ou du lot ou d'autres facteurs sont susceptibles de provoquer un important phénomène de picage inévitable quels que soient les changements

apportés dans la conduite de l'élevage. ii) Lorsqu'un important phénomène de picage survient dans un lot de volailles en place et qu'un changement dans la conduite de l'élevage, tel que la réduction de la lumière, est sans résultat. Dans ce cas, le lot suivant ne devrait pas être installé avant que tous les efforts n'aient été faits pour identifier et supprimer les causes éventuelles de ce phénomène. iii) Lorsqu'il existe des malformations du bec. iv) Sur des oiseaux isolés particulièrement agressifs. Dans tous les cas, la conduite de l'élevage doit permettre de limiter au minimum les risques de picage. Si le débécquage est utilisé, il ne doit être pratiqué que par un personnel qualifié ou sous son contrôle. Le raccourcissement du bec, mesuré de la pointe jusqu'aux narines, ne doit pas dépasser un tiers de sa longueur. Si, pour des motifs vétérinaires, plus d'un tiers du bec doit être enlevé, l'opération doit être pratiquée par un vétérinaire. ».

3.3. Conséquences anatomiques du débécquage Après débécquage :

La partie du bec enlevée repousse partiellement, mais le tissu est principalement constitué de tissu cicatriciel. Il y a donc une perte d'information sensorielle en provenance du bec. Des névromes importants, adjacents au tissu cicatriciel, se forment (Gentle, 1986). Il s'agit d'hyperplasies des cylindraxes des nerfs amputés qui se forment à l'extrémité sectionnée des axones. Les névromes sont responsables des douleurs dites « du membre fantôme », connues depuis longtemps chez l'homme amputé. Les branches du nerf trijumeau endommagées après débécquage subissent une dégénérescence sur une étendue de 2 à 3 mm autour du moignon. Mais, au bout de 10 jours, le nerf montre des signes de régénération et après 20 à 30 jours ces paquets de fibres régénérées sont clairement visibles (Gentle, 1986). La guérison apparente du bec nécessite un délai de 15 à 20 jours chez les poules débécquées à l'âge de 5 semaines. Le bout du bec est constitué d'un épithélium avec une couche de kératine recouvrant le tissu cicatriciel. Il n'est cependant pas évident que le tissu cicatriciel soit remplacé par un tissu dermique « normal » (Gentle 1986). Les névromes formés à l'issue du débécquage donnent naissance à une activité neurale spontanée anormale du nerf trijumeau. Une telle activité a été enregistrée au niveau du moignon du bec jusqu'à 83 jours après le débécquage (Breward et Gentle 1985). Le débécquage est accompagné d'une douleur aiguë et permanente. Cependant, la relation entre la douleur et la perte d'organes sensoriels spécialisés n'a pas encore été mise en évidence (Breward et Gentle 1985). Une étude récente a montré qu'il n'y aurait pas formation de névromes lorsque le débécquage est pratiqué chez des poussins âgés de moins de 10 jours (Hughes et Gentle 1995).

3.4. Conséquences physiologiques et comportementales du débècquage :

Les récepteurs à la douleur du bec de poulet sont localisés au niveau du nerf intramandibulaire (Breward 1984). Ces nocicepteurs ont des propriétés similaires à ceux existant dans la peau des mammifères. L'activité neurale provenant des névromes du nerf trijumeau est identique à celle mise en évidence au niveau de lésions de la peau chez le rat, la souris, le chat et le babouin (Gentle 1985). Les sensations de « malaise » peuvent difficilement être déterminées directement chez les animaux, et les changements comportementaux constituent alors les paramètres majeurs pour mesurer la douleur (Gentle et al 1990). Selon Wall (1979), la réponse à la douleur peut être séparée en trois phases : - une première phase ayant lieu juste après le débècquage et au cours de laquelle l'animal ne souffre pas ou peu ; - une phase intermédiaire caractérisée par les effets de la perte de tissu sur la douleur et l'anxiété ; - une phase chronique dont les traits principaux sont une augmentation du temps de sommeil, de l'inactivité et des perturbations de la prise de nourriture, des toilettes et des comportements sociaux. L'amputation partielle du bec produit de nombreuses altérations du comportement des oiseaux. Ils picorent moins l'environnement après le débècquage et cette différence peut être interprétée comme un moyen de prévenir la douleur induite par le picorage (Gentle et al 1990). Lorsque l'on présente au poulet une eau à 45° (40 à 48 degrés correspondant au seuil de sensibilité des nocicepteurs à la douleur), on observe une augmentation des coups de bec à l'environnement caractéristique d'une activité de substitution lorsque l'animal est confronté à une situation conflictuelle (Gentle 1979). Les décharges neurales spontanées du nerf trijumeau suggèrent que de telles modifications du comportement sont indicatrices de douleur (Gentle et Breward 1986). Le débècquage a donc bien un effet préjudiciable pour les volailles (Duncan et al 1989). En effet, des changements comportementaux tels que la diminution d'activités impliquant le bec et l'augmentation de l'inactivité, particulièrement pendant la première semaine après l'opération, suggèrent que les animaux souffrent. La douleur peut s'estomper au bout de 3 à 5 semaines, mais un certain inconfort va cependant subsister qui se traduit globalement par de l'inactivité.

Le débècquage modifie le comportement alimentaire, mais affecte également d'autres comportements impliquant le bec, comme la prise de boisson, le toilettage et la confection du nid (Gentle 1986). Le débècquage réduit le picage des plumes chez les volailles. Dans des élevages de poules en batterie, le picage des plumes correspond à un comportement redirigé de picage du sol (Blokhuys 1986). Lorsque des poules élevées sur de la litière sont débècquées

à 45 jours, le débécquage réduit le niveau moyen de picage des plumes et le picorage d'objets non comestibles au cours de la période d'élevage des poulettes. D'autre part les oiseaux élevés en croissance sur un sol grillagé montrent, pendant la période de ponte, une fréquence plus importante de picage des plumes (Blokhuis et Van der Haar 1989). A plus long terme, la principale conséquence du débécquage est une augmentation du temps passé par l'animal à rester debout sans réaliser aucune activité ou à rester couché (Duncan et al 1989). Cependant, l'inactivité des poules débécquées pourrait être considérée comme représentant une situation « normale » alors que l'activité importante des animaux non débécqués représenterait une situation de confrontations sociales (Eskeland 1977). Les effets sociaux discutables du débécquage à moyen terme, ne doivent pas faire oublier qu'il y a, au moins à court terme, la douleur induite par l'ablation d'une partie du bec (Duncan et al 1989).

3.5. Conséquences zootechniques du débécquage :

L'effet du débécquage sur la consommation alimentaire est variable. Dans certains cas, l'ablation d'une partie du bec ne diminue pas la prise de nourriture chez le poulet domestique (Bray et al 1960). Cependant, dans de nombreux cas, le débécquage a pour effet une diminution de la prise alimentaire par les volailles (Blokhuis et al 1987, Deaton et al 1988, Duncan et al 1989). Ainsi, des poulets de chair âgés de 50 jours dont la moitié inférieure et supérieure du bec a été enlevée diminuent leur consommation alimentaire et leur gain de poids par rapport aux animaux témoins non débécqués, cette diminution étant plus marquée lorsque l'aliment est présenté sous forme de granulé (Deaton et al 1988). A court terme, le temps passé à manger diminue après le débécquage, mais retrouve une valeur normale au bout de 5 semaines (Duncan et al 1989). Une telle baisse de prise d'aliment, même si elle est compensée à long terme, s'accompagne d'une perte de poids significative pour les poules débécquées (Blokhuis et al 1987). Trois explications peuvent être proposées pour expliquer une diminution de la consommation alimentaire : - chez les poules débécquées, le picorage n'est pas toujours suivi d'une « récompense », c'est-à-dire la préhension de particules alimentaires. Ceci a pour conséquence une inhibition (ou une moindre satisfaction) de la prise de nourriture ; - le débécquage a un effet spécifique sur la réduction de la motivation à la prise de nourriture ; - le débécquage provoque une gêne ou une douleur qui diminue ainsi l'utilisation de l'extrémité du bec. La première hypothèse n'est possible que dans les jours qui suivent le débécquage. En effet, dès que la faim devient intense, les poules s'alimentent et les effets post-ingestifs de l'aliment consommé sont perçus. La troisième

hypothèse est plus probable que la deuxième : la douleur ou l'inconfort dû à l'ablation d'une partie du bec est sans doute l'origine principale de la baisse de consommation alimentaire (Gentle et al 1982). Le débecquage diminue l'activité alimentaire, mais également l'efficacité de la prise de nourriture (nombre de coups de bec par gramme de nourriture ingérée) par rapport au niveau normal (de 20 % selon Gentle 1986), ce qu'a confirmé une étude effectuée à la station expérimentale de Sourches (Mason et al 1995). Les poules débecquées consomment en moyenne moins d'aliment et moins d'eau que les poules au bec intact avec des conséquences faiblement négatives sur la ponte. Le tableau 1 présente quelques mesures comportementales effectuées par « focal sampling » (observations continues d'un même animal). Le nombre moyen de coups de bec donnés à la cage par heure par les poules débecquées est supérieur à celui mesuré chez les poules intactes. Ce type de comportement traduit en général chez les volailles une frustration. A l'inverse, le nombre de coups de bec donnés à des congénères est réduit par le débecquage. La vitesse apparente de picorage quand les poules mangent est semblable pour les deux types de poules. Par contre, une estimation de l'efficacité d'un coup de bec montre que la consommation d'aliment moyenne par coup de bec est réduite d'environ 30 % par le débecquage modéré pratiqué à l'âge de 7 semaines dans le cas de cette étude. Les effets du débecquage sur le comportement alimentaire dépendent de la quantité de bec enlevée (le débecquage au trois-quarts a plus d'effet que le débecquage à moitié) et l'effet est plus important lorsque les poules sont nourries avec un aliment sous forme de miettes que sous forme de farine (Gentle 1986). L'effet du débecquage sur la ponte est controversé. Des poules débecquées à l'âge d'un jour produisent plus d'œufs que les animaux contrôlés non débecqués (Morgan 1957). Des poulettes débecquées à l'âge de 7 jours pondent plus d'œufs que si le débecquage a lieu lors de la douzième semaine (Bramhall et Little 1966). Des poules dont la moitié du bec est retirée à l'âge de 4 semaines produisent plus d'œufs que celles dont le quart du bec seulement est enlevé (Kuo et al 1991). Dans d'autres cas, le débecquage ne conduit pas à une modification significative de la production d'œufs (Bray et al 1960, Andrade et Carson 1975). Les modifications des performances de ponte d'un élevage dépendent d'une part des conséquences négatives du débecquage sur la prise alimentaire et d'autre part des effets positifs sur la réduction des dommages causés par le picage des plumes et le cannibalisme (Cunningham 1992).

Tableau 08 : Résultats moyens de comportements observés par « focal sampling » chez des poules pondeuses débecquées ou non (Mason et al 1995).

	Débecquées	Non débecquées
Nombre moyen de coups de becs (c.de b.) donnés par heure d'observation :		
– à l'aliment	1 631	1 175
– à la cage	92,5	8,2
– aux congénères	3,7	33,0
Vitesse apparente de picorage (nombre de c.de b. /seconde d'activité alimentaire)	1,5	1,4
Consommation moyenne d'aliment (mg/c.de b.)	4,6	6,7

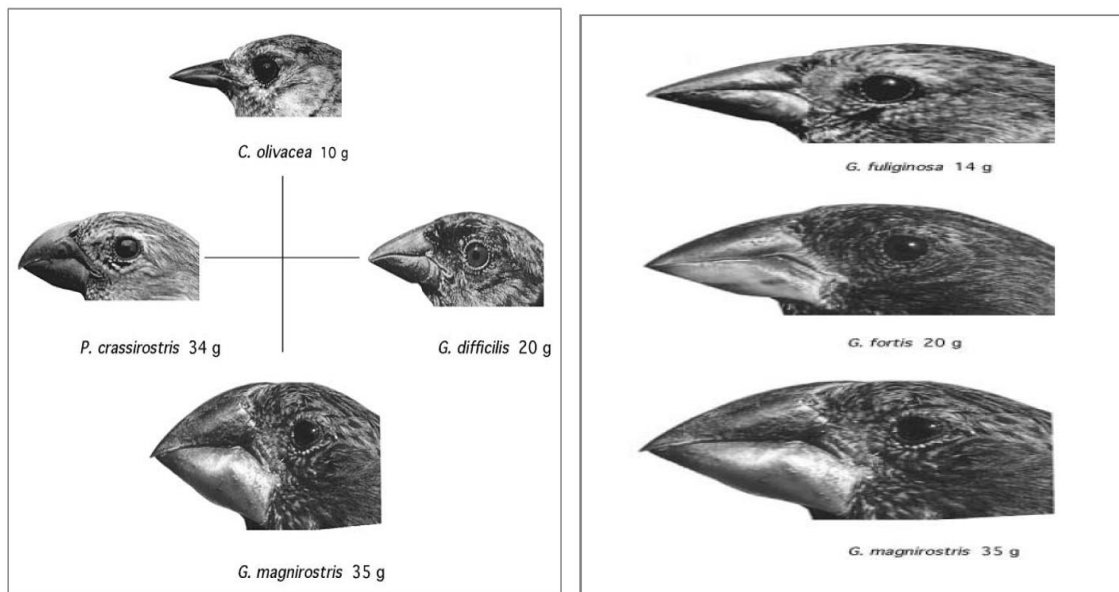
Le bec des volailles est un outil indispensable à la prise des particules alimentaires, à l'exploration de l'environnement, au toilettage corporel et à la défense sociale. Il est recouvert sur la partie inférieure et supérieure d'une couche protectrice dure de kératine. L'épiderme du bec de poulet contient des papilles dermiques qui jouent un rôle important dans les discriminations tactiles fines. Lorsque la poule est en contact avec l'aliment, le bec peut être fermé, le bec a alors un rôle d'exploration, ou ouvert, le coup de bec ayant alors un rôle de préhension et d'ingestion des particules alimentaires. Le débecquage, c'est-à-dire l'ablation d'une partie du bec, conduit à des altérations anatomiques, physiologiques, comportementales et zootechniques. Il y a perte d'informations sensorielles en provenance du bec et formation de névromes. Mais il semble que, si le débecquage est effectué avant l'âge de 10 jours, la formation de névromes est limitée et la douleur reste faible. Le débecquage peut induire de la douleur, mais aussi une réduction de la perception sensorielle. Le débecquage a pour effet zootechnique principal une diminution de la consommation alimentaire et de l'efficacité mécanique de la prise de nourriture, qui s'accompagne d'une réduction du gain de poids. Le débecquage peut également avoir pour conséquence une baisse de la production d'œufs, mais son effet sur les performances de ponte reste très controversé. A plus long terme, le principal effet du débecquage sur le comportement des poules est l'inactivité. Le débecquage peut être nécessaire, notamment pour les animaux élevés au sol, car il permet une réduction du cannibalisme et du picage des plumes. En fait, la nécessité de cette pratique dépend essentiellement des techniques d'élevages utilisées. De nombreuses poules en cages ne sont plus débecquées. Le choix d'une technique d'élevage excluant les cages risque de limiter les

Dans *Voyage d'un naturaliste au bout du Monde*, Charles Darwin énonce un constat qui fait écho à la théorie de l'évolution par la sélection naturelle et un refus d'une vision fixiste de la biodiversité : « Le fait le plus curieux est la parfaite gradation de la grosseur des becs chez les différentes espèces. [...] Quand on considère cette gradation et cette diversité de conformation dans un petit groupe d'oiseaux très voisins, on pourrait imaginer qu'en vertu d'une pauvreté originelle d'oiseaux dans cet archipel, une seule espèce s'est modifiée pour atteindre des buts différents ». Cette citation révèle l'hypothèse évolutionniste de Charles Darwin : une espèce ancestrale unique aurait pu coloniser ces îles qu'ils savaient récentes à l'échelle des temps géologiques et subir ce qu'on appelle aujourd'hui une radiation adaptative.

Dans *Darwin's finches*, l'ornithologue David Lack présente en 1947 ses résultats des études sur les pinsons et propose une classification des pinsons, basée sur la forme du bec. Celle-ci ne peut être tenue comme un argument en faveur d'une hypothèse de radiation adaptative basée sur un unique événement de colonisation depuis le continent. En effet, le raisonnement est circulaire, puisqu'il justifierait la radiation à partir d'un caractère impliqué dans la radiation. On montrera que des reconstructions phylogénétiques basées sur un grand nombre de caractères ont pu finalement valider l'hypothèse de radiation.

Dans *How and Why Species multiply. The radiation of Darwin's finches* publié en 2008, les biologistes Peter et Rosemary Grant résument leur incroyable travail de terrain qui aura duré depuis les années 1970. Ils ont accumulé un nombre incroyable de données morpho-anatomiques, comportementales et génétiques sur différentes populations de pinsons vivant sur les îles Galápagos. Les documents présentés ci-dessous sont issus de leurs travaux et de ceux de leurs collaborateurs.

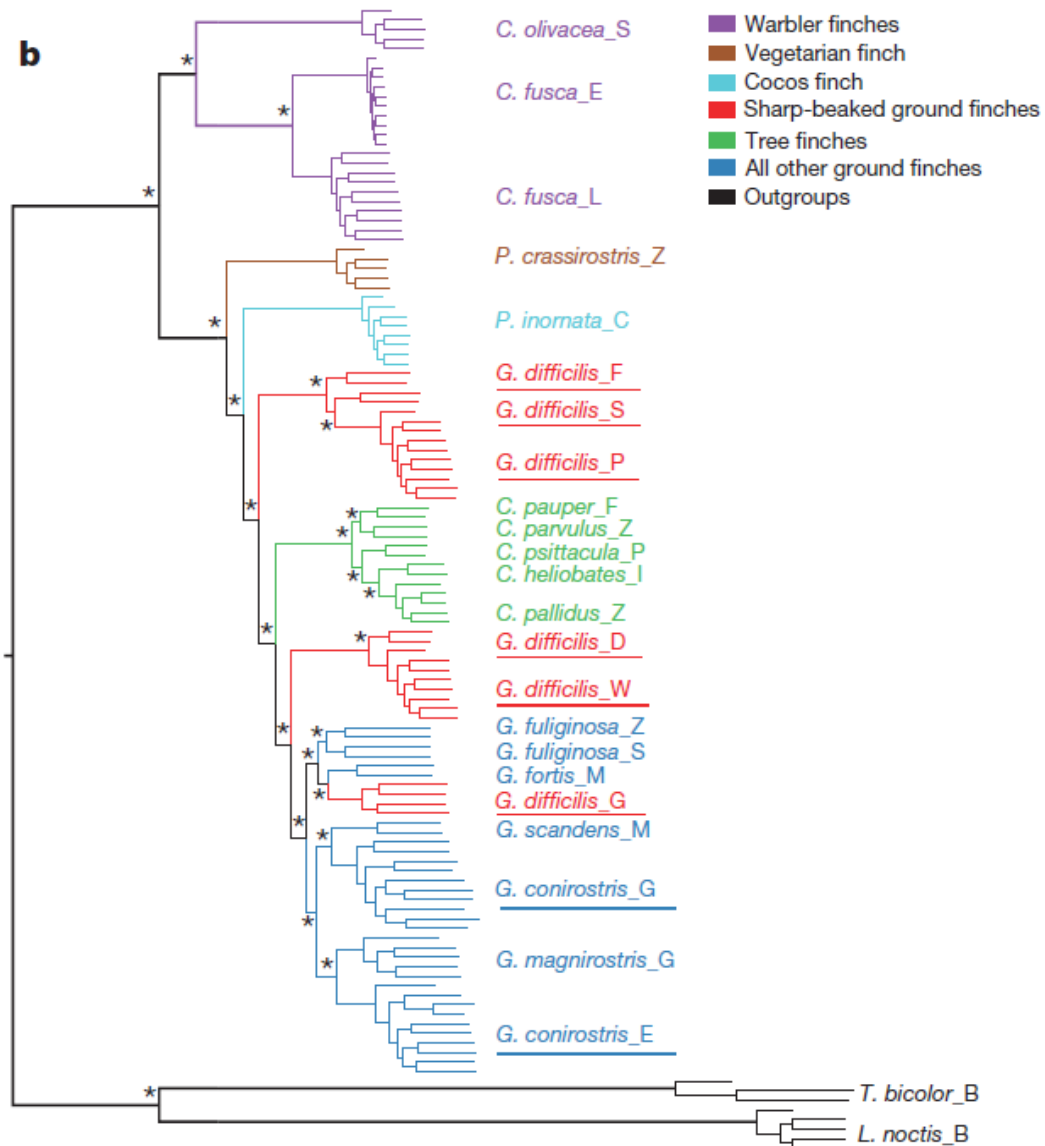
Point n°2 : Illustrer la diversité des espèces de pinsons



Les « pinsons de Darwin » appartiennent à la famille des thraupidés, apparentée à celle des fringillidés à laquelle appartient le pinson des arbres, abondamment présent en France. Il existe au moins 14 espèces de pinsons apparues dans les derniers 2 à 3 millions d'années sur l'archipel des Galápagos et les îles Cocos.

Dans le diagramme de gauche, on observe, à partir de 4 espèces, la diversité des formes de becs des « pinsons de Darwin ». On peut imaginer un gradient de taille auquel se surimpose un gradient de forme (de « arrondi » à « pointu »). Plus spécifiquement, parmi les pinsons terrestres, on retrouve cette variation de taille et de forme (à droite). Ci-dessous vous retrouverez des informations sur les différentes espèces dont leur régime alimentaire (Diet = type de nourriture primaire dans la saison sèche, en conditions de nourriture non limitantes) et la forme du bec (Beak shape).

Point n°3 : Illustrer l'ascendance commune



Charles Darwin n'avait d'autre choix que d'utiliser l'argument de similitude (« Quand on considère cette gradation et cette diversité de conformation dans un petit groupe d'oiseaux très voisins ») et le principe de parcimonie pour faire l'hypothèse d'un événement de colonisation unique (« on pourrait imaginer qu'en vertu d'une pauvreté originelle d'oiseaux dans cet archipel, une seule espèce s'est modifiée pour atteindre des buts différents »). Nous disposons aujourd'hui d'outils supplémentaires pour reconstituer l'histoire phylogénétique des pinsons. La démarche ne peut être celle de Lack, à savoir se baser sur un caractère comme le bec, puisqu'il nous a servi, au point de départ, à formuler l'hypothèse de radiation. Il faut au contraire utiliser un grand nombre de caractères, anatomiques et moléculaires, pour établir l'histoire évolutive des pinsons des Galápagos et de leurs proches cousins continentaux.

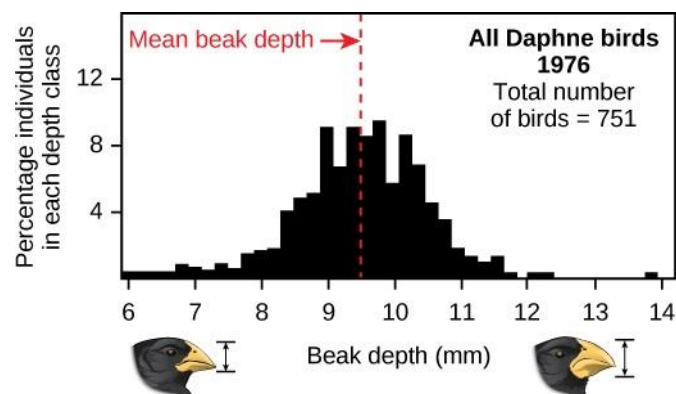
Arbre phylogénétique obtenu par la méthode du maximum de vraisemblance sur des sites autosomiaux (les astérisques témoignent d'un support statistique du nœud par une méthode de test de vraisemblance nommée Shimodaira-Hasegawa). Les noms correspondent aux noms d'espèces, éventuellement complétés par une lettre indiquant l'île sur laquelle ont été prélevés les individus pour le séquençage. En couleur, sont figurés les groupes d'espèces classiquement établis.

La principale conclusion qui nous intéresse ici est que les pinsons des Galápagos et des îles Cocos représentent un groupe monophylétique. Les groupes externes sont des espèces continentales : *Tiaris bicolor* est appelé en français le cini verdinère ou sporophile cici et *Loxigilla noctis* est appelé en français le sporophile rouge-gorge. Ces espèces sont les plus proches de l'ancêtre commun exclusif des pinsons insulaires. Ils vivent à 900 km de l'archipel.

Le scénario le plus probable est celui d'un événement fondateur unique : un groupe restreint d'une trentaine d'individus aurait traversé les 900 km (des passereaux ont déjà été observés voyageant en pleine mer) et aurait colonisé une des îles. La sélection naturelle liée à la modification drastique de l'environnement d'une part, et l'effet de fondation lié à la faible taille de l'effectif d'autre part, auraient été deux forces évolutives intenses à l'origine d'une accélération évolutive.

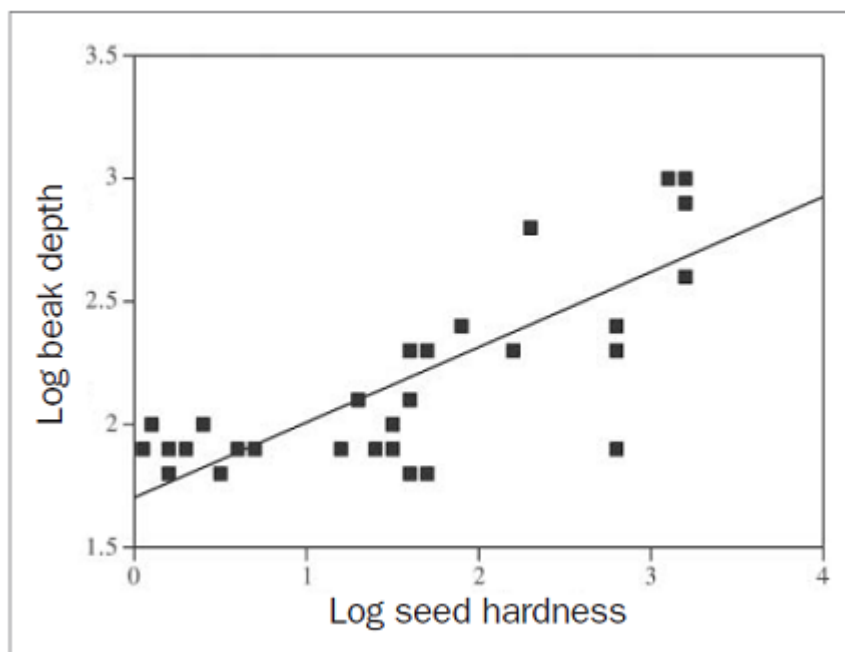
Remarque : certaines populations décrites par l'observation comme appartenant à l'espèce *G. difficilis* semblent en fait être suffisamment différenciées pour être considérées phylogénétiquement comme appartenant à des espèces différentes.

Point n° 4 : Illustrer la variabilité intraspécifique



La théorie de l'évolution par la sélection naturelle repose sur l'existence d'une variabilité intraspécifique d'un caractère héritable, qui est ensuite triée. Pour illustrer cette variabilité, un caractère clairement identifiable doit être choisi. Ici, il s'agit d'un caractère quantitatif, la hauteur du bec mesurée comme indiquée sous le graphe. Le report des proportions de chaque catégorie de taille de bec dans la population prend la forme d'une courbe en cloche ou gaussienne, comme attendu si le paramètre représenté est influencé par de nombreux facteurs aléatoires indépendants (ce n'est pas un déterminisme monogénique).

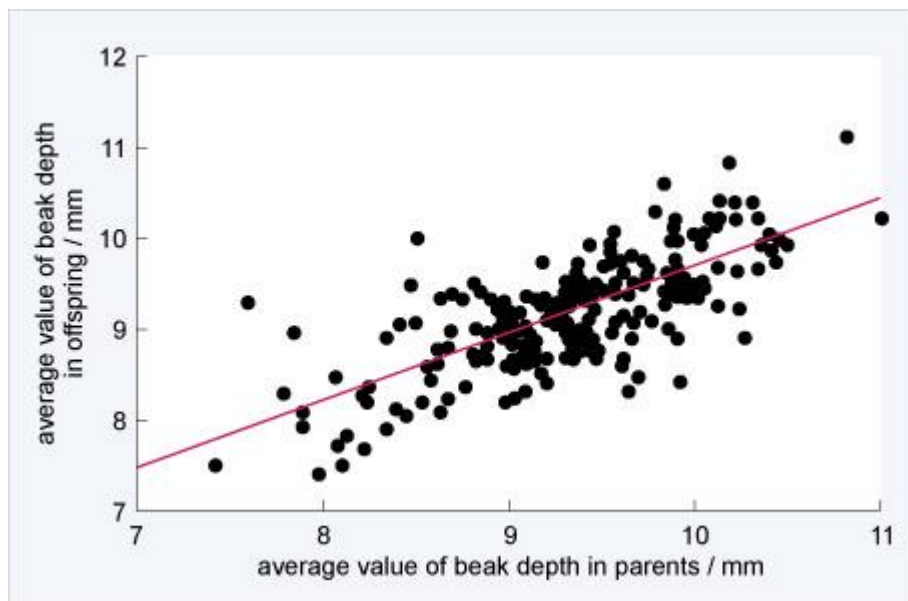
Point n°5 : Illustrer la relation entre les caractères du bec et la valeur sélective



La théorie de l'évolution par la sélection naturelle repose sur l'existence d'une variabilité intraspécifique d'un caractère héritable, qui est ensuite triée. Il faut donc montrer que les variations phénotypiques ont un impact sur la réalisation d'une fonction de l'organisme, en l'occurrence sa capacité à prélever une partie de la nourriture disponible dans son environnement. Dans ce graphique est présentée la relation (log-linéaire) entre la hauteur du bec et la dureté maximale des graines que peut consommer le géospize. La ressource alimentaire disponible pour un individu donné dépend donc de la hauteur de son bec : les individus possédant les becs les plus grands auront la possibilité de manger des graines plus dures. Au-delà des corrélations observées entre la forme moyenne du bec d'une espèce et son régime alimentaire (point 2), on observe une relation forte entre la forme et la taille moyenne des becs des individus d'une même espèce et le type de nourriture qu'ils peuvent consommer.

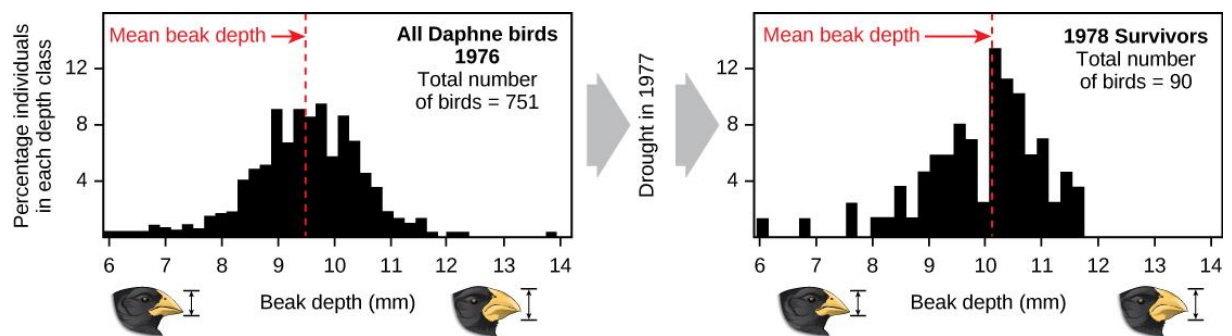
L'exemple le plus frappant rapporté par les Grant est celui des géospizes à bec pointu qui peuvent présenter : des becs émoussés et grands sur les îles où ils se nourrissent d'arthropodes, mollusques, fruits durs et grosses graines ; des becs plus petits sur l'île où ils se nourrissent de petites graines ; des becs plus allongés dans l'île où ils rajoutent à leur régime granivore la consommation d'œufs et de sang de fous (en leur infligeant des blessures à la base des plumes).

Point n°6 : Illustrer l'héritabilité des caractères du bec



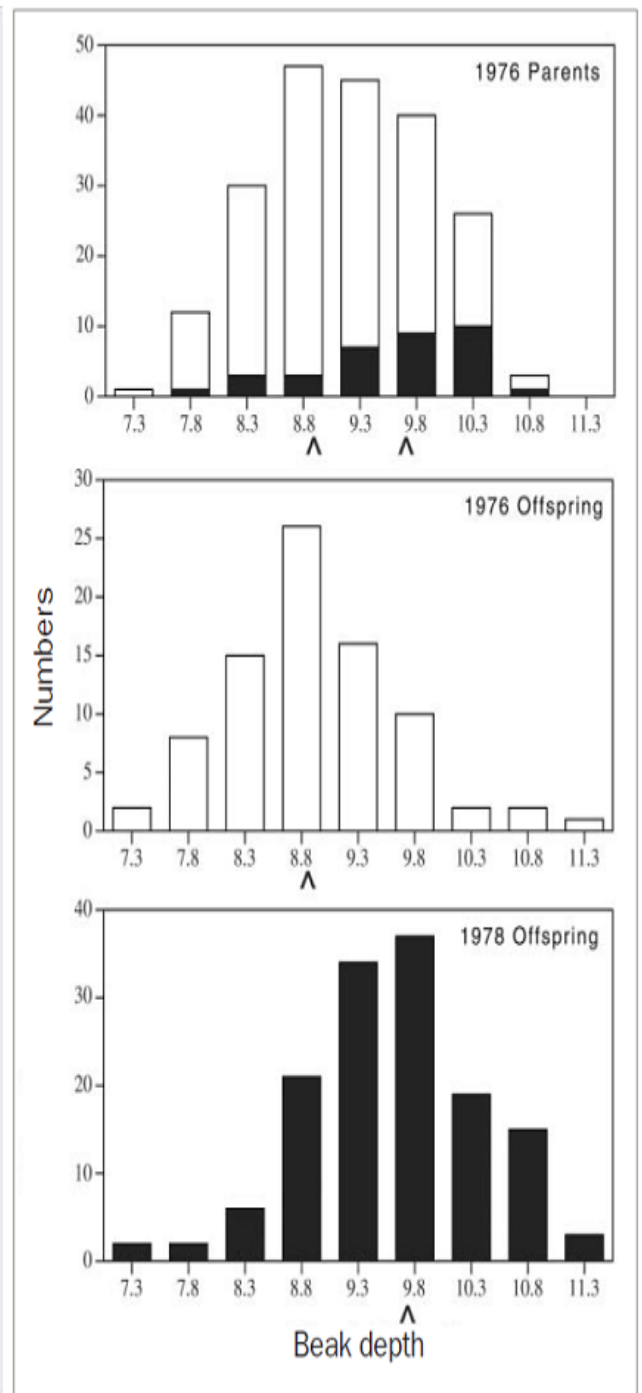
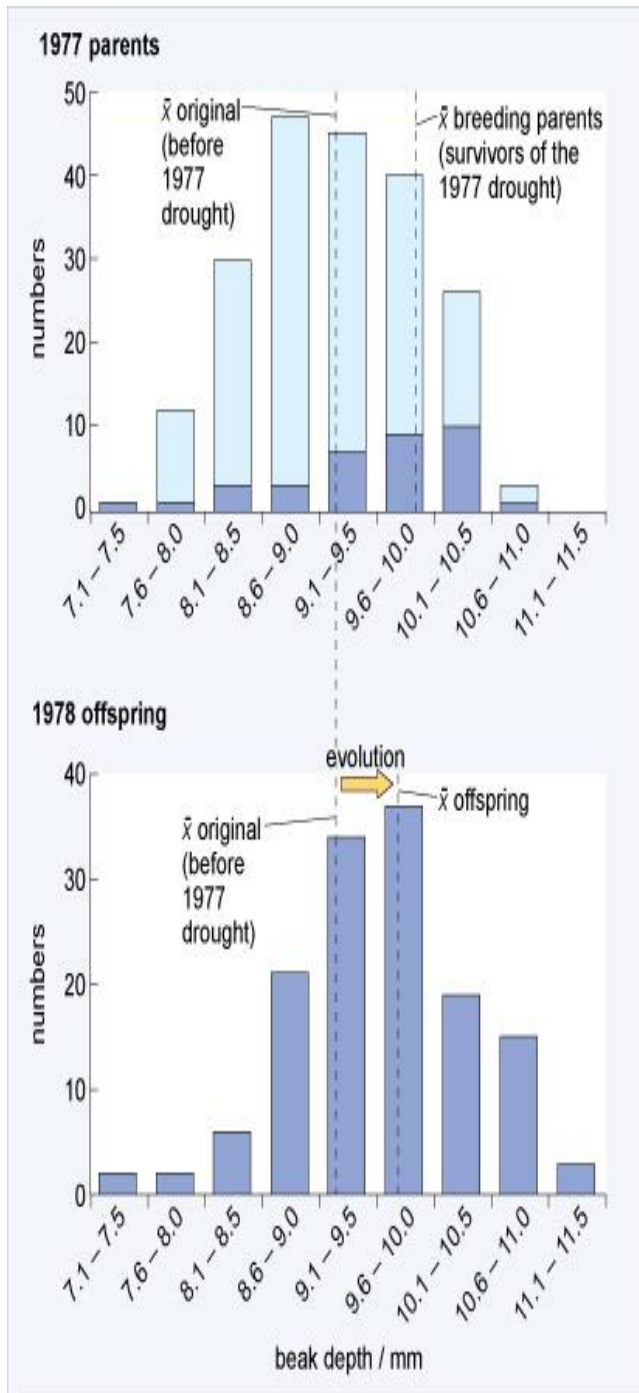
La théorie de l'évolution par la sélection naturelle repose sur l'existence d'une variabilité intraspécifique d'un caractère héritable, qui est ensuite triée. Pour évaluer l'aspect héritable du caractère, on peut réaliser des études de mesures de la hauteur du bec chez des parents et leur progéniture. Dans ce graphique, chaque point correspond à la moyenne de la hauteur du bec de la portée en fonction de la moyenne de la hauteur du bec des parents. La droite rouge est une droite de régression linéaire de l'ensemble des points représentés. En génétique quantitative, l'héritabilité est la proportion de la variation phénotypique d'une population qui est d'origine génétique. Une estimation de cette héritabilité peut être obtenue à partir de ce graphique : c'est le coefficient directeur de la droite de régression linéaire. Cette valeur sera toujours comprise entre 0 et 1 (généralement inférieure à 1 car des paramètres environnementaux rentrent en jeu). En 1976, l'héritabilité du bec mesurée dans la population de géospizes à bec moyen est de 0,78. Cela confirme le caractère héritable de la taille du bec. Graphiquement, cela se traduit par un « alignement » assez fort des points. Dans le cas contraire, les points auraient été fortement dispersés.

Point n°7 : Illustrer les variations de valeurs sélectives lors de variations des conditions environnementales



Les principales recherches des Grant ont été réalisées sur les géospizes à bec moyen de l'île de Daphne Major. Cette petite île située au centre de l'archipel des Galápagos est un site idéal pour la recherche, car les géospizes à bec moyen qui y vivent ont peu de compétiteurs et de prédateurs. Le facteur principal influençant donc la survie de ces pinsons sur cette île est le climat car il contrôle la nourriture disponible. Cette espèce a un bec trapu qui lui permet de se nourrir de la plupart des graines. En revanche, la variabilité intraspécifique précédemment décrite restreint le spectre des graines disponibles pour les individus.

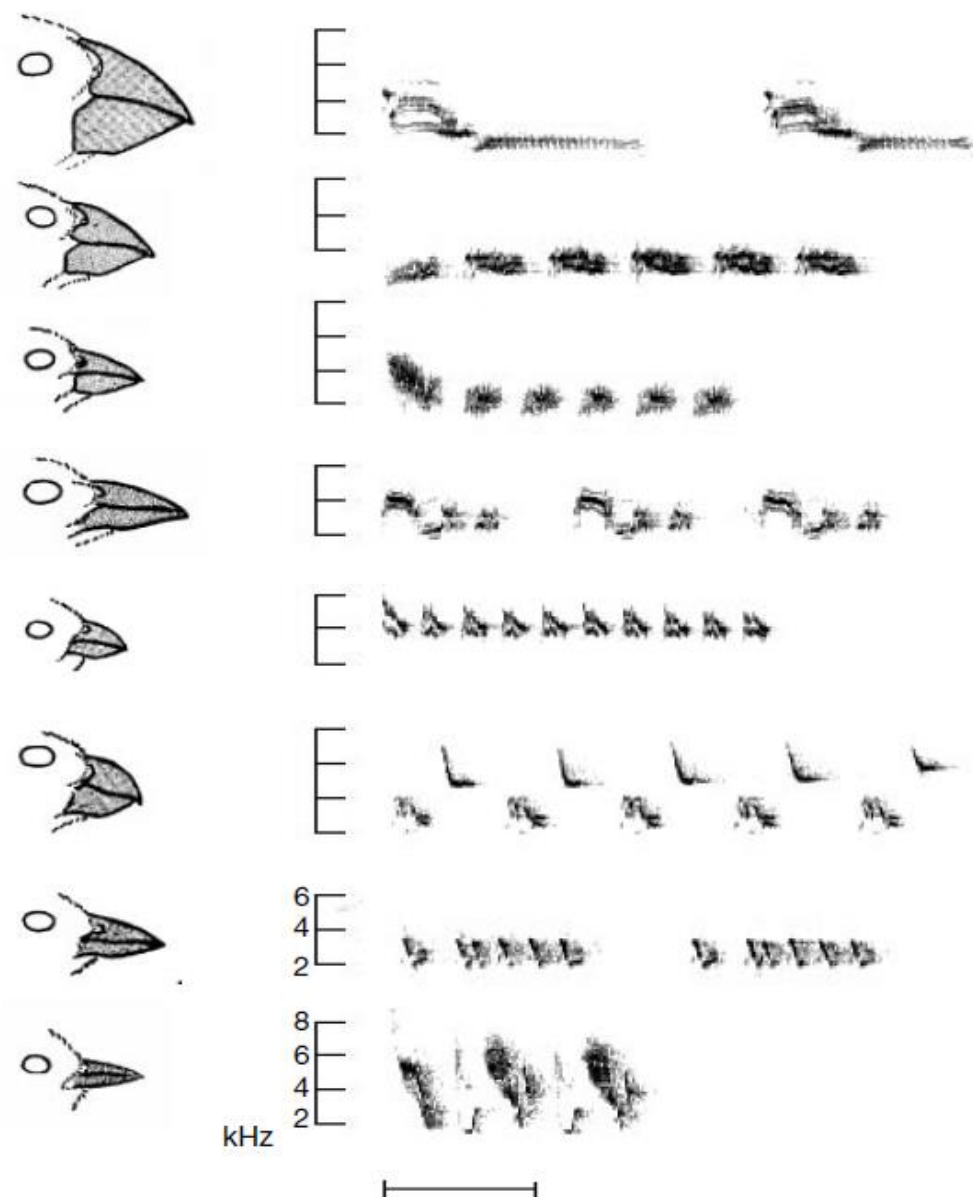
L'année 1977 a été une année particulière d'un point de vue climatique, marquée par une absence de précipitations pendant 551 jours. Ceci a entraîné le dessèchement de la végétation herbacée, qui n'a pu réaliser son cycle et produire de graines. Les pinsons ont donc consommé les graines restantes de l'année précédente, en commençant par les graines les plus tendres. Vers la fin de l'année, seules les graines les plus coriaces étaient encore disponibles. La taille de la population a chuté du fait d'une mortalité massive des jeunes et d'une surmortalité des adultes.



Le graphique du haut montre la distribution des tailles de bec avant l'épisode de sécheresse et le nombre de survivants pour chaque catégorie de taille (en foncé). On constate que les individus possédant des becs plus grands ont mieux survécu à la sécheresse, très probablement en ayant la possibilité de consommer les graines les plus dures. Le caractère étant héritable, il n'est pas étonnant que la distribution de la taille du bec ait été modifiée au

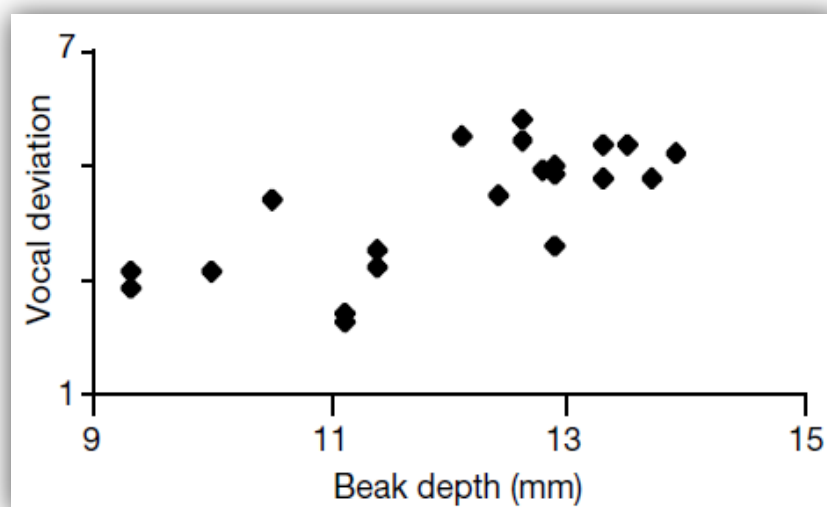
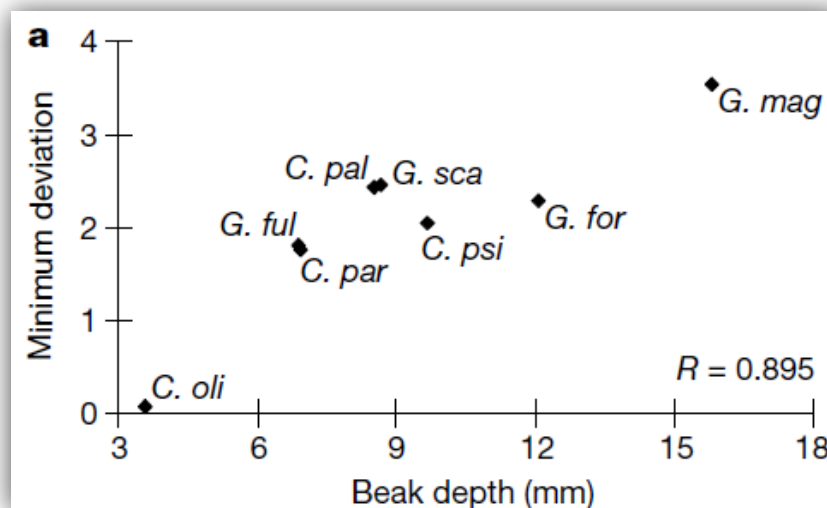
cours de la génération suivante, avec une augmentation de la moyenne. En 1978, la taille moyenne du bec avait augmenté de 3 à 4 % par rapport à l'année 1976. Cet effet de la sélection naturelle a été renforcé par une sélection sexuelle : les mâles ayant un bec plus grand que les femelles, ils ont mieux survécu. Ce sex-ratio biaisé a induit une surcompétition entre mâles et les mâles les plus grands (et donc possédant un bec plus grand également) ont mieux survécu. L'action combinée des deux sélections explique le caractère intense de cette évolution sur un bref laps de temps.

Point n° 8 : Illustrer les conséquences de la sélection naturelle en termes de spéciation

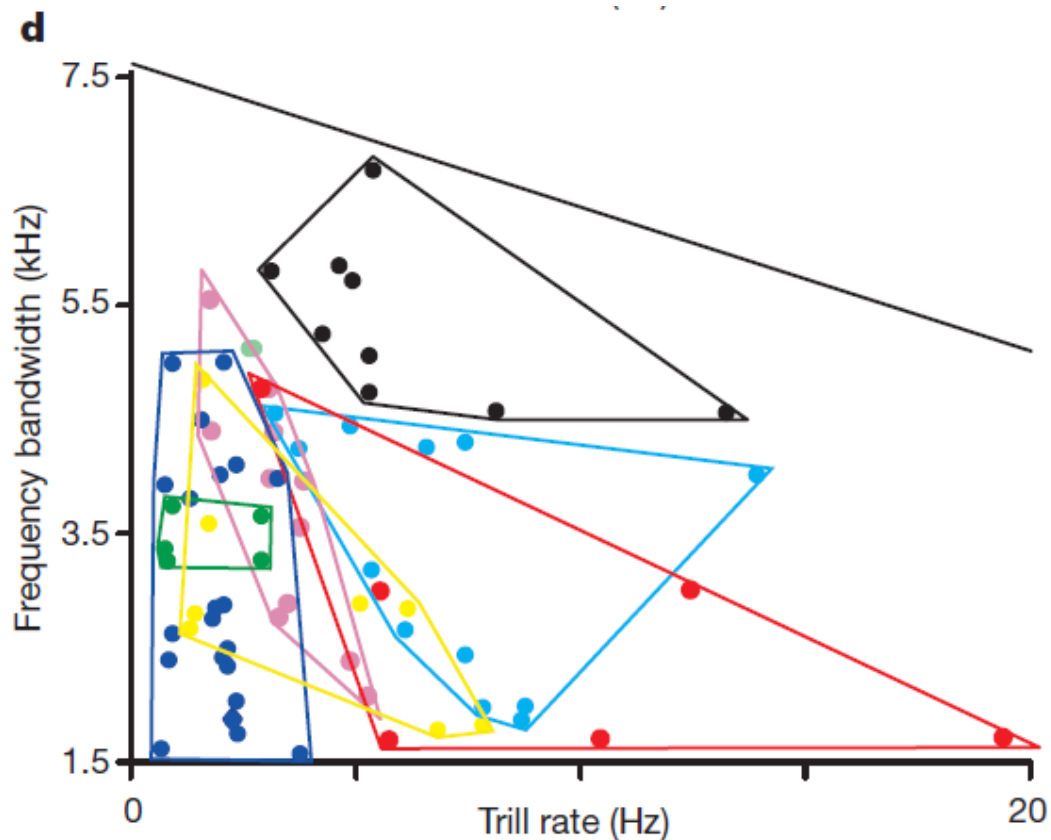


La sélection naturelle induit la variation de la forme du bec chez les pinsons car celle-ci est corrélée à leur survie via leur capacité à exploiter de façon plus ou moins efficace certaines ressources alimentaires. En modifiant la forme du bec, elle va agir sur un autre trait : le chant. Voici les spectrogrammes de 8 espèces de l'île de Santa Cruz (de haut en bas : *G. magnirostris*, *G. fortis*, *G. fuliginosa*, *G. scandens*, *C. parvulus*, *C. psittacula*, *C. pallida*, *C. olivacea*).

L'auteur a défini un paramètre acoustique : la « déviation vocale », qui est associée à un appauvrissement des performances vocales. De façon intéressante, il a montré que cette déviation augmentait avec la taille du bec aussi bien de façon interspécifique (à gauche) qu'intraspécifique (à droite, dans l'espèce *G. fortis*) :



Plus précisément, les oiseaux avec un large bec ont des chants avec un taux de répétition de syllabes relativement plus faible et un spectre de fréquence moins large.



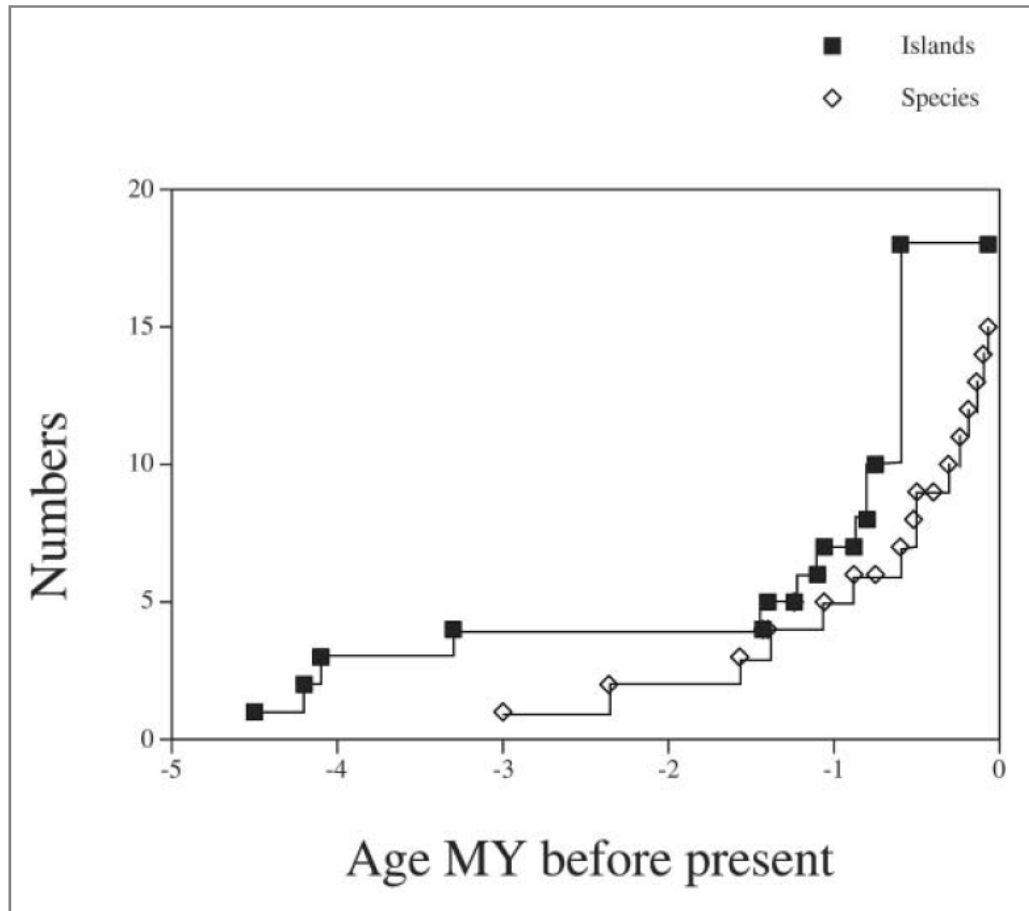
G. magnirostris, vert; *G. fortis*, bleu foncé ; *G. fuliginosa*, rose; *G. scandens*, jaune; *C. parvulus*, bleu clair; *C. psittacula*, vert clair; *C. pallida*, rouge; *C. olivacea*, noir.

L'impact de la taille du bec est une donnée majeure car elle fournit une hypothèse sur la barrière de reproduction à l'origine de la spéciation. En effet, d'autres études menées par les Grant ont montré que les femelles d'une espèce ne réagissaient pas aux chants d'autres espèces de pinsons. Si, au sein d'une population, des individus présentant une taille de bec différente ont développé un chant différent, cela a pu induire une reproduction privilégiée entre des individus d'une même taille de bec et ainsi supporter une spéciation. Celle-ci peut avoir lieu aussi bien en sympatrie (certains individus se spécialisent sur une nourriture ; leur bec, et donc leur chant, évoluent et ils ne se reproduisent avec le reste de la population) comme en allopatrie (certains individus, après modification de leur bec par évolution sur une nouvelle île, reviennent sur une île d'origine et ne se reproduisent plus avec les individus de la population mère dont ils diffèrent par le chant).

Point n° 9 : Reconstituer le scénario de la radiation

La divergence – mesurée par horloge moléculaire appliquée sur des données d’ADN mitochondriales – est estimée à 2 à 3 millions d’années. L’événement de colonisation d’îles aussi éloignées est extrêmement rare. Une analyse génétique menée sur la diversité des gènes du CMH de classe II suggère que cette colonisation aurait été accomplie de façon unique par au moins 30 individus. Des événements auraient pu favoriser un tel événement : une grande densité d’oiseaux après une année particulièrement prolifique ou des feux de forêts causés par des éruptions volcaniques. Ces hypothèses sont appuyées par le fait que les températures étaient à l’époque plus élevées, pouvant induire des épisodes d’El Nino constants. Les oiseaux des régions côtières auraient pu partir vers la mer pour échapper aux flammes et à la fumée, et être aidés dans leur périple si des débris végétaux auraient dérivé, emportés par des crues majeures du fleuve Rio Guayas associé à des épisodes d’El Nino.

Les données génétiques permettent également d’estimer le rythme de la spéciation et de faire des hypothèses sur le scénario.



On considère que les conditions géographiques et climatiques ont beaucoup évolué : il y avait moins d'îles (peut-être seulement 5), la température était plus élevée et depuis, des épisodes de glaciation/déglaciation ont eu lieu (faisant varier non seulement la température mais également la hauteur du niveau de la mer, et donc la distance entre les îles). L'environnement biotique a également évolué, au gré des colonisations et des variations climatiques successives. On peut donc penser que l'ensemble des niches écologiques actuellement colonisées par les pinsons n'étaient pas disponibles au moment de la colonisation initiale. On suppose donc que l'environnement était initialement plus chaud, mais aussi plus humide, et que l'évolution des pinsons s'est faite en direction d'un régime à base de petits arthropodes et de pollen et nectar de petites fleurs.

La radiation a commencé avec la séparation de la lignée des pinsons-fauvettes en deux lignées distinctes. Un groupe a colonisé les forêts humides d'altitude tandis que l'autre a occupé des habitats plus bas. Une des deux lignées a ensuite donné naissance à tous les autres pinsons. Dans cette deuxième phase de la radiation, la spéciation s'est accélérée et est à l'origine des pinsons terrestres et arboricoles.

La séparation initiale décrite précédemment est un exemple de spéciation allopatrique. Si, par la suite, les deux populations, via de nouvelles colonisations, se retrouvent à nouveau en sympatrie et qu'elles ne peuvent plus se reproduire, alors la spéciation est considérée comme terminée (plus de flux génétiques possibles entre les populations). Dans le cas des pinsons, c'est majoritairement la spéciation allopatrique qui a supporté la radiation. Cependant, la radiation étant récente, de nombreux événements d'hybridations ont été enregistrés, montrant que les spéciations n'étaient pas toujours complètes. Si les hybrides présentent une valeur sélective inférieure, cela mènera à une spéciation finalement complète.

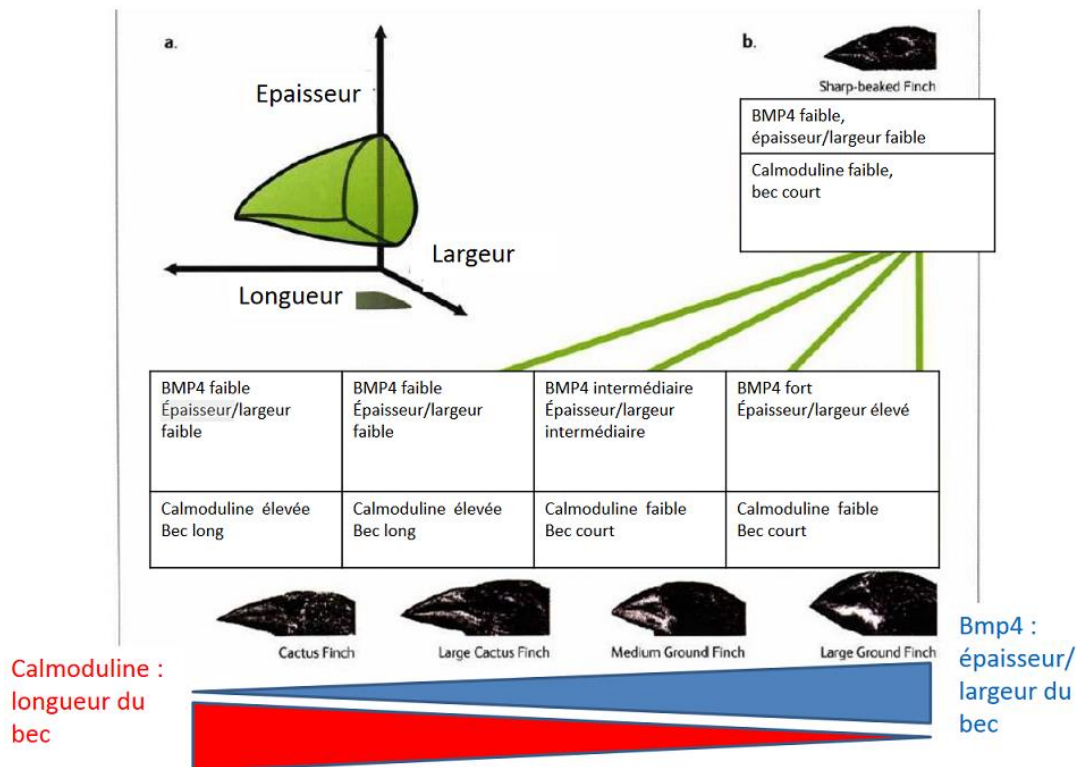
Ponctuellement, dans les cas où les îles possédaient des ressources alimentaires diversifiées (notamment au début de la radiation ou sur les grandes îles), des mécanismes de spéciation sympatrique ont pu avoir lieu : si les ressources sont limitées et que des populations se spécialisent dans un régime donné, la valeur sélective des individus exploitant des ressources généralistes vont être contre-sélectionnés au profit des individus spécialistes. Si les individus occupant ces nouvelles niches alimentaires se reproduisent ensuite préférentiellement entre eux, la spéciation sympatrique peut aboutir.

Point n°10 : Adopter une démarche néodarwinienne

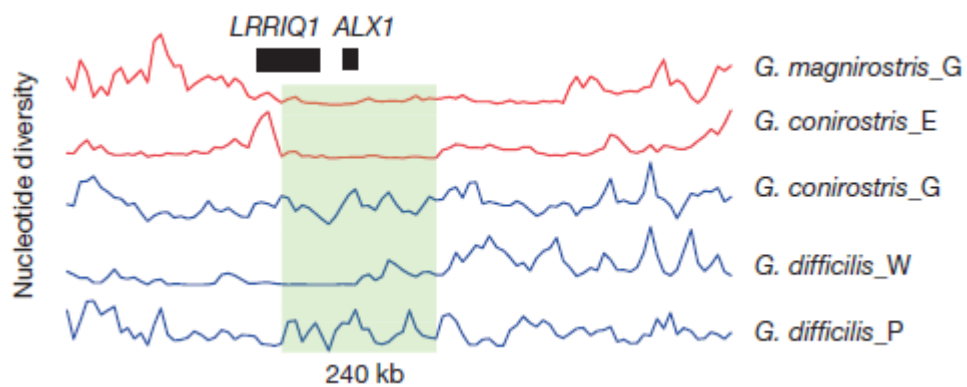
Les données de génétique permettent également de proposer des mécanismes supportant la radiation. Lorsqu'il a élaboré sa théorie, Charles Darwin ne disposait d'aucune donnée génétique. La redécouverte des lois de Mendel au début du XXème siècle a progressivement mené à l'idée qu'il fallait relier la théorie de l'évolution aux connaissances qui se développaient en génétique. Une approche incluant des modèles mathématiques et des données expérimentales et théoriques a été développée sous le terme de théorie synthétique de l'évolution. Plus tard, ce sont les données embryologiques qui ont été intégrées dans un courant de pensée nommé évo-dévo. Aujourd'hui, les études reposent sur une intégration des différents outils de la biologie pour mieux comprendre les mécanismes de l'évolution.

Dans le cas des pinsons de Darwin, différents acteurs moléculaires ont été identifiés. Ils jouent un rôle dans la morphologie du bec, élément du phénotype majeur de la radiation évolutive décrite. Abzhanov et al. ont montré que le niveau d'expression du gène *Bmp4* par exemple est un facteur contrôlant le développement du bec : une surexpression du gène entraîne un élargissement du bec alors que sa sous-expression entraîne un amincissement du

bec. L'expression d'un autre gène : CaM, est aussi largement impliquée dans la morphologie du bec.



The calmodulin pathway and evolution of elongated beak morphology in Darwin's finches. (Modifié par www.ac-clermont.fr)



Ce graphique (gauche) présente la diversité des nucléotides enregistrée au niveau d'une séquence particulière chez 5 espèces (ou variantes insulaires). Cette séquence comprend le gène ALX1. Ce gène est un excellent candidat car il code pour une protéine possédant un homéodomaine qui joue un rôle crucial, notamment dans la migration de cellules de la crête neurale ; il est fondamental dans le développement du bec. Une région de 240 kb comprenant le gène s'est révélée être particulièrement constante chez deux espèces : *G. magnirostris_G* et *G. conirostris_E*, ces deux espèces ayant le bec émoussé. Le graphique de droite montre que tous les individus (sauf un hétérozygote) possédant cette catégorie de bec étaient homozygotes pour un haplotype d'ALX1 nommé B (pour « blunt »). De façon intéressante, le gène est polymorphe chez *G. fortis*. Des observations de terrain ont montré que c'est chez cette espèce que l'on trouve la plus grande diversité de formes.

Ainsi, Charles Darwin a posé un cadre théorique pour l'évolution des pinsons, formulé à partir d'un nombre restreint d'observations. Cette vision a été confirmée par un nombre croissant d'observations, puis par des approches issues d'autres champs de la biologie, qui permettent par ailleurs des expérimentations. L'accumulation de preuves historiques et expérimentales a permis de valider le scénario d'une radiation adaptative et cherche maintenant à proposer des mécanismes causaux qui le supportent.