

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE



UNIVERSITE  
Abdelhamid Ibn Badis  
MOSTAGANEM

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique

Université Abdel Hamid Ibn Badis MOSTAGANEM



UNIVERSITE  
Abdelhamid Ibn Badis  
MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

Laboratoire De Physiologie Animale Appliquée

## **Mémoire De Fin D'études**

**Pour l'obtention du diplôme Master en Agronomie**

**Option : Génétique et Reproduction Animale**

## **Thème**

Etude morpho-géométrique de la forme du bec chez deux  
souches de poulet de chair (Cobb500, Hubbard Classic)

**Présentée par : BETTAHAR Satia**

**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 ✦**

## *✦ Remerciement ✦*

*« Je remercie "Allah" le tout puissant qui m'a donné la santé, le courage, et les moyens pour atteindre ce stade et réussir mes études. »*

*\* \* \**

*Je Tiens à exprimer le témoignage de toute ma gratitude et mes remerciements :*

***À Mr L. Dahloum,***

*Pour avoir me proposé ce thème, d'avoir accepté de m'encadrer, je le remercie aussi pour ses encouragements, ses orientation, ses conseils précieux et surtout pour sa disponibilité et sa grande patience.*

***À Mme A .Fassih,***

*Pour ses conseils, ses encouragements et ses compétences qui ont été mises en notre disposition dans les deux dernières années. Ainsi pour m'avoir fait l'honneur de faire partie du jury.*

***À Mr M.Tahri,***

*Pour avoir accepté d'évaluer mon travail et de faire partie du jury.*

*À tous mes enseignants du Département des sciences agronomiques, particulièrement les enseignants de la production animale.*

*\* \* \**

*Mes vifs remerciements vont aussi aux vétérinaires au niveau de la subdivision des services agricoles de Oued Rhiou, Particulièrement Mr B.Chareb Yssaad, pour leur aide et leur orientation afin de réaliser ce travail.*

*\* \* \**

*En fin, je remercie très cordialement mes chers parents, mon frère Ridha qui sans eux Je ne serais pas arrivé là.*

*Je les remercie pour leur grand soutien moral et matériel qu'ils m'ont apporté tout au long de mes études, depuis mon plus jeune âge jusqu'aujourd'hui.*

*\* \* \**

*Mes remerciements vont également à mes collègues, toute la promotion de l'année 2017.2018 et à tous mes amis et les proches, qui m'ont toujours soutenu*

---

## RESUME

---

L'objectif de cette étude a consisté à analyser la variation de la forme du bec chez deux souches de poulet de chair (Cobb500 et Hubbard Classic) par la technique de la morphométrie géométrique (MG) basée sur les points repères. Dans ce travail, la forme du bec chez le poulet a été analysée pour la première fois en Algérie par l'utilisation des techniques modernes de morphométrie basées essentiellement sur les points repères qui font partie de la MG. Au total 110 photographies ont été réalisées sur le bec des poulets. La digitalisation des images à l'aide du logiciel tpsDig a permis de retenir 9 points repères homologues sur la mandibule supérieure de chaque bec. La méthode de superposition Procruste a été appliquée à l'aide du logiciel MorphoJ pour supprimer l'effet de taille et obtenir les différentes configurations du bec par rapport à la forme moyenne « consensus ».

L'Analyse en Composante Principales (ACP) nous a permis d'extraire 3 composantes expliquant ensemble 74,6% de la variation totale de la forme du bec. Les autres tests multifactorielles appliqués (Analyse Factorielle Discriminante AFD et le test Hotteling) ont mis en évidence une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre les souches Cobb500 et Hubbard Classic pour la forme du bec. Plus généralement, la méthode des points repères appliquée ici dans un cadre à 2 dimensions, via l'analyse Procrustéenne s'est avérée extrêmement efficace et précise pour identifier et visualiser les conformations du bec chez le poulet. Les résultats obtenus méritent d'être confirmés par d'autres travaux notamment sur les races locales pour voir comment il serait possible de sélectionner des animaux présentant des becs plus adaptés aux conditions d'élevage de demain.

**Mot Clé :** Poulet de chair, Picage, Forme du bec, Morphométrie-géométrique, ACP

---

## ملخص

---

كان الهدف من هذه الدراسة هو تحليل تباين شكل المنقار في سلالتي الدجاج اللاحم (Cobb500 و Classic Hubbard) باستخدام تقنية المورفومترية الهندسية المعتمدة على النقاط المرجعية، في هذا العمل تم تحليل شكل المنقار عند الدجاج لأول مرة في الجزائر باستخدام التقنيات المورفومترية الحديثة المعتمدة على النقاط المرجعية التابعة لتقنية المورفومترية الهندسية. مجموع 110 صورة التقطت على منقار الدجاج. ترقيم الصور باستعمال برنامج tpsDig سمح بالاحتفاظ بـ 9 نقاط مرجعية متماثلة على مستوى الفك العلوي لكل منقار. ثم تطبيق طريقة تراكب بروكرست باستعمال برنامج MorphoJ لإزالة تأثير الحجم و الحصول على تشكيلات مختلفة للمنقار مقارنة مع الشكل المتوسط.

تحليل المكون الرئيسي (ACP) سمح بالحصول على 3 مكونات مفسرين معا 76,6% من اجمال التغيرات في شكل المنقار.

الاختبارات الاخرى المطبقة متعددة العوامل (AFD-Hottelingtest) كشفت عن وجود فرق كبير للغاية بين السلالتين (Cobb500 و Classic Hubbard) فيما يخص شكل المنقار. ( $p < 0,001$ )

بصفة عامة، طريقة النقاط المرجعية المطبقة هنا في إطار ثنائي الابعاد، عن طريق تحليل بروكرست أثبتت أنها فعالة للغاية و دقيقة في تحديد و تمثيل منقار الدجاج. النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة تستحق إلى اثبات اكثر من أعمال أخرى، لا سيما على السلالات المحلية، للتمكن من معرفة كيف يمكن اختيار الحيوانات ذات المناقير التي تتكيف بشكل افضل مع ظروف تربية الحيوانات للمستقبل.

**الكلمات المفتاحية :** الدجاج اللاحم، النقر الغاضب، شكل المنقار، المورفومترية الهندسية، المكونات الرئيسية.

## ✦ Liste des tableaux ✦

<b>Tableau 1</b> : Systématique de <i>Gallus gallus domesticus</i> (Singhapol, 2003).....	3
<b>Tableau 2</b> : Cordonnées des points repères du consensus « nouvelles variables » .....	50
<b>Tableau 3</b> : Valeurs propres et pourcentages de la variance expliquée par les de l'ACP .. .....	51
<b>Tableau 4</b> : Résultats du test de $T^2$ de Hotteling .....	53
<b>Tableau 5</b> : Procruste ANOVA .....	54

## ✦ Liste des figures ✦

<b>Figure 1 :</b> Évolution de la diversité génétique de la poule domestique (Larivière et Leroy, 2008). .....	5
<b>Figure 2 :</b> à gauche : Morphologie du Coq ; à droite : Morphologie de la poule .....	8
<b>Figure 3 :</b> Morphologie de la Tête du coq (genre Gallus) .....	8
<b>Figure 4 :</b> Squelette de la poule (genre Gallus) .....	9
<b>Figure 5 :</b> Tractus digestif du poulet.....	11
<b>Figure 6 :</b> la structure du crâne et des mandibules .....	12
<b>Figure 7 :</b> les différents becs des volailles (VILLATE. D 2001). .....	13
<b>Figure 8 :</b> Les variables de taille.....	21
<b>Figure 9 :</b> Localisation des quatre principaux points-repères du crâne humain (d'après Baab et al. 2012) .....	23
<b>Figure 10 :</b> Description en 2D de la géométrie d'une mandibule de Musaraigne, avec 11 points-repères (d'après Perrard, 2012). .....	26
<b>Figure 11 :</b> Arrangement de repères. Image latérale du poisson épineche avec des points de repère. ....	29
<b>Figure 12 :</b> Les étapes de la superposition Procruste (d'après Evin et al., 2008).....	31
<b>Figure 13 :</b> des grilles de déformations .....	34
<b>Figure 14 :</b> illustre de résultat de comparaison des échantillons lacustres de l'épineche. ....	35
<b>Figure 15 :</b> Souches étudiées (à droite : Hubbard Classic ; à gauche : Cobb 500).....	37
<b>Figure 16 :</b> photo de la tête du poulet N° 21 de la souche Hubbard Classic. ....	38
<b>Figure 17 :</b> Dossier contenant toutes les images à analyser. ....	39

## ✦ Liste des figures ✦

<b>Figure 18</b> : la fenêtre principale du logiciel TpsUtil .....	39
<b>Figure 19</b> : Etape 1 de la création d'un fichier TPS "Sélection d'une opération" .....	40
<b>Figure 20</b> : Etape 2 de la création d'un fichier TPS " choix du répertoire d'entrée"....	40
<b>Figure 21</b> : répertoire d'images .....	41
<b>Figure 22</b> : Etape 3 de la création d'un fichier TPS "nomination du fichier". .....	41
<b>Figure 23</b> : Etape de la nomination du fichier TPS. ....	42
<b>Figure 24</b> : Boite de dialogue (manipulation des données) .....	42
<b>Figure 25</b> : Le Fichier TPS créé.....	43
<b>Figure 26</b> : la fenêtre du Logiciel tpsDig.....	44
<b>Figure 27</b> : Digitalisation de 9 points-repères (Landmarks) sur la mandibule supérieure du bec à l'aide du logiciel tpsDig. ....	45
<b>Figure 28</b> : Diagramme des fréquences cumulées des distances entre l'ensemble les individus et la forme moyenne « consensus » de l'échantillon.....	48
<b>Figure 29</b> : <i>A gauche</i> : Localisation des points repères retenus sur le bec. <i>A droite</i> : La Forme Consensus du bec obtenu par la superposition Procruste. ....	49
<b>Figure 30</b> : Pourcentage de la variation expliquée par les axes principaux.....	51
<b>Figure 31</b> : La variation de la forme de la mandibule supérieure des becs expliquée par les axes retenus .....	52
<b>Figure 32</b> : Présentation de la variation de la forme du bec sur les axes CP1 et CP2..	53
<b>Figure 33</b> : La fréquence des poulets Cobb500 et Hubbard Classic le long de la variable discriminante pour la variation de la forme du bec. La variable discriminante représente toutes les variations de la forme de la mandibule supérieure entre les Cobb500 (rouge) et Hubbard Classic (vert).....	55

## ✦ Table Des Matières ✦

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

### **I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

#### **CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA POULE DOMESTIQUE**

<b>1 Systématique de la poule Gallus gallus domesticus .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Historique et l'origine des poules .....</b>	<b>4</b>
2.1 Diffusion et domestication .....	4
2.2 Evolution de la diversité génétique de la poule domestique.....	4
2.3 Types de races .....	6
2.3.1 Races traditionnelles .....	6
2.3.2 Races reproductrices .....	6
<b>3 Anatomie générale de la poule .....</b>	<b>8</b>
3.1 Squelette .....	9
3.2 Organes du sens .....	10
3.3 Appareil digestif .....	10
<b>4 Anatomie du bec .....</b>	<b>11</b>
4.1 Forme du bec et l'adaptation au régime alimentaire : .....	13
<b>5 Processus de sélection des souches de poules .....</b>	<b>15</b>
5.1 Objectifs de la sélection chez les volailles.....	15
5.2 Types ou modes de sélection des volailles.....	17

#### **CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA MORPHOMETRIE GEOMETRIQUE**

<b>1 De la morphométrie « traditionnelle » à la morphométrie géométrique .....</b>	<b>20</b>
1.1 Morphométrie « traditionnelle » : inconvénients et limites.....	20
1.2 Evolution vers la morphométrie géométrique.....	21
<b>2 Principaux concepts de morphométrie géométrique .....</b>	<b>22</b>
2.1 Notion de « conformation géométrique » .....	22
2.2 Points-repères .....	22
2.3 Points glissants .....	23
<b>3 Avantages et limites de la morphométrie géométrique.....</b>	<b>25</b>
3.1 Avantages .....	25
3.2 Limites .....	27

<b>4</b>	<b>Grandes étapes de la MG</b>	<b>28</b>
4.1	Collecte des données	28
4.1.1	Collecte des données en 2D	28
4.1.2	Collecte des données en 3D	28
4.1.3	Exemple de collecte de données (Figure 11)	29
4.2	Technique d'alignement des conformations géométriques ou superposition Procruste	30
4.2.1	Principes	30
4.2.2	Etapas	31
4.3	Analyse statistique et représentation graphique	32
4.3.1	Outils statistiques	32
4.3.2	Représentation graphique	34

## **II. PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES**

<b>1</b>	<b>Matériel biologique</b>	<b>37</b>
4.4	Echantillonnage	37
4.5	Prise des photos numériques et traitement des images.	37
<b>5</b>	<b>Analyses morpho-métriques</b>	<b>38</b>
5.1	Préparations des données	38
5.1.1	Organisation des dossiers	38
5.1.2	Création du fichier TPS	39
5.2	Collecte des données : " Numérisation ou digitalisation des Points repères (Landmarks)	43
5.3	Analyses Statistiques	46
5.3.1	Analyse de Procruste Généralisée (APG)	46
5.3.2	Analyse en composantes principales (ACP)	46
5.3.3	Le test de Hotteling	46
5.3.4	Analyse factorielle discriminante (AFD)	47

## CHAPITRE II RESULTAT ET DISCUSSION

<b>1. Vérification des valeurs aberrantes .....</b>	<b>48</b>
<b>2. Performer la Superposition Procruste ou l’Ajustement Procruste généralisé) (Generalized Procruste Analysis, GPA).....</b>	<b>49</b>
<b>3 Analyse en composantes principales (ACP).....</b>	<b>50</b>
<b>4 Effet de la souche sur la forme du bec.....</b>	<b>53</b>
4.1 Test de Hotelling (Claude, 2008) .....	53
4.2 Calcul de l'erreur de mesure d'après Bailey and Byrnes (1990) .....	54
4.3 Analyse factorielle discriminante (AFD) .....	54
<b>5 Discussion.....</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>59</b>
<b>ANNEXES</b>	

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le bec est un outil polyvalent et indispensable, utilisé par l'oiseau comme unique organe pour toucher l'environnement et particulièrement l'aliment, faire le toilettage de son plumage, boire, manger, se défendre, faire son nid ou cocher une femelle. Cependant, tous les propriétaires de poules ont déjà vu certaines de leurs poules piquer du bec sur la tête de leurs congénères, d'autres s'arracher les plumes, quelquefois jusqu'au sang, et d'autres encore se picorer le cloaque, c'est le picage !

Le picage des plumes est un problème qui nuit au bien-être des poules, car il provoque de la douleur et augmente les risques de cannibalisme (Anne Macey, 2009). Bien que le picage ne soit pas un problème nouveau, il est notoirement difficile de prévenir et de traiter en même temps.

Les effets des méthodes de traitement des becs utilisées pour la volaille afin de réduire les dommages causés par ce phénomène sont très variables (Cunningham 1992).

Il semble qu'un époinçage modéré pratiqué avant l'âge de 10 jours n'induit pas de douleur d'amputation durable (Gentle et al 1997). Néanmoins, les facultés sensorielles de l'animal restent fortement réduites. Il existe d'autre part une grande discordance entre les pratiques de terrain efficaces (débecquage important et tardif si on veut dissuader le picage) et les recommandations de débecquage précoce et limité pour éviter une douleur chronique. Les nouvelles techniques d'élevage qui nécessitent le débecquage et qui sont souvent proposées pour « améliorer la condition des animaux d'élevage » posent un problème éthique dont l'Homme sous-estime l'importance car il est lui dépourvu de bec.

La morphologie du bec est un trait important sur le plan écologique pour les oiseaux. La taille et la forme du bec sont cruciales pour l'adaptation à de nouvelles conditions d'élevage et une utilisation optimale des sources de nourriture existantes.

Les analyses de la morphométrie traditionnelles de la forme du bec chez la volaille ont utilisé des mesures linéaires notamment de longueur, de profondeur et de largeur pour décrire la variation de la morphologie du bec.

---

Cependant, ces mesures sont limitées car elles ne véhiculent aucune donnée géométrique sur la forme du bec et le peu d'informations fournies n'est pas indépendant de la taille du bec.

La morphométrie géométrique basée sur les points repères (Landmarks) a été appliquée avec succès pour étudier les différences morphologiques de la forme du bec chez certaines espèces d'oiseaux. Comparée à la morphométrie traditionnelle, la morphométrie géométrique permet de séparer les variations de taille et de forme. Cette approche moderne bénéficie également d'une puissance statistique accrue.

L'objectif de cette étude consiste à analyser la forme du bec chez deux souches différentes de poulet de chair Cobb 500 et Hubbard Classic, et ce par l'utilisation de la morphométrie moderne basée sur les points repères, pour voir comment il serait possible de sélectionner des poulets avec des becs plus adaptés de façon à réduire, voire éliminer les dommages causés par le picage des plumes.

## 1 Systématique de la poule *Gallus gallus domesticus*

La poule domestique (*Gallus gallus domesticus*) est un oiseau qui appartient à l'ordre des "galliformes", à la famille des "phasianidés" et au genre "Gallus" (Tableau 1). A cause des caractéristiques spécifiques des femelles ou des mâles, l'espèce est souvent définie par le nom coq ou poule mais dans la plupart des cas, le nom poule désigne les deux sexes.

**Tableau 1** : Systématique de *Gallus gallus domesticus* (Singhapol, 2003).

<i>Règne</i>	<i>Animal</i>
<i>Sous-règne</i>	<i>Métazoaires</i>
<i>Embranchement</i>	<i>Chordés</i>
<i>Sous-embranchement</i>	<i>Vertébrés</i>
<i>Classe</i>	<i>Oiseaux</i>
<i>Ordre</i>	<i>Galliformes</i>
<i>Famille</i>	<i>Phasianidés</i>
<i>Genre</i>	<i>Gallus</i>
<i>Espèce</i>	<i>Gallus gallus domesticus</i>

## 2 Historique et l'origine des poules

Il y a plus d'un million d'années, le genre *Gallus* était probablement constitué d'une seule population s'étendant sur tout le continent eurasiatique. Pendant les périodes de glaciation, le genre *Gallus* se serait trouvé divisé en trois groupes : le groupe méditerranéen ou moyen-oriental, le groupe indien et celui d'Asie de l'Est. Seul le groupe indien aurait survécu et évolué pour donner naissance aux quatre espèces actuellement reconnues :

- Le coq Doré: *Gallus Gallus*.
- Le coq de La Fayette: *Gallus Lafayettei*.
- Le coq de Sonnerat: *Gallus Sonnerati*.
- Le coq Vert de Java: *Gallus Varius*.

La plupart des auteurs pensent que l'espèce ancestrale de la poule serait le *Gallus gallus* (poule de jungle Asiatique). Celle-ci donne non seulement des produits fertiles avec les poules domestiques actuelles mais partage en outre le chant et le plumage.

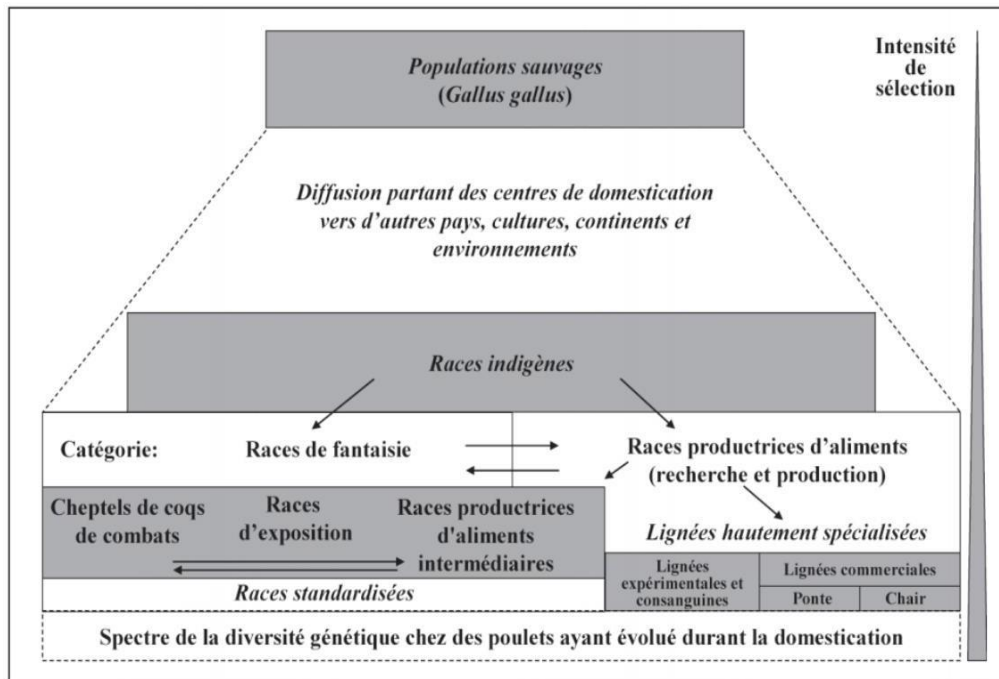
### 2.1 Diffusion et domestication

La domestication de la poule a commencé en Asie il y a environ 8.000 ans avant Jésus-Christ. Sa diffusion s'est effectuée graduellement, allant de l'Est à l'Ouest et a fini par couvrir le globe. L'introduction des poules en Afrique n'est pas très documentée. En Égypte, la première représentation d'un coq remonte à 1400 ans avant J-C, mais aucune autre trace n'a pu être retrouvée jusqu'à environ 600 avant J-C. Cela pourrait s'expliquer par la diminution des échanges commerciaux avec l'Inde via la Mésopotamie (Coltherd, 1966). Puis, des restes squelettiques indiquent, de nouveau, sa présence en Égypte en 332 avant J-C, tandis que les recherches récentes en Afrique Subsaharienne situent la présence des poules en Afrique au 5ème siècle de notre ère, bien avant l'arrivée des européens (MacDonald et Edwards, 1993).

### 2.2 Evolution de la diversité génétique de la poule domestique

La diversité génétique de l'espèce *Gallus gallus domesticus*, constituée d'un ensemble de populations (Figure 1), serait le résultat d'une domestication de 7 à 8 millénaires à travers une dissémination qui fût assurée par les migrations humaines (West et Zhou, 1988). Les éleveurs ont observé et mis à profit les modifications génétiques, et par une sélection ciblée de certains types génétiques et la pression sur leur variabilité, ils ont créé une extraordinaire diversité représentée par des centaines de races de poules.

Cette variabilité concerne aussi bien les caractères extérieurs (forme physique, couleur du plumage, huppés, plumage soyeux, absence de queue, cou nu, forme naine...) que les performances de production (viande ou œufs).



**Figure 1:** Évolution de la diversité génétique de la poule domestique (Larivière et Leroy, 2008).

## 2.3 Types de races

### 2.3.1 Races traditionnelles

En Europe, nous distinguons deux catégories : la première concerne les races destinées pour la production. Un total de 238 races traditionnelles de poulet provenant de 34 pays, d'origines différentes, a été inventorié (Lariviere et Leroy, 2008). Ce sont des races pures, standardisées, généralement, à très petits effectifs et élevées dans un système nommé « en basse-cour ». La deuxième catégorie regroupe les races d'oiseaux d'ornement et des coqs combattants. Ces oiseaux représentent, ensemble, une diversité non négligeable et plusieurs pays ont mis au point des programmes pour les conserver dans des institutions de recherche.

En Afrique, Il n'existe pas de races autochtones, à proprement dit, mais des «populations» non standardisées, à plumage varié avec quelques traits communs (FAO, 2013). Elles sont très rustiques et cette qualité particulière leur permet de survivre dans les villages sans aucun soin particulier : elles peuvent vivre en divagation, sans aucune infrastructure de logement, alimentation ou abreuvement. En l'absence de tout programme de sélection, ces populations restent caractérisées par une diversité génétique considérable mais avec de faibles performances zootechniques.

### 2.3.2 Races reproductrices

La production d'œufs et de viande de volailles a connu une évolution spectaculaire au XX<sup>e</sup> siècle, pour aboutir à une véritable industrie avicole dans les pays développés. On distingue deux types : les lignées commerciales hautement sélectionnées et les lignées labels à croissance lente.

#### 2.3.2.1 Lignées Commerciales

En Europe, vers les années 50 et 60, l'utilisation des animaux croisés ou hybrides aux performances plus élevées s'est imposée en élevage de volailles de rente. La conséquence en fut forcément la séparation entre l'élevage commercial et l'élevage des races pures. Les élevages d'amateurs des races pures se consacrent au maintien de la diversité génétique et la sélection pour des caractères phénotypiques, tandis que les critères de productivité ont été exploités par les sélectionneurs industriels et les instituts de recherche (Lariviere et Leroy, 2008).

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. Pour les poulets de chair, les sélectionneurs orientent la recherche vers une production de poulet jouissant d'une bonne qualité et quantité de la carcasse (Beaumont et Chapuis, 2003). Chez les poules pondeuses, les caractères relatifs à la qualité des œufs (solidité de la coquille, proportion du jaune et la recherche du poids optimum de l'œuf) ont reçu une attention soutenue (Tixier-Boichard, 1992).

#### *2.3.2.2 Poulets labels*

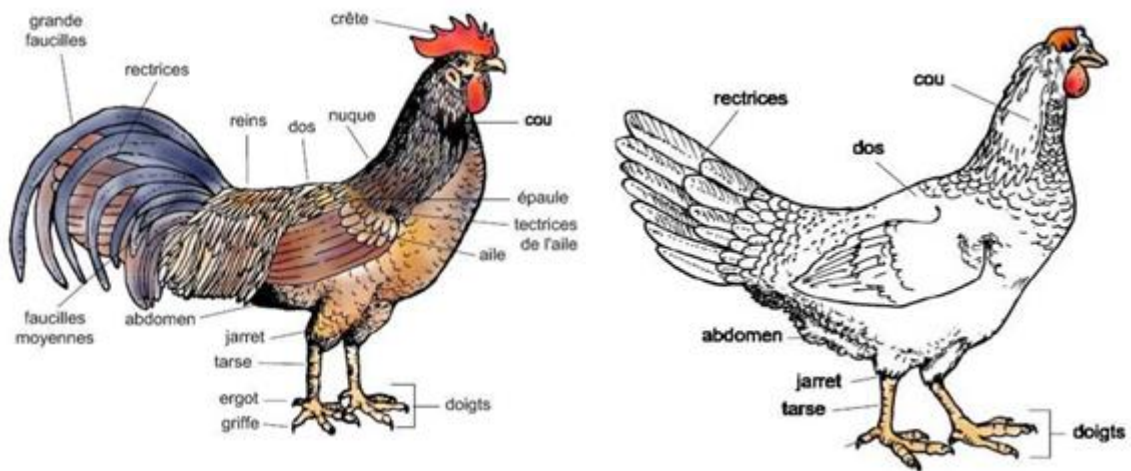
Le poulet label est un poulet, amélioré aux performances intermédiaires, à plumage coloré et à croissance lente et qui est élevé sous mode extensif. Les sociétés de sélection spécialisées dans ce type de production offrent par conséquent un choix varié de combinaisons de croisements pour pouvoir moduler 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 labels. Mais les contraintes de production du poulet label (coût de production très élevé comparé à celui du poulet standard) constituent des facteurs limitant pour son exploitation dans les pays en développement (Fotsa, 2008).

### 3 Anatomie générale de la poule

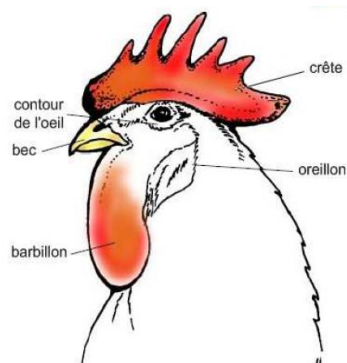
L'anatomie de la poule aborde la présentation intérieure de la poule: le squelette, les organes des sens, l'appareil uro-génital, respiratoire et l'appareil digestif.

L'anatomie des poules est organisée autour de la faculté qu'ont ces oiseaux de voler: les os sont légers et l'appareil digestif court.

Le pouls de la poule est nettement plus élevé que celui des mammifères: de 240 à 340 battements par minute. La chaleur corporelle également: 41,6 °C chez le poulet.



**Figure 2 :** à gauche : Morphologie du Coq ; à droite : Morphologie de la poule.



**Figure 3 :** Morphologie de la Tête du coq (genre Gallus)

### 3.1 Squelette

Le squelette de l'oiseau est pneumatisé (pour aider à la légèreté de l'oiseau), De nombreux os sont creux et en relation des sacs aériens de l'appareil respiratoire. Le bec est conçu pour couper l'air. Les muscles sont lourds (jusqu'à 1/5 du poids de l'oiseau), mais ils jouent un très grand rôle dans le vol.

Le squelette comporte 2 types d'os:

- longs, plats et spongieux
- creux et remplis d'air

L'os du sternum, très développé, présente une bosse appelée bréchet.

Le bassin et la colonne vertébrale sont soudés pour plus de rigidité.

Le nombre de vertèbres cervicales constitue également une particularité: la poule en possède 14. Celles-ci permettent aux animaux de tourner la tête dans tous les sens, ce qui compense la position latérale des yeux.



**Figure 4 :** Squelette de la poule (genre Gallus)

### 3.2 Organes du sens

L'œil est l'organe sensoriel dominant: la poule voit jusqu'à 50 m. Son acuité visuelle est tellement remarquable qu'elle peut voir un ver à 2cm de son bec et, en même temps, un avion en altitude.

La volaille, comme les oiseaux, ne possède pas d'oreille externe. Un peu en arrière des yeux se trouve un conduit auditif protégé par de petites plumes. La poule peut entendre des cris jusqu'à 50 m de distance. Son ouïe est aussi très développée.

Son sens gustatif lui permet de se soigner de manière instinctive et de ne pas consommer des aliments contaminés par certaines toxines

Son sens olfactif est peu développé.

### 3.3 Appareil digestif

On commencera par noter des absences: les lèvres, les dents, le voile du palais, le pharynx.

Après la *bouche* se trouve l'*œsophage* avec une partie dilatée appelée *jabot* où les aliments trempent dans du mucus. En palpant le jabot, on peut savoir si un animal a mangé ou non.

Plus loin, les sucs gastriques sont sécrétés dans le *pro-ventricule*, aussi appelé ventricule succenturié.

Puis le bol alimentaire arrive dans le *gésier*. Il s'agit d'un organe musculaire arrondi ayant une paroi épaisse. En absence de dents, le gésier contient souvent de petits cailloux qui aident au broyage des aliments. Ces cailloux restent dans le gésier et ne sont donc pas évacués avec la bouillie alimentaire.

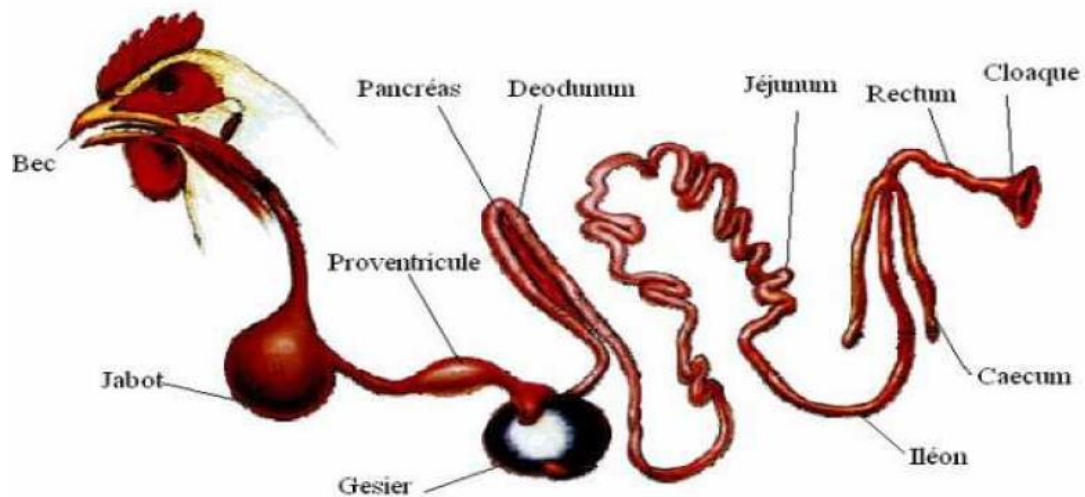
Dans l'intestin grêle, les aliments sont encore davantage décomposés, grâce aux sécrétions du foie et du pancréas. Les substances nutritives sont absorbées et passent dans le sang.

Là où l'intestin grêle et le gros intestin se rejoignent, on retrouve 2 culs-de-sac, les caecums. Là certains aliments, comme la cellulose, fermentent.

La cellulose est décomposée dans le *gros intestin*.

Déjections de l'intestin et urines sont ensuite évacuées via le *cloaque*.

Comme pour tous les oiseaux, il est important que l'alimentation et la digestion n'alourdissent pas exagérément l'animal; ce qui pourrait entraver le vol. La longueur de l'intestin par rapport à la longueur du corps est donc faible en comparaison avec un bœuf par exemple ou un porc.



**Figure 5** : Tractus digestif du poulet

#### 4 Anatomie du bec

Un bec, au sens strict, est une structure anatomique externe qui permet la prise alimentaire et donc la nutrition chez les oiseaux. Mais il permet aussi la toilette de l'animal, la nutrition des jeunes, la chasse d'une proie, la manipulation d'objets, et peut aussi être un élément important pour la parade nuptiale

Le bec de l'oiseau s'apparente à la bouche du mammifère mais est dépourvu de dent et recouvert de corne qui repousse au fur et à mesure de son usure.

La partie visible du bec est une production cornée ou rhamphothèque. Au même titre que les griffes, sa croissance est continue. Elle doit être compensée par une usure régulière par frottement des deux mâchoires entre elles, sur les aliments ou sur des objets non comestibles.

Le bec est composé de deux parties : dorsalement la maxille ou mandibule supérieure ; ventralement la mandibule ou mandibule inférieure (ALAMARGOT. J 1982).

- **La maxille**

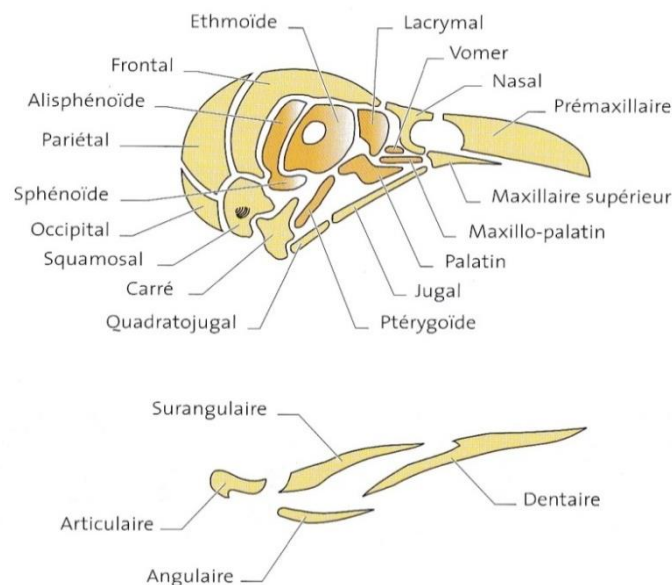
Le squelette de la maxille est constitué principalement de l'os prémaxillaire. Il est recouvert d'une production cornée : la rhinothèque. Qui peut être simple (formée d'une seule pièce par mandibule) : c'est le cas le plus fréquent, ou composée (formée de plusieurs pièces) : procellariiformes, Péléciformes, Alciformes, et Labbes.

La maxille est perforée de deux narines qui sont protégées par un opercule chez la Poule et le Pigeon, par des plumes raides chez le Canari. Chez la Perruche et les Rapaces diurnes, les narines sont incluses dans une production charnue et lisse : la cire.

La maxille est légèrement mobile par rapport au crâne chez tous les oiseaux mais surtout chez les Canaris, les Perroquets et les Perruches (ALAMARGOT. J 1982).

- **La mandibule**

Le squelette de la mandibule est constitué de l'os dentaire. Il est recouvert de la gnathothèque, généralement moins développée que la rhinothèque. La mandibule est articulée avec le crâne par l'intermédiaire de l'os carré (ALAMARGOT. J 1982).



**Figure 6** : la structure du crâne et des mandibules

#### 4.1 Forme du bec et l'adaptation au régime alimentaire :

Au fil du temps, les espèces ont développé un certain nombre de caractères physiques leur permettant de survivre dans différents milieux, c'est ce qu'on appelle l'adaptation. Adaptation sur le plan alimentaire, sur le plan de la locomotion, du milieu de vie, des relations prédatrices et proie, en bref, nous observerons les stratégies évolutives qui leur ont permis d'être présents dans tous les milieux aujourd'hui.

Une adaptation est une caractéristique physique ou comportementale qui permet à une espèce animale ou végétale de survivre dans son milieu.

L'une des plus remarquables adaptations physiques chez les animaux est la forme du bec chez les oiseaux.

Le bec est utilisé essentiellement pour la préhension des aliments, il offre une grande diversité de formes dans la classe des oiseaux qui est traduit avant tout le reflet d'une adaptation à un régime alimentaire particulier.

C'est pourquoi la forme du bec est un des éléments importants utilisés pour la classification scientifique ou taxonomie des oiseaux.

Le bec lamellé du Canard lui permet de filtrer la vase. Le bec cylindrique et très long de la Bécasse lui permet de rechercher des vers et les larves dans le sol. Les becs forts et coniques (Poules, Dindons, Canaris, etc....) sont les moins spécialisés mais témoignent plutôt d'un régime granivore.

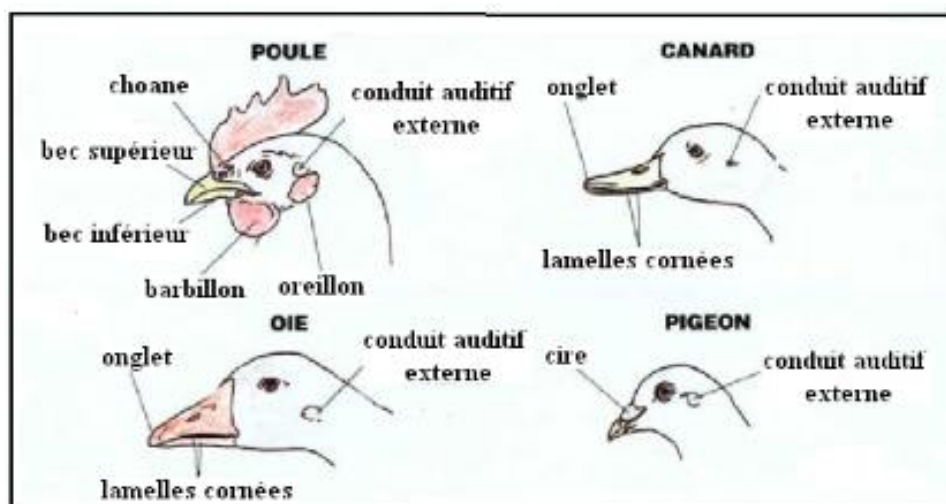


Figure 7 : les différents becs des volailles (VILLATE. D 2001).

L'alimentation varie selon les espèces, dépendant de ce que l'habitat a à offrir. Question de survie, la forme du bec est adaptée au régime alimentaire de l'oiseau et à sa façon de manger; c'est une adaptation morphologique.

Les oiseaux en général ont un type de nourriture bien précis, mais Sont aussi capables d'adapter leur régime alimentaire aux modifications de leur environnement.

## 5 Processus de sélection des souches de poules

L'établissement d'un élevage afin de produire de la viande et des œufs est un processus extrêmement complexe nécessitant une sélection précise de nombreux caractères de lignées de poules afin de s'assurer que le produit final de croisement des volailles ait requis toutes les qualités recherchées (Pym, 2013c).

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération avant la sélection des souches de poules si c'est pour la production de viande, des œufs ou les deux à la fois.

Bien que toutes les souches de poules descendent du Red Jungle Fowl du sud-est asiatique, des générations de sélections génétiques ont permis le développement des races de caractères spécifiques (Jacob et Pescatore, 2012).

À la maturation, le poids du Red Jungle Fowl est d'environ 1Kg et les femelles peuvent pondre entre 10 et 12 œufs par cycle de ponte. La sélection génétique a permis aux races de poules d'obtenir une bonne production de viande allant jusqu'à 3Kg, et une bonne production des œufs pouvant même dépasser 300 œufs/an (Jacob et Pescatore, 2012).

### 5.1 Objectifs de la sélection chez les volailles

#### ➤ Poulets de chair

Dans le programme d'élevage des poulets, la sélection concerne:

\* L'utilisation efficace de l'aliment: l'alimentation occupe environ 70% des coûts de production, la capacité des poulets à convertir l'aliment consommé en muscles est un critère important de la sélection directe de ces poulets ;

\* Le rendement du bréchet: à cause du prix élevé de la viande du bréchet dans les pays développés, des efforts considérables ont été dirigés envers l'amélioration de ce caractère. La meilleure approche inclus une sélection basée sur la conformation et plus récemment sur des mesures technologiques indirectes telles que l'échographie temps-réel ;

\* L'ascite: l'élevage visant un développement rapide et un rendement élevé de la viande du bréchet entraîne une insuffisance du système cardio-pulmonaire. La sélection est basée sur l'oxymétrie et l'étude des taux plasmatiques de la Troponine-T. Les taux d'atteintes d'ascite sont maintenant réduits même dans les altitudes ;

\* Les anomalies du squelette: un taux élevé des poulets ayant un développement rapide rencontre une immaturité du cartilage, cela engendre une incidence élevée des anomalies des pieds.

La sélection basée sur la démarche, la morphologie et l'imagerie à rayon X a permis la diminution d'apparition des cas de dyschondroplasie tibiale, spondylolisthésis et la maladie de valgus et varus u genou dans de nombreux élevages de poulets, mais les anomalies du squelette restent toujours la contrainte majeure dans les programmes d'élevage (*Pym, 2013c*).

➤ **Poules pondeuses**

Dans le programme d'élevage des poules commerciales, la sélection est basée sur:

\* Le nombre et le calibre des œufs: l'amélioration génétique de la production des œufs (quantitative et qualitative) est contrariée par la nature du caractère (ponte) qui est fortement canalisée sous l'effet des contraintes du photopériodisme, des corrélations négatives entre le nombre et le calibre des œufs pondus, des variations dans l'augmentation du calibre des œufs avec l'âge et des besoins de prévoir le maintien de la ponte chez la reproductrice avant le début de la troisième phase de l'élevage ;

Des ordinateurs très puissants et des logiciels statistiques très sophistiqués basés sur les procédures de la meilleure prédiction linéaire sans biais (Best linear unbiased Prediction BLUP), ont été utilisés afin de prévoir la persistance des performances de ponte chez les troupeaux actuels, en permettant l'instauration d'une sélection précoce et le maintien d'un intervalle relativement court entre les générations successives ;

\* La qualité des œufs: la qualité de la coquille dépend de sa solidité, couleur, forme et texture; les trois premiers critères sont héréditaires, ce qui facilite la sélection. La couleur de la coquille est déterminée exclusivement par le génotype, et la sélection est basée sur une mesure de réflectance en utilisant la spectrophotométrie. La solidité de la coquille est un facteur très sensible qui peut affecter la rentabilité. Ce critère est déterminé par la mesure de l'épaisseur de la coquille, la densité (pour les œufs frais), les déformations de la coquille et autres paramètres directs et indirects. La texture de la coquille et les défauts ainsi que les dépôts de sang affectent la qualité de l'œuf ;

\* La sélection dans les poulaillers et les parcours libres: une sélection efficace du nombre des œufs et leur qualité n'était pas faisable avant, quand les poules étaient élevées dans des enclos, des poulaillers ou des parcours libres. Récemment, avec le développement de la technologie, l'utilisation des nids avec un détecteur qui enregistre

la production d'un œuf, cette technique permet de tracer ou de trouver la poule qui a produit l'œuf pour enfin étudier ses qualités. (Pym, 2013c)

## **5.2 Types ou modes de sélection des volailles**

L'histoire de la sélection montre une évolution du simple au complexe, du subjectif à l'objectif mathématique (Boyer, 1952). Durant les premiers élevages effectués, la sélection était basée sur les performances des sujets, autrement dit sur les caractères phénotypiques (Wolc, 2014). Virgile rapporte que les Romains choisissaient pour semences leurs grains les plus lourds. C'est donc sur le phénotype que les premiers essais de sélection ont été réalisés (Boyer, 1952). Cette méthode est efficace pour les caractères à haute héritabilité et qui sont présents chez tous les sujets sélectionnés (par exemple, le poids du corps). Cependant, cette méthode n'est pas utilisée pour les caractères limités au sexe tels que la production des œufs et leur qualité ; et elle est moins efficace pour les caractères à faible héritabilité (par exemple, la résistance aux maladies) (Wolc, 2014). Mais la poule étant naturellement destinée à pondre des œufs et à fournir de la chair à l'homme qui cherche toujours les moyens de reconnaître l'animal productif à certains signes extérieurs.

L'introduction du nid-trappe et de la statistique a permis ensuite un progrès considérable de l'aviculture, allant de pair d'ailleurs avec le perfectionnement de techniques d'élevage telles que l'alimentation et l'habitat. Mais l'outil génétique et statistique devait permettre une compréhension et un développement plus grand encore de la production, en ne jugeant plus l'animal sur ses propres performances, mais aussi sur son patrimoine héréditaire, garantie plus valable de l'excellence de sa progéniture (Boyer, 1952).

### **➤ Sélection massale**

La sélection massale est une méthode de sélection phénotypique où l'individu est jugé sur son extérieur, son standard, sa conformation, sa production, enfin sur des corrélations phénotype génotype.

Cette méthode est donc extrêmement simple; mais elle s'avère insuffisante du fait qu'elle ne tire aucun parti de notions relativement sommaires de génétique et de statistique (Boyer, 1952).

Ainsi, le jugement de l'animal sur son phénotype n'est en fait que le jugement de l'interaction de son génotype avec le milieu. Dans le cas simple d'un gène dominant, nous savons que le phénotype de l'individu hétérozygote cache un gène récessif.

La sélection massale ne sera donc efficace que dans le cas d'un caractère récessif monofactoriel ou d'un caractère polygénique à haute héritabilité, c'est à dire indépendant du milieu alors que, dans le cas d'un caractère dominant, ou faiblement héritable, son efficacité restera limitée (Boyer, 1952).

Les premiers éleveurs comptaient uniquement sur la sélection massale basée sur les caractères propres à l'individu. Le principal objectif des éleveurs à l'époque était de produire des animaux à croissance rapide, ils ont donc choisi le poids du corps comme critère en sélectionnant les mâles et les femelles les plus lourds. Ils ont par la suite trouvé que le poids du corps est modérément héréditaire et il est de 20 à 40% génétiquement contrôlé. Bien que, ce processus de sélection a aidé à augmenter les performances des poulets à travers les générations (Boyer, 1952).

À travers les années, les exigences du marché ont changé les critères de sélection. Le développement d'une industrie intégrée et consolidée a démontré que le poids et le taux de croissance seuls ne peuvent pas être le seul et unique critère de sélection pris en considération (Elfick, 2006).

### ➤ **Sélection génomique**

L'incorporation de la technologie génomique dans le programme d'élevage de la volaille commerciale a permis aux éleveurs actuels qui comptent toujours sur la sélection massale de s'investir dans la recherche génomique (Elfick, 2006).

Les évaluations génomiques utilisent trois types d'informations : généalogies, performances (phénotypes) et génotypes. À partir d'une population de référence suffisamment grande, constituée d'individus disposant à la fois des phénotypes d'intérêt et des génotypes aux marqueurs génétiques, ont établies les relations entre phénotypes et marqueurs. Ces relations sont ensuite extrapolées pour prédire la valeur génétique des sujets à la sélection, sur la base de leur génotype aux marqueurs, bien avant qu'ils ne disposent de performance (Brochard et Boichard, 2012).

La sélection génomique consiste à sélectionner des reproducteurs sur la base de leur valeur génétique prédite à partir d'informations moléculaires, généralement des marqueurs génétiques répartis sur le génome (Brochard et Boichard, 2012),

qui permettent d'améliorer l'efficacité de la sélection en fournissant une évaluation précise de la variation génétique naturelle entre les sujets et l'associer avec les caractères à intérêt économique (Wolc et al, 2015).

Donc le principal objectif de la sélection génomique des volailles est d'établir une sélection précise des importants caractères commerciaux qui peuvent être directement enregistrés pour un seul sexe (production des œufs, poids des œufs, coquille...) (Wolc et al, 2015).

L'amélioration génétique des animaux domestiques a abouti, chez toutes les espèces, à la création de souches ou lignées caractérisées quant à leurs aptitudes zootechniques. Mais l'évolution moderne tend à ne conserver que les plus performantes d'entre elles qui sont alors très largement utilisées au détriment de toutes les autres. La crainte d'une disparition pure et simple de ces dernières, c'est à dire la perte d'une part importante de la variabilité génétique, a poussé de nombreux scientifiques à insister pour qu'une action de conservation de ce patrimoine soit entreprise (Ricard et Petitjean, 1988).

### **1 De la morphométrie « traditionnelle » à la morphométrie géométrique**

#### **1.1 Morphométrie « traditionnelle » : inconvénients et limites**

Le terme de « morphométrie » vient du grec ancien où « morphê » signifie la forme, et «metron », la mesure.

La morphométrie « traditionnelle » se base sur la comparaison de distances linéaires et d'angles entre des points homologues de différents objets. Elle est un outil de biologie comparative, puisqu'elle permet de comparer la forme de différents spécimens.

Cette morphométrie « traditionnelle » présente cependant de nombreux inconvénients; ce qui explique qu'elle a ensuite évolué vers la morphométrie dite « géométrique ».

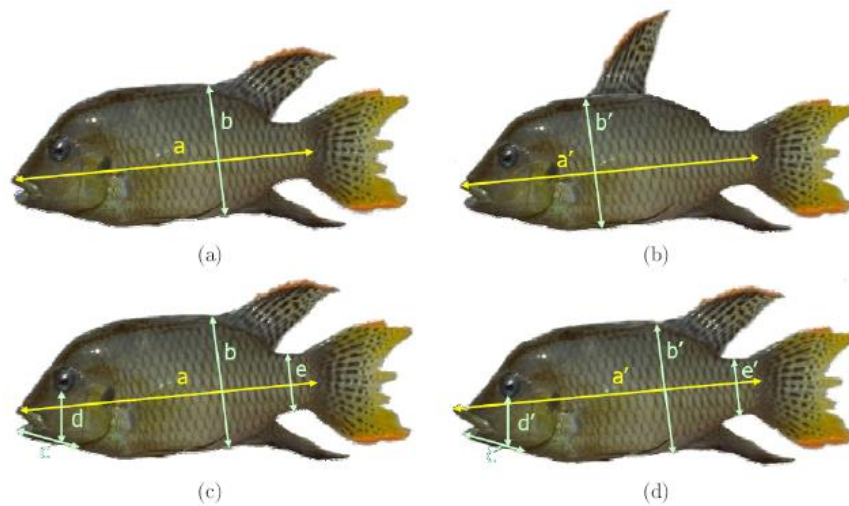
Les inconvénients rencontrés en morphométrie « traditionnelle » sont liés aux mesures des distances linéaires.

Tout d'abord, les distances mesurées sont fortement corrélées à la taille des individus, elles nécessitent une correction. L'utilisation de rapports de distances (indices) permet de « Gommer » la différence d'échelles entre deux objets, mais entraînera nécessairement des imprécisions importantes.

De plus, deux objets de formes complètement différentes, peuvent présenter des distances linéaires ou des indices identiques (hauteur, largeur,...).

Du fait de ces inconvénients, les relations géométriques entre les variables ne sont pas conservées, ce qui rend impossible la représentation graphique de la forme de l'objet. La morphométrie « traditionnelle » ne permet donc pas de conserver les informations de forme d'un objet, c'est-à-dire sa configuration.

La morphométrie géométrique a été développée afin de pallier ces limites, en conservant et comparant très précisément les configurations de différents objets (Perrard, 2012).



**Figure 8:** Les variables de taille peuvent être un modèle de forme insuffisant comme indiqué en (a) et (b).  $a = a'$ ,  $b = b'$  qui mènerait à la conclusion que les formes sont égales. Les ratios de longueur peuvent être utilisés comme indiqué en (c) et (d) le problème est qu'un  $a \neq a'$  et les longueurs sont comparées  $b/a \neq b'/a'$ ,  $c/a \neq c'/a'$ ,  $d/a \neq d'/a'$ ,  $e/a \neq e'/a'$  Les formes sont complètement différentes même si  $b = b'$ ,  $c = c'$ ,  $d = d'$ ,  $e = e'$  (d'après Adriaens, 2005).

### 1.2 Evolution vers la morphométrie géométrique

Les pionniers de la morphométrie géométrique (MG) sont les statisticiens Kendall et Bookstein, vers la fin des années 70.

Bookstein parlera d'une « révolution de la quantification », qui a conduit à la naissance de la morphométrie géométrique, dont il donne cette définition : « la morphométrie repose sur l'analyse des variations de forme et de leur covariation avec d'autres variables ».

A l'instar de la morphométrie « traditionnelle », dont elle dérive, la morphométrie géométrique est utilisée en biologie comparative. Elle permet d'étudier les variations morphologiques entre les espèces.

Ses objectifs sont d'une part, d'identifier les homologies ou les variations morphologiques entre différentes espèces, d'autre part de déterminer la phylogénie des espèces étudiées, c'est-à-dire d'établir les relations de parenté entre ces espèces. Leur connaissance permet de mieux comprendre l'évolution à partir d'un ancêtre commun.

Cependant, à la différence de la morphométrie « traditionnelle », la MG va considérer la forme, indépendamment de la taille de l'objet d'étude et va s'attacher à la « conformation géométrique » d'un objet (Kendall et al, 1999).

### 2 Principaux concepts de morphométrie géométrique

#### 2.1 Notion de « conformation géométrique »

L'équation de Needham donne une définition synthétique de la conformation géométrique d'un objet : « forme = taille + conformation ». Elle définit donc la forme d'un objet comme l'association de sa taille (ou l'échelle de l'objet), et de sa conformation géométrique.

Ainsi, la conformation géométrique correspond à la forme de l'objet, indépendamment de sa taille (conformation = forme – taille). Cette équation peut se vérifier, par la reconnaissance intuitive d'un objet (sa conformation géométrique) dans une représentation qui n'est ni à la même échelle, ni dans la même orientation que l'original.

C'est cette même conformation géométrique que la MG vise à quantifier.

En MG, la conformation géométrique d'un objet peut être décrite par différents moyens : surfaces, courbes de contour, ou points-repères. La technique des points-repères est la plus utilisée, la conformation géométrique est alors décrite par les coordonnées des points-repères, et reste indépendante de la taille, de la rotation et de la localisation de l'objet (Bookstein, 1991).

#### 2.2 Points-repères

Les points-repères (ou « landmarks ») choisis sur un objet sont nécessaires à la description de sa conformation géométrique, lors d'une étude de MG.

Il s'agit de points précis et homologues, c'est-à-dire repérables de façon certaine sur l'ensemble des individus comparés dans l'échantillon.

Bookstein (1991) distingue trois types de points-repères nommés type I, type II, et type III (Figure 1, page suivante).

- Point-repère de type I : point situé à l'intersection de différents tissus ou éléments architecturaux ; l'homologie est certaine.

Exemple : le bregma, qui est un point du crâne situé à l'intersection de l'os frontal, et des deux os pariétaux.

- Point-repère de type II : point situé à l'extrémité d'un même tissu ou d'une structure (ex : maximum de courbure) ; l'homologie qui repose seulement sur la géométrie de l'environnement anatomique est discutable.

Exemple : le basion, qui est un point crânien situé dans la région bordant le foramen magnum.

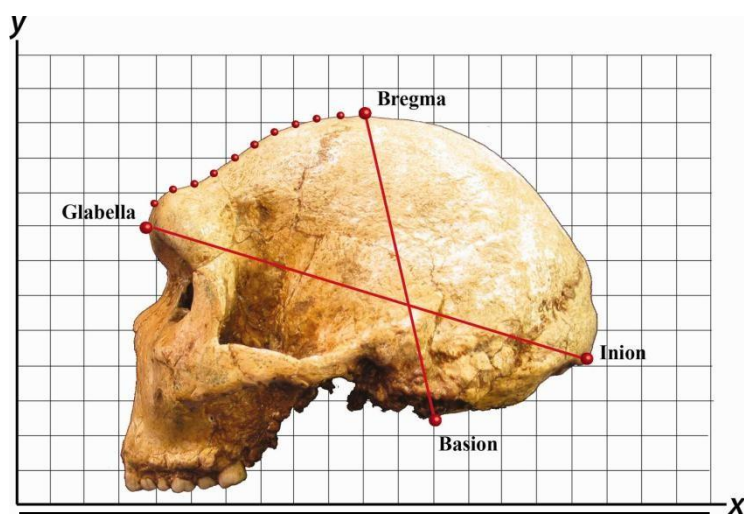
- Point-repère de type III : point construit par l'expérimentateur, situé à distance d'un élément anatomique repérable ; l'homologie est très incertaine.

Exemple : la glabella qui est définie comme le point le plus antérieur, passant par la ligne médiane de l'os frontal (lorsque le crâne est orienté selon le plan de Francfort).

Ainsi, une étude de morphométrie géométrique fiable (qui permet une bonne comparaison des conformations géométriques), devra utiliser un maximum de points-repères de type I.

### 2.3 Points glissants

Dans certaines situations, par exemple pour l'étude d'une région anatomique dépourvue de points-repères identifiables et précis, l'utilisation des points-repères peut s'avérer insuffisante. L'expérimentateur aura alors recours aux points glissants (ou « sliding semilandmarks »).



**Figure 9** : Localisation des quatre principaux points-repères du crâne humain (d'après Baab et al. 2012)

Les points glissants sont une série de points ordonnés. Un ensemble de points glissants désigne une zone, un contour, ou une surface, et la comparaison d'objets de formes différentes passe par la recherche d'homologies entre deux ensembles de points glissants. Ils se distinguent d'un point-repère qui désigne un point précis, et qui est comparé individuellement à un autre point-repère homologue.

Avec les points glissants, c'est une homologie de structure ou de surface globale de l'objet qui est étudiée.

### 3 Avantages et limites de la morphométrie géométrique

L'analyse morphologique occupe une place importante en biologie. Les descriptions morphologiques qualitatives permettent seulement de déterminer les variations morphologiques grossières. C'est pourquoi, des chercheurs se sont orientés vers la MG, qui permet de décrire quantitativement, et de façon très précise les variations morphologiques.

#### 3.1 Avantages

- Précision de l'analyse géométrique :

L'intérêt de la MG est de préserver la géométrie originelle des objets d'étude, grâce aux coordonnées des points-repères choisis. Ces coordonnées portent l'information exacte des relations entre chacun de ces points.

Ainsi, grâce à la MG, on enregistre davantage d'informations sur la forme des objets d'étude ; la première étape de collecte des données est donc beaucoup plus précise.

- Perspectives élargies :

La collecte plus précise des données géométriques permet une étude plus poussée de la morphologie des objets d'étude. La visualisation des différences de forme sera également plus performante.

Ainsi, le fait de collecter d'avantage de données, en enregistrant, entre autres, de nouvelles informations dans les régions situées entre les points-repères (grâce à des points glissants) ouvre les applications de la MG.

- Analyse de forme, indépendamment de la taille :

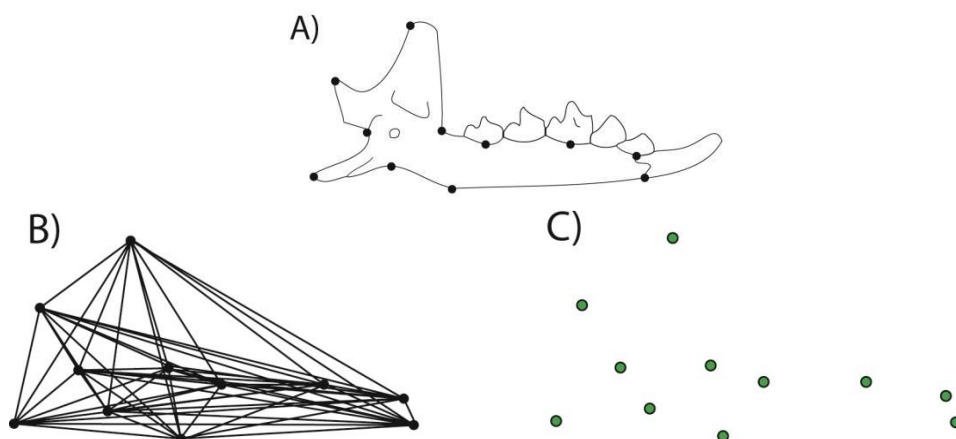
La MG permet de séparer mathématiquement les variations de forme, des variations de taille, d'orientation et de position. Ce paramètre de taille est isolé par la superposition Procruste, qui est une méthode d'alignement des conformations géométriques.

- Diminution du nombre de variables :

Le principal avantage de la morphométrie géométrique, par rapport à la morphométrie « Traditionnelle », est qu'elle nécessite un nombre de variables bien moins important pour aboutir à une description identique de la forme d'un objet : il faut moins de coordonnées (de points-repères), que de distances pour décrire une forme identique.

Ainsi, pour décrire un objet de forme complexe ou pour augmenter la précision d'une analyse morphométrique, le nombre de distances augmente de façon exponentielle, alors que le nombre de points- repères augmente, mais de façon linéaire.

Par exemple, la description d'une mandibule d'une musaraigne nécessite dix coordonnées de points-repères (c'est-à-dire cinq points-repères) ou dix distances, pour décrire sa forme en deux dimensions (Figure 10).



**Figure 10** : Description en 2D de la géométrie d'une mandibule de Musaraigne, avec 11 points-repères (d'après Perrard, 2012).

*A : Position des points repères.*

*B : Description par les 66 distances.*

*C : Description par les 22 coordonnées des points-repères.*

Pour augmenter la précision, il est possible de rajouter 6 points-repères (pour arriver à 11 points-repères) ; il faut alors 66 distances pour arriver à une description morphométrique de précision comparable.

### **3.2 Limites**

- Dans certains cas, la mise en place de la MG (collecte, analyse et traitement des points-repères) s'avère trop complexe au vu des bénéfices attendus (ex : analyse d'objets de forme simple).
- L'utilisation de points glissants permet d'enregistrer des informations concernant des zones situées entre les points-repères (zones qui n'étaient jusqu'alors pas prises en compte). Les études de MG sont donc de plus en plus performantes, mais en contrepartie, l'analyse est de plus en plus complexe.

Il est donc nécessaire de limiter le nombre de points glissants. En effet, chaque point glissant induit un grand nombre de variables, ce qui implique une complexification croissante de l'analyse.

- La MG est performant pour comparer des objets de formes très proches. A l'inverse, en comparant des objets de formes très différentes, il y a un risque important de perdre des informations sur les petites différences de forme.
- L'apprentissage des méthodes de MG est difficile.

Même si certaines analyses de MG peuvent être conduites facilement grâce à des logiciels informatiques, les analyses plus complexes nécessitent des connaissances approfondies dans des domaines tels que la géométrie, les mathématiques, et les statistiques.

Enfin, bien que la MG constitue aujourd'hui un outil performant pour la quantification des variations de forme, il ne s'agit pas d'une technique idéale et celle-ci reste perfectible

### 4 Grandes étapes de la MG

#### 4.1 Collecte des données

Comme nous l'avons vu précédemment, la MG se base sur le positionnement et la comparaison de points-repères.

Un point-repère est un point précisément défini sur le spécimen étudié, et sa position est décrite par un ensemble de coordonnées :  $x, y$ , si on le décrit en deux dimensions (2D) ;  $x, y, z$  si on le décrit en trois dimensions (3D). La collecte des données correspond à celle des coordonnées des points-repères (Baab et al, 2012).

##### 4.1.1 Collecte des données en 2D

Il est possible d'utiliser des points-repères décrits par des coordonnées à deux dimensions. Leur recueil nécessite la conservation d'une même orientation des objets, et la transposition de leur forme tridimensionnelle en 2D. Ces coordonnées peuvent donc être collectées sur images photographiques ou radiographiques, grâce à un logiciel comme le tpsDIG®. Cependant cette transposition d'objets 3D en 2D implique une importante perte d'information, qualitative et quantitative : elle est donc mal adaptée à la biologie comparative exploitant des objets 3D de forme complexe.

##### 4.1.2 Collecte des données en 3D

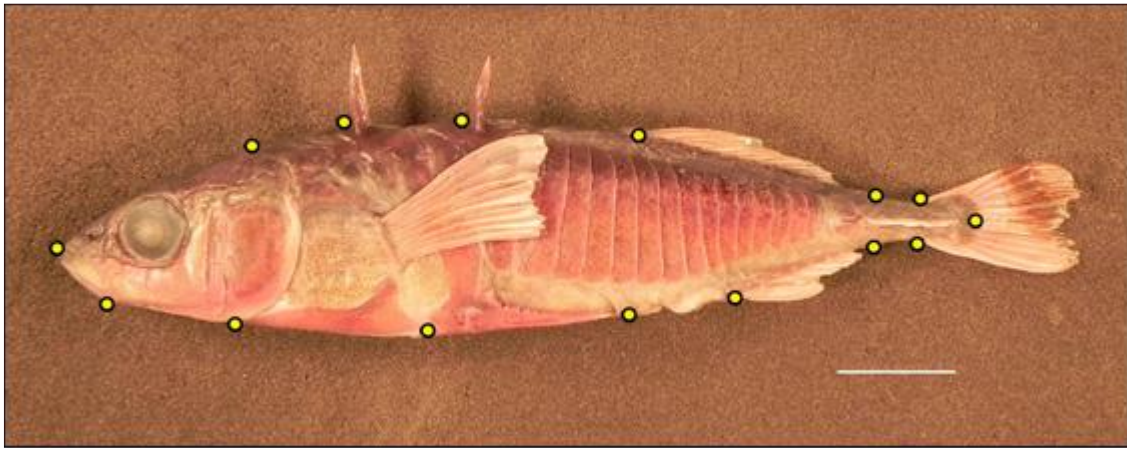
L'analyse en 3D nécessite d'utiliser des points-repères décrits selon les axes  $x, y, z$ . Il existe différents systèmes d'acquisition, tels que lasers, bras tactiles, ...

Parmi les systèmes d'acquisition par contact, le convertisseur Microscribe® consiste en un bras articulé pourvu d'un stylet. Son extrémité est positionnée sur un point-repère de la surface à étudier, permettant au système d'acquisition de calculer les coordonnées de ce point dans un référentiel donné.

Les systèmes d'enregistrement à distance (laser, caméra optique, ...) permettent une reconstitution 3D d'une surface virtuelle. La collecte des coordonnées de chaque point-repère est alors réalisée par un logiciel spécialisé, tel que Landmark Editor® ou Avizo®.

### 4.1.3 Exemple de collecte de données (Figure 11)

En 2013, Peter J. et al. ont appliqué la technique de morphométrie géométrique basée sur des repères pour étudier les différences de formes de corps écologiquement dépendantes dans un organisme modèle évolutif bien étudié, le poisson épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) : Les épinoches benthiques et planctonopodes de Cook Inlet, en Alaska,



**Figure 11:** Arrangement de repères. Image latérale du poisson épinoche avec des points de repère.

### 4.2 Technique d'alignement des conformations géométriques ou superposition Procruste

#### 4.2.1 Principes

Contrairement aux distances utilisées en morphométrie « traditionnelle », les points-repères ne sont pas invariants, c'est-à-dire qu'ils dépendent de la position de l'objet. Il est donc nécessaire d'avoir recours à une étape d'alignement des conformations géométriques, avant de pouvoir les comparer.

Ainsi, après le choix des points-repères et la collecte de leurs coordonnées, on procède à l'alignement des conformations, qui permet de comparer les conformations géométriques des différents objets, en modifiant leur orientation, leur taille, ainsi que leur position.

La conformation géométrique d'un objet étant définie par l'ensemble des coordonnées relatives entre les différents points-repères, il faudra, pour pouvoir comparer différentes conformations, les placer dans un même référentiel.

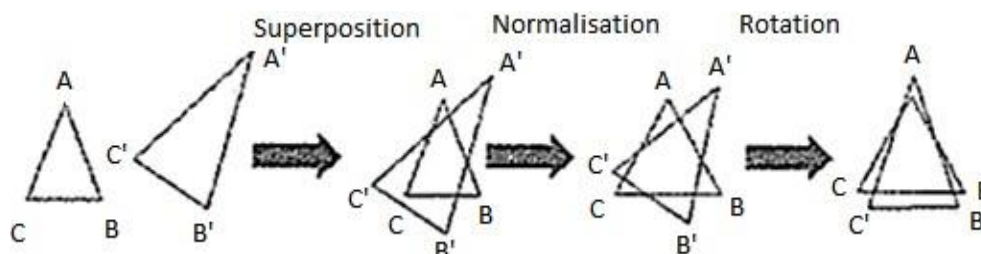
Cette étape est celle de l'uniformisation du référentiel, ou de l'alignement des conformations.

Cette méthode nécessite de s'extraire du référentiel initial d'acquisition des données. Les conformations ne sont pas modifiées lors de cette étape, mais les coordonnées finales des points-repères après superposition sont recalculées.

Parmi les différentes méthodes d'alignement des conformations géométriques, la méthode de superposition Procruste ou GPA (« generalized Procrustes analysis ») est utilisée de façon quasi-universelle en MG. Elle tient son nom de la mythologie : Procruste était un aubergiste qui étirait ou raccourcissait ses hôtes, pour qu'ils aient toujours la taille correspondante aux lits dont il disposait ; la méthode Procruste se veut être le reflet de cette conception mythologique (Evin et al, 2008).

### 4.2.2 Etapes

La GPA se compose de trois étapes, comme l'illustre la figure 12.



**Figure 12** : Les étapes de la superposition Procruste (d'après Evin et al., 2008)

La première étape de « superposition » est une translation qui va aboutir au centrage de toutes les conformations sur leur centre de gravité ou « centroïde ».

Le « centroïde », ou « position centroïde » correspond à la moyenne des coordonnées des différents points-repères constituant une configuration. Il peut être assimilé au centre de gravité de la conformation.

Puis, la deuxième étape est la « normalisation », qui vise à une mise à l'échelle de toutes les conformations, en utilisant la « taille centroïde » comme unité de taille (isométrie).

La taille centroïde (CS) est la mesure de taille la plus utilisée en morphométrie géométrique. Elle correspond mathématiquement à :  $\sqrt{\sum \text{distances} [\text{point repère-centroïde}]}$ .

Enfin, la troisième étape est un « ajustement généralisé » qui vise à l'alignement de toutes les conformations, par rotation.

Il s'agit, plus précisément, d'un ajustement généralisé selon les moindres carrés (ou GLS = Generalized Least-Squares), car c'est le seul type d'ajustement qui permette ensuite une analyse statistique fiable. Le but de cette étape de superposition est de minimiser la somme des carrés des distances entre tous les points-repères homologues des différents objets, et vise donc à ajuster au mieux les différents objets entre eux, afin de mieux pouvoir les comparer.

Cet ajustement généralisé consiste en fait en la rotation d'un objet par rapport à l'autre, ou à la rotation de tous les objets par rapport à un objet consensus, et l'angle de rotation dépend du critère des moindres carrés.

Après la superposition Procruste, 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.

### 4.3 Analyse statistique et représentation graphique

#### 4.3.1 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 » (CPs), afin de simplifier l'analyse des données. Il s'agit de transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorréelées les unes des autres. Les CPs sont donc des constructions purement statistiques, qui ne correspondent à aucun caractère biologique.

La ACP 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.

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.

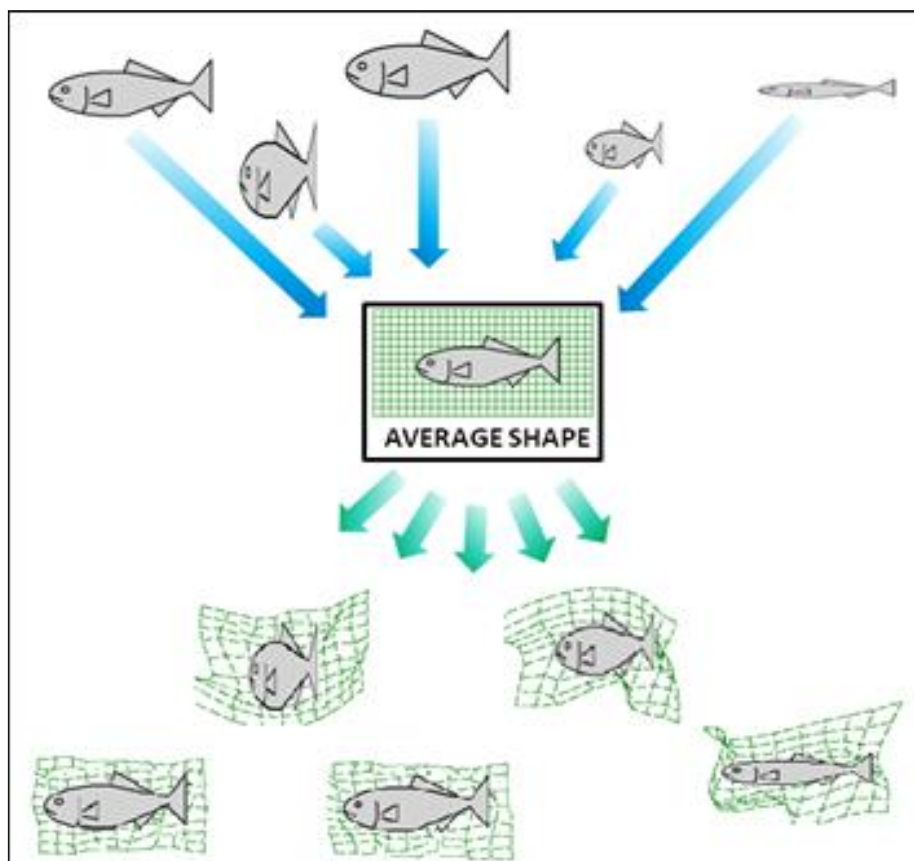
La QDA est une méthode d'analyse discriminante prédictive, qui permet de déterminer l'appartenance d'un individu à une classe, à partir de ses caractéristiques.

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.

### 4.3.2 Représentation graphique

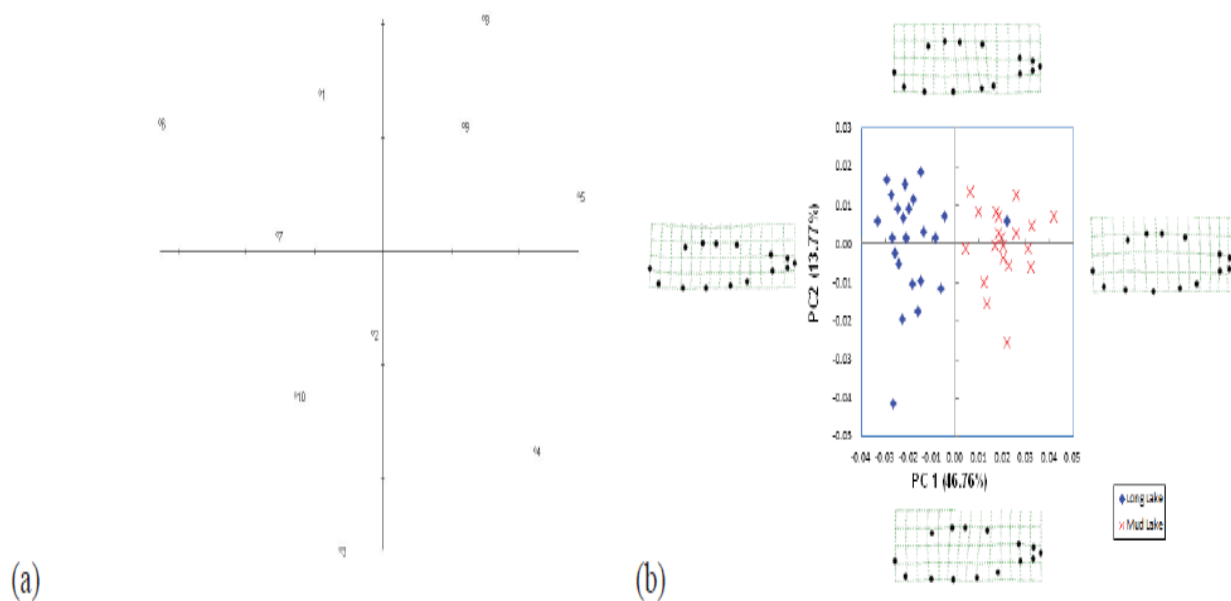
La représentation graphique des résultats d'une étude de MG est dans la majorité des cas, un graphique à deux axes, associé à des grilles de déformations TPS (Figure 13).



**Figure 13** : des grilles de déformations

Le graphique possède deux axes (abscisses et des ordonnées). Après la GPA, 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. 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 sont différentes, plus les deux points les représentant seront éloignés dans l'espace.



**Figure 14** : illustration des résultats de comparaison des échantillons lacustres de l'épinoche.

(a) ACP non éditée de formes de corps. Tracer le tracé spatial généré par Tps\_Relative Warps en utilisant un échantillon de dix spécimens. Chaque cercle est la forme du corps d'un spécimen.

(b) ACP modifiée de formes de corps.

Formez le tracé d'espace généré avec Microsoft® Excel en utilisant les données sauvegardées à partir de Tps\_Relative Warps. Chaque symbole de la placette indique un spécimen.  $\diamond$  (bleu), Long Lake; X (rouge), Mud Lake. CP indique le composant principal et les pourcentages dans les étiquettes d'axe indiquent la quantité de variation prise en compte par chaque axe.

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.

Les axes du graphique correspondent à deux composantes principales. Ce sont les deux CPs 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 CPs, afin d'obtenir des résultats clairs.

D'autre part, les grilles de déformation TPS illustrent les tendances des variations morphologiques de la prémolaire, le long de chaque CP. Chaque grille correspond à la déformation d'un spécimen théorique (de forme moyenne), pour laquelle une CP a une valeur extrême (celle sur laquelle il est placé), alors que les autres CPs sont égales à zéro.

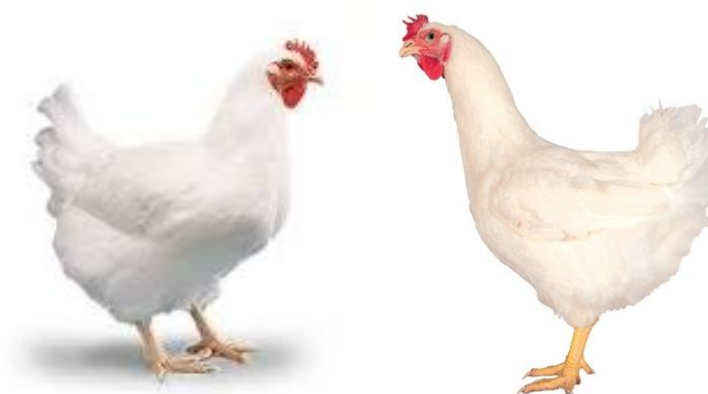
Les résultats de cette étude (figure 14) montrent que les épinoches benthiques et planctonopodes sont extrêmement divergentes en ce qui concerne le comportement alimentaire et la morphologie, ce qui rend chaque type bien adapté à leur habitat naturel.

## 1 Matériel biologique

Cette étude a été réalisée au niveau du Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée de l'Université de Mostaganem. Les échantillons de poulets provenaient d'un abattoir avicole à Oued Rhiou, Wilaya de Relizane.

### 4.4 Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué durant la période Avril 2018. Au total 160 poulets de chair (mâles et femelles) de deux souches différentes, Cobb 500 et Hubbard Classic âgés de 50-60 jours ont été utilisés dans cette étude (Figure 15).



**Figure 15** : Souches étudiées (à droite : Hubbard Classic ; à gauche : Cobb 500)

### 4.5 Prise des photos numériques et traitement des images.

Des photos numériques de haute résolution ont été prises sur le bec de chaque poulet à l'aide d'un appareil photo de type Nikon 3200D. La tête de chaque poulet a été déposée sur un papier blanc numéroté sur lequel on dépose une règle graduée (Figure 16).

Les photographies du côté latéral du bec de chaque poulet ont été réalisées à la même distance. La tête des oiseaux doit toujours être maintenue dans la même direction (voire le même angle de capture).



**Figure 16:** photo de la tête du poulet N° 21 de la souche Hubbard Classic.

## 5 Analyses morpho-métriques

Pour les analyses morphologiques, plusieurs programmes sont utilisés : Le programme MorphoJ (Klingenberg, 2011) ImageJ et MorphoR et bien d'autres. Dans cette étude, le logiciel utilisé est le MorphoJ. Il s'agit d'un programme conçu pour l'analyse statistique des données morphométriques géométriques obtenues suite aux traitements des images sous tpsDig2. Toutefois, plusieurs autres étapes sont nécessaires avant de commencer une analyse sous MorphoJ.

### 5.1 Préparations des données

#### 5.1.1 Organisation des dossiers

Parmi les 160 spécimens, 110 (55 Cobb500 et 55 Hubbard Classic) ont été inclus pour les analyses morpho-géométriques. Les becs endommagés ou déformés ont été éliminés.

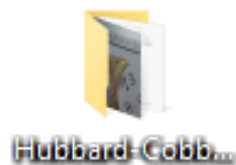
### 5.1.2 Création du fichier TPS

Avant d'entamer la collecte de données, c'est-à-dire la digitalisation des points repères, il faut créer un fichier TPS à l'aide du logiciel TpsUtil.

Ce fichier contient tous les spécimens photographiés auparavant. Ce fichier est nécessaire pour l'implantation ultérieure des points repères (Landmarks) à l'aide du logiciel TpsDig2.

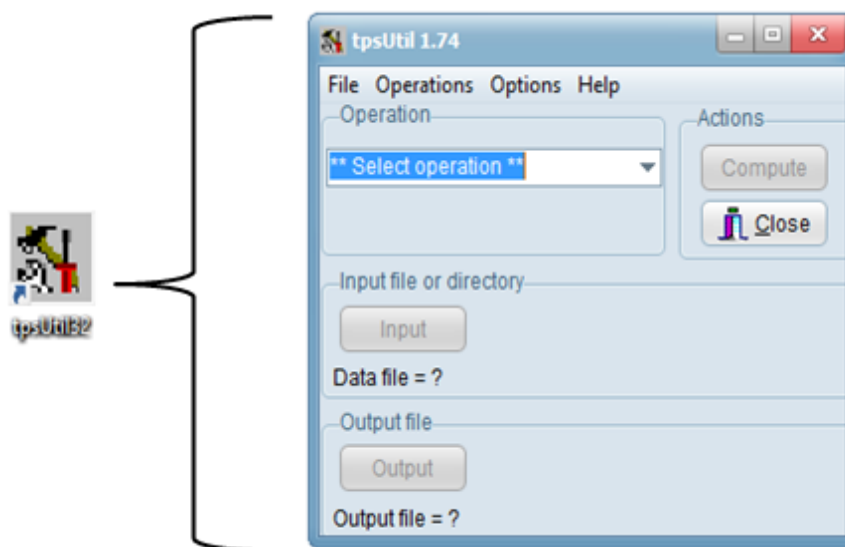
Nous présentons ci-après les différentes étapes pour la création d'un fichier TPS.

1. Toutes les images qui seront utilisées (ou leurs copies) doivent être placées dans le même dossier. Ce n'est pas nécessaire, mais c'est utile.



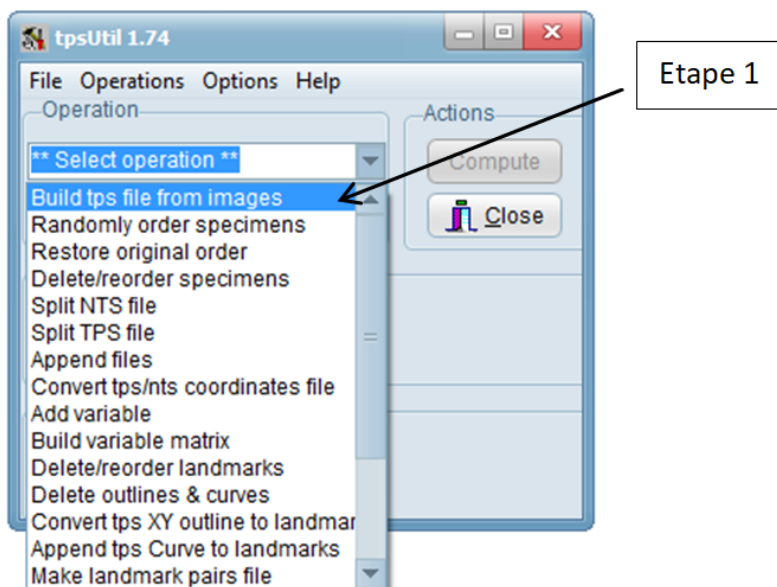
**Figure 17 :** Dossier contenant toutes les images à analyser.

2. Après ouverture du logiciel tpsUtil, une fenêtre s'affiche (Figure 18).



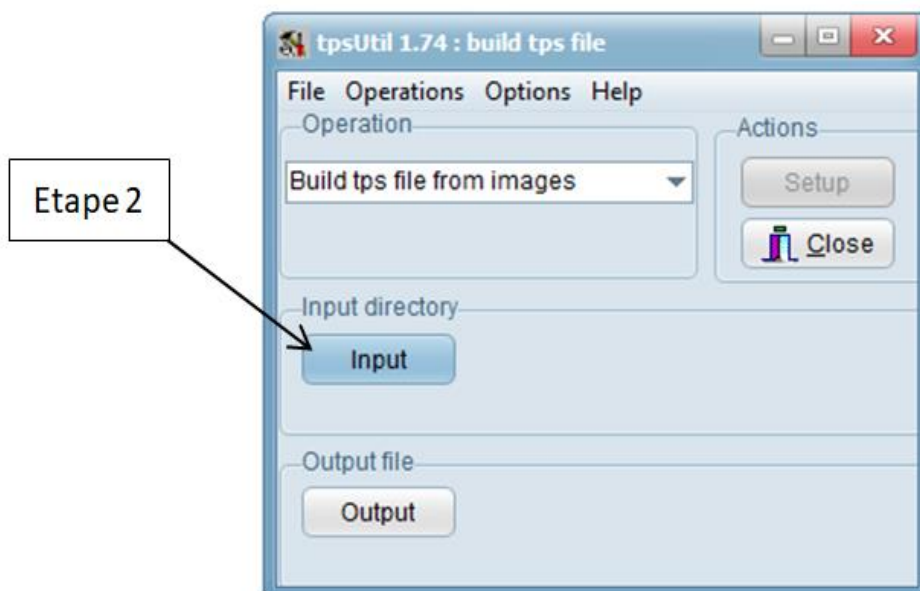
**Figure 18 :** la fenêtre principale du logiciel TpsUtil,

3. Cliquez sur " Select an operation " (Sélectionner une opération) et choisissez "Build tps file" (créer un fichier tps) dans la liste déroulante.



**Figure 19** : Etape 1 de la création d'un fichier TPS "Sélection d'une opération".

4. Sélection du répertoire d'entrée (Input)



**Figure 20** : Etape 2 de la création d'un fichier TPS " choix du répertoire d'entrée".

- a. cliquer sur "Input" (Entrée), une fois le répertoire d'images est trouvé, en cliquant sur une seule image dans ce répertoire suffit pour que le reste est automatiquement importé par tpsUtil.

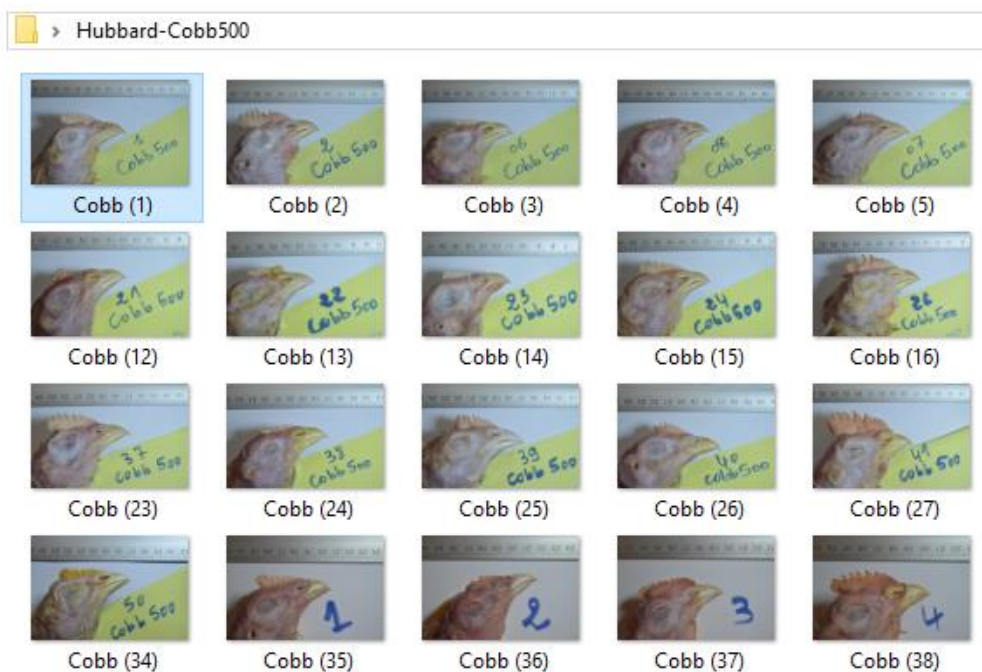


Figure 21 : répertoire d'images

- 5. attribuer un nom du fichier de sortie

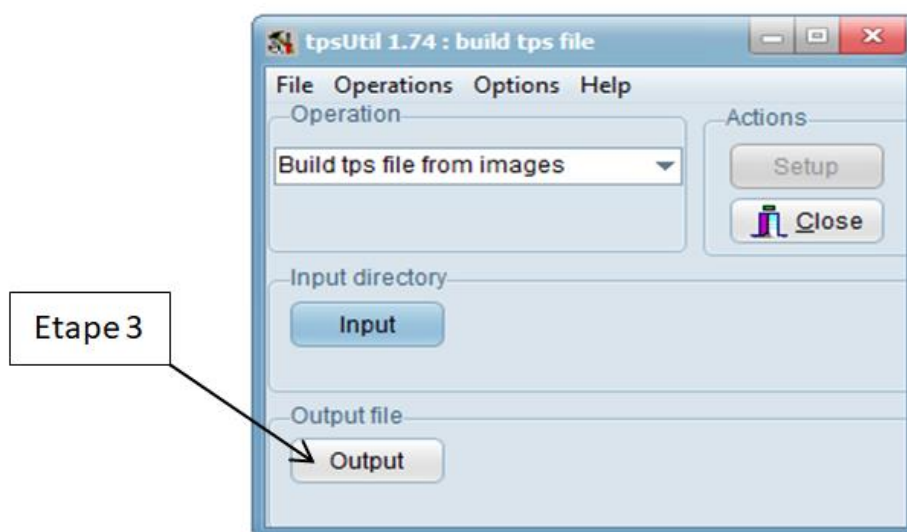
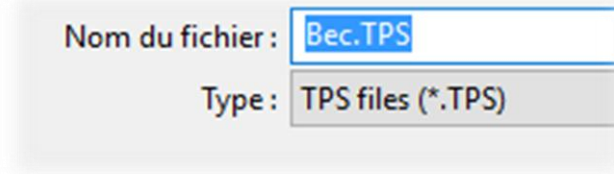


Figure 22 : Etape 3 de la création d'un fichier TPS "nomination du fichier".

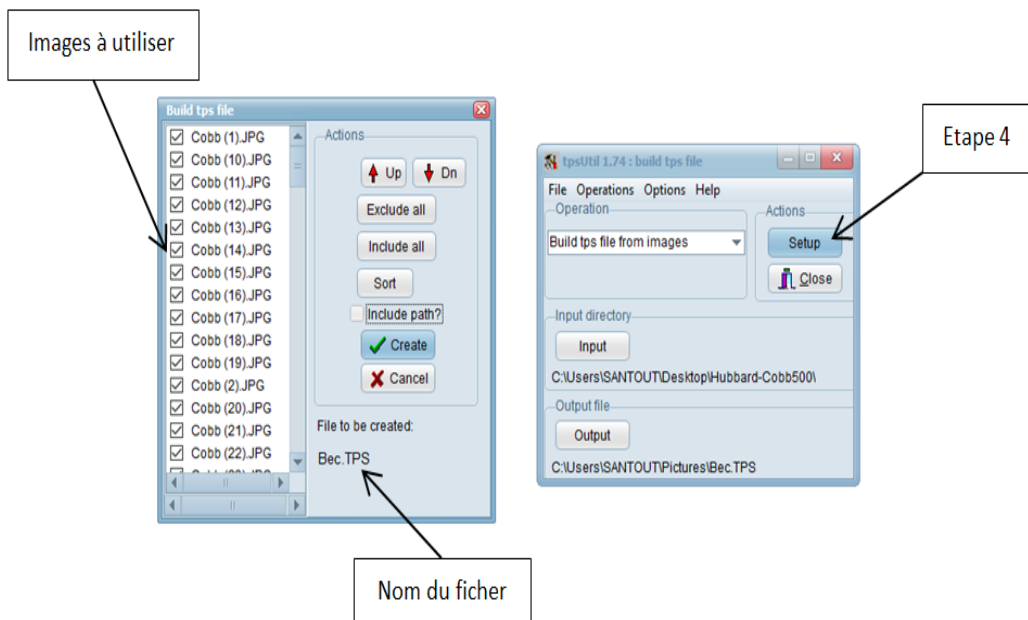
- a. Cliquer sur "Output", il faut choisir un nom qui se termine par ".tps". Il est recommandé de sauvegarder ce fichier dans le dossier avec les images.



**Figure 23 :** Etape de la nomination du fichier TPS.

#### 6. Création du fichier tps

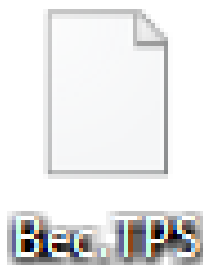
- a. Cliquez sur "Setup".
- b. Les images cochées seront utilisées pour la construction du fichier tps. Cocher / décocher au besoin. Si le dossier contient uniquement les images pertinentes, la liste devrait être correcte.
- c. Confirmez la création du fichier....tps, par exemple Bec.TPS" sous "Fichier à créer" (file to be created). Sinon, revenir à l'étape précédente 5.



**Figure 24 :** Boite de dialogue (manipulation des données)

- d. Cliquez sur "Créer"
- e. Cliquez sur "Fermer" pour quitter tpsUtil.

- Maintenant le fichier TPS créé peut être ouvert dans tpsDig.

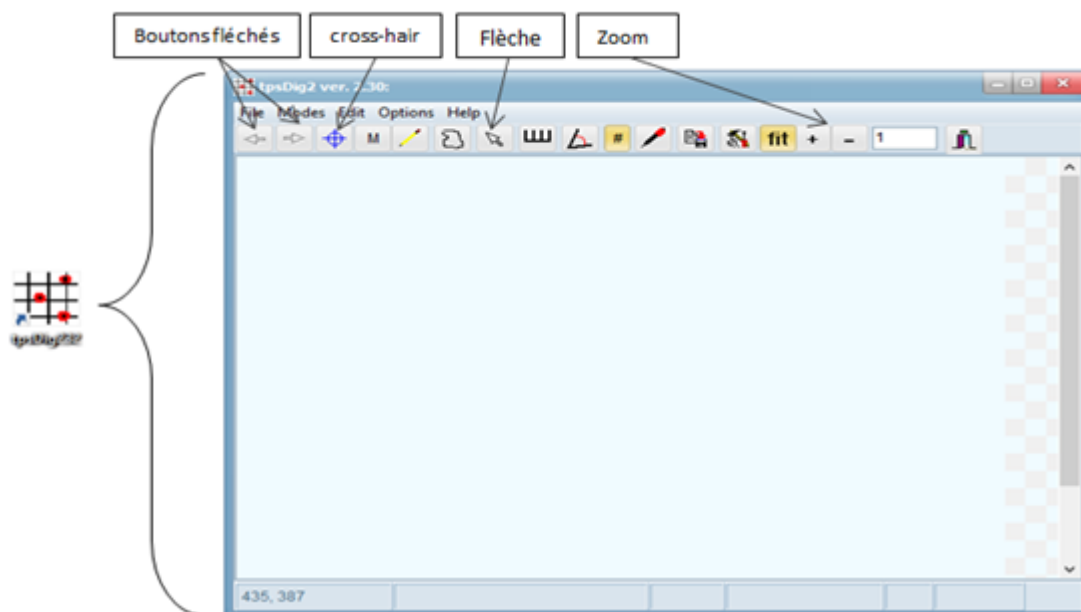


**Figure 25** : Le Fichier TPS créé.

## **5.2 Collecte des données : “ Numérisation ou digitalisation des Points repères (Landmarks)**

Dans cette étape, les points repères sont placés sur le contour du bec. Ensuite, les images digitalisées sont enregistrées dans le fichier tps.

Lors de la numérisation des points repère, il y a cinq critères importants à prendre en considération : en tout premier lieu, les points repère devraient être des points homologues sur l'ensemble spécimens analysés. Deuxièmement, ces points ne devraient pas modifier leur position par rapport aux autres points. Troisièmement, les points repère devraient donner une bonne couverture de la forme de l'objet étudié. De plus, la répétabilité des points repères retenus sur l'objet doit être élevée. Enfin, les repères doivent être dans le même plan. Une partie cruciale de ce processus consiste à localiser précisément les points avec une grande cohérence afin que la correspondance entre les spécimens soit claire. (Zelditch et al. 2004).



**Figure 26** : la fenêtre du Logiciel tpsDig.

Après l'ouverture du fichier de données (le fichier tps créé avec tpsUtil) dans tpsDig, les images sélectionnées devraient apparaître dans le programme.

- a. Utilisez l'outil cross-hair pour ajouter des repères ;
- b. Faites un clic droit pour supprimer les points de repère ;
- c. Utilisez l'outil Flèche pour déplacer les points de repère.
- d. Utilisez les boutons flèches pour passer à l'image suivante ;
- e. Utilisez les touches + et - pour agrandir ou réduire l'image à l'écran ;
- f. Utilisez "Enregistrer les données" pour enregistrer les coordonnées dans le fichier TPS.

➤ **Application :**

Dans cette étude, nous avons retenu 9 points repère qui semblent suffisants pour obtenir une couverture complète de la forme de la mandibule supérieure du bec.

Tous les outils morpho-géométrique exigent, strictement que tous les points repères numérisés soient homologues à travers les spécimens. Autrement, ils représentent les mêmes emplacements biologiques sur chaque individu (Bookstein, 1991 ; Zelditch et al, 2004).



**Figure 27 :** Digitalisation de 9 points-repères (Landmarks) sur la mandibule supérieure du bec à l'aide du logiciel tpsDig.

*Avant l'application des coordonnées, le facteur d'échelle pour la mesure était défini dans tpsDig à l'aide de la règle incluse dans l'arrière-plan de chaque image.*

### 5.3 Analyses Statistiques

Après l'importation du fichier TPS créé dans le programme MorphoJ, la première étape réalisée avant de passer aux analyses morphologiques, consiste à vérifier les données et éliminer les valeurs aberrantes puisqu'il arrive que des erreurs soient glissées lors de la digitalisation.

#### 5.3.1 Analyse de Procruste Généralisée (APG)

Une APG (analyse générale de Procrustes) a été menée sur la catégorie, pour pouvoir faire d'autres analyses morphologiques.

Les coordonnées brutes de chaque image du bec ont d'abord été alignées (par translation, mise à l'échelle et rotation pour correspondre les uns aux autres) en utilisant cette analyse de Procrustes.

Cette procédure élimine les effets de position, d'échelle et d'orientation de sorte que les coordonnées Procrustes des points repère d'une configuration puissent représenter la forme sans taille, tandis que la taille du centroïde (barycentre, point de coordonnées moyennes) représente la taille globale du bec.

#### 5.3.2 Analyse en composantes principales (ACP)

Après l'Analyse Procrustéenne généralisée, une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée sur les nouvelles coordonnées appelées les (coordonnées Procrustes) des Landmarks en utilisant la matrice de covariance des coordonnées Procrustes afin d'identifier les principaux axes orthogonaux (composantes principales) expliquant la plus grande partie de la variation de la forme du bec.

#### 5.3.3 Le test de Hotelling

Le  $T^2$  de Hotelling est une approche paramétrique permettant de tester si plusieurs variables continues distinctes  $\mathbf{X} = (X^1, \dots, X^P)$  sont liées à une variable qualitative binaire  $Y$  lorsqu'elles sont considérées avec leurs différentes interactions multivariées (se référer à l'annexe 2 pour plus de détails sur le test).

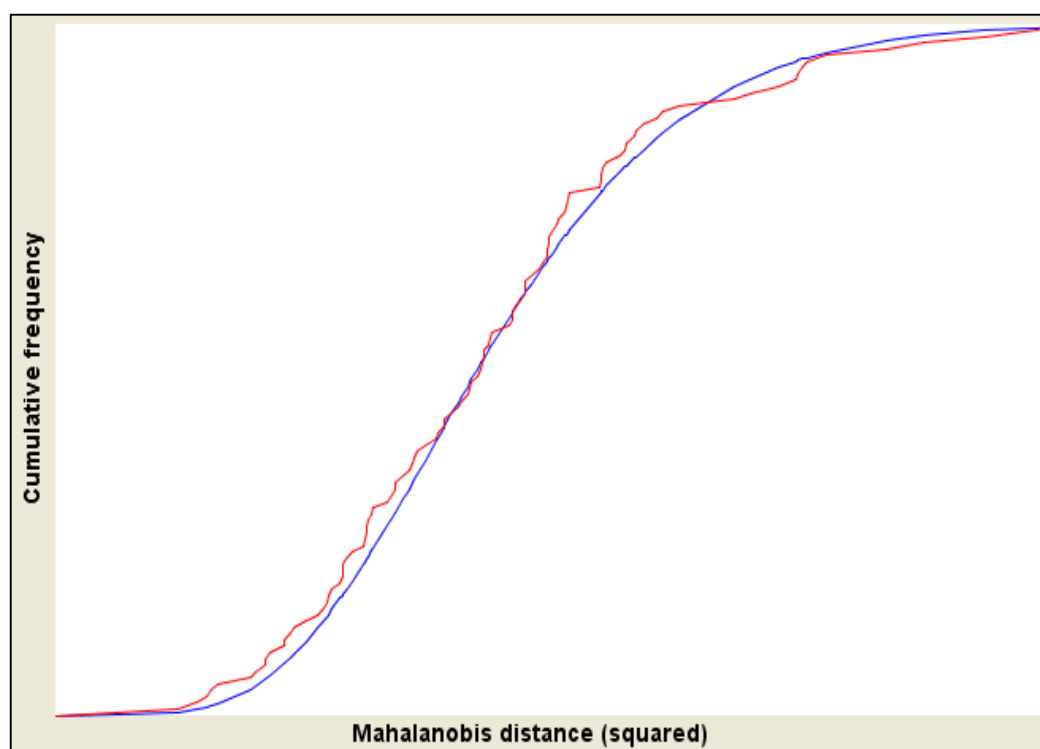
**5.3.4 Analyse factorielle discriminante (AFD)**

La fonction discriminante a été réalisée à l'aide du logiciel MorphoJ, pour évaluer les différences moyennes de la variation de la forme du bec en considérant « la souche » comme facteur ou variable de classification.

Dans cette étude, nous avons retenu 9 points repères sur chaque image en 2 dimensions (2D) (figure 27). Ainsi, chaque points homologue est représenté avec ses coordonnées (x, y) (se référer à l'Annexe 2). L'ensemble de données contient donc 110 observations incluses pour les différentes analyses morphométriques.

### 1. Vérification des valeurs aberrantes

La figure 28 présente la distribution des données obtenues (*en rouge*). Nous avons constaté que celle-ci n'e s'écarte pas significativement de la distribution normale (*en bleu*), indiquant donc l'absence de valeurs aberrantes (outliers).



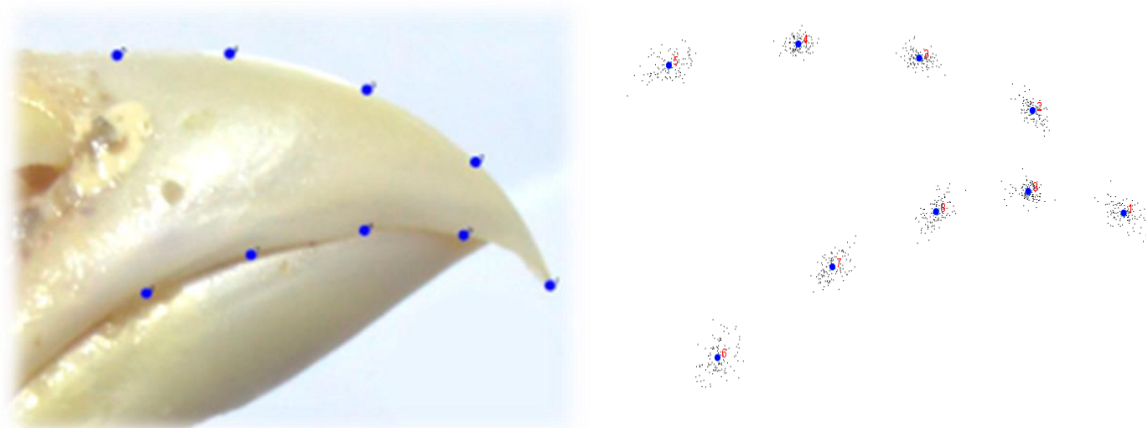
**Figure 28** : Diagramme des fréquences cumulées des distances entre l'ensemble des individus et la forme moyenne « consensus » de l'échantillon.

## 2. Performer la Superposition Procruste ou l'Ajustement Procruste généralisé) (Generalized Procrustes Analysis, GPA).

Cette procédure nous a permis d'observer les différences de formes qu'ils existent entre les individus en supprimant les trois effets (position, taille et rotation) (chap. Matériel et méthodes). Ces différences sont numériquement exprimées par les « distances de Procruste ».

En réalité, en faisant le GPA, on perd 4 degrés de liberté (ddl). C'est parce qu'on réalisant le GPA :

- 1) on standardise la position des points repères originaux, on enlève **deux** coordonnées du centroïde (donc on perd 2ddl)
- 2) on standardise la taille - on divise les des points repères centrés par **une** taille du centroid (centroid-size) (donc on perd 1ddl)
- 3) on standardise la rotation - on fait la rotation des points repères centrées-réduits par **un** angle  $\Phi$  (donc on perd 1ddl).



**Figure 29:** *A gauche* : Localisation des points repères retenus sur le bec. *A droite* : La Forme Consensus du bec obtenu par la superposition Procruste.

La superposition de Procrustes a permis de créer une forme moyenne du bec (consensus shape) en considérant tous les individus de l'échantillon et ceci par l'identification du point d'origine ou le centroïde à partir des points repères définis sur chaque image. Tous les outils morpho-géométriques exigent, strictement, que tous les points repères numérisés (digitalisés) soient homologues à travers tous les spécimens. Autrement, ils représentent les mêmes emplacements biologiques sur chaque individu (Bookstein, 1991 ; Zelditch et al, 2004).

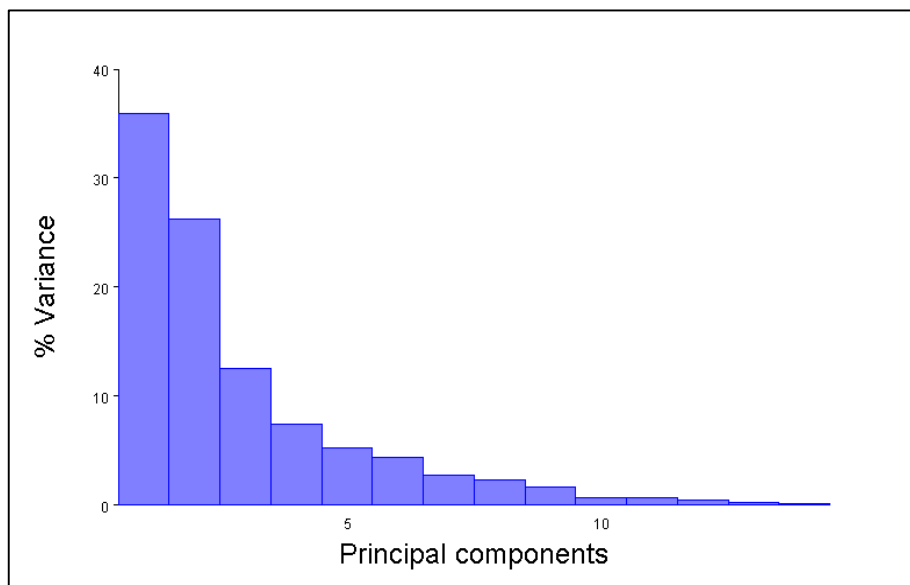
Chaque point repère de la forme consensus montré en bleu sur la figure 29.A, est entouré d'un nuage de points représentant la variation des coordonnées de tous les spécimens. Un nuage de points compact et sombre nous renseignent que les coordonnées sont rapprochées tandis qu'un nuage étalé et diffus nous indique que les points s'éloignent du consensus (la forme moyenne). Les coordonnées du « consensus » sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2 :** Cordonnées des points repères du consensus « nouvelles variables »

Landmarks	Axe 1 (X)	Axe 2 (Y)
<b>1</b>	0,45459165	-0,07457734
<b>2</b>	0,27310051	0,09798327
<b>3</b>	0,04790333	0,18631175
<b>4</b>	-0,19280592	0,21006812
<b>5</b>	-0,45018553	0,17403285
<b>6</b>	-0,35348083	-0,31795451
<b>7</b>	-0,12497240	-0,16532001
<b>8</b>	0,08114948	-0,07233543
<b>9</b>	0,26469970	-0,03820871

### 3 Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée sur les données obtenues sur tous les individus des deux souches (Cobb500 et Hubbard Classic), nous a permis de retenir les 3 premières composantes principales (CP) expliquant respectivement 35,86 %, 26,20% et 12,51% de la variation totale de la forme du bec, soit une variance cumulée de 74,59% (Figure 30, tableau 2).



**Figure 30** : Pourcentage de la variation expliquée par les axes principaux

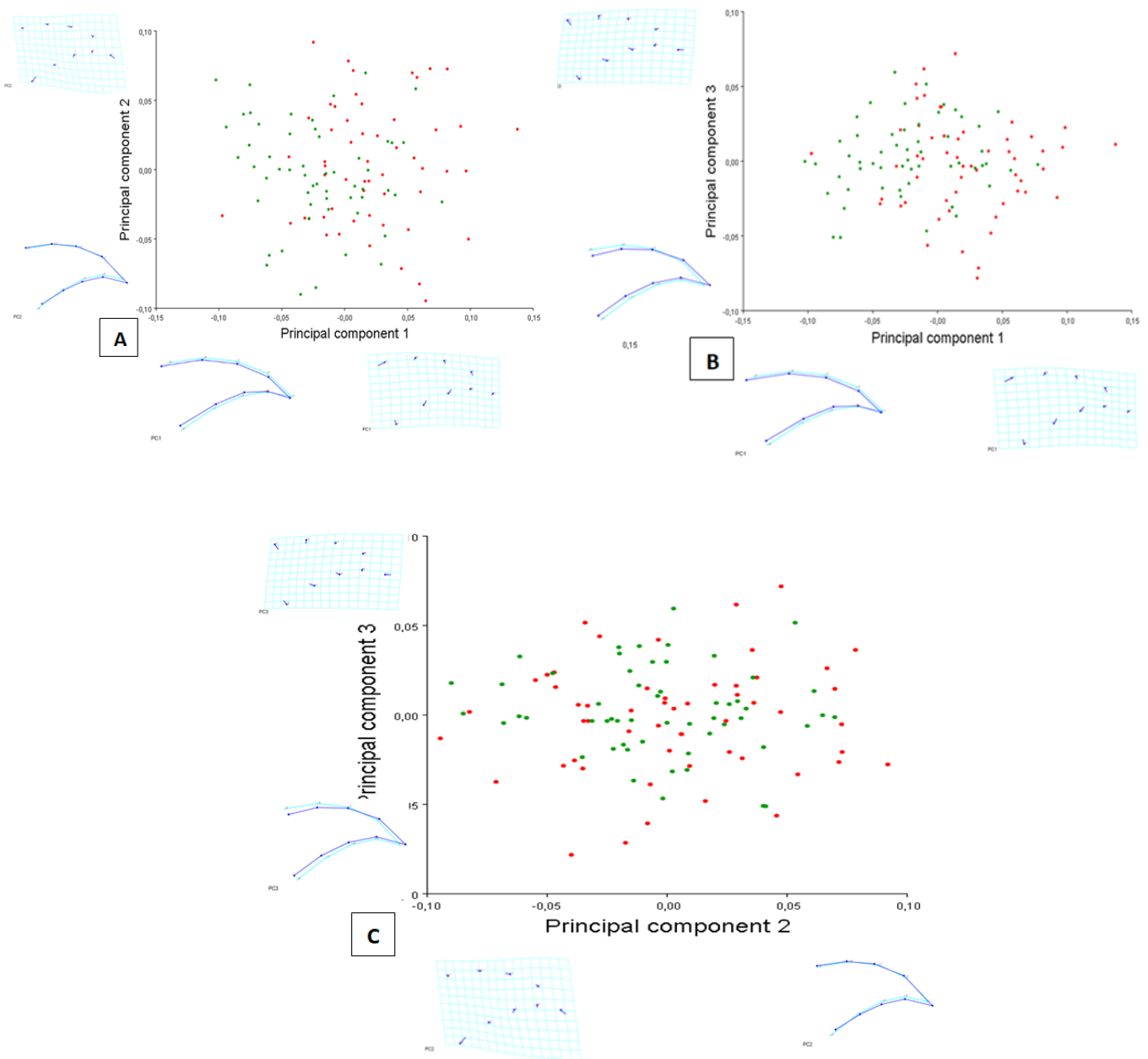
La figure 30 montre les axes retenus pour expliquer la variation de la forme de la mandibule supérieure du bec pour l'ensemble des individus des 2 souches.

**Tableau 3** : Valeurs propres et pourcentages de la variance expliquée par les de l'ACP.

	Valeurs propres ou Eigenvalues	% Variance	Cumulative %
1.	0,00226126	35,86	35,86
2.	0,00165202	26,20	62,072
3.	0,00078917	12,51	74,59
4.	0,00046375	7,35	81,94
5.	0,00032900	5,21	87,16
6.	0,00027590	4,37	91,54
7.	0,00016815	2,66	94,20
8.	0,00014211	2,25	96,46
9.	0,00010139	1,60	98,07
10.	0,00004273	0,67	98,74
11.	0,00003783	0,60	99,34
12.	0,00002624	0,41	99,76
13.	0,00001144	0,18	99,94
14.	0,00000344	0,05	100,00

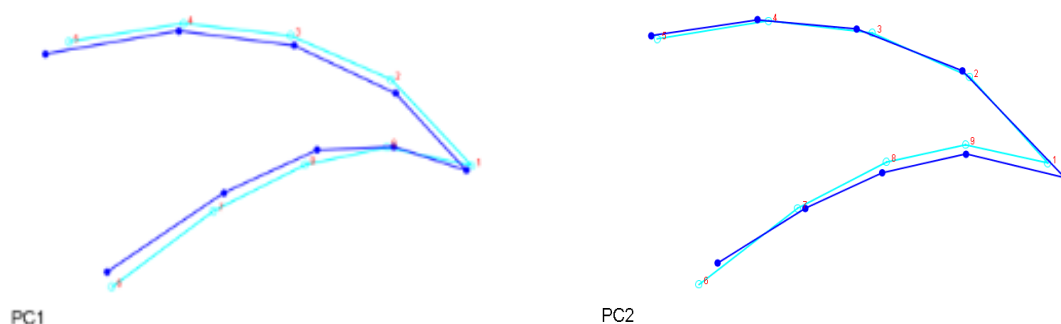
Variance totale = 0,00630443

Variance des valeurs propres = 0,0000004348967



**Figure 31 :** La variation de la forme de la mandibule supérieure des becs expliquée par les axes retenus : **(A)** CP1 et CP2, **(B)** CP1 et CP3 et **(C)** CP2 et CP3 pour 110 becs des deux souches Cobb500 (points rouges) et Hubbard Classic (points verts).

Les contours du bec indiqués en bleu clair représentent la forme moyenne de la mandibule supérieure chez ces deux souches tandis que les contours en bleu foncé sont des représentations visuelles de la forme de la mandibule supérieure aux scores minimum et maximum de chaque composante principale (Figure 32).



**Figure 32 :** Présentation de la variation de la forme du bec sur les axes CP1 et CP2

#### 4 Effet de la souche sur la forme du bec

##### 4.1 Test de Hotelling (Claude, 2008)

Les résultats du test de comparaison de moyennes Hotteling (tableau 4) indiquent une différence très hautement significative ( $T^2 = 105,33$ ;  $P < 0,0001$ ) entre les 2 souches étudiées pour la forme du bec. L'approche de Hotelling peut être aussi vue comme un type d'ANOVA. Dans notre cas, on peut se poser la question si la 'Souche' a l'effet sur la forme du bec. Les résultats du test sont présentés dans le tableau 4.

La variance résiduelle (tableau 5), consiste à la variation qui n'était pas expliquée par la différence entre les 2 souches étudiées. Ces différences sont imputables aux erreurs lors de la de la digitalisation des images et éventuellement dues au hasard).

**Tableau 4 :** Résultats du test de  $T^2$  de Hotteling

Distance Procrustes: 0,047 ; $P < 0, 0001$
Distance Mahalanobis (dM): 1,957
$T^2 = 105,335, P < 0, 0001$

Tableau 5: Procruste ANOVA

<b>Taille (centroïde)</b>					
Source de variation	SC	MSC	ddl	F	P
Intergroupe	0,070491	0,070491	1	4,31	<b>0,0403</b>
Intragroupe	1,767232	0,016363	108		
<b>Forme (shape)</b>					
Intergroupe	0,0652	0,0046	14	11,35	<0,0001
Intragroupe	0,6211	0,0004	<b>1512</b>		

SC: somme des carrés des écarts procrustes, MSC= moyenne de la somme des carrés des distances procrustes; ddl de la variance intragroupe ou résiduelle = V (N– G) (V= 2k– 4 pour les données à 2 dimensions et 3k– 7 dans le cas des données à 3 dimensions ; N= Nombres d’individus ; G= nombre de modalités du facteur étudié, ici = 2).

**4.2 Calcul de l'erreur de mesure d'après Bailey and Byrnes (1990)**

L’erreur de mesure peut être exprimée par ‘mean square error’ (Bailey and Byrnes 1990) :

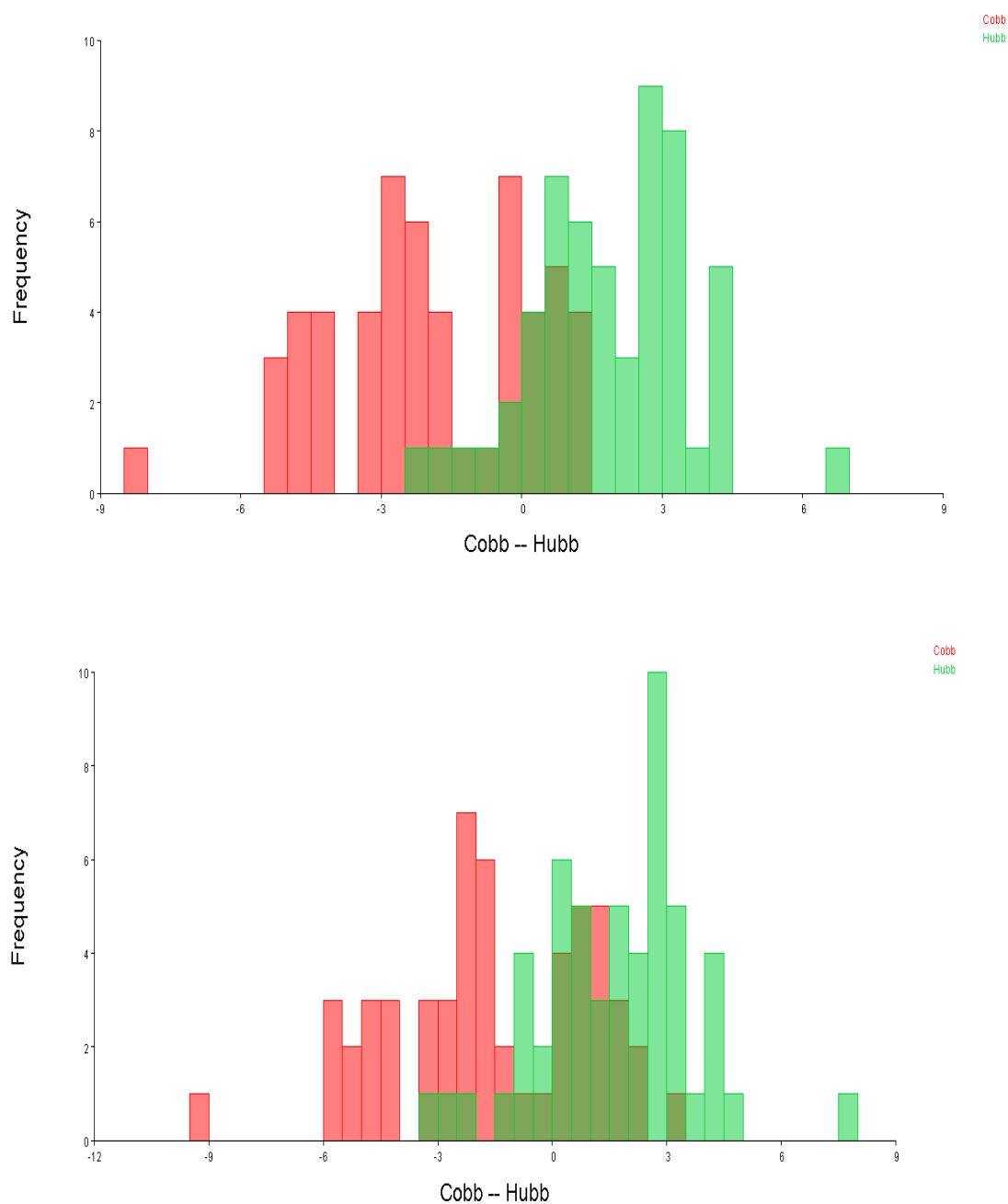
$$ME = \frac{MS \text{ between (ou among)}}{MS \text{ within} * p} * 100 = \frac{\frac{SSer}{dfer}}{\frac{SSef}{dfer} - \left(\frac{SSer}{dfer} * p\right)} * 100$$

ME= 5.61

**4.3 Analyse factorielle discriminante (AFD)**

L’analyse discriminante a été utilisée pour analyser la variation morphologique du bec chez deux souches de poulet de chair : Cobb500 et Hubbard Classic.

La fonction discriminante a produit des variables discriminantes pour expliquer les différences moyennes de variation de forme du bec entre les deux souches, dans la matrice de covariance des coordonnées de forme Procrustes de chaque ensemble de données. Les résultats de la fonction discriminante sont exposés dans la figure 33 :



**Figure 33 :** La fréquence des poulets Cobb500 et Hubbard Classic le long de la variable discriminante pour la variation de la forme du bec. La variable discriminante représente toutes les variations de la forme de la mandibule supérieure entre les Cobb500 (rouge) et Hubbard Classic (vert).

## 5 Discussion

L'objectif de cette étude était d'examiner la variabilité morphologique de la forme du bec entre deux souches de poulets de chair (cobb500 et Hubbard Classic) en utilisant la méthode moderne de la morphométrie basée sur les points repères (Landmarks).

Par rapport aux données de la morphométrie traditionnelle, les coordonnées de points prennent en compte la géométrie 2D ou 3D des objets étudiés, et permettent de paramétrer plus facilement la forme, de visualiser le changement de forme (conformation) et de tester statistiquement les hypothèses, ce qui était impossible auparavant.

En 2013, Peter et al, ont appliqué les techniques de morphométrie-géométrique chez poissons de l'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) dans deux lacs différents pour étudier la relation entre la variation de la forme du corps, l'écologie et l'évolution. Les résultats ont démontré que les épinoches benthiques et planctonique étaient extrêmement divergentes en termes de morphologie et comportement alimentaire, indiquant l'adaptation de chaque ce qui rend chaque type écologique bien adapté à leur habitat naturel (Schluter, 2000, Gow et al., 2007).

J.Moksnes (2014) a utilisé l'approche morphométrique géométrique pour étudier la morphologie du bec chez le moineau italien (*Italian Sparrow*), le moineau domestique (*House Sparrow*) et leur croisement. Ces chercheurs ont mis en évidence des effets significatifs des facteurs climatiques et génétiques sur forme du bec.

Au Philippines, Medrano et Jumawan (2016) ont évalué la variation des formes corporelles du poisson *Ambassis Interrupta* connu sous le nom "ibis" recueillies à la Rivière Masao, ville de en utilisant une analyse morphométrique géométrique basée sur les points-repère. Les chercheurs ont pu montrer des différences dans les modèles d'asymétrie entre les sexes de cette espèce de poisson.

La morphométrie géométrique a été utilisée par Dalton et al. (2017) chez la dinde domestique (*Meleagris gallopavo*) de 6 et 18 semaines d'âge pour déterminer les effets de l'âge, du sexe et de la taille du bec sur la variation de la forme de celui-ci. Les résultats obtenus ont mis en évidence une gamme de variation phénotypique de la forme de la mandibule supérieure dorsale, la mandibule inférieure latérale et la mandibule supérieure latérale. Ces chercheurs ont constaté un dimorphisme sexuel pour la forme du bec sans toutefois mettre en évidence un effet significatif du facteur âge.

En Algérie, Barour Choukri était le premier qui a adopté l'approche morphométrique géométrique basé sur la technique des points repères dans sa thèse, pour analyser la variabilité des formes des ailes de l'abeille tellienne. (Barour, 2012)

ses résultats ont non seulement montré une nette différenciation entre les populations étudiés, mais ainsi affirmer que la MG basé sur les repères est un outil fiable qui peut discriminer entre les populations ou bien au sein d'une population et arriver à des résultats qui ont été pas trouvé en utilisant la MC ( Barour et al. 2005)

Pour cette étude morphologique par la méthode des points repères, un total de 110 poulets des deux souches (55 par souche) a été échantillonné, les échantillons ont été photographiés ensuite digitalisé avec 9 points de repères en 2 dimensions sur chaque image. Ce qu'il fait que l'ensemble de données contient 110 observations, dont 110 sont incluses pour les analyses morpho-géométrique.

Notre premier résultat majeur est que la morphométrie géométrique améliore sensiblement la discrimination entre les espèces en fonction des dimensions du bec.

L'analyse avec morphométrie géométrique basée sur les repères a montré une large gamme de variation de forme dans les becs des poulets étudiés.

Les courbes des scores CP1, CP2 et CP3 ont révélé un regroupement serré et une séparation nette pour certains individus, mais ont montré une large diffusion et un chevauchement important dans d'autres.

Les résultats de l'analyse discriminante montre aussi une séparation nette et un regroupement serré entre les deux souches Cobb500 et Hubbard Classic.

## CONCLUSION

Dans cette étude, la morphométrie géométrique s'est révélée comme une méthode à la fois visuelle et analytique très puissante pour identifier et visualiser les différences de la forme du bec chez deux souches industrielles de poulet. Ce travail mérite d'être complété par d'autres études portant sur des effectifs plus importants notamment sur les populations avicoles locales élevées dans des systèmes d'élevage différents.

L'étude de la variabilité de la forme du bec chez le poulet pourrait être utile non seulement pour mieux comprendre son comportement alimentaire mais aussi pour proposer cette variabilité dans les programmes de sélection génétique pour l'obtention d'animaux présentant éventuellement des becs plus adaptés aux conditions d'élevage différentes (alimentation, chaleur, stress) et pour réduire notamment les dommages causés par le picage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE.** Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology.* 2004 ; 71 : 5-16 .
2. **Anne Macey.** 2009. Réduire Le Risque De Picage Des Plumes Chez Les Pondeuses Dans La Production D'œufs Biologiques.
3. **Baab KL, McNutly KP, Rohlf FJ.** The Shape of Human Evolution: A Geometric Morphometrics Perspective. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews.* 2012 ; 21 (4) : 151-165. Epub 2012 août 20.
4. **Barour Choukri.** Analyse de la biodiversité des populations d'Aeilles Mellifères *Apis mellifera intermissa* (Buttel-Reeper, 1906) (Hymenoptera : Apidea) dans le Nord Algérien : Morphométrie Moderne Basée sur la configuration des points repères (Landmarks).Thèse de doctorat : Biologie Animale : Faculté de sciences de l'université de Annaba, 2012.
5. **Benazzi S, Douka K, Fornai C, Bauer CC, Kullmer O, Svoboda J, et al.** Early dispersal of modern humans in Europe and implications for Neanderthal behavior. *Nature.* 2011; 479: 525-528. Epub 2011 novembre 2.
6. **Bookstein Fred L.** Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. 2e éd. Cambridge : Cambridge University Press ; 1991
7. **Boyer J P.** 1952.Deux methodes de sélection et leurs applications à l'aviculture. *Annales De Zootechnie* 1 (3): 1-15.
8. **Brochard M, Boichard D.** 2012. La sélection génomique: Principe et impact sur l'organisation de l'amélioration génétique: 1-3.
9. **Chikhaoui Zakia.** Analyse inter-stationnelle et interindividuelle de la morphologie des feuilles d'Erables (*Acer monspessulanum* L. et *Acer obtusatum* W. et K.) au Djurdjura. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. TIZI-OUZOU : Université Mouloud MAMMERY. 2014. 87p.
10. **Coquerelle G.** (2000). Les poules: diversité génétique visible. INRA. p181. In FOTSA J.C. (2008). Caractérisation des populations de poules locales (*Gallus gallus*) au Cameroun. Thèse doctorat d'agroparistech et de phylosophy. p74, 75.
11. **Cunningham D.L.** 1992. Beak trimming effect on performance, behavior and welfare of chickens. A review. *J. Appl. Poult. Res.*, 1, 129-13.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**12. D. Adriaens.** Workshop "deformities in fish larvae". In Geometric morphometrics as a useful tool for visualising and analysing deformities in fish, March 11, 2005.

**13. Dekkers JCM.** 2015. Applications of genomic selection in Poultry Proceedings, 10th World Congress Of Genetics Applied To Livestock Production: 1-6

Disponible sur: <<https://www.researchgate.net/publication/296479230>>. (Consulté en Avril 2018)

**14. Djelil Hanene,** Ectoparasitisme et parasitemie du poulet de ferme (*Gallus gallus domesticus*, Linnaeus 1758). Mémoire de Magister en Parasitologie, Oran, Université de Mohamed Boudiaf. 2012 .109.pages 5 -9.

**15. Elfick D.** 2006.A brief history of broiler selection: how chicken became a global food phenomenon in 50 years: 1-7.

**16. Evin A, Baylac M, Pons JM, Cornette R.** Apports de la morphométrie géométrique à l'étude du crane de chauves-souris : l'exemple d'un complexe d'espèces du genre *Myotis*. Symbiose. 2008 ; 21 : 7-9

**17. F. James Rohlf.** Morphometrics [<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>], 02 2010.

**18. Fettah M.A.** Morphologie et anatomie de la poule, 2008.

**19. FOTSA J.C.** (2008). Caractérisation des populations de poules locales (*Gallus gallus*) au Cameroun. Thèse doctorat, AgroParisTech et de phylosophy. , p. 301.

**20. Frédéric B.** Etude de la diversité trophique des poissons demoiselles (Perciformes, Pomacentridae) par l'examen des variations du squelette céphalique à partir de leur vie récifale. Thèse de doctorat : Morphologie Fonctionnelle et Evolutive : Faculté des Sciences de l'Université de Liège, 2008-2009.

**21. Gentle M.J, Hughes B.O, Fox A, Waddington D.** 1997. Behavioural and anatomical consequences of two beak trimming methods in 1- and 10-d-old domestic chicks. Br. Poult. Sci., 38, 453-463.

**22. Guipert G.** Reconstitution et Position Phylétique des Restes Crâniens de l'Homme de Tautavel (Arago 21-47) et de Biache-Saint-Vaast 2, Apports de l'Imagerie et de l'Analyse Tridimensionnelles. Thèse de doctorat : Paléontologie Humaine : Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille III ; 2005.

**23. Heidi Schutz.** Guide to geometric morphometric. University of Colorado Jonathan Krieger, the Natural History Museum, London. 2007.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**24. Henry Ngoyi.** Effet du non-respect de la date et de la densité de semis sur la croissance et le rendement du niébé dans les conditions agro écologiques de Cabinda. UNIVERSITE NOTRE DAME DE LOMAMI, 2016. disponible sur : <<https://www.memoireonline.com/>>.

**25. Hillary A. Dalton et al.** An analysis of beak shape variation in two ages of domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*) using landmark-based geometric morphometrics. PLOS ONE [en ligne]. 2017 volumes, numéro, 12, 9, 25. Disponible sur : <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185159>>. (consulté en Avril 2018)

**26. Jacob A, Pescatore T.** 2012 Selecting the right chicken breed. *Animal and Food Sciences*: 1-3.

**27. Jorunn Moksnes.** The Effect of Hybridization on Beak Morphology in the House Sparrow (*Passer domesticus*) and Italian Sparrow (*P. italiae*). Thèse de Master en Biosciences. Norvège : Université d'Oslo. 2014. 65 p. Format PDF. Disponible sur : <<http://www.duo.uio.no/>>. (Consulté en Avril 2018)

**28. Kendall DG, Barden D, Carne TK, Le H.** Shape and Shape Theory. New York: Wiley; 1999. Wiley Series in Probability and Statistics.

**29. Kenneth M. French,** Elevage pratique de la volaille, Peace Corps par Transcentury Corporation, ashington D.C, 1986, 289 p.

**30. Krysta Morrissey et al.** Can Non-Beak Treated Hens be Kept in Commercial Furnished Cages? Exploring the Effects of Strain and Extra Environmental Enrichment on Behaviour, Feather Cover, and Mortality. *Animals*[en ligne]. 2016. volume, 6, 17.

**31. Larivière J.-M., Leroy P.** Conservation et valorisation de la diversité des ressources génétiques du poulet en Europe : initiatives et perspectives. Formation continue - ARTICLE DE SYNTHÈSE, Département des Productions animales, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, 2008, 152p. Disponible sur : <<http://www.facmv.ulg.ac.be>>. Consulté le 20/05/2018)

**32. Laura Piñeiro Fernández.** Beak shape variation in a hybrid species: effects of diet, insularity and species interactions. Thèse de Master en Biosciences. Norvège : Université d'Oslo. 2015. 86 p. Format PDF. Disponible sur : <<http://www.duo.uio.no/>>. (Consulté en Avril 2018)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**33. Laure Metairie.** Apports de la morphométrie géométrique à la paléanthropologie dentaire. thèse de Doctorat en Chirurgie Dentaire. Lyon : Université Claude Bernard. 201. pages 1-58. Format PDF. Disponible sur : <<http://www.laboratoireanthropologieanatomiqueetdepaleopathologiedelyon.fr>>.

(Consulté en Mai 2018)

**34. Mahammi Fatima Zohra.** Caractérisation phénotypique et moléculaire des populations de poules locales (*Gallus gallus domesticus*) de l'Ouest Algérien, thèse de Doctorat en Biologie moléculaire. Oran Université de Mohamed Boudiaf. 180. Pages 36-48.

**35. Mary Grace T. Medrano and Joycelyn C. Jumawan,** (2016). Landmark-based geometric morphometric analysis of body shape variation within population of Ibis fish, *Ambassis interrupta*, collected from Masao River, Butuan City, Philippines. *Int'l Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS)* Vol. 3, Issue 2. <http://dx.doi.org/10.15242/IJACEBS.AE0516113>

**36. Messabhia Manel.** Caractérisation phénotypique et profil biochimique de quelques souches locales de poules. Mémoire de Magistère en sciences vétérinaires. Constantine, université des frères Mentouri. 249. Pages 42-44.

**37. Park P.J. et al.** Landmark-Based Geometric Morphometrics: What Fish Shapes Can Tell Us about Fish Evolution. In *Tested Studies for Laboratory Teaching, Proceedings of the Association for Biology Laboratory Education*. 2013. Vol. 34, Pages 361-371. Disponible sur : <http://www.ableweb.org/volumes/vol-34/v34reprint.php?ch=36>. (consulté le 09/05/18)

**38. Perrard A.** Systématique et morphométrie géométrique : L'évolution de la nervation alaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères : Vespidae). Thèse de doctorat : Histoire Naturelle : Museum National d'Histoire Naturelle, Ecole doctorale « sciences de la nature et de l'homme » ; 2012

**39. Picard M., Le Fur C, Melcion J.-P, Bouchot C.** 2000. Caractéristiques granulométriques de l'aliment : le « point de vue » (et de toucher) des volailles. *INRA Prod. Anim.*, 13, 117-130.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- 40. Poules et Cie**, Anatomie de la poule, (© 2004–2018, mise à jour 10/02/2017). Disponible sur : < <https://poulesetcie.com/anatomie-poule/>> (Consulté le 21/05/2018)
- 41. Pym R.** 2013a Poultry genetics and breeding in developing countries, Food and agriculture organization of the united nations, poultry development review: 1-4.
- 42. Pym R.** 2013b Poultry genetics and breeding in developing countries, genetic diversity and conservation of genetic resources Food and agriculture organization of the United Nations, poultry development review: 1-4.
- 43. Pym R.** 2013c Poultry genetics and breeding in developing countries, contribution of indigenous genotypes to production and consumption of poultry meat and eggs Food and agriculture organization of the United Nations, poultry development review: 1-4.
- 44. Ricard EH et Petitjean MJ.** 1988 Un exemple de conservation du patrimoine génétique chez la poule. *Inra Productions Animales* 1 (5): 345-354.
- 45. Saber Beghoul.** Appareil digestif de la poule: particularités anatomo-physiologiques. Magister en médecine vétérinaire – Constantine Algérie, Université Mentouri, 2006.
- 46. Shao et al.** Evolution of body morphology and beak shape revealed by a morphometric analysis of 14 Paridae species. *Frontiers in Zoology*. 2016. 10.
- 47. Singhapol C.** (2003). Genetic characterization by microsatellite polymorphism in thai native chicken compare with broiler nad layer fowls. University of Technology. ISBN 974-533-292-5. p17.
- 48. Tran TS.** 2013 Etudes génomiques chez la poule: applications à la résistance au portage de salmonelles et la digestibilité. Thèse de Docteur, Université François – Rabelais de Tours, Science de la Vie: 13-65.
- 49. Wolc A, Kranis A, Arango J, Settari P, Fulton JE, O'sullivan N, Avendaño S, Watson KA, Preisinger R, Habier D, Lamont SJ, Fernando R, Garrick DJ et Dekkers JCM.** 2015 Applications of genomic selection in Poultry Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production: 1-6

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**50. Wolc A.** 2014. Genomic selection in Layer and Broiler breeding Lohmann Tierzucht.

**51. Mark Webster et H. David Sheets.** A practical introduction to landmark-based geometric morphometric. The Paleontological Society Papers, Vol.16.

# **Annexe**

## Annexe 1

### Principes des tests multidimensionnels

---

Les tests mis en œuvre dans cet outil permettent de comparer des échantillons décrits par plusieurs variables. Par exemple, au lieu de comparer les moyennes de deux échantillons comme avec le test de Student, on compare ici simultanément pour les mêmes échantillons plusieurs moyennes mesurées pour différentes variables.

Par rapport à une procédure qui consisterait à faire autant de tests de Student qu'il y a de variables, la méthode proposée ici présente l'avantage d'utiliser la structure de covariance entre les variables et d'obtenir une conclusion globale. Il se peut que deux échantillons diffèrent pour une variable avec un test de Student, mais qu'au global on ne puisse rejeter l'idée qu'ils sont finalement semblables.

### Distance de Mahalanobis

---

La distance de Mahalanobis permet de calculer la distance entre deux points dans un espace à  $p$  dimensions, en tenant compte de la structure de variance-covariance sur ces  $p$  dimensions. Le carré de cette distance se définit par :

$$dM^2 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2) \Sigma^{-1} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2)$$

Autrement dit, c'est le produit de la transposée du vecteur des différences de coordonnées pour les  $p$  dimensions entre les deux points, multiplié par l'inverse de la matrice de covariance, multiplié par le vecteur des différences. La distance euclidienne, correspond à la distance de Mahalanobis dans le cas où la matrice de covariance est la matrice identité, c'est-à-dire que les variables sont centrées réduites et indépendantes.

La distance de Mahalanobis peut être utilisée pour comparer deux groupes car la statistique du  $T^2$  de Hotelling définie par :

$$T^2 = [(\mathbf{n}_1 * \mathbf{n}_2) / (\mathbf{n}_1 + \mathbf{n}_2)] dM$$

Suit une loi de Hotelling, à condition que les échantillons suivent une loi normale pour les différentes variables. La statistique F utilisée pour le test de comparaison est définie par :

$$F = [n_1 + n_2 - (p+1)] / [(n_1 + n_2 - 2) p] T^2$$

Cette statistique suit une loi de Fisher à p et  $n_1+n_2-p-1$  degrés de liberté si les échantillons suivent une loi normale pour les différentes variables.

Si l'on souhaite comparer plus de deux échantillons, le test basé sur la distance de Mahalanobis peut être utilisé pour identifier les sources possibles de la différence observée au niveau global. Il est alors recommandé de faire la correction de Bonferroni pour le seuil alpha. Pour k échantillons à comparer deux à deux, on utilise alors le niveau alpha suivant :

$$\alpha^* = 2\alpha / k (k-1)$$

## Annexe 2

- Les cordonnées (x, y) des points repères retenus le bec chez les 2 souches Cobb et Hubbard.

<b>LM=9</b> 2745.00000 1434.00000 2655.00000 1591.00000 2527.00000 1687.00000 2382.00000 1743.00000 2232.00000 1764.00000 2235.00000 1492.00000 2384.00000 1522.00000 2529.00000 1541.00000 2633.00000 1506.00000 IMAGE=Cobb (1).JPG <b>ID=0</b> SCALE=0.003257	<b>LM=9</b> 2777.00000 1522.00000 2674.00000 1657.00000 2512.00000 1741.00000 2371.00000 1770.00000 2195.00000 1766.00000 2220.00000 1472.00000 2374.00000 1533.00000 2507.00000 1557.00000 2617.00000 1571.00000 IMAGE=Cobb (6).JPG <b>ID=5</b> SCALE=0.002933	<b>LM=9</b> 2965.00000 1654.00000 2857.00000 1776.00000 2694.00000 1868.00000 2531.00000 1912.00000 2394.00000 1915.00000 2399.00000 1636.00000 2541.00000 1675.00000 2681.00000 1700.00000 2835.00000 1704.00000 IMAGE=Cobb (11).JPG <b>ID=10</b> SCALE=0.002849	<b>LM=9</b> 3094.00000 1594.00000 3020.00000 1720.00000 2894.00000 1817.00000 2771.00000 1874.00000 2620.00000 1906.00000 2620.00000 1582.00000 2769.00000 1624.00000 2887.00000 1640.00000 3002.00000 1638.00000 IMAGE=Cobb (16).JPG <b>ID=15</b> SCALE=0.003003
<b>LM=9</b> 2686.00000 1527.00000 2586.00000 1675.00000 2468.00000 1755.00000 2330.00000 1809.00000 2152.00000 1834.00000 2159.00000 1550.00000 2335.00000 1597.00000 2470.00000 1620.00000 2584.00000 1607.00000 IMAGE=Cobb (2).JPG <b>ID=1</b> SCALE=0.002907	<b>LM=9</b> 2496.00000 1471.00000 2374.00000 1614.00000 2249.00000 1677.00000 2116.00000 1706.00000 1939.00000 1707.00000 1947.00000 1393.00000 2117.00000 1464.00000 2256.00000 1506.00000 2348.00000 1524.00000 IMAGE=Cobb (7).JPG <b>ID=6</b> SCALE=0.003145	<b>LM=9</b> 2757.00000 1649.00000 2630.00000 1793.00000 2435.00000 1880.00000 2251.00000 1905.00000 2079.00000 1892.00000 2103.00000 1551.00000 2276.00000 1627.00000 2418.00000 1675.00000 2594.00000 1690.00000 IMAGE=Cobb (12).JPG <b>ID=11</b> SCALE=0.002558	<b>LM=9</b> 2812.00000 1537.00000 2714.00000 1651.00000 2582.00000 1729.00000 2440.00000 1773.00000 2249.00000 1783.00000 2255.00000 1444.00000 2442.00000 1534.00000 2572.00000 1578.00000 2711.00000 1579.00000 IMAGE=Cobb (17).JPG <b>ID=16</b> SCALE=0.002967
<b>LM=9</b> 2635.00000 1426.00000 2568.00000 1564.00000 2447.00000 1670.00000 2308.00000 1733.00000 2124.00000 1763.00000 2128.00000 1467.00000 2314.00000 1508.00000 2449.00000 1514.00000 2575.00000 1475.00000 IMAGE=Cobb (3).JPG <b>ID=2</b> SCALE=0.002907	<b>LM=9</b> 2520.00000 1504.00000 2378.00000 1657.00000 2241.00000 1726.00000 2100.00000 1770.00000 1905.00000 1778.00000 1911.00000 1393.00000 2105.00000 1478.00000 2243.00000 1517.00000 2377.00000 1540.00000 IMAGE=Cobb (8).JPG <b>ID=7</b> SCALE=0.002941	<b>LM=9</b> 2527.00000 1538.00000 2443.00000 1663.00000 2285.00000 1752.00000 2128.00000 1796.00000 1942.00000 1812.00000 1952.00000 1474.00000 2142.00000 1536.00000 2288.00000 1580.00000 2428.00000 1573.00000 IMAGE=Cobb (13).JPG <b>ID=12</b> SCALE=0.002687	<b>LM=9</b> 2774.00000 1294.00000 2690.00000 1445.00000 2544.00000 1562.00000 2403.00000 1627.00000 2241.00000 1668.00000 2239.00000 1327.00000 2391.00000 1356.00000 2531.00000 1371.00000 2662.00000 1343.00000 IMAGE=Cobb (18).JPG <b>ID=17</b> SCALE=0.002890
<b>LM=9</b> 2643.00000 1506.00000 2527.00000 1643.00000 2399.00000 1721.00000 2261.00000 1765.00000 2098.00000 1782.00000 2098.00000 1469.00000 2256.00000 1540.00000 2398.00000 1563.00000 2506.00000 1563.00000 IMAGE=Cobb (4).JPG <b>ID=3</b> SCALE=0.002967	<b>LM=9</b> 2643.00000 1678.00000 2527.00000 1791.00000 2376.00000 1856.00000 2208.00000 1879.00000 2025.00000 1862.00000 2041.00000 1510.00000 2218.00000 1614.00000 2379.00000 1678.00000 2505.00000 1703.00000 IMAGE=Cobb (9).JPG <b>ID=8</b> SCALE=0.002985	<b>LM=9</b> 2578.00000 1497.00000 2481.00000 1643.00000 2340.00000 1740.00000 2156.00000 1798.00000 1944.00000 1801.00000 1968.00000 1466.00000 2186.00000 1554.00000 2328.00000 1578.00000 2460.00000 1571.00000 IMAGE=Cobb (14).JPG <b>ID=13</b> SCALE=0.002584	<b>LM=9</b> 2699.00000 1272.00000 2618.00000 1395.00000 2505.00000 1484.00000 2372.00000 1544.00000 2190.00000 1579.00000 2194.00000 1262.00000 2375.00000 1303.00000 2496.00000 1332.00000 2598.00000 1313.00000 IMAGE=Cobb (19).JPG <b>ID=18</b> SCALE=0.002976
<b>LM=9</b> 2791.00000 1434.00000 2697.00000 1590.00000 2576.00000 1683.00000 2448.00000 1739.00000 2285.00000 1769.00000 2287.00000 1497.00000 2415.00000 1520.00000 2534.00000 1521.00000 2639.00000 1514.00000 IMAGE=Cobb (5).JPG <b>ID=4</b> SCALE=0.003049	<b>LM=9</b> 2554.00000 1570.00000 2408.00000 1727.00000 2233.00000 1789.00000 2065.00000 1801.00000 1861.00000 1768.00000 1867.00000 1391.00000 2074.00000 1532.00000 2235.00000 1581.00000 2403.00000 1614.00000 IMAGE=Cobb (10).JPG <b>ID=9</b> SCALE=0.002865	<b>LM=9</b> 2702.00000 1529.00000 2621.00000 1670.00000 2496.00000 1763.00000 2337.00000 1823.00000 2141.00000 1843.00000 2144.00000 1520.00000 2338.00000 1584.00000 2496.00000 1590.00000 2607.00000 1580.00000 IMAGE=Cobb (15).JPG <b>ID=14</b> SCALE=0.002785	<b>LM=9</b> 2845.00000 1567.00000 2773.00000 1678.00000 2630.00000 1780.00000 2491.00000 1831.00000 2316.00000 1850.00000 2323.00000 1552.00000 2498.00000 1612.00000 2621.00000 1631.00000 2734.00000 1621.00000 IMAGE=Cobb (20).JPG <b>ID=19</b> SCALE=0.002874

**LM=9**  
2812.00000 1444.00000  
2704.00000 1609.00000  
2566.00000 1699.00000  
2412.00000 1753.00000  
2253.00000 1769.00000  
2251.00000 1436.00000  
2407.00000 1490.00000  
2557.00000 1511.00000  
2680.00000 1510.00000  
IMAGE=Cobb (21).JPG  
**ID=20**  
SCALE=0.002907  
**LM=9**  
2977.00000 1092.00000  
2905.00000 1239.00000  
2781.00000 1358.00000  
2637.00000 1438.00000  
2453.00000 1490.00000  
2461.00000 1177.00000  
2626.00000 1195.00000  
2752.00000 1184.00000  
2875.00000 1155.00000  
IMAGE=Cobb (22).JPG  
**ID=21**  
SCALE=0.002874  
**LM=9**  
2860.00000 1521.00000  
2790.00000 1625.00000  
2634.00000 1727.00000  
2464.00000 1786.00000  
2237.00000 1806.00000  
2239.00000 1482.00000  
2458.00000 1554.00000  
2633.00000 1584.00000  
2758.00000 1565.00000  
IMAGE=Cobb (23).JPG  
**ID=22**  
SCALE=0.002688  
**LM=9**  
2938.00000 1431.00000  
2850.00000 1567.00000  
2709.00000 1667.00000  
2534.00000 1723.00000  
2327.00000 1737.00000  
2332.00000 1387.00000  
2541.00000 1470.00000  
2707.00000 1494.00000  
2839.00000 1472.00000  
IMAGE=Cobb (24).JPG  
**ID=23**  
SCALE=0.002695  
**LM=9**  
2928.00000 1251.00000  
2826.00000 1442.00000  
2707.00000 1550.00000  
2569.00000 1628.00000  
2343.00000 1694.00000  
2344.00000 1371.00000  
2551.00000 1391.00000  
2678.00000 1370.00000  
2794.00000 1344.00000  
IMAGE=Cobb (25).JPG  
**ID=24**  
SCALE=0.002717

**LM=9**  
2981.00000 1056.00000  
2924.00000 1209.00000  
2801.00000 1334.00000  
2631.00000 1427.00000  
2392.00000 1477.00000  
2398.00000 1180.00000  
2627.00000 1191.00000  
2752.00000 1183.00000  
2892.00000 1120.00000  
IMAGE=Cobb (26).JPG  
**ID=25**  
SCALE=0.002577  
**LM=9**  
2974.00000 1195.00000  
2823.00000 1351.00000  
2702.00000 1452.00000  
2562.00000 1518.00000  
2397.00000 1553.00000  
2396.00000 1225.00000  
2544.00000 1264.00000  
2673.00000 1277.00000  
2806.00000 1254.00000  
IMAGE=Cobb (27).JPG  
**ID=26**  
SCALE=0.002967  
**LM=9**  
3000.00000 1360.00000  
2897.00000 1498.00000  
2777.00000 1572.00000  
2642.00000 1614.00000  
2444.00000 1635.00000  
2451.00000 1286.00000  
2646.00000 1371.00000  
2767.00000 1395.00000  
2874.00000 1404.00000  
IMAGE=Cobb (28).JPG  
**ID=27**  
SCALE=0.002941  
**LM=9**  
2967.00000 1348.00000  
2860.00000 1499.00000  
2700.00000 1604.00000  
2547.00000 1664.00000  
2353.00000 1690.00000  
2361.00000 1350.00000  
2549.00000 1396.00000  
2705.00000 1427.00000  
2835.00000 1416.00000  
IMAGE=Cobb (29).JPG  
**ID=28**  
SCALE=0.002915  
**LM=9**  
2813.00000 1284.00000  
2698.00000 1461.00000  
2579.00000 1539.00000  
2467.00000 1585.00000  
2321.00000 1609.00000  
2324.00000 1298.00000  
2471.00000 1343.00000  
2581.00000 1366.00000  
2690.00000 1362.00000  
IMAGE=Cobb (30).JPG  
**ID=29**  
SCALE=0.003096

**LM=9**  
3080.00000 1393.00000  
2974.00000 1575.00000  
2861.00000 1664.00000  
2718.00000 1734.00000  
2532.00000 1772.00000  
2537.00000 1471.00000  
2708.00000 1504.00000  
2834.00000 1516.00000  
2947.00000 1487.00000  
IMAGE=Cobb (31).JPG  
**ID=30**  
SCALE=0.002673  
**LM=9**  
2960.00000 1535.00000  
2826.00000 1710.00000  
2656.00000 1812.00000  
2467.00000 1869.00000  
2266.00000 1877.00000  
2275.00000 1471.00000  
2497.00000 1551.00000  
2681.00000 1588.00000  
2819.00000 1585.00000  
IMAGE=Cobb (32).JPG  
**ID=31**  
SCALE=0.002645  
**LM=9**  
2977.00000 1495.00000  
2870.00000 1633.00000  
2684.00000 1751.00000  
2503.00000 1813.00000  
2292.00000 1836.00000  
2298.00000 1428.00000  
2507.00000 1499.00000  
2692.00000 1533.00000  
2768.00000 1533.00000  
IMAGE=Cobb (33).JPG  
**ID=32**  
SCALE=0.002576  
**LM=9**  
2889.00000 1660.00000  
2800.00000 1787.00000  
2656.00000 1877.00000  
2525.00000 1921.00000  
2346.00000 1935.00000  
2354.00000 1631.00000  
2533.00000 1687.00000  
2652.00000 1707.00000  
2768.00000 1704.00000  
IMAGE=Cobb (34).JPG  
**ID=33**  
SCALE=0.002703  
**LM=9**  
3032.00000 1410.00000  
2946.00000 1538.00000  
2823.00000 1633.00000  
2677.00000 1691.00000  
2476.00000 1720.00000  
2482.00000 1357.00000  
2679.00000 1421.00000  
2817.00000 1454.00000  
2926.00000 1456.00000  
IMAGE=Cobb (35).JPG  
**ID=34**  
SCALE=0.002571

**LM=9**  
3345.00000 1683.00000  
3190.00000 1811.00000  
3019.00000 1878.00000  
2809.00000 1890.00000  
2627.00000 1860.00000  
2740.00000 1495.00000  
2864.00000 1579.00000  
3009.00000 1665.00000  
3189.00000 1701.00000  
IMAGE=Cobb (36).JPG  
**ID=35**  
SCALE=0.002398  
**LM=9**  
3083.00000 1319.00000  
2994.00000 1424.00000  
2836.00000 1523.00000  
2657.00000 1574.00000  
2461.00000 1584.00000  
2467.00000 1208.00000  
2660.00000 1295.00000  
2804.00000 1347.00000  
2968.00000 1351.00000  
IMAGE=Cobb (37).JPG  
**ID=36**  
SCALE=0.002445  
**LM=9**  
3420.00000 1253.00000  
3363.00000 1351.00000  
3211.00000 1494.00000  
3018.00000 1578.00000  
2789.00000 1613.00000  
2799.00000 1168.00000  
3017.00000 1247.00000  
3191.00000 1295.00000  
3315.00000 1285.00000  
IMAGE=Cobb (38).JPG  
**ID=37**  
SCALE=0.002232  
**LM=9**  
3190.00000 1331.00000  
3097.00000 1457.00000  
2940.00000 1570.00000  
2748.00000 1637.00000  
2487.00000 1651.00000  
2491.00000 1200.00000  
2752.00000 1333.00000  
2934.00000 1393.00000  
3058.00000 1378.00000  
IMAGE=Cobb (39).JPG  
**ID=38**  
SCALE=0.002410  
**LM=9**  
3445.00000 1324.00000  
3302.00000 1525.00000  
3126.00000 1638.00000  
2935.00000 1694.00000  
2689.00000 1701.00000  
2694.00000 1246.00000  
2928.00000 1348.00000  
3123.00000 1401.00000  
3280.00000 1399.00000  
IMAGE=Cobb (40).JPG  
**ID=39**  
SCALE=0.002146

**LM=9**  
3329.00000 1457.00000  
3168.00000 1597.00000  
3000.00000 1664.00000  
2846.00000 1683.00000  
2651.00000 1668.00000  
2663.00000 1223.00000  
2841.00000 1355.00000  
3002.00000 1422.00000  
3172.00000 1476.00000  
IMAGE=Cobb (41).JPG  
**ID=40**  
SCALE=0.002404  
**LM=9**  
3282.00000 1206.00000  
3175.00000 1363.00000  
3024.00000 1487.00000  
2847.00000 1560.00000  
2586.00000 1592.00000  
2595.00000 1130.00000  
2848.00000 1235.00000  
3034.00000 1260.00000  
3154.00000 1260.00000  
IMAGE=Cobb (42).JPG  
**ID=41**  
SCALE=0.002252  
**LM=9**  
3247.00000 1295.00000  
3283.00000 1426.00000  
3128.00000 1526.00000  
2890.00000 1599.00000  
2637.00000 1608.00000  
2640.00000 1175.00000  
2890.00000 1291.00000  
3106.00000 1363.00000  
3242.00000 1358.00000  
IMAGE=Cobb (43).JPG  
**ID=42**  
SCALE=0.002237  
**LM=9**  
3241.00000 1288.00000  
3096.00000 1460.00000  
2924.00000 1561.00000  
2685.00000 1609.00000  
2463.00000 1603.00000  
2491.00000 1167.00000  
2716.00000 1285.00000  
2904.00000 1347.00000  
3072.00000 1348.00000  
IMAGE=Cobb (44).JPG  
**ID=43**  
SCALE=0.002169  
**LM=9**  
3167.00000 1283.00000  
3017.00000 1444.00000  
2836.00000 1542.00000  
2605.00000 1581.00000  
2368.00000 1558.00000  
2405.00000 1083.00000  
2610.00000 1213.00000  
2837.00000 1295.00000  
2952.00000 1324.00000  
IMAGE=Cobb (45).JPG  
**ID=44**  
SCALE=0.002309

**LM=9**  
3044.00000 1257.00000  
2899.00000 1400.00000  
2752.00000 1476.00000  
2549.00000 1518.00000  
2327.00000 1524.00000  
2324.00000 1115.00000  
2548.00000 1226.00000  
2746.00000 1274.00000  
2837.00000 1308.00000  
IMAGE=Cobb (46).JPG  
**ID=45**  
SCALE=0.002433  
**LM=9**  
3204.00000 1258.00000  
3068.00000 1424.00000  
2897.00000 1527.00000  
2676.00000 1588.00000  
2450.00000 1597.00000  
2447.00000 1099.00000  
2681.00000 1214.00000  
2899.00000 1280.00000  
3051.00000 1310.00000  
IMAGE=Cobb (47).JPG  
**ID=46**  
SCALE=0.002262  
**LM=9**  
3247.00000 1347.00000  
3139.00000 1512.00000  
2962.00000 1629.00000  
2745.00000 1684.00000  
2508.00000 1689.00000  
2510.00000 1234.00000  
2767.00000 1369.00000  
3006.00000 1426.00000  
3113.00000 1400.00000  
IMAGE=Cobb (48).JPG  
**ID=47**  
SCALE=0.002273  
**LM=9**  
3229.00000 1424.00000  
3069.00000 1603.00000  
2847.00000 1707.00000  
2640.00000 1730.00000  
2402.00000 1706.00000  
2402.00000 1246.00000  
2646.00000 1398.00000  
2856.00000 1460.00000  
3041.00000 1483.00000  
IMAGE=Cobb (49).JPG  
**ID=48**  
SCALE=0.002232  
**LM=9**  
3442.00000 1301.00000  
3354.00000 1453.00000  
3181.00000 1601.00000  
2979.00000 1690.00000  
2715.00000 1736.00000  
2717.00000 1345.00000  
2968.00000 1394.00000  
3161.00000 1415.00000  
3312.00000 1373.00000  
IMAGE=Cobb (50).JPG  
**ID=49**  
SCALE=0.002288

**LM=9**  
3221.00000 1417.00000  
3091.00000 1581.00000  
2879.00000 1703.00000  
2635.00000 1755.00000  
2349.00000 1742.00000  
2351.00000 1252.00000  
2641.00000 1402.00000  
2854.00000 1463.00000  
3004.00000 1477.00000  
IMAGE=Cobb (51).JPG  
**ID=50**  
SCALE=0.002088  
**LM=9**  
3337.00000 1452.00000  
3177.00000 1632.00000  
2932.00000 1747.00000  
2733.00000 1783.00000  
2482.00000 1779.00000  
2482.00000 1305.00000  
2733.00000 1430.00000  
2926.00000 1482.00000  
3150.00000 1503.00000  
IMAGE=Cobb (52).JPG  
**ID=51**  
SCALE=0.002141  
**LM=9**  
3232.00000 1565.00000  
3147.00000 1683.00000  
2968.00000 1801.00000  
2731.00000 1858.00000  
2456.00000 1840.00000  
2483.00000 1375.00000  
2742.00000 1539.00000  
2968.00000 1621.00000  
3121.00000 1599.00000  
IMAGE=Cobb (53).JPG  
**ID=52**  
SCALE=0.002232  
**LM=9**  
3208.00000 1527.00000  
3065.00000 1672.00000  
2867.00000 1758.00000  
2630.00000 1777.00000  
2378.00000 1726.00000  
2500.00000 1294.00000  
2684.00000 1426.00000  
2871.00000 1534.00000  
3057.00000 1561.00000  
IMAGE=Cobb (54).JPG  
**ID=53**  
SCALE=0.002217  
**LM=9**  
3126.00000 1435.00000  
2994.00000 1557.00000  
2813.00000 1644.00000  
2577.00000 1673.00000  
2344.00000 1640.00000  
2445.00000 1161.00000  
2608.00000 1298.00000  
2810.00000 1387.00000  
2969.00000 1448.00000  
IMAGE=Cobb (55).JPG  
**ID=54**  
SCALE=0.002283

**LM=9**  
2626.00000 1532.00000  
2497.00000 1699.00000  
2362.00000 1782.00000  
2205.00000 1825.00000  
2079.00000 1835.00000  
2076.00000 1491.00000  
2209.00000 1553.00000  
2334.00000 1595.00000  
2455.00000 1603.00000  
IMAGE=Hubbard (1).JPG  
**ID=55**  
SCALE=0.003125  
**LM=9**  
2664.00000 1550.00000  
2581.00000 1694.00000  
2432.00000 1800.00000  
2263.00000 1859.00000  
2091.00000 1869.00000  
2092.00000 1560.00000  
2263.00000 1613.00000  
2415.00000 1642.00000  
2549.00000 1623.00000  
IMAGE=Hubbard (2).JPG  
**ID=56**  
SCALE=0.003115  
**LM=9**  
2534.00000 1686.00000  
2409.00000 1812.00000  
2266.00000 1873.00000  
2117.00000 1902.00000  
1975.00000 1896.00000  
1973.00000 1561.00000  
2117.00000 1642.00000  
2264.00000 1692.00000  
2394.00000 1717.00000  
IMAGE=Hubbard (3).JPG  
**ID=57**  
SCALE=0.003279  
**LM=9**  
2664.00000 1680.00000  
2549.00000 1817.00000  
2415.00000 1877.00000  
2242.00000 1902.00000  
2079.00000 1889.00000  
2110.00000 1585.00000  
2265.00000 1662.00000  
2418.00000 1727.00000  
2534.00000 1719.00000  
IMAGE=Hubbard (4).JPG  
**ID=58**  
SCALE=0.003460  
**LM=9**  
2549.00000 1692.00000  
2418.00000 1843.00000  
2287.00000 1907.00000  
2165.00000 1935.00000  
2019.00000 1936.00000  
2026.00000 1660.00000  
2173.00000 1724.00000  
2285.00000 1753.00000  
2415.00000 1763.00000  
IMAGE=Hubbard (5).JPG  
**ID=59**  
SCALE=0.003185

**LM=9**  
2574.00000 1663.00000  
2490.00000 1800.00000  
2309.00000 1911.00000  
2106.00000 1951.00000  
1906.00000 1937.00000  
1910.00000 1549.00000  
2110.00000 1669.00000  
2307.00000 1733.00000  
2461.00000 1710.00000  
IMAGE=Hubbard (6).JPG  
**ID=60**  
SCALE=0.002915  
**LM=9**  
2371.00000 1746.00000  
2234.00000 1884.00000  
2072.00000 1949.00000  
1932.00000 1964.00000  
1779.00000 1949.00000  
1796.00000 1601.00000  
1943.00000 1707.00000  
2080.00000 1772.00000  
2229.00000 1791.00000  
IMAGE=Hubbard (7).JPG  
**ID=61**  
SCALE=0.002985  
**LM=9**  
2645.00000 1486.00000  
2542.00000 1599.00000  
2404.00000 1674.00000  
2288.00000 1700.00000  
2156.00000 1705.00000  
2159.00000 1385.00000  
2289.00000 1454.00000  
2407.00000 1489.00000  
2536.00000 1514.00000  
IMAGE=Hubbard (8).JPG  
**ID=62**  
SCALE=0.002959  
**LM=9**  
2519.00000 1506.00000  
2435.00000 1627.00000  
2320.00000 1701.00000  
2183.00000 1751.00000  
2038.00000 1765.00000  
2042.00000 1437.00000  
2194.00000 1512.00000  
2323.00000 1552.00000  
2429.00000 1544.00000  
IMAGE=Hubbard (9).JPG  
**ID=63**  
SCALE=0.003205  
**LM=9**  
2409.00000 1635.00000  
2296.00000 1766.00000  
2162.00000 1833.00000  
2022.00000 1860.00000  
1887.00000 1858.00000  
1887.00000 1527.00000  
2037.00000 1612.00000  
2165.00000 1647.00000  
2282.00000 1666.00000  
IMAGE=Hubbard (10).JPG  
**ID=64**  
SCALE=0.003106

**LM=9**  
2737.00000 1691.00000  
2627.00000 1815.00000  
2494.00000 1890.00000  
2335.00000 1929.00000  
2165.00000 1928.00000  
2167.00000 1583.00000  
2339.00000 1668.00000  
2494.00000 1713.00000  
2617.00000 1719.00000  
IMAGE=Hubbard (11).JPG  
**ID=65**  
SCALE=0.003049  
**LM=9**  
2535.00000 1652.00000  
2415.00000 1797.00000  
2265.00000 1880.00000  
2122.00000 1913.00000  
1984.00000 1913.00000  
1984.00000 1568.00000  
2126.00000 1639.00000  
2265.00000 1679.00000  
2239.00000 1698.00000  
IMAGE=Hubbard (12).JPG  
**ID=66**  
SCALE=0.002994  
**LM=9**  
2669.00000 1587.00000  
2583.00000 1736.00000  
2479.00000 1818.00000  
2349.00000 1874.00000  
2189.00000 1901.00000  
2192.00000 1637.00000  
2344.00000 1664.00000  
2477.00000 1666.00000  
2568.00000 1647.00000  
IMAGE=Hubbard (13).JPG  
**ID=67**  
SCALE=0.003226  
**LM=9**  
2644.00000 1514.00000  
2538.00000 1649.00000  
2387.00000 1729.00000  
2225.00000 1755.00000  
2074.00000 1746.00000  
2087.00000 1401.00000  
2237.00000 1487.00000  
2389.00000 1543.00000  
2535.00000 1556.00000  
IMAGE=Hubbard (14).JPG  
**ID=68**  
SCALE=0.003077  
**LM=9**  
2711.00000 1577.00000  
2595.00000 1697.00000  
2452.00000 1757.00000  
2302.00000 1781.00000  
2168.00000 1776.00000  
2173.00000 1456.00000  
2325.00000 1543.00000  
2478.00000 1611.00000  
2593.00000 1616.00000  
IMAGE=Hubbard (15).JPG  
**ID=69**  
SCALE=0.003115

**LM=9**  
2759.00000 1587.00000  
2665.00000 1744.00000  
2528.00000 1836.00000  
2355.00000 1882.00000  
2213.00000 1880.00000  
2250.00000 1577.00000  
2382.00000 1626.00000  
2525.00000 1657.00000  
2650.00000 1651.00000  
IMAGE=Hubbard (16).JPG  
**ID=70**  
SCALE=0.002994  
**LM=9**  
2592.00000 1455.00000  
2493.00000 1637.00000  
2364.00000 1727.00000  
2222.00000 1770.00000  
2056.00000 1779.00000  
2059.00000 1404.00000  
2216.00000 1481.00000  
2336.00000 1514.00000  
2441.00000 1525.00000  
IMAGE=Hubbard (17).JPG  
**ID=71**  
SCALE=0.003077  
**LM=9**  
2579.00000 1550.00000  
2461.00000 1675.00000  
2333.00000 1743.00000  
2157.00000 1770.00000  
1997.00000 1761.00000  
2045.00000 1459.00000  
2197.00000 1530.00000  
2360.00000 1581.00000  
2468.00000 1579.00000  
IMAGE=Hubbard (18).JPG  
**ID=72**  
SCALE=0.002924  
**LM=9**  
2615.00000 1507.00000  
2514.00000 1642.00000  
2345.00000 1731.00000  
2169.00000 1763.00000  
1994.00000 1753.00000  
2002.00000 1407.00000  
2176.00000 1500.00000  
2351.00000 1554.00000  
2504.00000 1557.00000  
IMAGE=Hubbard (19).JPG  
**ID=73**  
SCALE=0.003106  
**LM=9**  
2674.00000 1606.00000  
2603.00000 1741.00000  
2469.00000 1840.00000  
2307.00000 1884.00000  
2156.00000 1885.00000  
2165.00000 1591.00000  
2313.00000 1652.00000  
2465.00000 1672.00000  
2584.00000 1657.00000  
IMAGE=Hubbard (20).JPG  
**ID=74**  
SCALE=0.003030

**LM=9**  
2544.00000 1577.00000  
2448.00000 1699.00000  
2317.00000 1773.00000  
2145.00000 1809.00000  
1981.00000 1800.00000  
1992.00000 1441.00000  
2155.00000 1527.00000  
2318.00000 1590.00000  
2441.00000 1596.00000  
IMAGE=Hubbard (21).JPG  
**ID=75**  
SCALE=0.002874  
**LM=9**  
2594.00000 1563.00000  
2516.00000 1701.00000  
2374.00000 1803.00000  
2181.00000 1863.00000  
2011.00000 1863.00000  
2012.00000 1513.00000  
2192.00000 1595.00000  
2365.00000 1640.00000  
2488.00000 1611.00000  
IMAGE=Hubbard (22).JPG  
**ID=76**  
SCALE=0.002882  
**LM=9**  
2482.00000 1550.00000  
2360.00000 1704.00000  
2200.00000 1787.00000  
2044.00000 1818.00000  
1891.00000 1819.00000  
1896.00000 1458.00000  
2054.00000 1540.00000  
2206.00000 1580.00000  
2359.00000 1591.00000  
IMAGE=Hubbard (23).JPG  
**ID=77**  
SCALE=0.002915  
**LM=9**  
2567.00000 1598.00000  
2454.00000 1744.00000  
2334.00000 1806.00000  
2189.00000 1845.00000  
2045.00000 1863.00000  
2044.00000 1496.00000  
2187.00000 1581.00000  
2328.00000 1628.00000  
2442.00000 1638.00000  
IMAGE=Hubbard (24).JPG  
**ID=78**  
SCALE=0.002865  
**LM=9**  
2795.00000 1616.00000  
2687.00000 1757.00000  
2561.00000 1828.00000  
2422.00000 1872.00000  
2263.00000 1886.00000  
2266.00000 1566.00000  
2421.00000 1625.00000  
2552.00000 1662.00000  
2667.00000 1659.00000  
IMAGE=Hubbard (25).JPG  
**ID=79**  
SCALE=0.003012

**LM=9**  
2338.00000 1671.00000  
2190.00000 1781.00000  
2044.00000 1821.00000  
1909.00000 1830.00000  
1741.00000 1794.00000  
1830.00000 1502.00000  
1952.00000 1588.00000  
2068.00000 1655.00000  
2178.00000 1690.00000  
IMAGE=Hubbard (26).JPG  
**ID=80**  
SCALE=0.002833  
**LM=9**  
2374.00000 1560.00000  
2298.00000 1687.00000  
2161.00000 1776.00000  
1995.00000 1823.00000  
1802.00000 1817.00000  
1813.00000 1451.00000  
1997.00000 1580.00000  
2149.00000 1637.00000  
2265.00000 1641.00000  
IMAGE=Hubbard (27).JPG  
**ID=81**  
SCALE=0.003039  
**LM=9**  
2241.00000 1493.00000  
2148.00000 1619.00000  
1999.00000 1716.00000  
1804.00000 1758.00000  
1614.00000 1748.00000  
1643.00000 1377.00000  
1809.00000 1473.00000  
1993.00000 1531.00000  
2123.00000 1537.00000  
IMAGE=Hubbard (28).JPG  
**ID=82**  
SCALE=0.002746  
**LM=9**  
2373.00000 1611.00000  
2283.00000 1706.00000  
2147.00000 1767.00000  
1992.00000 1791.00000  
1819.00000 1777.00000  
1825.00000 1423.00000  
1997.00000 1538.00000  
2148.00000 1603.00000  
2275.00000 1628.00000  
IMAGE=Hubbard (29).JPG  
**ID=83**  
SCALE=0.002857  
**LM=9**  
2632.00000 1514.00000  
2558.00000 1639.00000  
2414.00000 1745.00000  
2242.00000 1806.00000  
2058.00000 1821.00000  
2062.00000 1454.00000  
2254.00000 1523.00000  
2402.00000 1567.00000  
2505.00000 1570.00000  
IMAGE=Hubbard (30).JPG  
**ID=84**  
SCALE=0.002833

**LM=9**  
2258.00000 1535.00000  
2129.00000 1682.00000  
1976.00000 1744.00000  
1824.00000 1757.00000  
1660.00000 1732.00000  
1689.00000 1359.00000  
1847.00000 1460.00000  
1988.00000 1503.00000  
2129.00000 1533.00000  
IMAGE=Hubbard (31).JPG  
**ID=85**  
SCALE=0.002660  
**LM=9**  
2449.00000 1514.00000  
2347.00000 1649.00000  
2202.00000 1730.00000  
2030.00000 1768.00000  
1872.00000 1766.00000  
1873.00000 1377.00000  
2029.00000 1466.00000  
2189.00000 1524.00000  
2318.00000 1544.00000  
IMAGE=Hubbard (32).JPG  
**ID=86**  
SCALE=0.002786  
**LM=9**  
2270.00000 1691.00000  
2484.00000 1813.00000  
2353.00000 1908.00000  
2176.00000 1966.00000  
1975.00000 1970.00000  
1985.00000 1648.00000  
2194.00000 1723.00000  
2350.00000 1749.00000  
2471.00000 1743.00000  
IMAGE=Hubbard (33).JPG  
**ID=87**  
SCALE=0.002639  
**LM=9**  
2483.00000 1526.00000  
2401.00000 1671.00000  
2253.00000 1773.00000  
2093.00000 1828.00000  
1910.00000 1841.00000  
1917.00000 1479.00000  
2101.00000 1550.00000  
2247.00000 1594.00000  
2368.00000 1576.00000  
IMAGE=Hubbard (34).JPG  
**ID=88**  
SCALE=0.002717  
**LM=9**  
2389.00000 1604.00000  
2259.00000 1744.00000  
2095.00000 1817.00000  
1909.00000 1834.00000  
1716.00000 1800.00000  
1776.00000 1417.00000  
1932.00000 1537.00000  
2120.00000 1628.00000  
2242.00000 1649.00000  
IMAGE=Hubbard (35).JPG  
**ID=89**  
SCALE=0.002841

**LM=9**  
2532.00000 1508.00000  
2412.00000 1641.00000  
2268.00000 1711.00000  
2087.00000 1745.00000  
1929.00000 1733.00000  
1933.00000 1400.00000  
2096.00000 1494.00000  
2277.00000 1544.00000  
2406.00000 1549.00000  
IMAGE=Hubbard (36).JPG  
**ID=90**  
SCALE=0.002770  
**LM=9**  
2895.00000 1536.00000  
2777.00000 1648.00000  
2646.00000 1702.00000  
2499.00000 1722.00000  
2333.00000 1708.00000  
2339.00000 1379.00000  
2510.00000 1499.00000  
2654.00000 1569.00000  
2769.00000 1574.00000  
IMAGE=Hubbard (37).JPG  
**ID=91**  
SCALE=0.002874  
**LM=9**  
2911.00000 1624.00000  
2785.00000 1758.00000  
2598.00000 1836.00000  
2357.00000 1862.00000  
2140.00000 1828.00000  
2158.00000 1339.00000  
2362.00000 1502.00000  
2594.00000 1609.00000  
2772.00000 1646.00000  
IMAGE=Hubbard (38).JPG  
**ID=92**  
SCALE=0.002597  
**LM=9**  
2840.00000 1581.00000  
2700.00000 1697.00000  
2542.00000 1745.00000  
2376.00000 1749.00000  
2190.00000 1709.00000  
2236.00000 1303.00000  
2402.00000 1452.00000  
2549.00000 1551.00000  
2700.00000 1600.00000  
IMAGE=Hubbard (39).JPG  
**ID=93**  
SCALE=0.002644  
**LM=9**  
3103.00000 1605.00000  
2972.00000 1764.00000  
2842.00000 1832.00000  
2676.00000 1863.00000  
2483.00000 1849.00000  
2497.00000 1504.00000  
2683.00000 1616.00000  
2837.00000 1659.00000  
2965.00000 1649.00000  
IMAGE=Hubbard (40).JPG  
**ID=94**  
SCALE=0.002674

**LM=9**  
2963.00000 1561.00000  
2838.00000 1701.00000  
2663.00000 1793.00000  
2497.00000 1827.00000  
2290.00000 1823.00000  
2294.00000 1405.00000  
2503.00000 1525.00000  
2663.00000 1575.00000  
2828.00000 1587.00000  
IMAGE=Hubbard (41).JPG  
**ID=95**  
SCALE=0.002433  
**LM=9**  
3104.00000 1747.00000  
2990.00000 1876.00000  
2805.00000 1953.00000  
2633.00000 1973.00000  
2441.00000 1950.00000  
2456.00000 1509.00000  
2647.00000 1655.00000  
2811.00000 1729.00000  
2977.00000 1777.00000  
IMAGE=Hubbard (42).JPG  
**ID=96**  
SCALE=0.002558  
**LM=9**  
3011.00000 1789.00000  
2839.00000 1900.00000  
2637.00000 1942.00000  
2448.00000 1923.00000  
2271.00000 1870.00000  
2362.00000 1510.00000  
2514.00000 1625.00000  
2669.00000 1730.00000  
2839.00000 1781.00000  
IMAGE=Hubbard (43).JPG  
**ID=97**  
SCALE=0.002571  
**LM=9**  
2964.00000 1617.00000  
2841.00000 1765.00000  
2680.00000 1847.00000  
2467.00000 1876.00000  
2207.00000 1837.00000  
2311.00000 1443.00000  
2497.00000 1568.00000  
2685.00000 1639.00000  
2835.00000 1647.00000  
IMAGE=Hubbard (44).JPG  
**ID=98**  
SCALE=0.002639  
**LM=9**  
3104.00000 1652.00000  
2921.00000 1819.00000  
2734.00000 1879.00000  
2553.00000 1884.00000  
2396.00000 1859.00000  
2488.00000 1453.00000  
2608.00000 1549.00000  
2758.00000 1627.00000  
2889.00000 1666.00000  
IMAGE=Hubbard (45).JPG  
**ID=99**  
SCALE=0.002525

**LM=9**  
3161.00000 1748.00000  
3034.00000 1870.00000  
2877.00000 1939.00000  
2682.00000 1965.00000  
2498.00000 1938.00000  
2566.00000 1546.00000  
2723.00000 1652.00000  
2894.00000 1732.00000  
3032.00000 1762.00000  
IMAGE=Hubbard (46).JPG  
**ID=100**  
SCALE=0.002604

**LM=9**  
3245.00000 1876.00000  
3104.00000 2002.00000  
2917.00000 2066.00000  
2725.00000 2084.00000  
2536.00000 2057.00000  
2594.00000 1675.00000  
2755.00000 1782.00000  
2922.00000 1862.00000  
3088.00000 1906.00000  
IMAGE=Hubbard (47).JPG  
**ID=101**  
SCALE=0.002584

**LM=9**  
3007.00000 1768.00000  
2856.00000 1925.00000  
2691.00000 1995.00000  
2536.00000 2017.00000  
2362.00000 2011.00000  
2424.00000 1595.00000  
2582.00000 1691.00000  
2721.00000 1758.00000  
2858.00000 1786.00000  
IMAGE=Hubbard (48).JPG  
**ID=102**  
SCALE=0.002571

**LM=9**  
3084.00000 1719.00000  
2913.00000 1872.00000  
2768.00000 1918.00000  
2623.00000 1932.00000  
2452.00000 1910.00000  
2495.00000 1536.00000  
2648.00000 1629.00000  
2776.00000 1679.00000  
2950.00000 1730.00000  
IMAGE=Hubbard (49).JPG  
**ID=103**  
SCALE=0.002551

**LM=9**  
2964.00000 1896.00000  
2806.00000 2023.00000  
2627.00000 2075.00000  
2449.00000 2073.00000  
2275.00000 2031.00000  
2402.00000 1664.00000  
2538.00000 1774.00000  
2671.00000 1854.00000  
2809.00000 1904.00000  
IMAGE=Hubbard (50).JPG  
**ID=104**  
SCALE=0.002653

**LM=9**  
2988.00000 1659.00000  
2887.00000 1828.00000  
2718.00000 1907.00000  
2500.00000 1929.00000  
2308.00000 1895.00000  
2384.00000 1491.00000  
2532.00000 1608.00000  
2713.00000 1684.00000  
2867.00000 1703.00000  
IMAGE=Hubbard (51).JPG  
**ID=105**  
SCALE=0.002604

**LM=9**  
2923.00000 1749.00000  
2786.00000 1880.00000  
2594.00000 1947.00000  
2428.00000 1956.00000  
2253.00000 1924.00000  
2324.00000 1531.00000  
2480.00000 1654.00000  
2635.00000 1740.00000  
2768.00000 1767.00000  
IMAGE=Hubbard (52).JPG  
**ID=106**  
SCALE=0.002551

**LM=9**  
3138.00000 1942.00000  
2973.00000 2067.00000  
2815.00000 2109.00000  
2612.00000 2106.00000  
2410.00000 2043.00000  
2527.00000 1686.00000  
2678.00000 1812.00000  
2842.00000 1889.00000  
2971.00000 1953.00000  
IMAGE=Hubbard (53).JPG  
**ID=107**  
SCALE=0.002494

**LM=9**  
2961.00000 1873.00000  
2824.00000 1984.00000  
2633.00000 2029.00000  
2433.00000 2020.00000  
2254.00000 1972.00000  
2402.00000 1624.00000  
2519.00000 1730.00000  
2660.00000 1809.00000  
2816.00000 1871.00000  
IMAGE=Hubbard (54).JPG  
**ID=108**  
SCALE=0.002551

**LM=9**  
2916.00000 2107.00000  
2790.00000 2169.00000  
2627.00000 2186.00000  
2418.00000 2161.00000  
2234.00000 2096.00000  
2393.00000 1720.00000  
2513.00000 1851.00000  
2660.00000 1979.00000  
2795.00000 2067.00000  
IMAGE=Hubbard (55).JPG  
**ID=109**  
SCALE=0.002519