

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université Abdel Hamid Ibn Badis de MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

## Mémoire De Fin D'études

Pour l'obtention du diplôme Master en Agronomie

Option : Génétique et Reproduction Animale

### Thème

Etude de la variabilité de la forme du bec chez deux  
souches de poulet de chair (Cobb500 et Arbor-Acres) par  
la technique de morphométrie géométrique

Présenté par : BELAICHE Zakaria.

### DEVANT LE JURY

**Président :** Mr. TAHRI Miloud

MAA Université Mostaganem

**Encadreur :** Mr. DAHLOUM Lahouari

MCB Université Mostaganem

**Examineur :** Mme. FASSIH Aicha

MAA Université Mostaganem

✦ Année Universitaire : 2017/2018 ✦



## **REMERCIEMENTS**

Au nom d 'ALLAH, le tout puissant, le clément et miséricordieux, qui par sa volonté et sa bénédiction m'a permis de réaliser mon rêve et m'a donné la force pour accomplir à bien ce travail. Toute ma gratitude à mes chers parents  
Pour leur soutien et encouragements.

Au terme de ce modeste travail, il m'est agréable de remercier vivement toutes les personnes qui m'ont permis l'achèvement de ce travail. Mes sincères  
Sentiments de reconnaissances et de gratitude iront d'abord à:

Mon Encadreur Monsieur DAHLOUM.H , pour ses efforts, ses conseils et son dévouement, d'ont j'ai bénéficié tout au long de la réalisation  
de ce travail.

Je dois également exprimer ma gratitude aux membres de jury :  
Monsieur Tahri Miloud pour avoir accepté de présider ce jury, je remercie de même  
Madame Fasih Aicha pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont participé à  
l'accomplissement du cursus de la promotion MASTER PARCOURS.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée, directement ou  
indirectement, à élaborer ce travail

## RESUME

Cette thèse nous aura permis de démontrer que la morphométrie géométrique MG et plus précisément la méthodologie des points-repères que nous avons employé dans un cadre 2D ; via la superposition Procruste sur des images numérisées des becs du côté supérieur peut être amplement pratiquée pour répondre à nos questions. La MG est un outil véritablement puissant permettant d'identifier et de visualiser visiblement les changements de conformations des becs.

Dans cette thèse en utilisant des techniques modernes de la morphométrie basées essentiellement sur la configuration des points-repères ou landmarks qui font partie de la morphométrie géométrique. Cette dernière permet de faire la synthèse, à l'échelle de précision souhaitée de la géométrie d'un objet. Elle dispose d'un fondement mathématique exact et rigoureux qui garantit des statistiques robustes. L'objectif principal est d'étudier et quantifier la variabilité des formes du bec (conformations+ tailles centroïdes) des deux souches de poulet Cobb 500 et Arbor-Acres, un total de 65 poulet (40 Cobb 500-25 Arbor-Acres).

Les résultats ont montré une nette différenciation, Plusieurs champs d'analyses statistiques multivariées ont été développés. les différences de formes enregistrées impliquent principalement les paramètres de conformations (shapes) des Cobb 500 et Arbor-Acres, tandis que la contribution de la taille du bec (size) est généralement faible. Les deux souches présentent en effet des différences importantes au niveau de la géométrie de leurs becs. Les grands écarts calculés par les variances généralisées ont mis en évidence l'hétérogénéité des formes du bec, La visualisation de déformations des becs a bien montré les différences de conformations.

Enfin, Nous pouvons dire que nos résultats dévoilent le grand intérêt de la MG dans l'étude, d'une part, nous avons confirmé l'hypothèse de la variabilité entre les becs des deux souches, et d'autre part, cela nous a incités à continuer d'étudier pour trouver une solution radicale au problème à résoudre.

**Mots clés :** bec, morphométrie géométrique, points-repères, superposition Procruste, conformation, forme.

## ملخص

سمحت لنا هذه الأطروحة بإثبات أن علم المرفولوجيا الهندسية وأكثر تدقيقاً منهجية النقاط المعلمية التي استخدمناها في إطار ثنائي الأبعاد؛ بواسطة التطابق البروكيستي على صور مرقمنة لمناقير على الجانب العلوي يمكن أن يمارس على نطاق واسع للإجابة على أسئلتنا. علم المرفولوجيا الهندسية هو أداة قوية حقا لتحديد واضح والتغيرات التركيبية للمناقير،

في هذه الأطروحة تم استخدام تقنيات حديثة من القياسات التي تعتمد أساسا على تكوين المعالم أو المعالم التي تشكل جزءا من القياسات الهندسية و الذي يجعل من الممكن تجميع ، على مقياس الدقة المطلوب ، هندسة شكل معين. و لديها أساس رياضي(حسابي) دقيق وصارم يضمن إحصائيات قوية. الهدف الرئيسي هو دراسة وقياس تباين أشكال المنقار (مطابقات + أحجام مركزية) من سلالتَي الدجاج Cobb 500 و Arbor-Acres ، أي ما مجموعه 65 دجاجة (40 Cobb 500 -25 Arbor-Acres)

أظهرت النتائج تبايناً واضحاً ، حيث تم تطوير العديد من مجالات التحليل الإحصائي متعدد المتغيرات. وتشمل الاختلافات في الشكل المسجل بشكل أساسي معالم الشكل Cobb 500 و Arbor-Acres ، في حين أن مساهمة حجم المنقار (الحجم) صغيرة بشكل عام. كلتا السلالتان لديهما اختلافات مهمة في هندسة مناقيرهما. أظهرت الاختلافات الكبيرة التي تم حسابها من خلال الفروق العامة عدم تجانس أشكال المنقار ، حيث أظهر التصور لتشوهات المنقار بوضوح الاختلافات في التطابقات.

وأخيراً يمكننا القول أن نتائجنا تكشف عن الأهمية الكبرى لعلم المورفولوجيا الهندسي في هذه الدراسة، من ناحية ، أكدنا فرضية التباين بين مناقير السلالتين ، وعلى الجانب الآخر ، هذا دفعنا لمواصلة الدراسة لإيجاد حل جذري للإشكالية المطروحة.

**كلمات مفتاحية:** منقار، مورفولوجيا هندسية، نقاط معلمية، التطابق البروكيستي، هيئة ، شكل.

## ABSTRACT

This thesis allowed us to demonstrate that the geometric morphometry MG and more precisely the methodology of the reference points that we used in a 2D framework; via the Procrust overlay on digitized images of the beaks on the upper side can be widely practiced to answer our questions. MG is a truly powerful tool for visibly identifying and visualizing changes in the conformation of beaks.

In this thesis using modern techniques of morphometry based essentially on the configuration of landmarks or landmarks that are part of geometric morphometry. The latter makes it possible to synthesize, on the desired scale of precision, the geometry of an object. It has an exact and rigorous mathematical foundation that guarantees robust statistics. The main objective is to study and quantify the variability of the beak forms (conformations + centroid sizes) of the two chicken strains Cobb 500 and Arbor-Acres, a total of 65 chicken (40 Cobb 500-25 Arbor-Acres).

The results showed a clear differentiation. Several fields of multivariate statistical analysis were developed. The recorded shape differences mainly involve the Cobb 500 and Arbor-Acres shape parameters, while the contribution of the size of the beak (size) is generally small. Both strains have indeed significant differences in the geometry of their beaks. The large differences calculated by the generalized variances revealed the heterogeneity of the beak forms. The visualization of beak deformations clearly showed the differences in conformations.

Finally, we can say that our results reveal the great interest of the MG in the study, on the one hand, we confirmed the hypothesis of the variability between the beaks of the two strains, and on the other hand, that we have encouraged to continue studying to find a radical solution to the problem to be solved.

**Keywords :** beak, geometric morphometrics, landmarks, Procrustes superimposition, Conformation, shape

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> l'origine des races de poulet, A : Bankiva , B : Malais, C : Cochin.....	15
<b>Figure 2:</b> race de poulet l'origine des sélections des hybrides commerciales actuelles, A : Les «leghorns (blanches et brunes)» B : les «Rhodes Island (brunes)».....	15
<b>Figure 3:</b> principe d'hybridation du poulet .....	20
<b>Figure 4:</b> Part de marché en volume des principaux exportateurs de viandes et préparations de volailles en 2015.....	25
<b>Figure 5:</b> Evolution de la consommation de volaille entre 2016 et 2025.....	26
<b>Figure 6:</b> Exploitation avicole intégrée typique .....	29
<b>Figure 7:</b> Anatomie du bec des volailles .....	31
<b>Figure 8:</b> Illustration de quelques mesures de distances et angles sur une feuille d'Acer rubrum (Jensen et al.,2002 .....	41
<b>Figure 9:</b> La taille de centroïde (Zelditch et al.,2012).....	42
<b>Figure 10:</b> Les trois opérations qui n'affectent pas la conformation : (A) Translation ; (B) Rotation et (C) Redimensionnement (Zelditch et al., 2012 ) .....	43
<b>Figure 11:</b> Relation entre l'espace des triangles de Kendall l'espace des conformations formalisés après les superposition Procrustes (« shape space») et l'espace tangent à l'espace de conformations (Cucchi et al., 2015 .....	44
<b>Figure 12:</b> Les étapes des superpositions de Procruste (Mitteroecker et al., 2013) .....	48
<b>Figure 13:</b> Moyens de visualisation des différences de conformation :	
A. Par les vecteurs de déplacement des PR; B. Par les Splines en	
B. Plaque mince (Zelditch et al., 2012).....	50
<b>Figure 14:</b> Grille de déformation de D'Arcy Thompson's (1917) montrant les changements de conformation entre le Diodon et le poisson lune Mola (in Cucchi et al.,2015).....	51
<b>Figure 15:</b> poulet de chair souche Arbor Acres .....	54

<b>Figure 16:</b> poulet de chair souche Cobb 500.....	54
<b>Figure 17:</b> Image prise de la souche Arbor Acres (spécimen N12) .....	54
<b>Figure 18:</b> Image prise de la souche Cobb 500 (spécimen N60) .....	55
<b>Figure 19:</b> les trois étapes de la superposition procrustéenne (GPA) .....	63
<b>Figure 20:</b> Diagramme de distribution cumulative des distances des becs et de la forme moyenne .....	65
<b>Figure 21:</b> Présentation géométrique d'un bec ; (A) les 8 liens (distances) inter points-repères qui sont utilisés pour aider à visualiser les transformations des conformations ; (B) variabilité des points-repères après une superposition Procrustéenne .....	66
<b>Figure 22:</b> Pourcentage de variation des axes en composantes principales: Variance expliquée par les quatorze premières composantes principales de l'ACP réalisée sur tous les individus de l'échantillon.....	68
<b>Figure 23:</b> Analyse en Composantes Principales fondées sur les résidus procrustes des configurations des deux souches (Cobb et Arbor) .....	70

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Les principaux sélectionneurs des hybrides de chair .....	21
<b>Tableau 2:</b> Évolution du progrès génétique des 30 dernières années Poulets de chair (engraissement normal 40-42 jours) .....	22
<b>Tableau 3:</b> Critères de performance des races pures et hybrides .....	22
<b>Tableau 4:</b> Principaux producteurs de viande de volailles dans le monde (équivalent carcasse) .....	24
<b>Tableau 5:</b> Résultats moyens de comportements observés par « focal sampling » chez des poules pondeuses débecquées ou non (Mason et al1995) .....	40
<b>Tableau 6 :</b> Résultat de la superposition procruste de deux axes (Axe1 –Axe2) à partir de 9 points-repères .....	68
<b>Tableau 7:</b> Variance expliquée par les quatorze premières composantes principales de l'ACP réalisée sur tous les individus de l'échantillon .....	70

## Liste des abréviations

<b>RIR</b>	<b>Rhodes rouge de l'Islande</b>
<b>RRS</b>	<b>Sélection Récurrente Réciproque</b>
<b>FAO</b>	<b>Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation</b>
<b>USDA</b>	<b>Département de l'Agriculture des Etats-Unis</b>
<b>MT</b>	<b>Million de Tonnes</b>
<b>OCDE</b>	<b>Organisation de Coopération et de Développement Economique</b>
<b>IASP</b>	<b>Association Internationale de l'Etude de la Douleur</b>
<b>VMN</b>	<b>Noyau Ventromédian de l'Hypothalamus</b>
<b>MG</b>	<b>Morphométrie Géométrique</b>
<b>EFD</b>	<b>Descripteurs Elliptique de Fourier</b>
<b>PR</b>	<b>Points Repères</b>
<b>GPA</b>	<b>Superposition Procruste</b>
<b>ANOVA</b>	<b>Analyse de la Variance</b>
<b>MANOVA</b>	<b>Analyse de Variance Multivariée</b>
<b>AFD</b>	<b>Analyses Factorielles Discriminantes</b>
<b>PCA</b>	<b>Analyse en Composantes Principales</b>
<b>QDA</b>	<b>Analyse Quadratique Discriminante</b>
<b>TPS</b>	<b>Méthode des plaques minces</b>
<b>PCs</b>	<b>Composantes Principales</b>
<b>P poste</b>	<b>Probabilité Postérieur</b>

## Table des matières

### REMERCIEMENTS

### INTRODUCTION

### Première partie : Etude bibliographique

#### Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

1. Evolution (races-souches) .....	14
1.1. Type Bankiva (type ponte).....	14
1.2. Type Malais (combattant) .....	14
1.3. Type Cochin (asiatique) .....	14
2. les races du poulet .....	16
2.1. Races légères ou type uniquement de ponte .....	16
2.2. Races mixtes (à double fin : chair et ponte).....	17
2.3. Races lourdes type chair.....	17
2.3.1. Les races naines .....	18
2.3.2. Les races autochtones africaines .....	18
3. Les hybrides commerciaux.....	18
3.1. Principes de l'hybridation .....	19
4. Les hybrides d'engraissement .....	22
4.1. Critères de performance .....	22
4.2. Choix des animaux d'engraissement.....	22
4.2.1. Hybrides commerciaux ? Races locales ? Poulet label ? .....	22
5. L'industrie de la volaille dans le monde .....	23
5.1. Des perspectives de développement à l'échelle mondiale .....	23

5.2. Facteurs liés à l'offre affectant les tendances mondiales du secteur de la volaille.....	28
6. Rôles du bec chez les volailles (conséquences du débecquage) .....	31
6.1. Anatomie du bec .....	31
6.1.1. Description du bec .....	31
6.1.2. Structure interne du bec .....	31
6.1.3. Les récepteurs sensoriels du bec .....	33
6.2. Rôle du bec dans le comportement alimentaire .....	33
6.2.1. Les deux fonctions du bec dans la prise alimentaire.....	33
6.2.2. Systèmes sensoriels impliqués dans la prise alimentaire .....	34
6.3. Influence du débecquage.....	34
6.3.1. Définitions du débecquage.....	34
6.3.2. Aspects législatifs .....	35
6.3.3. Conséquences anatomiques du débecquage.....	35
6.3.4. Conséquences physiologiques et comportementales du débecquage.....	36
6.3.5. Conséquences zootechniques du débecquage .....	38

## **Chapitre 2 : la morphométrie géométrique**

1. La morphologie du poulet .....	41
1.1. La morphométrie .....	41
1.1.1. Morphométrie classique .....	41
1.1.2 Morphométrie moderne ou morphométrie géométrique .....	42
1.2. Principaux concepts de la morphométrie géométrique .....	43
1.2.1. La taille .....	43
1.2.2. La conformation .....	43
1.2.3. Espace morphométrique.....	44

1.3. Les différentes approches de la morphométrie géométrique .....	46
1.3.1. Approche par les courbes de contour (Outlines).....	46
1.3.2. Approche par points repères (Landmarks).....	47
1.4. Les étapes de l'étude morphométrique géométrique par l'approche des points repères .....	47
1.4.1. Choix des points repères .....	47
1.4.2. Collecte des données .....	48
1.4.3. Extraction des informations de conformation .....	48
1.4.3.1. Centrage ou translation.....	49
1.4.3.2. Mise à l'échelle .....	49
1.4.3.3. Rotation .....	50
1.4.4. Analyse statistique .....	50
1.4.5 Visualisation graphique des différences de conformations.....	50

## **Deuxième Partie : Matériel et méthodes**

1. Site d'étude.....	54
2. Collecte de données.....	54
3. Préparation des becs pour l'analyse Morphométrie géométrique .....	56
4. Morphométrie géométrique (MG).....	56
4.1. Réorganisation les fichiers en format TPS (logiciel tps util .....	57
4.2. Méthode de prise des points-repères (landmarks).....	60
4.3. Choix et nature des points-repères envisagés.....	61
4.4. Marquage de nos spécimens.....	61
4.5. La superposition Procruste – GPA .....	63
5. Analyse statistique.....	64

5.1. Outils statistiques .....	64
--------------------------------	----

### **Troisième partie : Résultats et discussion**

1. Vérification des valeurs aberrantes .....	66
--	----

2. La superposition Procruste (GPA) .....	66
---	----

3. Analyse en Composantes Principales (ACP) .....	68
---	----

<b>Conclusion.....</b>	<b>73</b>
------------------------	-----------

<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>74</b>
--	-----------

# **Introduction**

### Introduction

Au cours de la transformation morphologique des reptiles en oiseaux, de nouvelles difficultés évolutives ont été imposées aux premières espèces d'oiseaux (Chiappe, 1995, Feduccia, 1999, Chuong et al., 2003). L'évolution de l'aviation s'est accompagnée de nouvelles opportunités environnementales morphologiques qui ont conduit au développement de diverses formes de becs (Zweers et al., 1997, Hou et al., 2003, 2004). Le recrutement de cadres avant en tant qu'ailes a permis le mouvement nouvellement découvert résultant du vol et l'ouverture d'un potentiel environnemental significatif. Cependant, ce changement a eu un coût, parce que les animaux doivent maintenant développer un nouveau mécanisme d'alimentation sans utiliser d'avant-bras. Ce développement a exercé une sélection de pression sur la morphologie faciale. Un dispositif d'alimentation puissant, léger et efficace doit se développer, conduisant à un étonnant déplacement du museau dans une large gamme de formes de bec adaptées aux différentes sorties environnementales. Au niveau macro, cela comprenait la conversion de serpents reptiliens en bec d'oiseaux (Feduccia, 1999). Au niveau micro, le contrôle des formes comprenait des becs d'oiseaux de l'île Galapagos qui ont inspiré la théorie de l'évolution de Darwin (Darwin, 1859; Grant, 1986). Bien que ce travail explique la base du rayonnement adaptatif des becs, le mécanisme qui produit différents becs au niveau de la croissance est souvent inconnu.

Le bec est un outil essentiel qui contrôle la croissance des poulets, en fonction de la forme et de la taille du bec: la longueur excessive du bec entraîne des pertes dans l'alimentation et affecte l'économie de l'éleveur. D'autre part, des études ont montré que le phénomène de picage peut conduire à l'obstruction des oiseaux de manger et de boire et donc le manque d'homogénéité parmi les individus dans le troupeau et le manque de taux de croissance et d'irrégularité ; Plusieurs facteurs, méthodes ou les deux qui ont été étudiés pour minimiser le picage des plumes incluent les carences nutritionnelles (Choct et Hartini, 2005), l'intensité lumineuse (Parkinson, 2005), la prédisposition génétique (Kjaer, 2005), l'enrichissement environnemental (Jones, 2005), les dispositifs abrasifs (Fiksvan Niekerk et Elson, 2005), les dispositifs ajustés et les sprays à plaies-mères (Glatz, 2005). À ce jour, cependant, le moyen le plus efficace d'empêcher le picage des plumes et le cannibalisme est de faire des becs d'oiseaux. Néanmoins, il existe des problèmes de bien-être concernant la taille du bec, et certains pays comme la Norvège, la Suède, la Finlande et l'Islande ont interdit son utilisation (Jendral et Robinson, 2004).

### **L'objectif de l'étude :**

Le but de l'étude est d'utiliser la morphométrie géométrique (analyse de Procruste) pour réétudier la variabilité morphologique de la forme du bec à l'aide des points de repère entre deux souche de poulet de chair (Cobb 500 et Arbor Acres) , puis au cas où l'on conclurait à la présence d'une vrais variabilité, nous aurons plus d'audace pour trouver des solutions à tous les problèmes ci-dessus et la première solution à notre esprit passe par la sélection génétique.

**Chapitre 1**

**Le poulet et**

**l'amélioration**

**génétiq**

## 1. Evolution (races-souches)

Plusieurs documents prouvent que l'origine de la poule proviennent de la forêt indonésienne, généralement appelée poule bengali (jungle brown poule ou gallus gallus) à l'origine de la poule locale. De l'Extrême-Orient, migré et adapté à divers écosystèmes dans le reste du monde. Dans les temps anciens, la poule, ou plutôt le coq, était vénérée et gardée comme un culte et un animal symbolique. Ce n'est qu'au moyen âge que la volaille est devenue commercialement importante en tant que fournisseur d'œufs et de viande.

Pendant des siècles, les éleveurs ont observé et utilisé la modification génétique (mutations) et la sélection sélective de certaines espèces génétiques ainsi que leur pression sur la variabilité, créant une extraordinaire diversité parmi les 150 souches connues de poulets. Cette variation est liée à des caractéristiques externes (forme physique, couleur des plumes, tendons, plumes de soie, raccourcissement de la queue, cou nu, forme naine ...) qui produisent une production (viande ou œufs).

Nous distinguons à l'origine, trois types de base :

### 1.1. Type Bankiva (type ponte)

Léger à mi-lourd, élégant, agile et très actif, oreillons et coquille de l'œuf de couleur blanche, performance de ponte de moyenne à très bonne.

### 1.2. Type Malais (combattant)

Haut sur pattes, cou long, puissant, plumage serré au corps, encore actuellement important dans la région d'origine en tant qu'animal de combat, ponte moyenne.

### 1.3. Type Cochin (asiatique)

Grand, d'aspect assez lourd et avec un plumage moelleux très fourni, des oreillons rouges et la coquille d'œuf de couleur jaunâtre à brunâtre, ponte moyenne.

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---



A



B



C

**Figure 1: l'origine des races de poulet, A : Bankiva , B : Malais, C : Cochin**

Les poules de rente actuelles dérivent des types Bankiva et Cochin. Le développement de ces types, particulièrement les variantes de poules légères, connut une amélioration fulgurante en Italie aux 18 et 19<sup>ème</sup> siècles et très rapidement l'expansion des exportations atteignit l'Europe centrale et l'Europe du Nord des Alpes qui étaient en retard à la suite des guerres de religion.

Cette expansion finira par atteindre au début du 20<sup>ème</sup> siècle le nouveau grand marché de l'Amérique où les poules furent baptisées «leghorns» d'après le grand port italien d'exportation Livourne.



A



B

**Figure 2: race de poulet l'origine des sélections des hybrides commerciales actuelles, A : Les «leghorns (blanches et brunes)», B : les «Rhodes Island (brunes)»**

Vont par la suite se répandre très rapidement dans le monde entier et constituer l'origine des sélections des hybrides commerciales actuelles.

Vers 1900, en Europe, on distingue les races spécifiques au terroir ou nationales dont la Leghorn originaire d'Italie, la Sussex et l'Orpington sont originaires de Grande Bretagne. La Barnevelder est une pondeuse à œuf très brun typique des Pays-Bas (Barneveld). C'est aux USA, que les autres animaux de rente, particulièrement les races pures de volaille furent

## **Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique**

---

systématiquement sélectionnées sur leurs performances par des généticiens et les vétérinaires. Les leghorns blanches et brunes, et singulièrement les brunes acquièrent une grande résistance au froid des régions Nord-Est des Etats-Unis par le croisement avec des coqs de sang «Cochin» et «Malais». Elles furent nommées « Rhodes Islands » d'après la région d'élevage de l'Etat de Rhodes Island. Il en fut de même pour la New Hampshire et la Plymouth Rock, mais aussi dans d'autres pays. L'Australorp fut sélectionnée en Australie à partir de l'Orpington.

A partir de 1940, encouragés par les résultats obtenus dans le développement du maïs hybride, les expériences de croisement en aviculture ont été couronnées d'un tel succès que les premières entreprises (Hy-line et Dekalb) commencèrent à vendre et à exporter en Europe sur une grande échelle des poussins hybrides. Le premier croisement de volaille fut réalisé aux Etats-Unis entre Plymouth Rock et Cornish et le produit appelé 'Cornirock ' fut plus tard rétabli en race pure.

Bien que les descendants du type Cochin n'aient acquis que peu d'importance économique, on trouve un apport de sang important de ce type dans beaucoup de races mi-lourdes, mixtes ou races à double fin (chair et ponte).

### **2. Les races du poulet**

Les races telles que nous les connaissons actuellement peuvent être regroupées selon leur utilité zootechnique comme suit :

#### **2.1. Races légères ou type uniquement de ponte**

**White Leghorn** répondant aux caractéristiques suivantes :

Plumage blanc, grande crête, simple et droite chez le coq, tombante chez la poule avec des oreillons blancs. Les pattes et le bec sont jaunes. Le coq pèse 2.5 kg à 2.7 kg et la poule 1.5 kg à 2.5 kg. Active (nerveuse), c'est la reine des pondeuses industrielles. Rustique et précoce, elle pond des œufs à coquille blanche et a complètement perdu l'instinct de couvaie. Exigeante dans son alimentation, son seul défaut majeur est à la réforme, une chair de qualité médiocre, sèche et filandreuse.

#### **2.2. Races mixtes (à double fin : chair et ponte) ou mi-lourdes :**

Elles produisent un grand nombre d'œufs et une carcasse viandeuse à la réforme. Dans cette catégorie, nous retrouvons la Rhodes Island Red «R.I.R.», la New Hampshire et l'Australorp.

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

**La R.I.R.** est, comme on l'a vu, d'origine américaine mais s'est très bien acclimatée aux régions tropicales. Son plumage est roux (rouge foncé). La crête est droite et les oreillons rouges. Le coq pèse 3 à 3.8 kg et la poule 2.5 à 3 kg. C'est une race rustique et docile, bonne pondeuse d'œufs à coquille brune ayant une chair de bonne qualité.

**La New Hampshire** est une race originaire d'Amérique du Nord dérivée de la R.I.R. qu'elle rappelle par la couleur acajou et les pattes jaunes. Elle se caractérise par une bonne acclimatation et une ponte précoce (4.5 à 5 mois). C'est une pondeuse moyenne (petits œufs) et pèse 2.5 à 3 kg ; le coq pèse 3.5 à 3.8 kg.

**La Sussex herminée ou light sussex** est originaire de la Grande Bretagne ; son plumage est blanc avec un camail bordé de plumes vert- noirâtre ; chez le coq qui pèse 3 à 4 kg, les plumes de la queue sont noires à la partie supérieure. La poule est bonne couveuse et bonne mère; elle pèse 2.5 à 3 kg. La chair est très fine.

**La Wyandotte** a un plumage blanc ou argenté, le bec, les pattes et la chair sont jaunes. La crête est simple et aplatie. La poule pèse 2.5 à 3 kg. C'est une race rustique, bonne pondeuse, très chercheuse sans être vagabonde ni volage mais grosse mangeuse. La chair est de qualité moyenne.

### 2.3. Races lourdes type chair

Races à croissance rapide :

Comme la Plymouth Rock, Orpington et Cornish : volaille calme produisant des œufs brun clairs.

#### 2.3.1. Les races naines

Cette catégorie regroupe les races ornementales de plaisance ou de collection sans exigences zootechniques particulières.

#### 2.3.2. Les races autochtones africaines

Il n'existe pas de races autochtones africaines à proprement parler mais des « populations » à plumage varié avec quelques traits communs tels qu'un petit gabarit. Les poules pèsent 1,2 à 1,8 kg ; elles sont de bonnes couveuses et d'excellentes mères. La croissance est lente et leur ponte tardive (50 à 100 petits œufs par an) selon une fréquence variable (+/- 6 cycles) selon les régions et la richesse en éléments nutritifs.

## **Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique**

---

Elles sont très rustiques et cette qualité particulière leur permet de survivre dans les villages sans aucun soin particulier : elles vivent en divagation, sans aucune infrastructure de logement, alimentation ou abreuvement : en règle générale, dans les villages, les animaux sont « détenus » et non « élevés. » Lorsque la verdure, les insectes, les vers de terre viennent à manquer et que les points d'eau s'assèchent, les volailles débilitent et le moindre petit microbe ou virus ne peut que ravager en laissant quelques survivants qui auront la tâche de reconstituer l'espèce à la fin de la saison sèche au moment du retour des pluies.

En l'absence de tout programme de sélection, après un prélèvement pour l'autoconsommation, les dons et les cérémonies, mâles et femelles finissent indistinctement leur cycle dans les marchés des cités et villes. La chair de la volaille adulte est dure et la longue cuisson finit souvent par délabrer la viande au point de la rendre inconsommable.

### **3. Les hybrides commerciaux**

Vers les années 50 et 60, l'utilisation des animaux croisés ou hybrides aux performances plus élevées s'est imposée en élevage de volaille de rente. La conséquence en fut forcément la séparation entre l'élevage commercial et l'élevage des races pures.

Cette dernière activité s'est poursuivie au niveau de la sélection des lignées pures. Les élevages d'amateurs se consacrent au maintien de la diversité génétique et la sélection pour des caractères phénotypiques (d'aspect extérieur) tandis que les critères de productivité ont été exploités fort diversement par les sélectionneurs industriels et les instituts de recherche.

Comme les poussins peuvent être produits dans des couvoirs industriels de plus en plus grands et transportés dès le premier jour de vie sur une échelle intercontinentale, les entreprises de sélection sont rentrées depuis les années 60 dans une lutte concurrentielle internationale. L'importance de capitaux nécessaires pour mener un programme de croisement a provoqué la concentration de grandes firmes de sélection. Cette « globalisation » de la sélection a non seulement mis sur le marché des produits standards et uniformes mais également intensifié des rapports de dépendances.

Comme nous l'avons dit, les objectifs primordiaux de l'élevage avicole commercial, sont la production des œufs et la production de viande. L'association génétique de ces deux objectifs est cependant difficile et quelque peu antagoniste, car la performance de ponte et le poids corporel présentent une corrélation génétique négative.

Ce constat a conduit à une séparation complète des lignées de ponte et d'engraissement. Alors que dans les lignées de chair on engraisse les deux sexes, les poussins mâles de lignées de ponte sont normalement sacrifiés à l'éclosion parce que leur croît est 3 à 4 fois plus lent que celui de souches de chair modernes.

### 3.1. Principes de l'hybridation

L'hybridation repose sur le croisement de différentes races ou lignées.

Les « **lignées** » sont des souches d'élevage de la même « **race** » multipliées séparément. Par l'effet d'hybridation également appelé « **effet d'hétérosis** », les produits du croisement ou « **hybrides** » présentent une plus grande aptitude à la performance et une meilleure vitalité que les races pures d'origine.

Les lignées pures ne sont pas sélectionnées pour leurs performances en tant que races pures, mais en fonction des performances de leurs descendants après croisement avec d'autres lignées. Sur la base de la performance des descendants de divers croisements, le meilleur accouplement des parents est retenu et ces derniers accouplés de nouveau. L'hybridation est donc basée sur l'exploitation et la sélection des aptitudes à la combinaison des caractères de grands-parents à partir de la performance des petits-enfants encore appelée **Sélection Récurrente-Réciproque, RRS**.

Les schémas de croisement et de sélection sont généralement très élaborés. Les hybrides de ponte proviennent souvent de croisements de quatre lignées. Les hybrides de chair sont par contre, issus de croisements de trois lignées, dans lesquels une mère hybride avec une bonne performance de ponte et des croûts acceptables a été accouplée à un père « poids lourd » type Peterson d'une race ou d'une lignée à chair. (Avec toutefois une mauvaise disposition à la ponte).

Si on continue à élever les animaux croisés, la supériorité de leurs performances se perd au cours des générations. C'est la raison pour laquelle les produits finaux destinés à la production d'œufs et de chair ne sont pas utilisés pour la poursuite de la sélection.

# Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

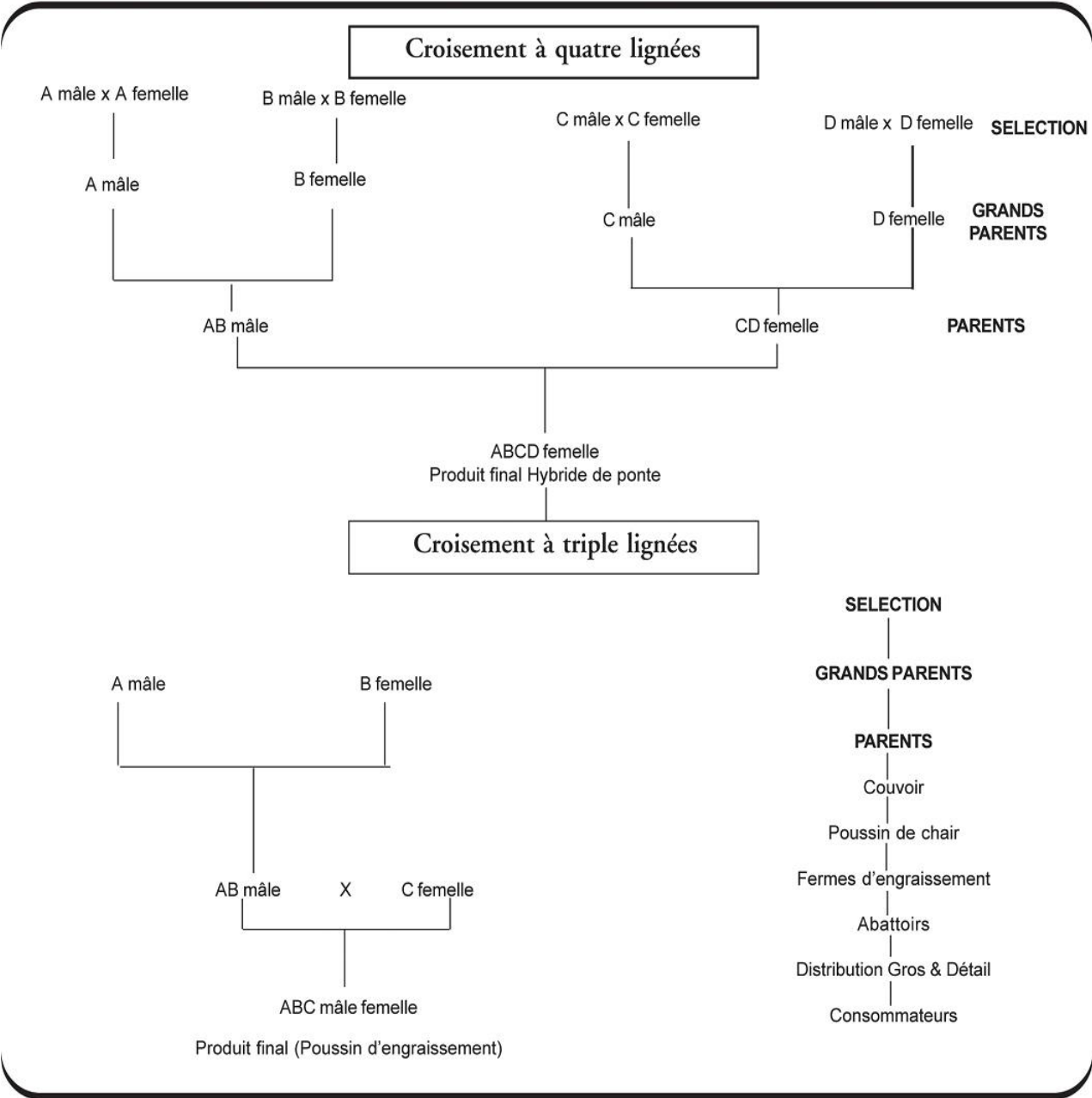


Figure 3: principe d'hybridation du poulet

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

**Tableau 1 : Les principaux sélectionneurs des hybrides de chair**

Sélectionneurs	Produit (Hybride chair)
Hubbard – Isa (France)	ISA , Hubbard , Vedette , Shaver redbro , starbro , minibro
NUTRECO – Hendrix Poultry Breedere (NL)	Hybro PN , Hybro PG+ , HybroG+
AVIAGEN Group	Lohmann meat , Indian River , Ross , LIR , Arbor acress
COBB VANTRESS (USA)	Cobb500 , Cobb avian , Cobb700
SASSO (France)	Femelle SA31 , femelle SA51 , male T77N , X44 , T77 , T66 , T44 , XL44 , T55 .....
Peterson Farms (Arkansas, USA)	Peterson

Et comme nous l'avons dit plus haut, c'est de là que provient la dépendance vis-à-vis des entreprises de sélection. À l'exception de « Lohmann LSL » (= Lohmann Selected Leghorn), les autres appellations des hybrides sont des dénominations purement commerciales et contiennent rarement les informations sur l'origine réelle (la race) des volailles à partir desquelles ils ont été sélectionnés.

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

Tableau2 : Évolution du progrès génétique des 30 dernières années

Poulets de chair (engraissement normal 40-42 jours)

Années	1965	1975	1985	1999
Poids final Gr	1540	1560	1670	2140
Gain moyen quotidien Gr	26	34	40	52
Indice de consommation	2.37	2.02	1.94	1.75

### 4. Les hybrides d'engraissement

#### 4.1. Critères de performance

Les poulets de chair hybrides présentent des performances d'engraissement supérieures aussi bien à celles des races pures que celles des coqs d'une souche de ponte.

Tableau3 : Critères de performance des races pures et hybrides

	Age en sem	Poids vif	Gain quotidien	Indice de consommation
Race pures & hybrides de ponte	16	1918 gr	17 gr	4.6
Hybride poulet de chair	6	2166 gr	52 gr	1.78

#### 4.2. Choix des animaux d'engraissement

##### 4.2.1. Hybrides commerciaux ? Races locales ? Poulet label ?

Dans l'élevage du poulet de chair intensif conventionnel, on utilise exclusivement les hybrides standards au plumage blanc dont le poids final et par conséquent la durée d'engraissement dépendent du poids à l'abattage souhaité et de la présentation commerciale demandée. Ainsi donc selon les souches et le profil nutritif des aliments utilisés, les poulets

## **Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique**

---

standards lourds (durée d'engraissement 42 jours) sont destinés à la découpe en morceaux, tandis que pour la vente du poulet entier éviscéré, on utilise des sujets issus de l'engraissement court (36 jours) ou ultra court (32 jours). Les poussins et coquelets à rôtir sont généralement abattus plus tôt à partir de 21 jours.

En raison de la courte période d'engraissement, le poulet standard produit une chair excellente, une viande claire et tendre ; la conséquence de cette croissance fulgurante, c'est un excellent indice de consommation mais au prix d'une tendance à l'obésité et aux faiblesses de constitution (problèmes de circulation sanguine et problèmes de motilité).

Dans l'élevage extensif des poulets de chair, on utilise souvent des hybrides à plumage coloré et à croissance lente. La durée d'engraissement minimale est prescrite et se situe entre 56 à 80 jours.

Le poids final atteint 1.6 à 1.8 kg. Selon le programme d'engraissement, l'éleveur a le choix entre une lignée à croissance plus rapide ou plutôt lente. Les sociétés de sélection spécialisées dans ce type de production offrent par conséquent un choix varié de combinaisons de croisements pour pouvoir moduler la vitesse de croissance. Comme les poulets extensifs « plein air » sont plus âgés à l'abattage, leur chair est plus ferme, moins grasse, de couleur plus foncée et un goût plus élevé ; ce qui justifie la préférence des consommateurs des poulets label.

En ce qui concerne l'engraissement des coqs de souche de ponte, c'est plutôt la valorisation des poussins mâles (coquelets) issus de la production de poussins de ponte, il présente une niche de production pour la vente directe en raison de leurs performances d'engraissement significativement inférieures.

Parallèlement à l'élevage du canard, l'engraissement des coqs est actuellement à Kinshasa, le choix des petits éleveurs péri-urbains et ruraux qui ont beaucoup plus de volonté et très peu de moyens pour commencer un bon élevage (Alain Huart et collaborateurs, 2004)

### **5. L'industrie de la volaille dans le monde :**

#### **5.1. Des perspectives de développement à l'échelle mondiale :**

En 2015, la production mondiale de volaille atteindrait, selon les estimations de la FAO, 114,8 MT. Le premier continent producteur de volaille en 2015 reste l'Asie avec 35 % de la production mondiale (Chine, Inde, Thaïlande, Indonésie). 20 % de la production mondiale de volaille est assurée par l'Amérique du Nord (aux Etats-Unis principalement). En 3ème

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

position vient l'Amérique du Sud qui contribue à hauteur de 19 % de la production mondiale grâce à la production brésilienne.

La FAO prévoit une hausse de la production mondiale de volaille en 2016 de 0,9 % par rapport à 2015 soit 115,8 MT produites dans le monde.

**Tableau4 : Principaux producteurs de viande de volailles dans le monde (équivalent carcasse)**

	Production 2015 en MT	Evolution 2015/2014	Prévisions de production 2016 en MT
États Unis	21,2	+ 2,9 %	21,8
Chine	19,0	+ 2,8 %	18,0
UE à 28	13,8	+ 3,8 %	14,0
Brésil	13,8	+ 3,6 %	14,2
Russie	4,1	+ 11,4 %	4,2
<b>Monde</b>	<b>114,8</b>	<b>+ 3,4 %</b>	<b>115,8</b>

*Source : Perspectives FAO*

Aux Etats-Unis, les prévisions de l'USDA tablent sur une hausse de 2,5 % en 2016 où la production américaine de poulets et dindes atteindrait 21,2 MT. Suite à une année 2015 relativement difficile pour le secteur de la dinde en raison d'une forte épidémie d'influenza aviaire aux Etats-Unis, la production repartirait en forte hausse en 2016 : + 7,7 % par rapport à 2015 soit une production d'environ 2,7 MT. La production de poulet est attendue en hausse de 1,7 % en 2016 par rapport à 2015 soit 18,5 MT environ. Les exportations, qui ont fortement chuté en 2015 (- 16,7 % par rapport à 2014) en raison de la fermeture de nombreux marchés exports aux produits avicoles venant des Etats-Unis, devraient retrouver le chemin de la croissance en 2016 via la reconquête de certains pays importateurs.

Au Brésil, le début de l'année 2016 marque une hausse des coûts de production, en particulier du prix du maïs. La dévaluation du real a incité à exporter les stocks de maïs restants ce qui, combiné à une saison sèche relativement précoce, limite l'offre disponible sur le marché national. Toutefois, il semblerait que la situation se résorbe progressivement et la FAO prévoit une hausse de la production brésilienne de volaille en 2016 de près de 3 %. Après

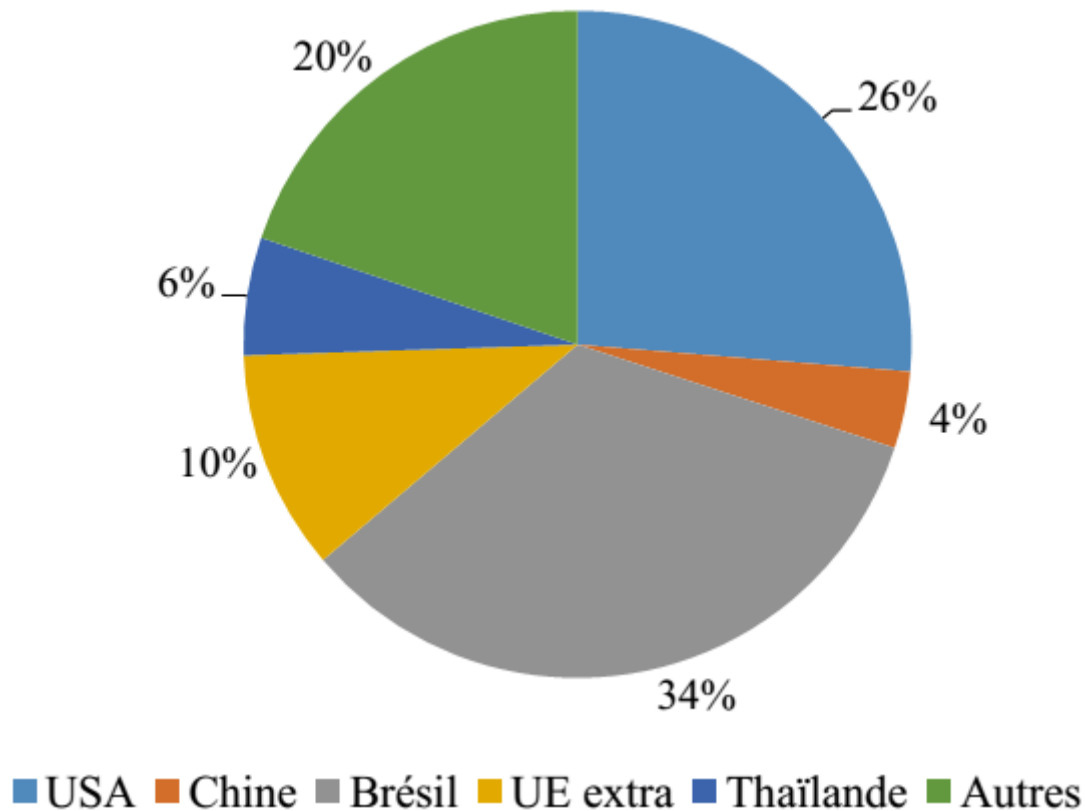
## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

une hausse des exportations brésiliennes de viandes de volaille de 5,6 % en 2015 pour atteindre 4,36 MT, le Brésil devrait continuer de tirer parti du climat un peu morose aux Etats-Unis et en Europe en 2016. La stratégie du Brésil consistant à répondre à une demande mondiale fonctionne bien, d'autant plus que la production parvient à conquérir de nouveaux marchés à l'export (Pakistan, Malaisie, Myanmar, ...) ou à se substituer à d'autres fournisseurs comme les Etats-Unis afin d'exporter vers la Chine ou la Russie.

Malgré sa position de deuxième producteur mondial de volaille, la Chine est largement dépendante des Etats-Unis et dans une moindre mesure de l'Europe car elle en importe les grands parents. En 2015, la Chine a décrété un embargo sur les Etats-Unis puis à la fin de l'année, sur la France en raison des épidémies d'influenza aviaire. Cette situation a conduit à un problème d'approvisionnement en génétique sur le territoire chinois ce qui devrait impacter lourdement la production chinoise en 2016 et 2017. La FAO prévoit un recul de la production de l'ordre de 5 % soit une production estimée à 18 MT en 2016. Sa production future dépendra fortement des choix du gouvernement chinois sur une éventuelle levée des embargos.

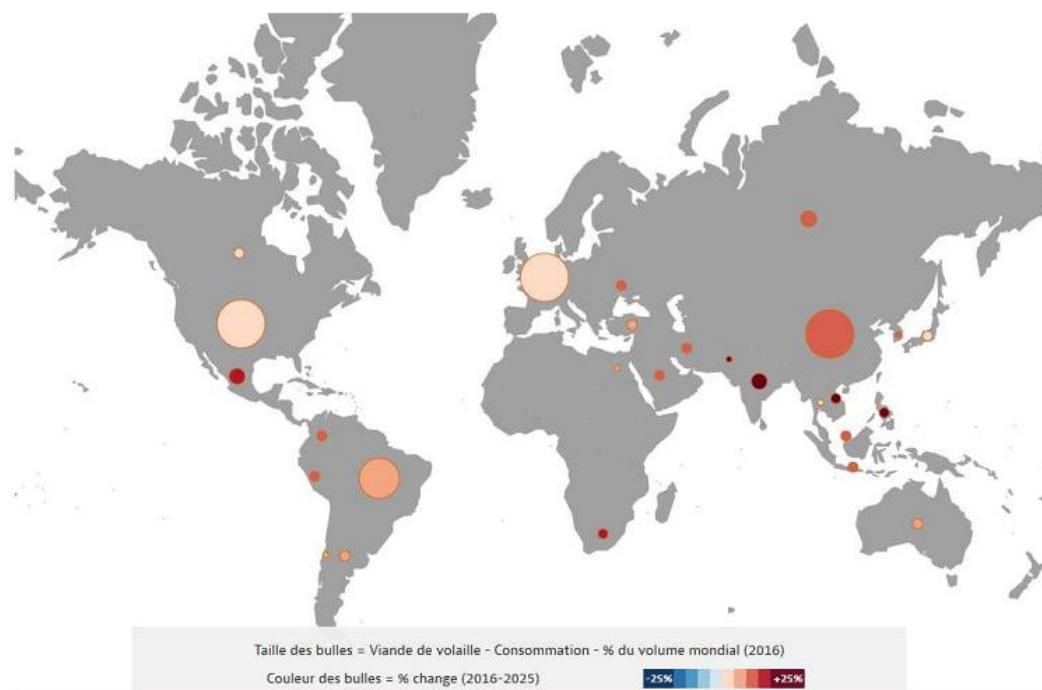
Au niveau des échanges internationaux, d'après les statistiques Trademap, les exportations de viande de volaille et préparations sont en recul de 4,3 % par rapport à 2014. Ce recul est la conséquence de la hausse de production de volaille dans certains pays historiquement importateurs qui limiteraient alors leurs importations. Par ailleurs, les épisodes de grippe aviaire aux États-Unis début 2015 ont entraîné la suspension des importations de volaille par certains pays importateurs comme la Chine. Or les Etats-Unis contribuent historiquement à 30 % des exportations mondiales de volaille (voir Figure 4 )



**Figure4 : Part de marché en volume des principaux exportateurs de viandes et préparations de volailles en 2015**

A plus long-terme, d'après les perspectives de la FAO et de l'OCDE 2016-2015, la viande de volaille devrait devenir en 2024 la première viande consommée dans le monde et dépasser ainsi la consommation de porc. La viande de volaille jouit en effet de nombreux atouts auprès des consommateurs : son prix relativement faible comparé aux autres viandes, ses qualités nutritionnelles reconnues, l'absence d'interdits religieux ou encore son faible impact environnemental.

On voit alors apparaître des pôles de consommation de volaille dans le monde, plus ou moins en croissance selon le pays.



Source : FAO OCDE

**Figure 5 : Evolution de la consommation de volaille entre 2016 et 2025**

Si la croissance de la consommation de volailles est généralisée, on assiste à une demande qui se renforce davantage en Asie, au Moyen-Orient, en Amérique Centrale et du Sud ainsi qu'en Afrique du Sud. Or, ces pays ne seront pas en mesure de satisfaire l'intégralité de leur demande nationale en raison d'une capacité de production insuffisante. D'autres pays producteurs, leaders sur le marché avicole international, devront donc combler ce manque : c'est le cas des Etats-Unis, premier producteur mondial de volaille, qui poursuivraient leur ascension avec une hausse de la production nationale de 1,4 % par an. La Chine (deuxième producteur mondial de volaille) devrait également développer sa production à horizon 2025 avec une évolution moyenne annuelle de + 1,6 % sur les dix prochaines années. Et enfin, le Brésil, troisième producteur mondial de volaille et premier exportateur mondial dont les perspectives de production affichent une hausse de 2,2 % de sa production par an entre 2015 et 2025.

Alors que la dynamique de la filière avicole semble être tirée par ce trio indétrônable, l'Union européenne devrait également profiter de perspectives de développement favorables à horizon 2025 avec une croissance de 0,5 % par an de sa production de volaille.

D'autres pays sont tout autant dynamiques mais atteindront à peine une production de 5 MT en 2025 : la Russie, l'Inde ou encore le Mexique.

### **5.2 Facteurs liés à l'offre affectant les tendances mondiales du secteur de la volaille**

Le changement technologique dans le secteur de la volaille a été très rapide. Le passage des exploitations avicoles en liberté à des exploitations confinées a considérablement augmenté le nombre d'oiseaux qu'un agriculteur pouvait gérer. Ce changement a facilité la substitution du capital au travail dans la production animale et conduit à une augmentation significative de la productivité du travail (Narro et Pray, 2001). L'évolution de la technologie dans le secteur de la volaille, grâce aux progrès de l'amélioration de la taille, de la fécondité, du taux de croissance et de l'homogénéité des animaux, a permis aux agriculteurs d'augmenter leur production par unité, de produire plus d'oiseaux par an (Narro et Fuglie, 2000).

Parallèlement, il y a eu un changement structurel majeur dans l'industrie de la volaille dans une grande partie du monde (Narro, 1997; Narro et Pray, 2001; Delgado et al., 2008). Plus précisément, l'industrie avicole commerciale dans les pays développés et dans de nombreux pays en développement s'est orientée vers des opérations de poulets de chair verticalement intégrées à grande échelle qui confient des opérations de grossissement à de plus petits agriculteurs. Aujourd'hui, les industries avicoles commerciales dans la plupart des pays s'orientent vers de telles opérations verticalement intégrées à grande échelle. Ces opérations se caractérisent par un niveau élevé de contrôle vertical (propriété) ou de coordination entre les fournisseurs d'intrants de production, les aviculteurs, les transformateurs de volaille et les négociants (figure 5).

Le degré d'intégration spécifique varie toutefois selon les pays et les entreprises. Pour la plupart, les exploitations avicoles intégrées couvrent la plupart ou la totalité des segments suivants: troupeaux de reproduction, couvoir, usine d'aliments, unités de production, assemblage d'oiseaux ou d'œufs vivants, abattoirs de volaille ou unités de transformation, unités de livraison et centres de distribution. Les provenderies et les segments de transformation ultérieurs ne sont pas toujours inclus dans l'intégration, bien qu'ils constituent une partie essentielle du système de production (Henry et Rothwell, 1995). Dans certains pays, l'industrie de l'alimentation animale était responsable de l'intégration initiale de l'industrie avicole. Dans d'autres pays, c'était l'élevage ou les couvoirs qui étaient responsables de l'intégration. Dans

## **Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique**

---

d'autres pays encore, l'intégration était basée sur le marché potentiel de la transformation ultérieure et de la restauration rapide, les transformateurs cherchant à ajouter de la valeur à leurs activités et à se rapprocher du client final.

# Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

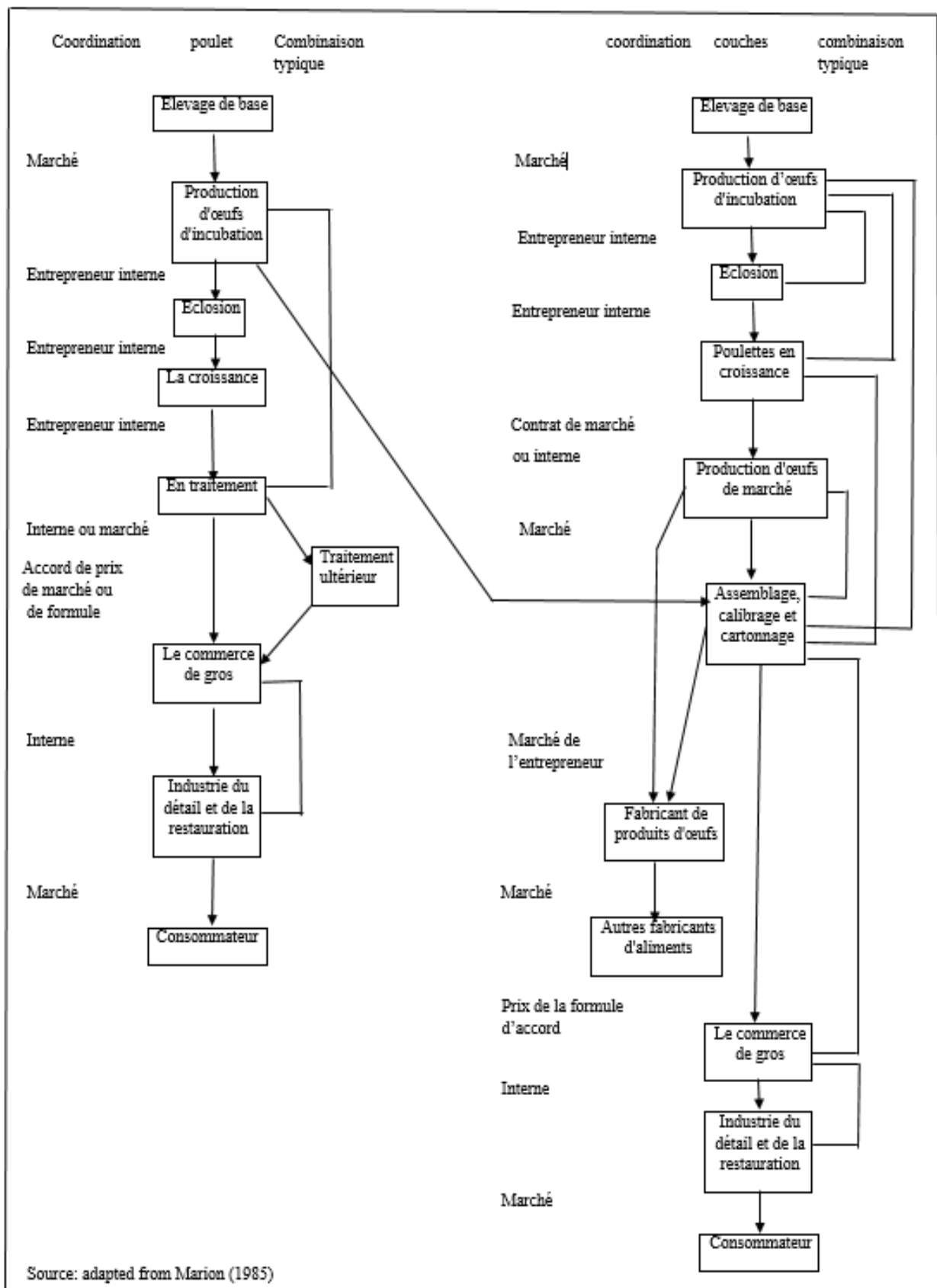


Figure 6 : Exploitation avicole intégrée typique

### 6. Rôles du bec chez les volailles (conséquences du débecquage)

#### 6.1. Anatomie du bec

##### 6.1.1. 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 (figure 7a). 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 7b) est recouverte d'une couche de kératine dure et cornée (rhamphothèque) (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.

##### 6.1.2 Structure interne du bec

L'extrémité de la partie supérieure du bec des volailles est la partie la plus touchée par le débecquage. Histologiquement, l'épiderme du bec des volailles dans cette région, peut être séparé en quatre couches (voir figure 7c) :

- 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.

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

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 rhampothèque et la mâchoire (Lucas et Stettenheim 1972).

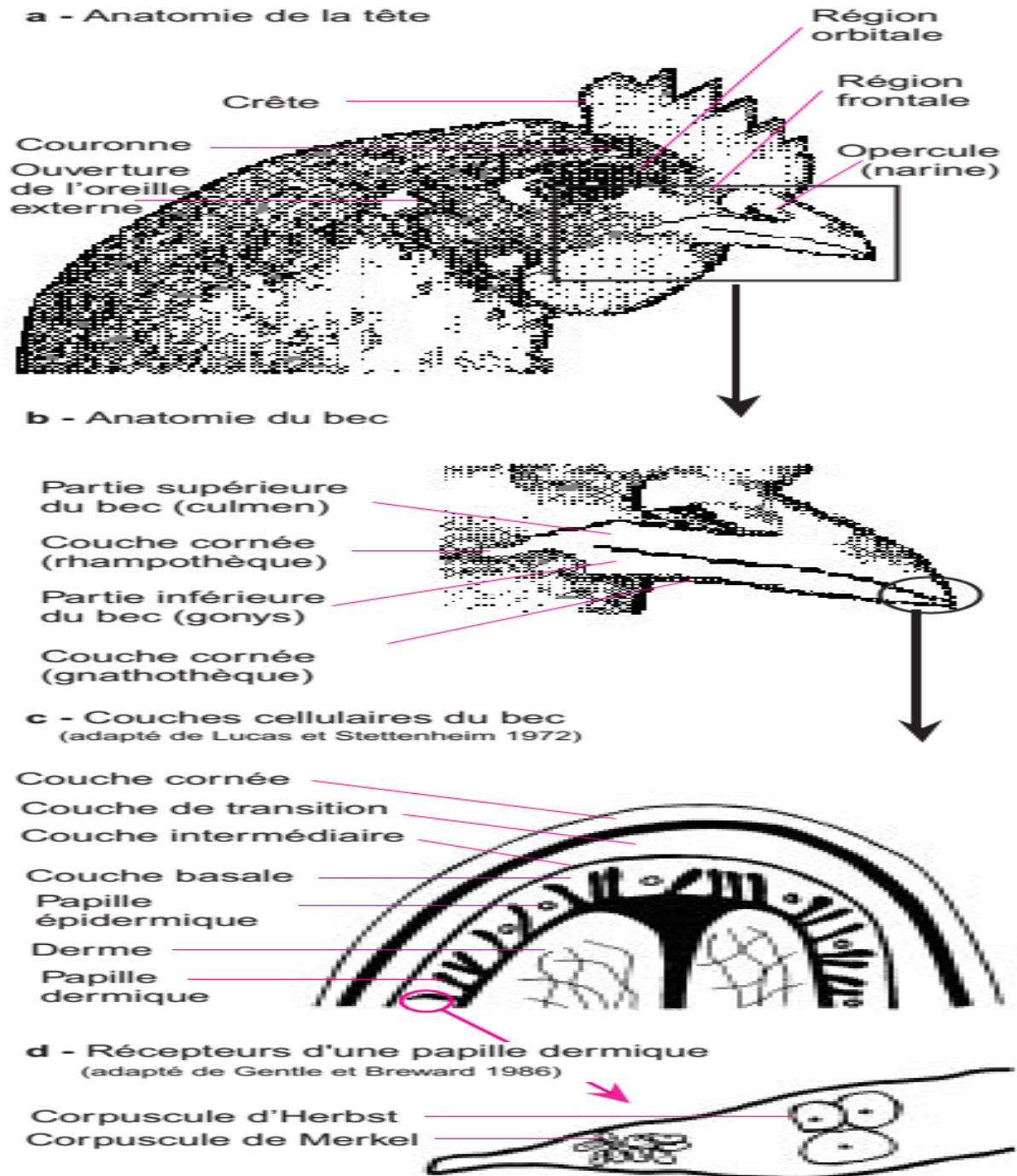


Figure 7 : Anatomie du bec des volailles

### **6.1.3. 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).

## **6.2. 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.

### **6.2.1. 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).

### **6.2.2. 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 différents 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 sensori-moteur du nerf trijumeau (Kuenzel 1989).

## **6.3. Influence du débecquage**

### **6.3.1. 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.

### **6.3.2 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.

### **6.3.3. Conséquences anatomiques du débecquage**

Après débecquage, 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 débecquage 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 débecquées 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 débecquage 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 débecquage (Beward et Gentle 1985). Le débecquage 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 (Beward et Gentle 1985). Une étude récente a montré qu'il n'y aurait pas formation de névromes lorsque le débecquage est pratiqué chez des poussins âgés de moins de 10 jours (Hughes et Gentle 1995).

### **6.3.4. Conséquences physiologiques et comportementales du débecquage**

Les récepteurs à la douleur du bec de poulet sont localisés au niveau du nerf intra mandibulaire (Beward 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 débecquage 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 ;

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

- 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 débecquage et cette différence peut être interprétée comme un moyen de prévenir la douleur induite par le picorage (Gentle et al1990). 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 débecquage a donc bien un effet préjudiciable pour les volailles (Duncan et al1989). 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 débecquage 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 débecquage 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 ébecquées à 45 jours, le débecquage 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 (Blokhuys et Van der Haar 1989).

A plus long terme, la principale conséquence du débecquage est une augmentation du temps passé par l'animal à rester debout sans réaliser aucune activité ou à rester couché (Duncan et al1989). Cependant, l'inactivité des poules débecquées pourrait être considérée comme représentant une situation « normale » alors que l'activité importante des animaux non

débecqués représenterait une situation de confrontations sociales (Eskeland 1977). Les effets sociaux discutables du débecquage 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 al1989).

### **6.3.5 Conséquences zootechniques du débecquage**

L'effet du débecquage 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 al1960). Cependant, dans de nombreux cas, le débecquage a pour effet une diminution de la prise alimentaire par les volailles (Blokhuis et al1987, Deaton et al 1988, Duncan et al1989).

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 débecqués, cette diminution étant plus marquée lorsque l'aliment est présenté sous forme de granulé (Deaton et al1988). A court terme, le temps passé à manger diminue après le débecquage, mais retrouve une valeur normale au bout de 5 semaines (Duncan et al1989). 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 débecquées (Blokhuis et al1987).

Trois explications peuvent être proposées pour expliquer une diminution de la consommation alimentaire :

- chez les poules débecquées, 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 débecquage a un effet spécifique sur la réduction de la motivation à la prise de nourriture ;

- le débecquage 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 débecquage. En effet, dès que la faim devient intense, les poules s'alimentent et les effets postingestifs de l'aliment consommé sont perçus. La troisième hypothèse est plus probable que la deuxième : la douleur

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

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 al1982).

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 al1995).

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 5 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).

## Chapitre 1 : Le poulet et l'amélioration génétique

---

**Tableau 5 : Résultats moyens de comportements observés par « focal sampling» chez des poules pondeuses débecquées ou non (Mason et al1995)**

	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

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 étirée à l'âge de 4 semaines produisent plus d'œufs que celles dont le quart du bec eulement 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 al1960, 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).

# **Chapitre 2**

## **La morphométrie géométrique**

### 1. La morphologie du poulet

#### 1.1. La morphométrie

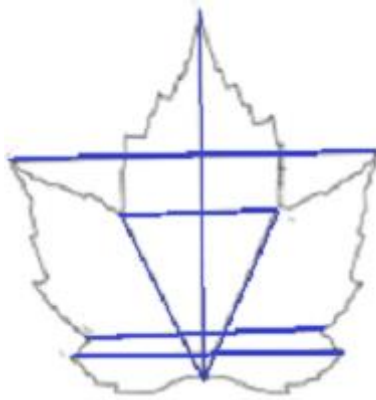
La morphométrie est la description de la variation de la forme biologique par la statistique quantitative (Rohlf, 1990 ; Zelditch et al., 2012 ; Cardini, 2013). Elle est utilisée chaque fois qu'il y a un besoin de décrire et/ou de comparer des formes d'organismes ou des structures particulières. Les échantillons peuvent alors représenter des spécimens de localités géographiques différentes, des stades de développement, des effets environnementaux, etc. (Rohlf et Marcus, 1993, Zelditch et al., 2012).

La forme, la conformation et la taille sont des termes utilisés dans toutes les études morphométriques et il est important de bien les comprendre. Needham donne l'équation suivante « Form = Size + Shape » celle-ci a été traduite en Français par Boitard et Lefebvre en 1981 par la « Forme = Taille + Conformation » (Barour, 2012 ; Cucchi et al., 2015). Cette équation définit la forme d'un objet comme étant la somme de deux éléments : la taille qui est l'ampleur ou l'échelle de l'objet, et la conformation qui est toute l'information géométrique qui reste une fois que la taille et la position (la translation et la rotation) sont enlevées. Actuellement, deux types de morphométrie sont distinguées : la morphométrie dite classique et la morphométrie moderne (Rohlf et Slice, 1990 ; Adams et al., 2004 ; Zelditch et al., 2012).

##### 1.1.1. Morphométrie classique

Même si la mesure de caractéristiques phénotypiques existe depuis plusieurs siècles, ce n'est qu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle que les scientifiques ont commencé à mesurer abondamment les traits phénotypiques et résumer leurs conclusions sous formes de moyennes et d'autres paramètres. Le développement des biostatistiques dans les années 1960, a permis ensuite à la morphométrie classique de se développer (Cardini, 2013).

La morphométrie classique appelée également morphométrie traditionnelle ou multivariée, est l'étude de la variation morphologique des objets ou structures par l'analyse statistique des mesures linéaires : distances, angles, ratios, volume, etc. (Marcus, 1990 ; Rohlf et Marcus, 1993). Ce fût Marcus (1993) qui lui donna le nom de « morphométrie classique » et cela après l'avènement de la morphométrie géométrique (Cardini, 2013)



**Figure 8: Illustration de quelques mesures de distances et angles sur une feuille d'*Acer rubrum* (Jensen et al.,2002)**

Même si cette méthode offre toujours un large éventail de techniques pour traiter une variété de questions scientifiques en biologie et dans d'autres domaines (Cardini, 2013). Elle présente néanmoins, quelques lacunes qui limitent l'interprétation biologique de la conformation (Rohlf et Marcus, 1993 ; Adams et al., 2013 ; Cardini, 2013).

Selon Rohlf et Marcus (1993) il est impossible de couvrir la conformation de la forme originelle à partir des matrices de données de mesures de distances habituelles, même comme une représentation abstraite. En effet, la forme globale de l'objet n'est ni vraiment archivée ni utilisée dans l'analyse. Ils expliquent qu'un chercheur peut savoir par exemple si plusieurs mesures partagent un même point repère mais cette information n'est pas utilisée dans l'analyse multivariée. En conséquence, les analyses ne peuvent pas être aussi puissantes qu'elles pourraient l'être si cette information était prise en considération.

C'est pour répondre à toutes ces lacunes que s'est développée la morphométrie géométrique.

### **1.1.2 Morphométrie moderne ou morphométrie géométrique**

La morphométrie moderne vise à modéliser la forme des objets naturels et à mesurer leurs différences en utilisant les coordonnées géométriques au lieu des mesures linéaires (Zelditch et al., 2012 ; Poly et al.,2012). Considérée comme assez récente, elle a pris un essor considérable durant les 30 dernières années grâce au développement des outils de traitement statistiques et de calculs informatiques (Loy et al.,2000 ; Zelditch et al.,2012 ; Mitteroecker et al.,2013).

### 1.2. Principaux concepts de la morphométrie géométrique

#### 1.2.1. La taille

La taille de mesure la plus communément utilisée en MG est appelée la taille du centroïde. Cette taille est préférée car elle n'induit pas de corrélation entre la taille et la conformation de l'objet analysé (Zelditch et al., 2012). Elle est calculée par la racine carrée de la somme au carré des distances des points repères par rapport au centroïde (Fig.9).

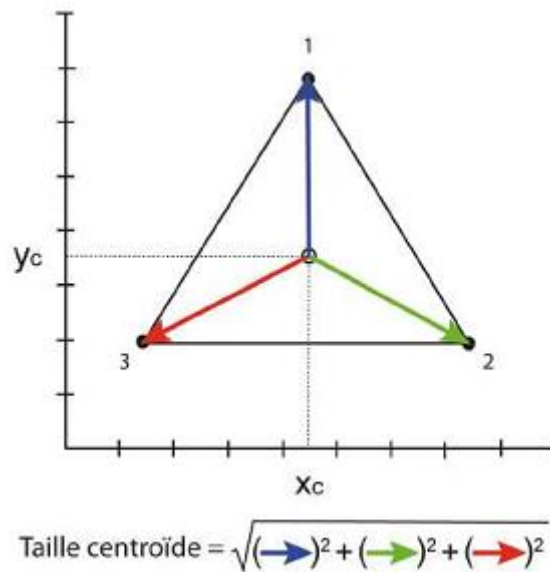
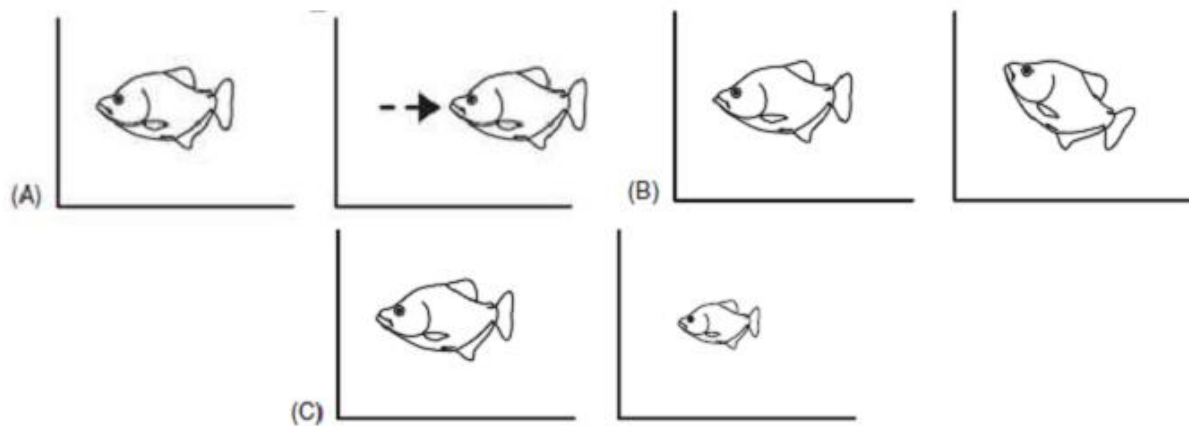


Figure 9 : La taille de centroïde (Zelditch et al.,2012)

#### 1.2.2 La conformation

La conformation géométrique correspond à la forme de l'objet indépendamment de sa taille (Conformation = Forme – Taille). Kendall (1977) la définit comme étant l'ensemble de l'information géométrique de l'objet, qui reste quand les effets de la translation, de l'échelle et de rotation sont éliminés. La translation qui est l'opération de déplacer un objet le long d'un axe (Fig.10A). La rotation (Fig.10B) et le redimensionnement (Fig.10C) n'altèrent pas la conformation.

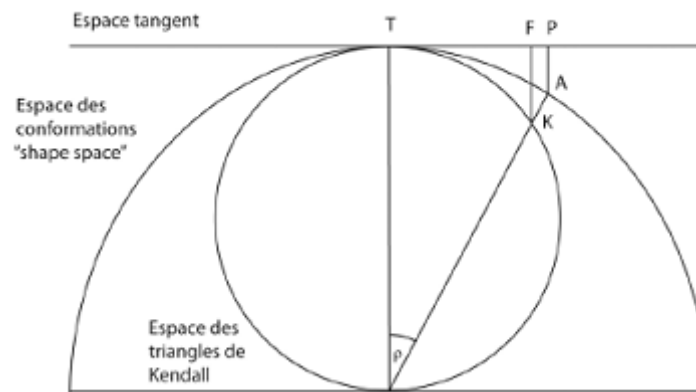


**Figure 10 : Les trois opérations qui n'affectent pas la conformation : (A) Translation ; (B) Rotation et (C) Redimensionnement (Zelditch et al., 2012)**

Cette définition peut sembler abstraite mais nous l'appliquons intuitivement quand nous regardons une photo : notre cerveau élimine automatiquement les informations de la taille, de position et de l'orientation. Ainsi, nous pouvons reconnaître facilement une personne ou un objet sur une petite photo, même si nous sommes loin de celle-ci ou que nous maintenons la photo à l'envers (Klingenberg, 2010 ; Cucchi et al., 2015).

### 1.2.3 Espace morphométrique

En morphométrie géométrique, les travaux de Kendall ont montré, par exemple, que les conformations géométriques les plus simples (triangles) sont situés dans un espace sphérique (si on tient compte des symétries possibles) ou hémisphériques (hors symétrie). Dans de tels espaces non linéaires, les analyses statistiques classiques et multivariées ne sont plus possibles. C'est ce qui justifie l'opération supplémentaire après la superposition qui consiste à projeter l'ensemble des conformations dans un espace tangent « tangent space » (Fig.11).



**Figure 11 : Relation entre l'espace des triangles de Kendall, l'espace des conformations formalisés après les superposition Procrustes (« shape space») et l'espace tangent à l'espace de conformations (Cucchi et al., 2015)**

Le diagramme ci-dessus, montre une coupe passant par la conformation Procruste moyenne (consensus), qui est également le point tangent T. Le point F et P sont des projections orthogonales de A sur l'espace tangent à partir d'une seule conformation. Le terme « tangent » traduit simplement que les deux espaces sont tangents au point correspondant à la conformation moyenne (consensus)(Cucchi et al.,2015).

La comparaison avec les projections cartographiques est ici totalement justifiée et permet de comprendre facilement le but de cette projection. Les cartes géographiques sont des représentations planes partielles ou totales du globe terrestre obtenues par différentes projections cartographiques. On pourra à juste titre objecter que ces cartes sont d'autant plus déformées que la surface couverte est importante. Il n'en va pas de même en morphométrie car l'espace de conformations biologique étudié n'occupe qu'une faible proportion de l'espace des conformations. D'expérience, les distances entre objets dans l'espace tangent diffèrent très peu de celle calculées dans l'espace des conformations et les corrélations observées sont toujours très élevées et très proches de 1 (Rohlf, 2000 ; Richstmeier et al.,2002).

Les analyses statistiques s'effectueront donc avec les coordonnées des objets dans l'espace tangent qu'il s'agisse de tests uni-, bi- ou multivariés ou d'analyses factorielles. La taille centroïde utilisée en morphométrie géométrique est celle calculée sur les coordonnées brutes. Elle devra être transformée en logarithme pour être compatible avec les projections dans l'espace des analyses statistiques effectuées (Rohlf, 1990).

### 1.3. Les différentes approches de la morphométrie géométrique

Il est possible d'étudier la conformation d'un objet par deux techniques : les courbes de contour (Outlines) et les points-repères (Landmark) (Adams et al., 2004 ; Zelditch et al., 2012).

#### 1.3.1. Approche par les courbes de contour (Outlines)

L'analyse des courbes de contour est considérée comme la première technique utilisée en morphométrie géométrique (Adams et al., 2004). Elle consiste à numériser des points le long du contour d'une structure biologique, en considérant ces structures elles-mêmes comme homologues d'un spécimen à un autre, alors que les points cartésiens construits et collectés sur ces structures n'ont quant à eux aucune correspondance nette (Cucchi et al., 2015).

Il existe plusieurs techniques pour l'analyse de ces courbes, nous allons en citer les plus utilisées :

- **Transformation de Fourier (Elliptic Fourier Descriptors):** Les descripteurs elliptiques de Fourier (EFD) est une technique courante d'analyse de la conformation, où celle-ci est analysée dans le domaine de fréquence plutôt que dans le domaine spatial (Cope et al., 2012). Elle consiste à porter des points le long du contour d'un objet ou structure qui seront ajustés avec une fonction mathématique (Adams et al., 2004). Ces transformations permettent de décrire une fonction périodique en la décomposant en une série infinie de fonctions trigonométriques de longueurs d'ondes décroissantes (les harmoniques) définies par des termes « sinus » et « cosinus », eux mêmes pondérés par des coefficients ( $a_n$  et  $b_n$ ) appelés coefficients de Fourier (Cucchi et al., 2015).

- **Points glissants (Sliding semilandmarks):** Conçue et développée par Bookstein (1997), cette technique est utilisée lorsqu'une région anatomique est dépourvue de points repères reconnaissable et précis ou que leur identification est difficile. Elle permet d'analyser au même temps des points repères homologues et des points glissant le long d'une courbe ou surface pour une même structure. Ces points glissants sont positionnés de façon géométrique. Ces derniers sont ensuite analysés par les superpositions de Procruste (Zelditch et al., 2012, Cucchi et al., 2015).

### 1.3.2. Approche par points repères (Landmarks)

L'approche la plus utilisée dans la morphométrie géométrique actuellement est l'analyse des conformations par les points repères (Klingenberg, 2010 ; 2011). Cette approche repose sur le choix de points repères (PR) sur un objet ou une structure, où l'homologie est l'un des critères essentiels dans leur sélection (Zelditch et al., 2012).

Les points repères appelés également sites d'intérêt, représentent des emplacements à caractéristiques biologiques pertinents qui peuvent être enregistrés à partir d'une forme avec un degré acceptable d'exactitude et de précision dans un plan en 2 ou 3 dimensions (Richtsmeir et al., 2002). Idéalement, les PR doivent être des positions anatomiques homologues qui n'altèrent pas la position topologique relative des autres PR ; doivent assurer la couverture adéquate de la morphologie de l'individu analysé ; être retrouvé à plusieurs reprises de manière fiable sur tout les spécimens étudiés ; et situés sur le même plan (Richtsmeir et al., 2005 ; Zelditch et al, 2012 ; Cucchi et al.,2015).

Il est possible d'étudier la conformation d'un objet par sa surface en utilisant l'approche des points repères ainsi que par l'approche des points glissants et cela dans un plan en 3 D.

### 1.4. Les étapes de l'étude morphométrie géométrique par l'approche des points repères

#### 1.4.1. Choix des points repères

Le choix des points repères est très délicat et doit se faire selon l'objectif de l'étude. En règle générale, les points repères doivent être choisis de sorte qu'on puisse quantifier les différences qu'on peut constater visuellement (Zelditch et al., 2012).

Bookstein (1991) définit trois types de points repères (PR) :

**Type I:** c'est des sites qui ont une définition anatomique ou histologique tel qu'une intersection de tissus. L'homologie est certaine et n'est pas remise-en question selon la variation de la conformation;

**Type II:** c'est des sites situés à l'extrémité d'un même tissu et qui ont une définition géométrique, par exemple les endroits de maximum de courbure. Leur homologie est discutable;

## Chapitre 2 : La morphométrie géométrique

---

**Type III:** c'est des sites choisis par l'expérimentateur, situé à distance d'un élément anatomique repérable, et où l'homologie est incertaine. Ces points repères sont assez difficile à formaliser car leur définition nécessite la localisation préalable d'autres repères de types I et II.

Bookstein (1991) précise que pour une étude fiable qui permet une bonne comparaison des conformations géométriques, il est meilleur d'utiliser un maximum de PR de type I.

### 1.4.2. Collecte des données

Les coordonnées cartésiennes (X et Y sur les données en 2D et X, Y et Z pour les données en 3D) des points repères peuvent être obtenues par plusieurs méthodes. Les PR peuvent être numérisés à l'aide de programmes tels que TPSDig ou ImageJ sur les structures en 2D et à partir de scanners de surface ou des caméras tridimensionnelles sur les structures 3D (Cardini, 2013).

### 1.4.3. Extraction des informations de conformation

Les conformations étant définie par les coordonnées relatives entre les différents PR, elles doivent être placées dans un même référentiel avant de pouvoir être comparées (Perrard, 2012 ; Metaire, 2014) Pour cela, plusieurs méthodes d'alignement des conformations géométriques existent, mais la méthode de superposition généralisée de Procruste ou GPA « Generalized Procrustes Analysis » est la plus utilisée (Viscosi et Cardini, 2011).

Le nom « Procruste » vient de la mythologie grecque, la légende raconte que c'était un aubergiste qui adaptait la taille de ses visiteurs (ses victimes) à la dimension du lit dont il dispose, soit en les étirant quand ils étaient petits par rapport au lit, ou en les tronquant lorsqu'ils étaient très grands. De cette manière Procruste minimisait la différence entre la taille de ses visiteurs et celle du lit (Zelditch et al., 2012) de ce concept est née la méthode de superposition de Procruste qui vise à minimiser les différences entre les différentes configurations et le consensus.

La superposition de Procruste consiste à prendre les données brutes issues de la numérisation des points repères pour les transformer en données à analyser (Klingenberg, 2010 ; Zelditch et al., 2012). Ceci obéit à trois principales étapes de transformation de coordonnées brutes : la translation, la mise à l'échelle et la rotation (Fig.12).

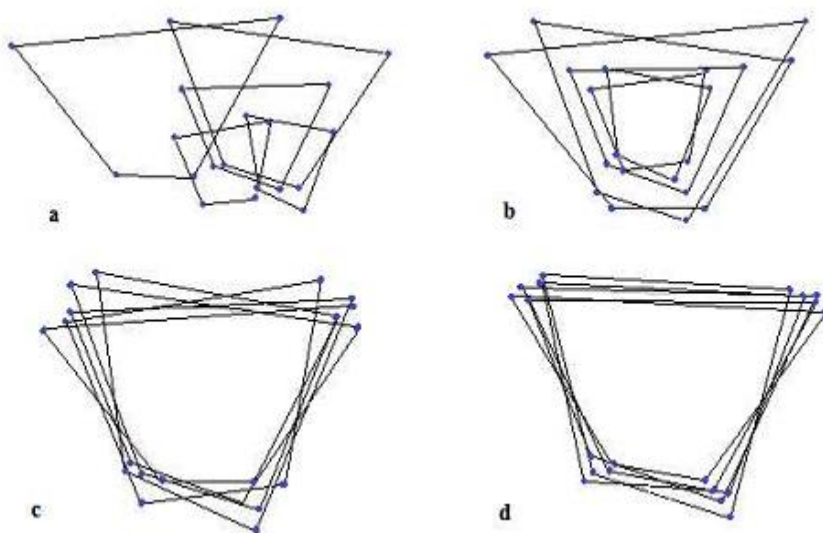
### 1.4.3.1. Centrage ou translation

Pour supprimer la variation de position, un calcul du centre de gravité de chaque configuration est réalisé (Fig.12.a). Toutes les configurations sont ensuite déplacées de façon que leur centre de gravité, appelé également « centroïde », soit à l'origine du système de coordonnées. Les différences de translation selon les axes X et Y sont éliminées et les nouvelles coordonnées du centre de gravité deviennent (0,0) pour tous les échantillons. (Fig.12.b).

### 1.4.3.2. Mise à l'échelle

Lors de cette étape, toutes les configurations des points repères sont mises à un format de taille standardisé appelé « taille du centroïde ». C'est une mesure de dispersion des points repères de la conformation par rapport au centroïde, elle correspond à la racine carrée de la somme des carrés des distances entre chaque PR et le centroïde (Klingenberg, 2010 ; Zelditch et al., 2012; Cucchi et al., 2015)(Fig.12.c).

De façon conventionnelle, toutes les configurations de points sont standardisées avec une taille centroïde de 1 (Cucchi, 2015). La mise à l'échelle se fait en divisant chaque coordonnée par la taille centroïde de la conformation (Perrard, 2012). Cette seconde étape supprime les effets de taille mais conserve intégralement les proportions des objets.



**Figure 12: Les étapes des superpositions de Procruste (Mitteroecker et al., 2013).**

### 1.4.3.3. Rotation

Les configurations sont mises en rotation autour du centre de gravité commun pour amener toutes les configurations en une orientation optimale dans laquelle la somme des carrés des écarts entre les points repères correspondants est minimale. Cette étape supprime les effets de rotation et minimise au même temps les différences entre tous les objets (Rohlf et Slice, 1990 ; Klingenberg, 2010 ; Cucchi et al., 2015) (Fig. 12.d).

Après la superposition de Procruste dont le but est de séparer la taille et la conformation et de projeter les coordonnées d'un espace de conformation (shape-space) euclidien tangent à l'espace de conformation de Procruste (Viscosi et Cardini, 2011), les points repères sont décrits par de nouvelles coordonnées. Ces dernières sont comparables : on va donc pouvoir comparer les différents objets de l'étude, ce qui n'était pas le cas avant la superposition. L'équation de Needham « forme = taille + conformation » est toujours valable après la superposition. La conformation est définie par les nouvelles coordonnées obtenues après superposition, la taille devient la taille centroïde et la forme correspond toujours à la somme des deux (Metaire, 2014).

### 1.4.4. Analyse statistique

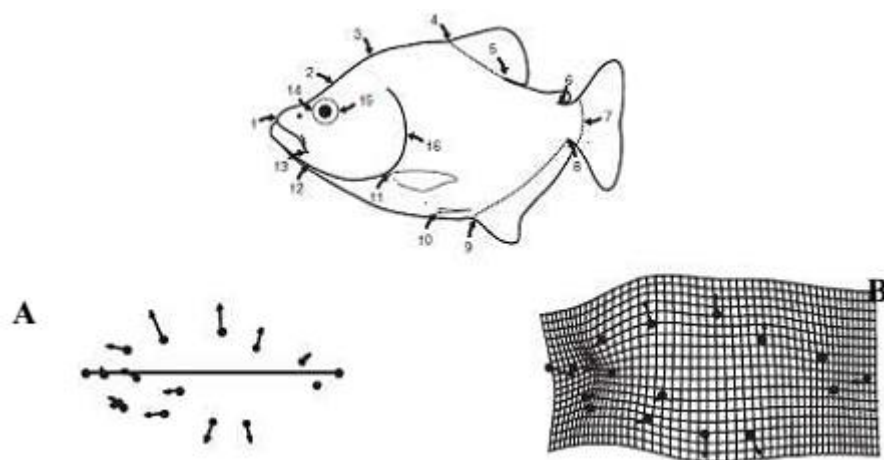
Après les superpositions de Procruste, un large éventail d'analyses peut être utilisé pour analyser la variation de conformation ou de le relier à d'autres informations (Klingenberg, 2002, 2011).

### 1.4.5. Visualisation graphique des différences de conformations

La visualisation des différences de conformation peut s'effectuer soit directement à partir des différences entre deux conformations de points qui sont par définitions superposés, soit en faisant appel aux plaques minces (Thin Plate Spline) (Cucchi et al., 2015).

La visualisation des différences de conformation se fait par l'interprétation des déplacements relatifs des coordonnées de points repères par rapport au consensus (Fig.13A).

Les points sombres représentent la localisation des PR de la conformation consensus alors que le vecteur représente l'intensité et l'orientation de la conformation cible. Plus le vecteur est long et plus la différence de conformation par rapport au consensus est importante.



**Figure 13: Moyens de visualisation des différences de conformation : A. Par les vecteurs de déplacement des PR; B. Par les Splines en plaque mince (Zelditch et al., 2012).**

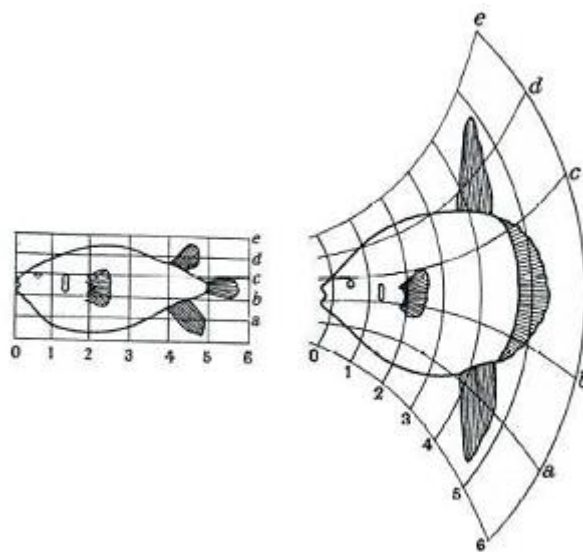
Même si il est assez facile et évident d'interpréter la variation de conformation et connaître ainsi la relation entre les PR à partir de cette méthode, cette tâche est au même temps difficile et délicate car il est nécessaire de lire le déplacement de tous les PR au même temps. Il est mentalement difficile de suivre le déplacement de tous ces PR, car il faut regarder à la fois la longueur des vecteurs et leurs directions, déterminer si plusieurs PR sont déplacés à un degré similaire, ou si certains sont déplacés relativement plus ou moins que d'autres et sans oublier les PR qui ne sont pas déplacés par rapport aux autres qui doivent également être pris en considération (Zelditch et al.,2012).

Toutes ces exigences ont poussé les scientifiques à développer une autre méthode pour visualiser les changements sur l'ensemble des points repères. S'inspirant des déformations de la grille de Sir D'Arcy Thompson (1942) Bookstein a développé le diagramme de visualisation de la conformation dans la Spline en plaque mince (figure 13.B). Viscosi et Cardini (2011) expliquent l'idée de Thompson (Fig.14) qui était de décrire les changements de conformation en superposant une grille rectiligne sur une conformation de départ, par exemple un poisson, puis utiliser des transformations mathématiques simples pour déformer

## Chapitre 2 : La morphométrie géométrique

cette grille afin de la correspondre à une cible, un autre poisson avec une conformation différente.

Apportant des corrections à la méthode développée par D'Arcy Thompson, Bookstein (1989, 1991) adapte la méthode de plaque mince (Thin-plate-Spline) pour une utilisation en morphométrie. Il traite à la fois le problème de l'intégration des informations sur la position relative de tous les PR et le problème classique posé par D'Arcy Thompson (1942) qui est d'exprimer les différences de conformation entre deux échantillons comme une cartographie globale de l'espace cartésien d'un échantillon dans un autre (Slice, 2007 ; 2005).



**Figure 14: Grille de déformation de D'Arcy Thompson's (1917) montrant les changements de conformation entre le Diodon et le poisson lune Mola (in Cucchi et al.,2015).**

Le terme de « plaque mince » utilisé dans le domaine de l'ingénierie, vient du fait que cette méthode simule plus au moins la façon dont une plaque de métal fine se comporterait si elle passait par tous les points repères de la conformation. Son concept s'appuie sur la construction d'une grille de cellule carré sur la conformation de référence et calculer ensuite comment la conformation consensus peut se déformer pour épouser la conformation cible (Webster et Sheets, 2010 ; Viscosi et Cardini, 2011). Et ceci est fait en utilisant une fonction d'interpolation pour produire des déformations lisses. Le lissage est effectué en réduisant au minimum la courbure de la plaque mince où les sites d'intérêt de la conformation de départ sont placés et manipulées jusqu'à ce qu'ils se chevauchent avec ceux de la configuration cible.

## Chapitre 2 : La morphométrie géométrique

---

Cette opération produit des vecteurs de coefficients qui peuvent être utilisés pour prédire la manière dont les lignes de grille peuvent changer à cause de la déformation (Viscosi et Cardini, 2011).

Le principal avantage des méthodes de splines plaque mince est que nous pouvons travailler avec  $2K-4$  des variables, de sorte que le nombre de variables et le nombre de degrés de liberté sont les mêmes (Zelditch et al., 2012). Bookstein (1991), qui a appliqué les plaques minces à la morphométrie géométrique défend fortement ce deuxième mode de visualisation qui est le seul à prendre en compte le lien entre tous les points résultant de la superposition Procruste. Les deux combinés permettent cependant deux échelles complémentaires de visualisation (Cucchi et al., 2015).

# **Chapitre 3**

## **Matériel et Méthodes**

## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

---

### 1. Site d'étude

L'étude a été réalisée au niveau d'un investisseur agricole privé situé à la commune de Terga, la wilaya d'Ain Temouchent. Le site à distance de 2km à l'est de la ville.

Cette ville occupe une superficie de 65,07 km<sup>2</sup> et d'altitude de 34m, la ville est à environ 6km de la côte par un climat semi-aride sec et froid, ses coordonnées géographiques est : 35° 25' 07" Nord, et 1° 10' 39" Ouest.

L'investisseur contient 6 sites pour l'élevage de poulet de chair, l'étude a été effectuée sur le deuxième site qui s'étend sur une superficie de 4588m<sup>2</sup>, il contient 4 cases chaque case a une superficie de 454m<sup>2</sup> et accueille environ 3000 poulet.

### 2. Collecte de données

Chaque souche a été photographiée séparément (l'emplacement des deux souche est différent) mais au même âge : 37 jours.

Nous avons pris 65 photos au total, dont 25 photos de souche Arbor Acres (11 poulet male ,14 poulet femelle) et 40 photos de souche Cobb 500 (18 poulet male, 22 poulet femelle)

La différence de temps entre la première photographié et la deuxième était 8 jours

Les images ont été prises sous forme de fichiers image JPEG à l'aide d'une caméra de téléphone mobile (MODEL : SAMSUNG\_J500H/DS),de qualité d'image : 4:3(13 mégapixels) sur un fond blanc (carton blanc)

Il était très difficile d'obtenir une image claire des poulets vivants, alors j'ai utilisé quelqu'un pour réparer le poulet avec le fond.

Toutes les images sont incluses avec une règle listée pour obtenir l'échelle appropriée.



**Figure15 : poulet de chair souche Arbor Acres 500**

**Figure16 : poulet de chair souche Cobb**

Les images ont photographié le côté droit de la tête pour la souche Arbor Acres (figure 17), et le coté gauche pour la souche Cobb 500 (figure 18) , la plupart ont photographié depuis l'extrémité du bec jusqu'à la base du crâne.



**Figure 17 : Image prise de la souche Arbor Acres (spécimen N12)**



**Figure 18 : Image prise de la souche Cobb 500 (spécimen N60)**

### **3. Préparation des becs pour l'analyse Morphométrie géométrique**

Les becs des poulets sont des structures rigides 2 dimensionnelles bien adaptées pour les travaux Morphométriques .

Les informations géométriques contenues dans les coordonnées des points-repères offrent une représentation plus parcimonieuse des formes (mieux que les distances) ; et qui donnent aussi des résultats plus informatifs à partir des analyses statistiques plus puissantes par rapport à la morphométrie classique (Bookstein, 1991 ; Rohlf, 1998).

### **4. Morphométrie géométrique (MG)**

Dans notre étude, l'analyse morfo-géométrique a été réalisée en effectuant l'analyse des becs supérieurs, suivie de la mesure de 9 points-repères (PR) ou landmarks (LM)

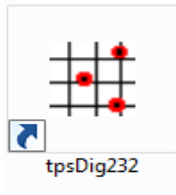
Au total, 65 images en extension JPEG haute résolution des becs ont été analysées dans notre analyse morfo-géométrique.

Cette base d'image a servi à la prise de mesures morphométriques de points-repères selon un modèle 2D. Les coordonnées ont été relevées avec le logiciel TPSUtil (version232) (Rohlf, 2008c), puis l'ensemble des données enregistrées en format TPS a été manipulé par TPSDig

## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

---

(version32) (Rohlf, 2008b) afin de réorganiser les fichiers selon nos besoins d'analyses statistiques.



Les étapes de l'analyse Morphométrie géométrique suivies par les étapes suivantes :

### 4.1. Réorganisation les fichiers en format TPS (logiciel tps util)

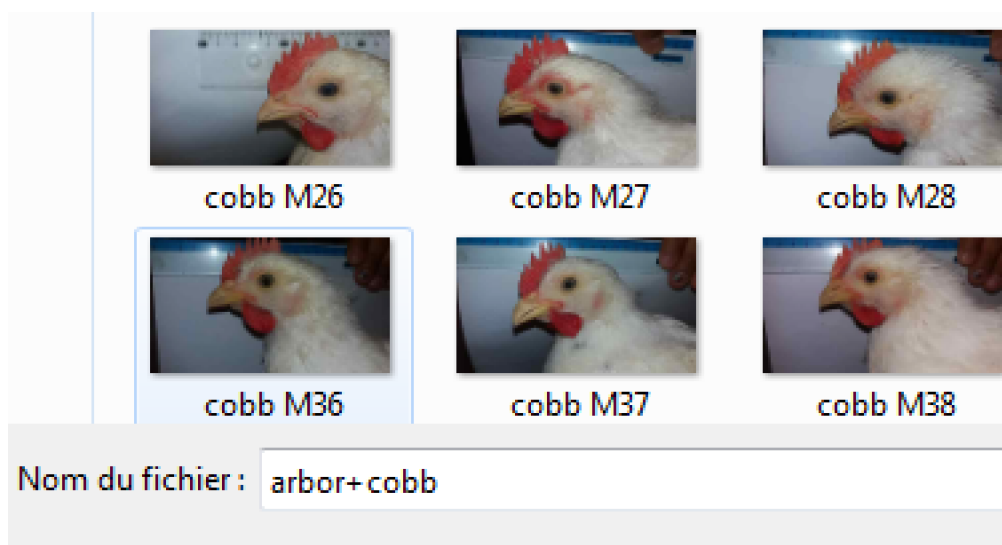
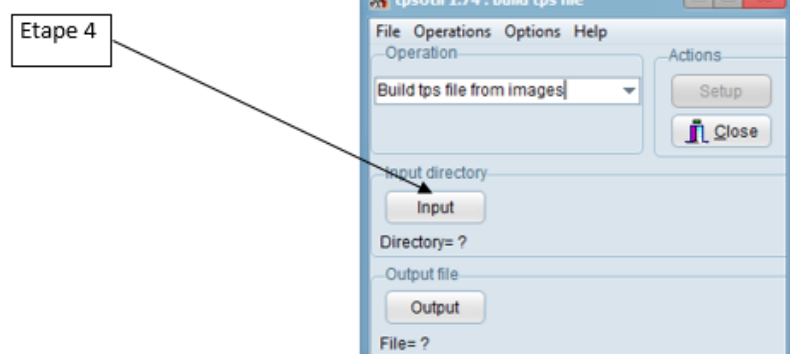
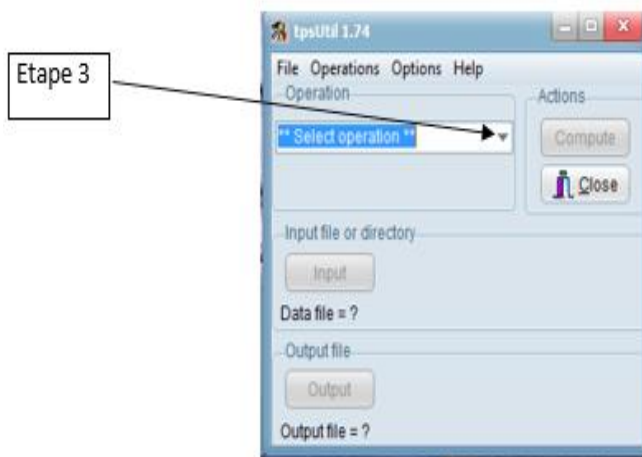
Ce programme nous permettra de construire des fichiers tps avec très peu de tracas Avant de collecter des données, vous avez besoin d'un fichier tps, qui est essentiellement une liste de nos spécimens , en suivant ces étapes :

1. On place toutes les images que nous avons utiliser (ou des copies) dans le même dossier. nous n'avons pas à faire cela, mais c'est utile.
2. On ouvrir tpsUtil (Démarrer> Tous les programmes> tps> tpsUtil)
3. On Clique sur "Select operation" et choisissez "Build tps file" dans la liste déroulante.
4. On définir notre répertoire d'entrée.
  - a. On Clique sur "InPut" (qui devrait maintenant être visible).
  - b. On recherche notre annuaire de photos.
  - c. Double-cliquer sur une image dans ce répertoire.

En "fichier de données ="? Nous devons montrer le chemin à nos photos.

- d . On nomme notre fichier de sortie

## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes



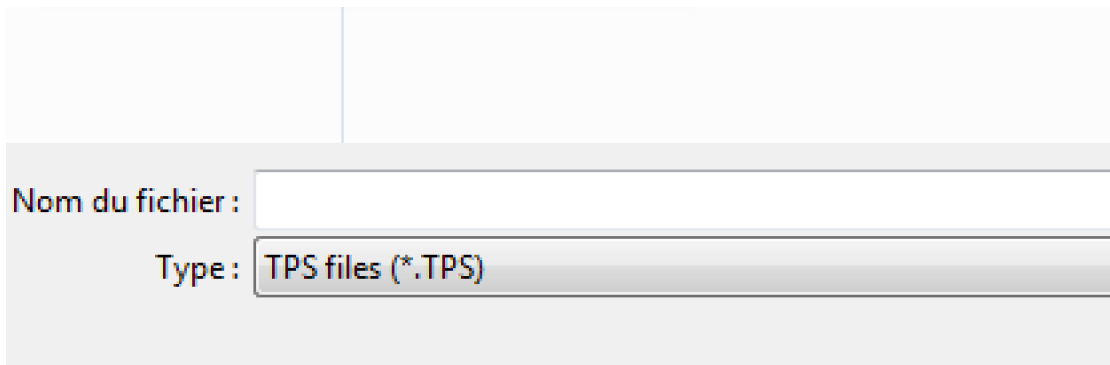
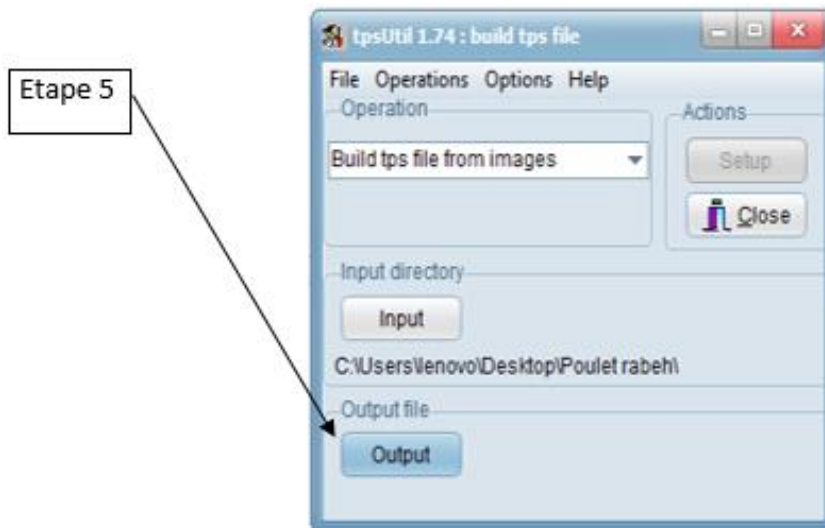
## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

---

5. On Clique sur "Output"

a. On Entre un nom se terminant par ".tps". .

- En lieu de "fichier de sortie =?" , Nous devons montrer le chemin à nos images



6. On Construire le fichier tps

a. On Clique sur "Setup" (qui devrait maintenant être visible).

b. Les images cochées seront utilisées pour construire notre fichier tps.

Cocher/décocher au besoin, si le dossier contient uniquement les images pertinentes, notre liste devrait être bien.

## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

---

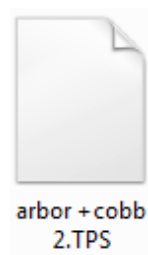
c. On confirme que nous avons un fichier nommé "arbor + cobb .tps" sous "Fichier à créer".

Sinon, On revient à l'étape 5.

d. On clique sur "Créer"

e. On clique sur "Fermer" pour quitter tpsUtil

On devra maintenant avoir un fichier que nous pouvons ouvrir dans tpsDig



### 4.2. Méthode de prise des points-repères (landmarks)

L'évolution récente du langage MG permet en outre la quantification des variations de forme.

Chaque objet est représenté par une configuration de points-repères, c-à-d un ensemble de Coordonnées  $x_i$  et  $y_i$ , sélectionnés par l'opérateur. Les individus sont ensuite superposés au terme d'une standardisation de la taille, suivie d'étapes de translation et rotation. La comparaison de ces différentes configurations permet l'analyse de la variabilité de forme, qui peut être visualisée sous la forme de grille de déformation (Adams et al., 2004).

Pour un objet biologique, sa géométrie peut être numérisée de différentes manières et à différentes résolutions. Par définition, elle consiste à relever un nombre de points en deux dimensions (2D) ou trois dimensions (3D).

La méthode la plus utilisée est la « méthode 2D » permet de positionner des point-repères en deux dimensions sur un objet biologique est l'application des points choisis sur une photographie de l'objet avec une échelle de mesure. Elle est à la fois rapide et précise.

Les photos sont ensuite directement importées à l'aide de logiciels de Stony Brook Morphometrics de James Rohlf : TPS (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>). Ces logiciels très

## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

spécialisés (TPSDig) permettent de positionner les points-repères sur les photos et de leur donner une dimension par rapport à l'échelle.

### 4.3. Choix et nature des points-repères envisagés

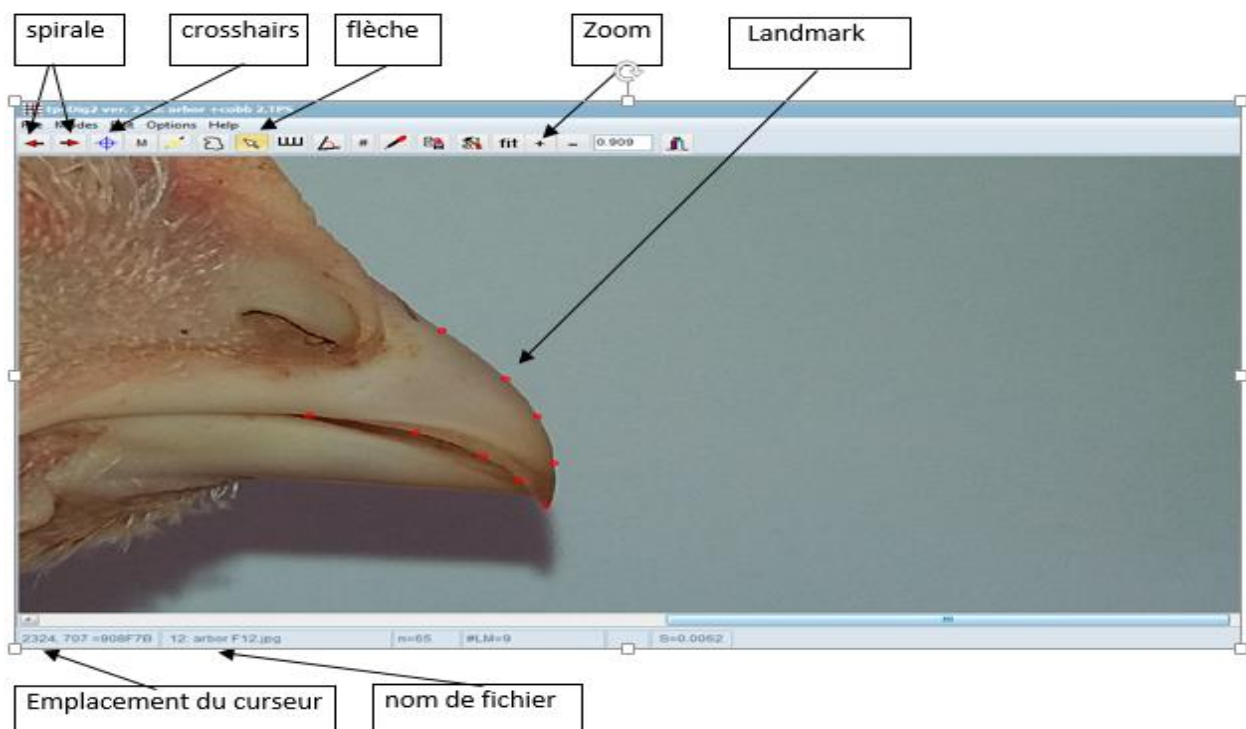
Le concept de géométrie de la forme permet la description de la forme à l'aide d'une série de points homologues d'un objet à l'autre pris dans un espace à deux ou trois dimensions tout en s'affranchissant des paramètres de taille. Plusieurs méthodes peuvent être employées. Des approches ont utilisé les courbes (Liu et al., 1996 ; Laurie et al., 1997) les angles (Whitlock et Fowler ; 1999) ou la superposition d'une série des points-repères (Klingenberg et Leamy, 2001).

Mais il ne s'agit pas de points homologues pris au hasard sur l'objet : un PR est aussi choisi en fonction de la quantité d'information qu'il concentre d'un point de vue des variations de formes et de leur importance d'un point de vue structurel. Dans cette étude, nous allons dépendre le point-Repère de type III : point extrême.

### 4.4. Marquage de nos spécimens

Dans cette étape, on place des repères sur nos images et les enregistre dans notre fichier tps.

1. Ouvrir tpsDig (Démarrer> Tous les programmes> tps> tpsDig)
2. Ouvrir le fichier tps (File> Input Source> File...)



## Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

---

Nous devrions maintenant être en mesure de faire défiler toutes nos images en utilisant les flèches droite et gauche (sur votre clavier) ou les flèches rouges dans le coin supérieur gauche de l'écran de navigation. Le nom du fichier est indiqué en bas de l'écran et des informations sur le nombre de points de repère apparaîtront au fur et à mesure que nous commencerons à collecter les données.

3. Placez les repères. Sélectionnez l'icône réticule. Faites un clic gauche pour placer un point de repère à l'emplacement approprié.

4. Définir l'échelle. Allez dans Options> Définir l'échelle. Dans la fenêtre contextuelle, sélectionnez la longueur de votre échelle (par exemple, si vous avez une règle de 10 cm, entrez 10,0). Dans votre image, placez le curseur (maintenant une flèche avec une croix) à une extrémité de votre règle. Faites un clic gauche, puis définissez la flèche à l'autre extrémité et cliquez à nouveau sur le bouton gauche de la souris. La fenêtre d'échelle devrait maintenant montrer votre facteur d'échelle. Cliquez sur OK.

5- Nous sauvegardons nos données historiques. Fichier> Enregistrer les données> Enregistrer> Ecraser. Parce que ces programmes sont faits par des individus et non par des entreprises, ils sont sujets à des problèmes mineurs (qui peuvent nous faire perdre des informations précieuses).

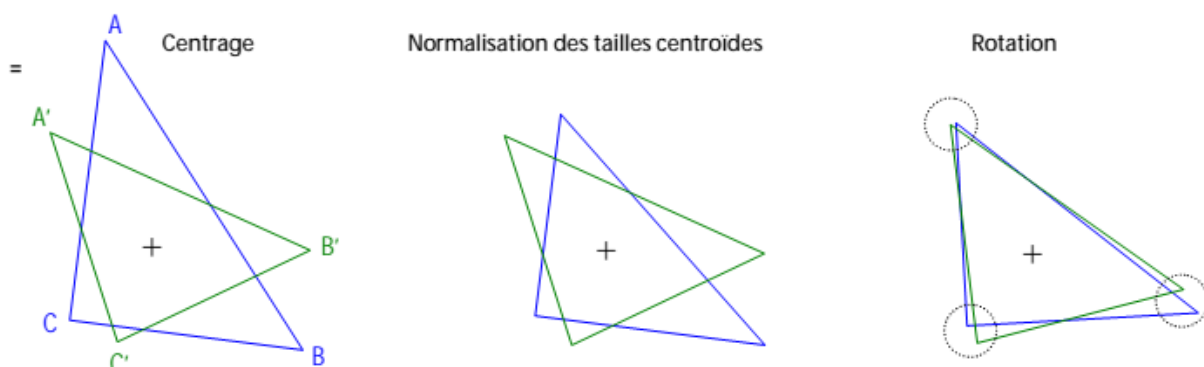
Nous répétons ce processus pour chaque spécimen.

### 4.5. La superposition Procruste – GPA

Dans notre analyse des formes des becs nous avons appliqué l'analyse Procruste Généralisée (GPA : GENERALIZED PROCRUSTES ANALYSIS) (Rohlf et Slice, 1990 ; Dryden et Mardia, 1998).

L'analyse Procrustéenne est un outil d'étude de la distribution statistique des formes. Elle est utilisée en biologie pour comparer des formes vivantes, Le nom de « Procuste » venant de la mythologie grecque a été choisi pour exprimer la nécessité de donner la même taille à tous les spécimens avant de faire les calculs pour éviter un biais. Cette mise à l'échelle qui supprime les différences de tailles conduit à comparer des proportions relatives (Zelditch et al.,2004).

La réalisation de cette méthode nécessite le passage de trois étapes primordiales et obligatoires TRANSLATION, ROTATION et NORMALISATION.



**Figure 19: les trois étapes de la superposition procrustéenne (GPA)**

Après la superposition de Procruste dans MorphoJ, nous obtenons le graphe illustré par la figure 19.

### 5. Analyse statistique

#### 5.1. Outils statistiques

La morphométrie géométrique nécessite l'utilisation de différents outils statistiques, dont les quatre principaux sont : l'analyse en composantes principales (ACP), la méthode des plaques minces (« thin-plate spline » ou TPS), et l'analyse quadratique discriminante (QDA) généralement associée à la probabilité postérieure (P post).

L'analyse en composantes principales («Principal Component Analysis») est un outil statistique permettant de passer d'un grand nombre de variables, à quelques variables nommées « composantes principales » (PCs), afin de simplifier l'analyse des données. Il s'agit de transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Les PCs sont donc des constructions purement statistiques, qui ne correspondent à aucun caractère biologique.

La PCA est l'analyse statistique la plus utilisée en MG, bien qu'elle soit parfois remplacée par des analyses de variance (ANOVA), des analyses de variance multidimensionnelle (MANOVA), ou des analyses factorielles discriminantes (AFD). L'ANOVA est un test statistique de variance à un seul facteur, permettant de vérifier que plusieurs échantillons sont bien issus de la même population. La MANOVA est également une analyse de variance, mais à plusieurs facteurs. Enfin, l'AFD est une autre méthode statistique qui permet d'attribuer un objet à un groupe, en fonction de ses caractéristiques physiques. Appliquée à la paléontologie, elle permet d'attribuer un fossile donné à une espèce, en fonction de sa forme.

D'autre part, Bookstein (1991) a proposé l'utilisation de la fonction statistique TPS ou «thin-plate spline» (ou méthode des plaques minces) en association avec la méthode des points-repères, qui permet une représentation graphique des différences de forme entre deux configurations, au travers de grilles de déformation. La TPS est un outil incontestable de la MG. Elle permet une visualisation intuitive des différences de formes, en les représentant comme des déformations conduisant d'une forme à l'autre, plutôt que comme une série de formes différentes comme le font d'autres méthodes statistiques. Cette visualisation se fait au travers de «grilles de déformations» en deux dimensions. Il s'agit d'un outil visuel puissant, mis au service de la MG.

### **Chapitre 3 : Matériel et Méthodes**

---

Enfin, à l'issue d'une étude de MG, la véracité des résultats doit être vérifiée par une autre analyse statistique. Pour cela, la méthode d'analyse discriminante prédictive (QDA) associée à la probabilité postérieure (P post) est la plus utilisée.

La QDA est une méthode d'analyse discriminante prédictive, qui permet de déterminer l'appartenance d'un individu à une classe, à partir de ses caractéristiques.

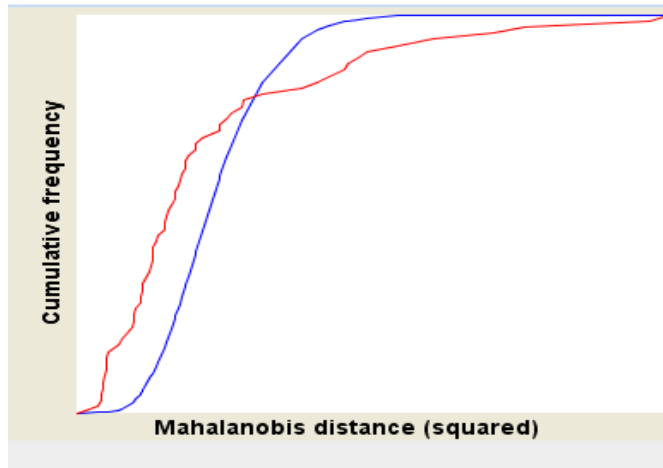
D'autre part, la probabilité postérieure permet d'estimer la probabilité d'obtenir un paramètre, à partir d'observations. Ce paramètre est validé si la P post est supérieure ou égale à 0,90.

La validation par ces deux techniques statistiques associées (ou validation croisée) permet de confirmer le résultat de la MG avec un haut niveau de certitude.

**Résultats  
et  
discussion**

### 1. Vérification des valeurs aberrantes

L'ensemble de données contient 65 observations, dont 65 sont incluses pour les analyses. 9 points repères en 2 dimensions.



**Figure 20: Diagramme de distribution cumulative des distances des becs et de la forme moyenne**

La courbe "bleu" indique la distribution normale, contrairement à la courbe "rouge" qu'il indique la distribution des données entrées, on peut remarquer par la figure 20 que la courbe "rouge" n'est pas éloignée de la courbe "bleu"

Nous pouvons alors conclure qu'il y a absence de valeurs aberrantes et que les données suivent une distribution normale.

### 2. La superposition Procruste (GPA)

Le GPA nous a permis de placer des configurations standard de tous les échantillons étudiés dans un référentiel commun.

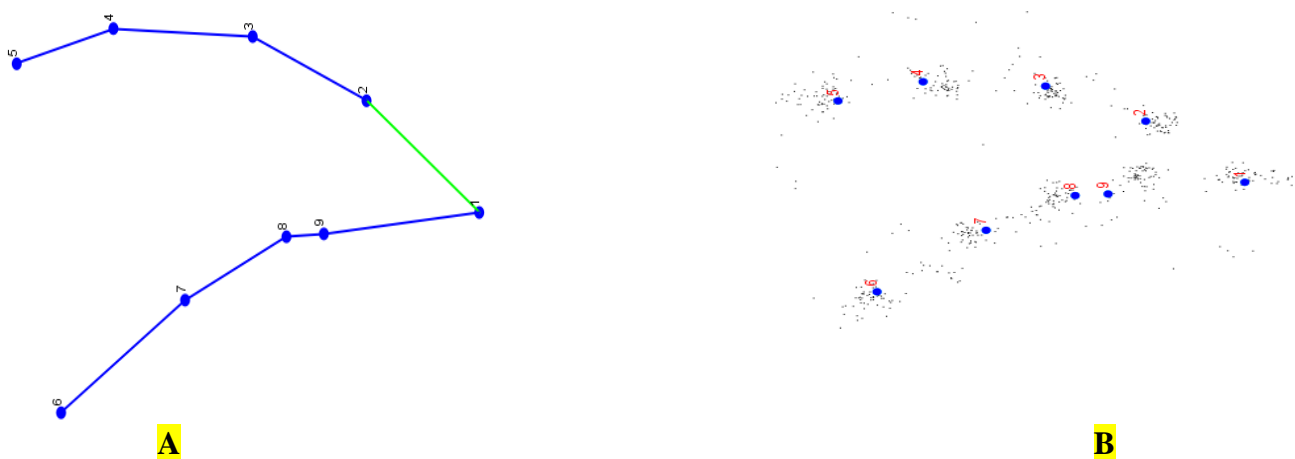
D'abord, une mise à l'échelle se charge de normaliser les données en divisant les coordonnées des points par la taille centroïde (Baylac et al. 2003).

La taille centroïde se définit comme étant la racine carrée de la somme des carrés des distances entre chaque point de repère et le centroïde, ce dernier correspondant à la moyenne des coordonnées (Viðarsdóttir et al. 2002) ou, en d'autres termes, au centre de l'objet mesuré

## Résultats et discussion

(Baylac et al. 2003). La taille centroïde est utilisée comme une expression biologiquement significative de la taille globale de la configuration des points, donc du bec (Viðarsdóttir et al. 2002; Franklin 2005). Avec la mise à l'échelle, toutes les configurations partagent alors la même taille centroïde (Balasse et al. 2015). Cette étape supprime ainsi les effets attribués à la différence de taille, mais conserve néanmoins les proportions des spécimens. La taille centroïde originale de chaque bec, avant la GPA, est conservée et peut être utilisée dans les analyses subséquentes, notamment pour étudier la relation entre forme et taille (allométrie) (Viðarsdóttir et al. 2002; Franklin 2005). Après la mise à l'échelle, une translation des spécimens s'effectue par centrage afin que leur centroïde soit positionné à l'origine du système de coordonnées x, y (Franklin 2005) (tableau 6).

Cette étape supprime les effets dus à la position (Balasse et al. 2015). Puis, les coordonnées des points de repère sont soumises à une rotation dans le but de minimiser la somme des carrés des distances entre les points (Franklin 2005). Une GPA se solde ainsi en une superposition optimale des coordonnées (figure 21). Lorsqu'il ne reste que la variation due à la forme, les variables procrustéennes générées peuvent être soumises à des techniques multivariées et comparées statistiquement, entre elles ou à d'autres échantillons. Après la superposition de Procruste dans Morpho J, nous obtenons le graphe illustré par la figure 21.



**Figure 21 : Présentation géométrique d'un bec ;(A) les 8 liens (distances) inter points-repères qui sont utilisés pour aider à visualiser les transformations des conformations ; (B) variabilité des points-repères après une superposition Procrustéenne.**

## Résultats et discussion

---

**Tableau 6 : Résultat de la superposition procruste de deux axes (Axe1 –Axe2) à partir de 9 points-repères**

LMK	Axe 1 (X)	Axe 2 (Y)
1	-0,04796420	-0,47896304
2	0,12031695	-0,26099434
3	0,21695234	-0,04071617
4	0,22902767	0,22886651
5	0,17600807	0,41584636
6	-0,34961843	0,33002218
7	-0,17999928	0,09008647
8	-0,08446220	-0,10585104
9	-0,08026092	-0,17829693

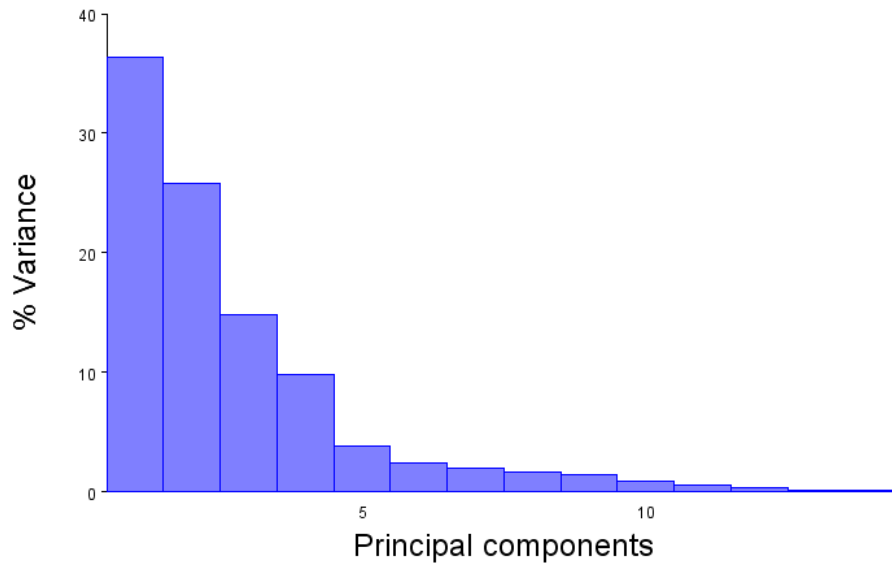
### 3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

On passe dans cette analyse statistique d'un grand nombre de variables, à quelques variables nommées « composantes principales »(PCs) , afin de simplifier l'analyse des données . Il s'agit de transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres (figure22)

Les PCs sont donc des constructions purement statistiques, qui ne correspondent à aucun caractère biologique.

## Résultats et discussion

---



**Figure 22 : Pourcentage de variation des axes en composantes principales**

Les analyses en composantes principales appliquée sur les coordonnées procrustéennes Sont exposés dans le Tableau 7 :

## Résultats et discussion

---

**Tableau 7 : Variance expliquée par les quatorze premières composantes principales de l'ACP réalisée sur tous les individus de l'échantillon**

	Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1	0,04158700	40,191	40,191
2	0,01847028	17,850	58,042
3	0,01266832	12,243	70,285
4	0,00978720	9,459	79,743
5	0,00648418	6,267	86,010
6	0,00500512	4,837	90,847
7	0,00334830	3,236	94,083
8	0,00235073	2,272	96,355
9	0,00160981	1,556	97,911
10	0,00098300	0,950	98,861
11	0,00055182	0,533	99,394
12	0,00036721	0,355	99,749
13	0,00016434	0,159	99,908
14	0,00009548	0,092	100,000

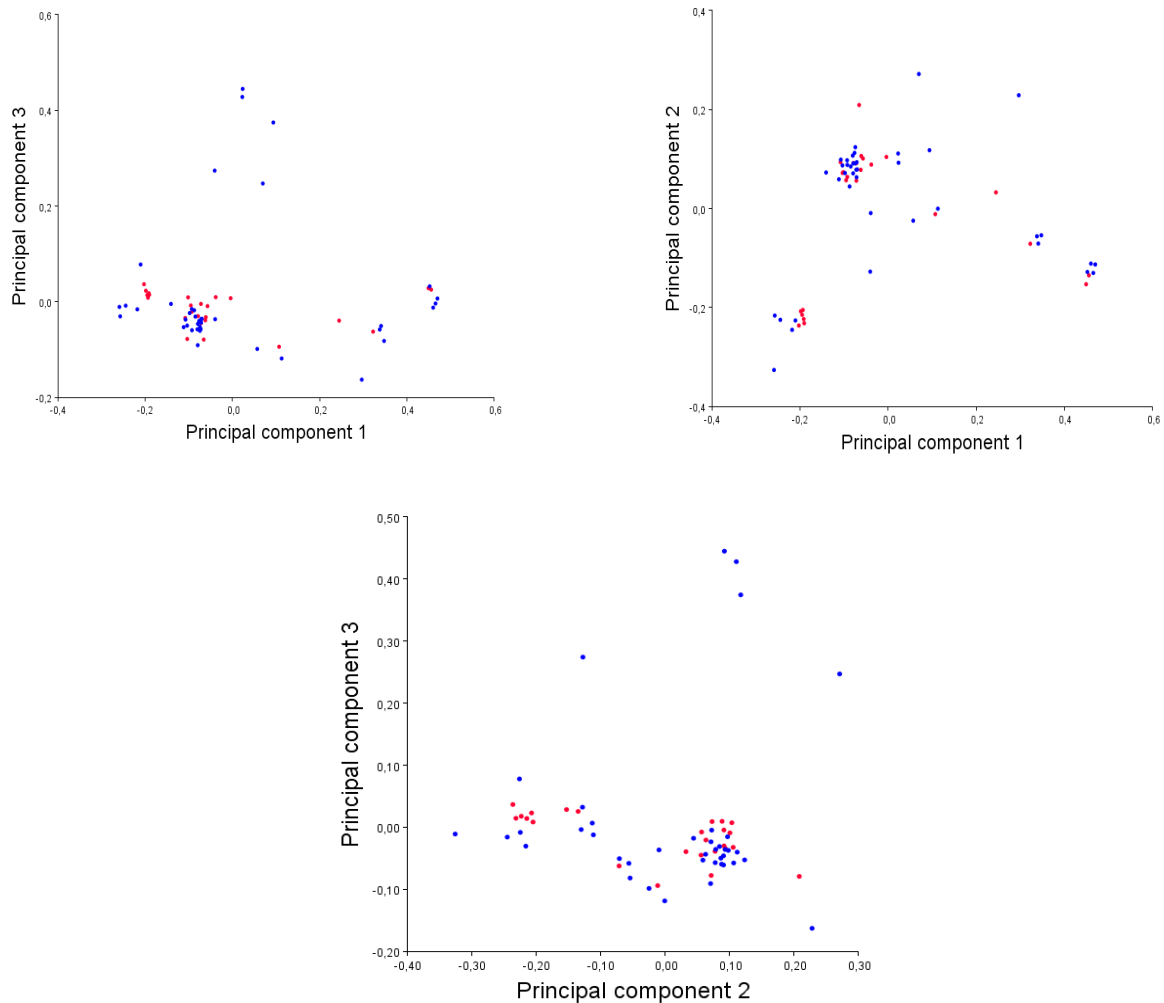
A partir du tableau7 ; **variance totale** : 0,10347278, **Variance des valeurs propres** : 0,0001178580846

Les coordonnées Procrustes représentant la morphologie des becs, les composantes principales 1,2 et 3 expliquent 70,33% de la variance totale (les variances des composantes principales) 4 et 5 sont respectivement de 9,46% et 6,267% alors que toutes les autres

## Résultats et discussion

ont une variance inférieure à 5 %, soient respectivement 40,19% , 17,85% et 12,24%. Ces trois composantes principales nous ont permis de distinguer 3 nuages de points (figure 23)

L'Analyse en Composantes Principales est réalisée dans le but d'observer le pattern de variation sur l'ensemble de l'échantillon. Le graphique obtenu sur les deux premières composantes est représenté dans la figure 23 :



**Figure 23 : Analyse en Composantes Principales fondées sur les résidus Procrustes des configurations des deux souches Cobb500 (en bleu) et Arbor (en rouge)**

Les graphiques de la figure 23 possède deux axes (abscisses et des ordonnées), chaque configuration (ou specimen) peut être représentée par un point unique dans le graphique, et le nuage de points obtenus correspond à l'ensemble des configurations des objets étudiés.

## Résultats et discussion

---

Les coordonnées décrivant ces points après GPA ne dépendent que de la forme, et sont donc indépendantes de l'échelle, de l'orientation, et de la position. Plus deux formes ne diffèrent entre elles, plus les deux points les représentant seront éloignés dans l'espace.

La distance Procruste permet de quantifier les différences de forme entre deux conformations. Il s'agit de la distance mesurée entre deux points (chacun représentant une conformation propre), après GPA. Ainsi, une grande distance signifie que les formes sont très différentes. A l'inverse, une distance nulle indique que les deux formes sont identiques (dans ce cas il y a une nette différence)

Les axes du graphique correspondent à deux composantes principales. Ce sont les deux PCs qui expriment les plus hauts pourcentages de variance, c'est-à-dire la variabilité la plus importante, qui sont choisies comme axes du graphique, car ce sont les plus discriminantes. En effet, l'objectif de cette représentation graphique est d'avoir une dispersion maximale des points le long des deux PCs, afin d'obtenir des résultats clairs.

# **Conclusion**

## **Conclusion**

Cette étude, fondée sur des méthodes de morphométrie géométrique 2D, s'est intéressée à la variabilité de la morphologie des becs du poulet de chair à partir de deux souches : Cobb 500 et Arbor-Acres. L'intérêt de cette méthode repose sur l'obtention d'une représentation deux dimensionnelle, graphique et statistique de l'ensemble des individus étudiés, séparément caractérisés par un jeu de points repères, permettant ainsi d'observer et de comparer la variabilité de conformation entre les populations indépendamment du facteur taille.

Cette étude nous a permis d'utiliser de nombreux logiciels et de nous amiliariser avec une méthode morphométrique de plus en plus utilisée. La méthode de morphométrie - géométrique appliquée à nos échantillons s'est révélée utile et discriminante. Cette méthode est fastidieuse dans son étape d'initiation car elle nécessite une préparation minutieuse de critères soigneusement sélectionnés (PR) établis pour reconstituer au mieux la conformation du bec. Cependant, une fois ces étapes réalisées, et la digitalisation effectuée, les résultats sont assez satisfaisants et permettent de constituer une base de données numérisée où les becs peuvent être réutilisées plusieurs fois.

L'ensemble de nos résultats nous a permis de dire que les variabilités des formes du bec (Forms) sont essentiellement expliquées par les variabilités des paramètres de conformations (Shapes) décrites par les déplacements des points-repères relatifs à chaque type du bec.

La principale perspective de cette étude est donc la poursuite de l'analyse morphologique et l'intégration de ces données à la génétique, permettant de trouver une solution adaptée au problème posé par le phénomène du picage.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- 1 Adams, D. C., Rohlf, F. J., and Slice, D. E. 2004: Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5-16.
- 2 Adams, D. C., Rohlf, F. J., and Slice, D. E. 2013: A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix, the Italian journal of Mammalogy*, 24(1), 7-14.
- 3 Alain Huart et collaborateurs. Élevage et pêche, Centre agronomique et Vétérinaire tropical de Kinshasa ;2004
- 4 Andrade A.N., Carson J.R., 1975. The effect of age at and methods of debeaking on future performance of White Leghorn pullets. *Poult. Sci.*, 54, 666-674.
- 5 Barour, C., 2012: Analyse de la Biodiversité des Populations d'Abeilles Mellifères *Apis mellifera* intermissa (Buttel-Reepen, 1906) (Hymenoptera : Apidea) dans le Nord Algérien : Morphométrie Moderne Basée sur la Configuration des Points-Repères (Landmarks). *Badji Mokhtar Annaba*. 298 p.
- 6 Blokhuis H.J., 1986. Feather-pecking in poultry : its relation with ground pecking. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 16, 63-67.
- 7 Blokhuis H.J., Van Der Haar J.W., 1989. Effects of floor type during rearing and of beak trimming on ground pecking and feather pecking in laying hens. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 22, 359-369.
- 8 Blokhuis H.J., Van Der Haar J.W., Koole P.G., 1987. Effects of beak trimming and floor type on feed consumption and body weight of pullets during rearing. *Poult. Sci.*, 66, 623-625.
- 9 Bookstein, F.L., Chernoff, B., Elder, R., Humphries, J., Smith, G., & Strauss, R. 1985. *Morphometrics in evolutionary biology*. Special publication 15. Academy of Natural Sciences Press, Philadelphia.
- 10 Bramhall E.L., Little T.A., 1966. Layers performance as affected by debeaking methods and cage density. *Poult. Sci.*, 45, 1072.
- 11 Bray D.J., Ridden S.F., Gesell J.A., 1960. Performance of pullets debeaked at various time during the laying year. *Poult. Sci.*, 39, 1546-1550.
- 12 Breward J., 1984. Cutaneous nociceptors in the chicken beak. *J. Physiol., London*, 346, 56.

## Références bibliographiques

---

- 13 Breward J., Gentle M.J., 1985. Neuroma formation and abnormal afferent nerve discharges after partial beak amputation (beak trimming) in poultry. *Experientia*, 41, 1132-1134.
- 14 Cardini A., 2013: Morphometric geometrics. Article definition for Encyclopedia of Life Support Systems EOLSS: <http://www.oelss.net/>
- 15 Carey J.B., 1990. Influence of age at final beak trimming on pullet and layer performance. *Poult. Sci.*, 69, 1461-1466.
- 16 Cope, J. S., Corney, D., Clark, J. Y., Remagnino, P., and Wilkin, P., 2012: Plant species identification using digital morphometrics: A review. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7562-7573.
- 17 Cunningham D.L., 1992. Beak trimming effect on performance, behavior and welfare of chickens. A review. *J. Appl. Poult. Res.*, 1, 129-134.
- 18 Cucchi T., Baylac M., Evin A., Bignon-Lau O. et Vigne J-D., 2015 : Morphométrie géométrique et archéozoologie : Concepts, méthodes et applications. (Chap. 4), In Belasse Y., Geigl E-M., Oberlin C. et Reich I., «Messages d'os: Archéométrie du squelette animal et humain ».Ed. Archives contemporaines. 197-216.
- 19 Deaton J.W., Lott B.D., May J.D., 1988. Effect of beak trimming on body weight and feed intake of broilers roasters fed pellets or mash. *Poult. Sci.*, 67, 1514-1517.
- 20 Duncan I.J.H., Slee G.S., Seawright E., Breward J., 1989. Behavioural consequences partial beak amputation (beak trimming) in poultry. *Br. Poult. Sci.*, 30, 479-488.
- 21 Eskeland B., 1977. Behaviour as an indicator of welfare in hens under different systems of management, population density, social status and by beak trimming. *Scientific reports of the Agricultural University of Norway* 56, No7.
- 22 Gentle M.J., 1979. Effects of water temperature on short-term water intake and medullary neuronal response in the hen. *Br. Poult. Sci.*, 20, 533-539.
- 23 Gentle M.J., 1985. Sensory involvement in the control of food intake in poultry. *Proc. Nut. Soc.*, 44,313-321.

## Références bibliographiques

---

- 24 Gentle M.J., 1986. Beak trimming in poultry. *World's Poult. Sci. J.*, 42 (3), 268-275. Gentle M.J., Breward J. 1986. The bill tip organ of the chicken (*Gallus gallus domesticus*). *J. Anat.*, 145, 79-85.
- 25 Gentle M.J., Hughes B.O., Hubrecht R.C., 1982. The effect of beak trimming of food intake, feeding behavior and body weight in adult hens. *Appl. Anim. Ethol.*, 8, 147-159.
- 26 Gentle M.J., Waddington D., Hunter L.N., Jones R.B., 1990. Behavioural evidence for persistent pain following partial beak amputation in chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 27, 149-157.
- 27 Glatz P. C. 2005. What is beak-trimming and why are birds trimmed? Pages 1–17 in *Poultry Welfare Issues: Beak Trimming*. P. C. Glatz, ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK.
- 28 Hargreaves R.C., Champion L.R., 1965. Debeaking of caged layers. *Poult. Sci.*, 44, 1223-1227.
- 29 Henry, r. & rothwell. G. 1995. *The world poultry industry*,. International Finance Corporation Global Agribusiness Series. Washington DC, World Bank.
- 30 Hogan J.A., 1977. Development of food recognition in young chicks : associative and non associative effects of experience. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 91, 839-850.
- 31 Hughes B.O., Gentle M.J., 1995. Beak trimming of poultry : its implication for welfare. *World's Poult. Sci. J.*, 51, 51-61.
- 32 Jensen, R. J., Ciofani, K. M., and Miramontes, L. C., 2002: Lines, outlines, and landmarks: morphometric analyses of leaves of *Acer rubrum*, *Acer saccharinum*(Aceraceae) and their hybrid. *Taxon*, 475-492.
- 33 Jones,B. J. 2005. Environmental enrichment can reduce feather pecking. Pages 97–100 in *Poultry Welfare Issues: Beak Trimming*. P. C. Glatz, ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK.
- 34 Kjaer, J. B. 2005. Genetics. Pages 101–109 in *Poultry Welfare Issues: Beak Trimming*. P. C. Glatz, ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK.
- 35 Klingenberg, C. P., 2011: MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.

## Références bibliographiques

---

- 35 Klingenberg, C. P., 2010: Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11(9), 623-635.
- 36 Kuenzel W.J., 1989. Neuroanatomical substrates involved in the control of food intake. *Poult. Sci.*, 68, 926-937.
- 37 Kuo F.L., Craig J.V., Muir W.M., 1991. Selection and beak-trimming effects on behavior, cannibalism and short-term production traits in White Leghorn pullets. *Poult. Sci.*, 70, 1057-1068.
- 38 Loy A., Busilacchi S., Costa C., Ferlin L., and Cataudella S., 2000: Comparing geometric morphometrics and outline fitting methods to monitor fish shape variability of *Diplodus puntazzo* (Teleostea: Sparidae). *Aquacultural Engineering*, 21(4), 271-283.
- 39 Lucas A.M., Stettenheim P.R., 1972. Beak of chicken. In : *Avian Anatomy Integument*. Agriculture Handbook 362. Edited by United States Department of Agriculture, Washington (USA). Vol II, 579-592.
- 40 Marcus, L., Hingst-Zaher, E., and Zaher, H., 2000: Application of landmark morphometrics to skulls representing the orders of living mammals. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 11(1). 27-47.
- 41 Marion, b.1985 The organization and performance of the US food system. NC 117 Committee Report. Lexington, MA, USA, Lexington Books.
- 42 Mason M., Rudeaux F., Picard M., Faure J.M., 1995. Comparaison du comportement alimentaire des poules pondeuses en station expérimentale et sur le terrain. *Premières journées de la Recherche Avicole*. Angers (FRA). 28-30 Mars 1995, diffusé par ITAVI, Paris, 314-316.
- 43 Mc Lelland J., 1979. Digestive system. In : *Forms and function on birds*. Vol. 1. Edited by King A.S. et McLelland J., Academic press London (GBR), 84-90.
- 44 Mc Lelland J., 1994. Figure 15 : Egg tooth of a dayold chicken. In : *A colour atlas of avian anatomy*. Edited by Wolfe publishing Ltd., London (GBR), 13.
- 49 Morgan W. 1957. Effect of day-old debeaking on the performance of pullets. *Poult. Sci.*, 36, 208-211.

## Références bibliographiques

---

- 50 Narrod, c. 1997. Technology transfer in the poultry industry: an examination of supply factors and externalities associated with increased production. University of Pennsylvania, Philadelphia, USA. (PhD Dissertation).
- 51 Narrod, c. & fuglie, k.2000. Private-sector investment in livestock breeding. *Agribusiness: An International Journal*,4(6): 457–470.
- 52 Narrod, c. & pray, c.2001. Technology transfer, policies, and the global livestock revolution. In *Proceedings of the International Agricultural Trade Research Consortium Symposium on Trade in Livestock Products*,held 18–19 January 2001, Auckland, New Zealand.
- 53 Parkinson, G. B.2005. Light intensity. Pages 117–121 in *Poultry Welfare Issues: Beak Trimming*. P. C. Glatz, ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK.
- 54 Perrard, A., 2012: Systématique et morphométrie géométrique: l'évolution de la nervation alaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères, Vespidés) (Doctoral dissertation, Paris, Muséum national d'histoire naturelle).210 p.
- 55 Rogers L.J., 1995. Early learning after hatching. In :*The development of brain and behavior in the chicken*. Edited by CAB International, Wellington(GBR), 72-119.(GBR), 72-119.
- 56 Rohlf, F.J., 2003: Bias and error in estimates of mean shape in geometric morphometrics. *Journal of Human Evolution*, 44(6), pp.665–683.
- 57 Rohlf, F. J., 2000: On the use of shape spaces to compare morphometric methods. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 11(1).
- 58 Rohlf, F. J., and Marcus, L. F., 1993: A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(4), 129-132.
- 59 Rohlf, F. J., and Slice, D., 1990: Methods for comparison of sets of landmarks.*Systematic Zoology*, 39, 40-59.
- 60 Rohlf, F. J., 1990: Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 299–316.
- 61 Slice, D. E., 2007: Geometric morphometrics. *Annu. Rev. Anthropol.*, 36, 261-281.

## Références bibliographiques

---

- 62 Slice, D. E., 2005: Modern morphometrics. In *Modern morphometrics in physical anthropology*. Springer US.1-45.
- 63 Turro I., Porter R.H., Picard M., 1994. Olfactory cues mediate food selection by young chicks, *Physiol. Behav.*, 55, 761-767.
- 64 Viscosi, V., and Cardini, A. 2011: Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PloS one*, 6(10), e25630.
- 65 Wall P.D., 1979. On the relation to pain. *Pain*, 6,253-264.
- 66 Webster, M. A. R. K., and Sheets, H. D., 2010: A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. *Quantitative Methods in Paleobiology*, 16, 168-188.
- 67 Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., and Sheets, H. D., 2012: *Geometric morphometrics for biologists: à primer*. Academic Press. 443 p.