



HAL
open science

Etude morpho-fonctionnelle de l'appareil masticateur chez le loup gris français (*Canis lupus italicus*) et exploration du dimorphisme sexuel

Justine Joseph

► **To cite this version:**

Justine Joseph. Etude morpho-fonctionnelle de l'appareil masticateur chez le loup gris français (*Canis lupus italicus*) et exploration du dimorphisme sexuel. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04920643

HAL Id: dumas-04920643

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04920643v1>

Submitted on 30 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNEE 2024 - Thèse n° 143

**ETUDE MORPHO-FONCTIONNELLE DE L'APPAREIL
MASTICATEUR CHEZ LE LOUP GRIS FRANÇAIS (*CANIS
LUPUS ITALICUS*) ET EXPLORATION DU DIMORPHISME
SEXUEL**

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

le 16 décembre 2024

par

Justine, Marie JOSEPH

Sous la direction de

Monsieur Claude GUINTARD

Président du jury : Monsieur Stéphane PLOTEAU, Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury : Monsieur Éric BETTI, Maître de conférences à Oniris

Madame Aurélia BORVON, Maître de conférences à Oniris

Membres invités : Madame Colline BRASSARD, Maître de conférences à VetAgro Sup - Lyon
Monsieur Anthony HERREL, Directeur de recherches, UMR 7179 MECADEV,
Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS- Paris

ANNEE 2024 - Thèse n°

**ETUDE MORPHO-FONCTIONNELLE DE L'APPAREIL
MASTICATEUR CHEZ LE LOUP GRIS FRANÇAIS (*CANIS
LUPUS ITALICUS*) ET EXPLORATION DU DIMORPHISME
SEXUEL**

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de Nantes

le 16 décembre 2024

par

Justine, Marie JOSEPH

Sous la direction de

Monsieur Claude GUINTARD

Président du jury : Monsieur Stéphane PLOTEAU, Professeur à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury : Monsieur Éric BETTI, Maître de conférences à Oniris

Madame Aurélia BORVON, Maître de conférences à Oniris

Membres invités : Madame Colline BRASSARD, Maître de conférences à VetAgro Sup - Lyon
Monsieur Anthony HERREL, Directeur de recherches, UMR 7179 MECADEV,
Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS- Paris

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

| Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment | | |
|---|---|--|
| Responsable : Emmanuel JAFFRES – Adjointe : Frédérique NGUYEN | | |
| Pharmacologie et Toxicologie | Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr) | Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (Pr émérite) Marc GOGNY (Pr émérite) |
| Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire | Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC) | Solenn GAVAUD (CERC) |
| Histologie et anatomie pathologique | Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC) | Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC) |
| Biochimie alimentaire industrielle | Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC) | Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC) |
| Micro-biotechnologie | Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC) Emmanuel JAFFRES (MC) | Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC) Quentin PRUVOST (CEC) |
| PACENV = VET1 | Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG) | Charlotte MOCQUARD (PRAG) Aurore CALVEL (PRAG) |

| Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique | | |
|--|---|---|
| Responsable : Raphaël GUATTEO – Adjoint : Jean-Michel CAPPELIER | | |
| Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques | Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr) | Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ 5(Pr) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC) |
| Infectiologie | Alain CHAUVIN (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr) Pauline MAISONNASSE (CERC) | Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC) |
| Médecine des animaux d'élevage | Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr émérite) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC) | Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC) |
| Hygiène et qualité des aliments | Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Louis DELAUNAY (CERC) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr) | Sofia STRUBBIA (MC) |

| Département DSC Sciences cliniques | | |
|--|--|--|
| Responsable : Catherine IBISCH – Adjoint : Marion FUSELLIER | | |
| Anatomie comparée | Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (MC Stagiaire) | |
| Pathologie chirurgicale et anesthésiologie | Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR) | Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC) |
| Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie | Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass) | Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (AERC) |
| Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire | Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass) Nora BOUHSINA (MC) | Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (Pr) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAAT (MC) |
| Biotechnologies et pathologie de la reproduction | Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr) | Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr) |

| Département GPA Génie des procédés alimentaires | | |
|--|--|---|
| Responsable : Sébastien CURET-PLOQUIN – Adjointe : Vanessa JURY | | |
| Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr) | Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (Pr) Emilie KORBEL (MC) | Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC) |
| PAC-ING | Cyril Gaillard (PCEA) | |

| Département MSC Management, statistiques et communication | | |
|--|---|--|
| Responsable : Samira ROUSSELIERE – Adjointe : Véronique CARIOU | | |
| Mathématiques, statistiques, informatique | El Mostafa QANNARI (Pr émérite) Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC stagiaire) | Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC) |
| Economie, gestion, législation | Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC) | Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.) |
| Langues et communication | Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.) | Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.) |

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, MCC : MC contractuel,
 PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole,
 HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel,
 Ens. Cont : Enseignant Contractuel

Cette thèse est un travail personnel. La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée sous condition d'en citer la source (article L. 122-5). Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- **Titre de la thèse : Etude morpho-fonctionnelle de l'appareil masticateur chez le loup gris français (Canis lupus italicus) et exploration du dimorphisme sexuel**
- **Nom et prénom de l'auteur : JOSEPH Justine**
- **Année de soutenance : 16 décembre 2024**
- **Intitulé du diplôme : Thèse de Doctorat Vétérinaire**
- **Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes**
- **Ecole de soutenance : Oniris VetAgroBio - Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation**
- **Nombre de pages : 130**

Table des matières

| | |
|--|----|
| LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT | 3 |
| Remerciements..... | 7 |
| Table des matières | 17 |
| Table des annexes..... | 19 |
| Table des figures..... | 20 |
| Table des tableaux | 23 |
| Table des abréviations..... | 24 |
| Introduction | 27 |
| Contexte et justification de l'étude..... | 27 |
| Problématique..... | 29 |
| Hypothèses de travail | 30 |
| Structure de la thèse | 30 |
| I. Revue de la littérature | 32 |
| A. Histoire évolutive de <i>Canis lupus</i> et taxonomie | 32 |
| B. Historique et enjeux actuels | 34 |
| 1. Disparition du territoire français | 34 |
| 2. Retour sur le territoire français | 34 |
| 3. Les rapports homme-loups de nos jours | 35 |
| a. Chasse et réglementation..... | 35 |
| b. Impact anthropique..... | 36 |
| 4. Comportement | 36 |
| a. Au sein de l'espèce | 36 |
| b. Au sein d'une meute de loups..... | 36 |
| 5. Régime alimentaire | 36 |
| C. Anatomie de la tête des loups/canidés | 38 |
| 1. Anatomie générale de l'appareil masticateur..... | 38 |
| 2. Ostéologie de la tête..... | 39 |
| 3. Myologie..... | 46 |
| II. Matériels et méthodes | 52 |
| A. Matériels | 52 |
| 1. Sélection de l'échantillon | 52 |
| a. Origine des têtes de loups..... | 52 |
| b. Description des spécimens étudiés | 53 |
| B. Méthodes..... | 57 |
| 1. Etude de la musculature..... | 57 |
| a. Description des feuillets musculaires | 57 |
| b. Protocole de dissection | 63 |
| c. Quantification de l'architecture musculaire..... | 71 |
| 1) Masse..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| 2) Longueur..... | 71 |
| 3) Angle de pennation | 72 |
| 4) PCSA : Physiological cross-sectional area | 72 |
| 2. Craniométrie..... | 73 |
| a. Acquisition scanner et segmentation..... | 73 |
| b. Préparation des têtes osseuses | 74 |
| c. Protocole de prise de mesures linéaires..... | 75 |
| 1) Définition des marqueurs osseux | 75 |
| 2) Choix des mesures sur les crânes..... | 81 |
| 3) Choix des mesures sur les mandibules | 82 |
| C. Exploration des données | 84 |
| 1. Questions scientifiques..... | 84 |
| 2. Méthodes statistiques..... | 84 |
| III. Résultats | 86 |
| A. Myologie | 86 |
| 1. Variabilité des données brutes..... | 86 |
| 2. Variabilité des données mises à l'échelle | 87 |
| 3. Variabilité des données dans les proportions des différents muscles élévateurs..... | 90 |
| B. Craniométrie..... | 92 |
| 1. Variabilité des dimensions brutes | 92 |
| 2. Variabilité de la taille isométrique..... | 94 |
| 3. Variabilité des proportions..... | 96 |
| a. Crâne..... | 96 |
| b. Mandibule..... | 99 |
| C. Synthèse des résultats..... | 100 |
| IV. Discussion | 101 |
| A. Discussion autour de la myologie, la craniométrie et le dimorphisme sexuel au sein de cette étude..... | 101 |
| B. Comparaison avec les études précédentes sur l'appareil masticateur et le dimorphisme sexuel chez d'autres canidés..... | 102 |
| C. Limites de l'étude..... | 103 |
| 1. Scanner | 103 |
| 2. Dissections et myologie de l'appareil masticateur | 104 |
| 3. Cuisson et nettoyage des têtes osseuses | 104 |
| 4. Craniométrie sur modèles 3D | 105 |
| D. Perspectives pour les futures recherches | 105 |
| Conclusion | 107 |
| Bibliographie | 108 |
| Annexes | 111 |

Table des annexes

| | |
|---|-----|
| Annexe 1 : Convention projet Morpholoup | 111 |
| Annexe 2 : Feuille de recueil des mesures myologiques..... | 114 |
| Annexe 3 : Tableau des mesures myologiques et craniométriques | 115 |
| Annexe 4 : Inventaire des loups fournis pour le projet MorphoLoup par l'OFB | 122 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Arbre phylogénétique des canidés lupoïdes modifié à partir de Nyakatura et Bininda-Emonds 2012 (d'après (Castello, 2020)). | 27 |
| Figure 2 : Variabilité de conformation du crâne de chiens domestiques (p : forme du palais, cb : longueur de la base crânienne et nc : forme du neurocrâne. La ligne rouge correspond à la longueur de la base crânienne chez le loup) (d'après (Schoenebeck and Ostrander, 2013)). | 28 |
| Figure 3 : Variabilité de conformation crânienne chez le chien (d'après (Done et al., 2009)). | 28 |
| Figure 4 : Chronologie des grandes étapes de cette étude sur l'appareil masticateur du loup gris français. | 31 |
| Figure 5 : Carte des premières apparitions archéologiques de chiens en Eurasie et modèle de domestication de ces derniers suggérant une double origine (d'après (Frantz et al., 2016)). | 32 |
| Figure 6 : Classification taxonomique du loup gris d'Europe, <i>Canis lupus lupus</i> , d'après l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN). | 33 |
| Figure 7 : Répartition des loups en France (OFB 2020) ; Le trait rouge représente le tracé schématisé de la Vallée du Rhône (d'après (Andrieux-Rolland et al., 2023)). | 35 |
| Figure 8 : Répartition des proies tuées lors du suivi du régime alimentaire de louves au sein d'une meute de loups (d'après (Anceau, Bergeon and Tardy, 2015)). | 37 |
| Figure 9 : Les reliefs osseux permettant la stabilité de l'ATM, crâne de chien en vue latérale gauche (d'après (Brassard, 2024b)). | 38 |
| Figure 10 : Les moyens d'union de l'ATM (d'après (Brassard, 2024a)). | 39 |
| Figure 11 : Formule dentaire des canidés (Belhaoues, 2018). | 40 |
| Figure 12 : Photo d'un crâne de loup (à gauche) et schéma d'un crâne de chien (à droite) en vue dorsale (d'après (Douart, 2013)). | 41 |
| Figure 13 : Photo d'un crâne de loup (à gauche) et schéma d'un crâne de chien (à droite) en vue ventrale (d'après (Douart, 2013)). | 42 |
| Figure 14 : Schémas d'un crâne de chien en vue latérale gauche (d'après (Douart, 2013) en haut et d'après (Barone, 1986) en bas). | 43 |
| Figure 15 : Photo d'une hémi-mandibule droite de loup (en haut) et schéma d'une hémi-mandibule droite de chien (en bas) en vue latérale (d'après (Barone, 1986)). * | 44 |
| Figure 16 : Photo d'une hémi-mandibule droite de loup (en haut) et schéma d'une hémi-mandibule droite de chien (en bas) en vue médiale (d'après (Barone, 1986)). | 45 |
| Figure 17 : Conformations des muscles longs d'un cheval (d'après (Barone, 2000)). | 46 |
| Figure 18 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle digastrique et du complexe musculaire massétérique. | 49 |
| Figure 19 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition des complexes musculaires massétérique et temporal. | 50 |
| Figure 20 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du complexe musculaire ptérygoïdien constitué des muscle ptérygoïdien médial et muscle ptérygoïdien latéral. | 50 |
| Figure 21 : Coupe transversale de la tête d'un chien en passant au bord rostral des articulations temporo-mandibulaires - vue caudale (d'après (Evans and De Lahunta, 2013)). | 51 |
| Figure 22 : Origine géographique des 146 loups fournis par l'OFB dans le cadre du projet MorphoLoup. | 53 |
| Figure 23 : Sutures SB (flèche continue) et BP (flèche discontinue) non fermées → Âge estimé à moins de 8-10 mois (individu non conservé pour notre échantillon). | 54 |
| Figure 24 : Suture SB (flèche continue) en cours de fermeture et suture BP (flèche discontinue) non fermée → Âge estimé à légèrement moins de 8-10 mois (individu non conservé pour notre échantillon). | 55 |

| | |
|---|----|
| Figure 25 : Suture SB fermée et suture BP (flèche discontinue) non fermée → Âge estimé entre 10 et 12 mois (individu non conservé pour notre échantillon). | 55 |
| Figure 26 : Sutures SB et BP fermées → Âge estimé à minimum 1-2 ans (individu conservé pour notre échantillon). | 56 |
| Figure 27 : Origine géographique des 47 loups étudiés. | 56 |
| Figure 28 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle digastrique et du muscle Masseter pars superficialis. | 58 |
| Figure 29 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle Masseter pars superficialis, du muscle Temporalis pars superficialis et du muscle Temporalis pars suprazygomata. | 58 |
| Figure 30 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle Masseter pars profunda. | 59 |
| Figure 31 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle Masseter pars zygomaticomandibularis anterior et du muscle Masseter pars profunda zygomaticomandibularis posterior. | 59 |
| Figure 32 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle Temporalis pars profunda. | 60 |
| Figure 33 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle Pterygoideus medialis et du muscle Pterygoideus lateralis. | 60 |
| Figure 34 : Les complexes musculaires masticateurs et leurs différents feuilletts chez le chien (Brassard, 2020a; Brassard, Merlin, Monchâtre-Leroy, et al., 2020) | 63 |
| Figure 35 : Les dix feuilletts musculaires issus de la dissection d'une tête de loup au cours de notre étude (proportions musculaires non respectées). | 70 |
| Figure 36 : Les dix feuilletts musculaires issus de la dissection de la tête d'un renard (Dig: Digastic; MS: M. masseter pars superficialis; MP: M. masseter pars profunda; ZMA: M. zygomaticomandibularis pars anterior; ZMP: zygomaticomandibularis pars posterior; SZ: M. temporalis pars suprazygomata; TS: M. temporalis pars superficialis; TP: M. temporalis pars profunda; PM: M. pterygoideus medialis; PM: M. pterygoideus lateralis) (d'après (Brassard, 2020b)). | 70 |
| Figure 37 : Photographie de la balance Sartorius® utilisée pour la mesure de la masse musculaire. | 71 |
| Figure 38 : Photographie du pied à coulisse digital Mitutoyo® utilisé pour les mesures des longueurs musculaires et des fibres musculaires. | 72 |
| Figure 39 : Mesure de l'angle de pennation sur le muscle Temporalis pars profunda chez un chien (FL : Longueur de la fibre musculaire et PA : Angle de pennation) (d'après (Brassard, 2020b)). | 72 |
| Figure 40 : Cuissons des têtes de canidés (d'après (Brassard, 2020b)). | 74 |
| Figure 41 : Photographie d'un crâne, des deux hémi-mandibules et des vertèbres d'un loup mis à sécher pendant le nettoyage simultané d'un autre. | 75 |
| Figure 42 : Modèle 3D d'une tête osseuse de loup ouvert sur le logiciel MeshLab® 2022.02. | 76 |
| Figure 43 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue dorsale d'après (Von den Driesch, 1976). | 79 |
| Figure 44 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue latéral gauche d'après (Von den Driesch, 1976). | 79 |
| Figure 45 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue ventrale d'après (Von den Driesch, 1976). | 80 |
| Figure 46 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue dorsale d'après (Von den Driesch, 1976). | 80 |
| Figure 47 : Marqueurs osseux de l'hémi-mandibule gauche d'un canidé en vue latérale d'après (Von den Driesch, 1976). | 81 |

| | |
|---|----|
| Figure 48 : Mesures crâniennes réalisées sur le modèle 3D d'une tête osseuse de loup à partir du logiciel MeshLab® 2022.02. | 82 |
| Figure 49 : Mesures mandibulaires réalisées sur le modèle 3D d'une tête osseuse de loup à partir du logiciel MeshLab® 2022.02. | 83 |
| Figure 50 : Box-plots représentant la distribution des masses (à gauche) et des PCSAs (à droite) du muscle digastrique après avoir mis à l'échelle les données. | 88 |
| Figure 51 : Box-plots représentant la distribution des masses (à gauche) et des PCSAs (à droite) du complexe musculaire massétérique après avoir mis à l'échelle les données. | 88 |
| Figure 52 : Box-plots représentant la distribution des masses (à gauche) et des PCSAs (à droite) du complexe musculaire temporal après avoir mis à l'échelle les données. | 89 |
| Figure 53 : Box-plots représentant la distribution des masses (à gauche) et des PCSAs (à droite) du complexe musculaire ptérygoïdien après avoir mis à l'échelle les données. | 89 |
| Figure 54 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du complexe musculaire massétérique au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de masses (à gauche) et de PCSAs (à droite). | 91 |
| Figure 55 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du complexe musculaire temporal au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de masses (à gauche) et de PCSAs (à droite). | 91 |
| Figure 56 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du complexe musculaire ptérygoïdien au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de masses (à gauche) et de PCSAs (à droite). | 92 |
| Figure 57 : Distribution des tailles isométriques du crâne chez les loups femelles et les loups mâles. | 95 |
| Figure 58 : Distribution des tailles isométriques de la mandibule chez les loups femelles et les loups mâles. | 95 |
| Figure 59 : Diagramme en bâton représentant le pourcentage de variation par les premiers axes de l'ACP. | 96 |
| Figure 60 : Bar plot de la contribution des variables à la composante 2. | 97 |
| Figure 61 : Analyse en composantes principales montrant la variabilité dans les proportions crâniennes au sein de l'échantillon suivant PC2 et PC3. Les ellipses de confiance contiennent 95% des mâles (en bleu) et des femelles (en rose). | 98 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I : Statut et références officielles du loup (d'après (Martinez, 2023))..... | 35 |
| Tableau II : Innervation et vascularisation des complexes musculaires (d'après (Barone, 2000)). | 47 |
| Tableau III : Complexes musculaires et leurs insertions (d'après (Barone, 2000) et (Brassard, 2024b)). | 48 |
| Tableau IV : Les dix feuillets retenus pour l'étude de la musculature de l'appareil masticateur. | 57 |
| Tableau V : Feuillet musculaire et leurs insertions (Légende : hachuré orange → insertion en face médiale de l'arcade zygomatique) (d'après (Brassard, 2024b)). | 61 |
| Tableau VI : Définition et légende des marqueurs osseux définis à partir des mesures du crâne et de la mandibule des canidés par (Von den Driesch, 1976). | 76 |
| Tableau VII : Description des mesures crâniennes considérées dans cette étude, d'après les mesures du crâne des canidés définies par (Von den Driesch, 1976). | 81 |
| Tableau VIII : Description des mesures mandibulaires considérées dans cette étude, d'après les mesures de la mandibule des canidés définies par (Von den Driesch, 1976)..... | 83 |
| Tableau IX : Moyennes, écart-types, minimums et maximums des mesures des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet..... | 86 |
| Tableau X : Moyennes et écart-types des mesures brutes des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles..... | 86 |
| Tableau XI : Moyennes et écart-types des mesures ramenées à la taille des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles..... | 87 |
| Tableau XII : Moyennes et écart-types des mesures des trois grands groupes musculaires élévateurs de la mandibule pour l'échantillon complet, les mâles et les femelles (en %). | 90 |
| Tableau XIII : Moyennes, écart-types, minimums et maximums des mesures craniométriques pour l'échantillon complet. Les données sont en centimètres..... | 92 |
| Tableau XIV : Moyennes et écart-types des mesures craniométriques pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles. Les données sont en centimètres..... | 93 |
| Tableau XV : Comparaison de la taille isométrique du crâne et de la mandibule entre femelles et mâles..... | 94 |
| Tableau XVI : Pourcentage de la valeur propre des variances cumulées..... | 97 |
| Tableau XVII : Comparaison des scores entre femelles et mâles pour les premières composantes principales. | 97 |
| Tableau XVIII : Comparaison de proportions crâniennes (données issues du calcul des log-shape ratios) entre femelles et mâles. | 98 |

Table des abréviations

ATM : Articulation temporo-mandibulaire

BP : Suture entre le basisphénoïde et le présphénoïde

Cra : Crâne

CRÂN. : Crânial(e)

D. : Droit(e)

DIG : Muscle digastrique

DORS. : Dorsal(e)

F : Femelle

G. : Gauche

K-W : Test de Kruskal-Wallis

LAT. : Latéral(e)

LG : Longueur

LG FIBRE : Longueur des fibres musculaires

M : Mâle

MAS : Complexe musculaire massétérique

MASSUP : Muscle *Masseter pars superficialis*

MASPROF : Muscle *Masseter pars profunda*

MDB : Mandibule

MED. : Médial(e)

OFB : Office Français de la Biodiversité

PCSA : Proxy de la force musculaire/Force intrinsèque – Physiological Cross-Sectional Area

PDS : Masse (en grammes)

PTE : Complexe musculaire ptérygoïdien

PTELAT : Muscle *Pterygoideus lateralis* / Muscle ptérygoïdien latéral

PTEMED : Muscle *Pterygoideus medialis* / Muscle ptérygoïdien médial

ROSTR. : Rostral(e)

SP : Suture sphéno-basilaire

SPZY : Muscle *Temporalis pars suprazygomatica*

TEMP : Complexe musculaire temporal

TPPROF : Muscle *Temporalis pars profunda*

TPSUP : Muscle *Temporalis pars superficialis*

VENTR. : Ventral(e)

ZYGANT : Muscle *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior*

ZYGPOST : Muscle *Masseter pars zygomaticomandibularis posterior*

Introduction

Contexte et justification de l'étude

Le loup gris, *Canis lupus*, est un grand prédateur présent dans la quasi-totalité de l'hémisphère nord (Carbone, 2004). Sa large aire de répartition géographique est à mettre en relation avec la grande plasticité et adaptabilité de l'espèce vis-à-vis de conditions environnementales variées et parfois extrêmes. Nous appelons parfois dans le langage courant des « loups » qui ne correspondent pas à *Canis lupus* (Figure 1). *Canis lupus* se subdivise en plusieurs sous-espèces en fonction des répartitions géographiques ou de leur histoire évolutive avec l'homme. L'espèce comprend par exemple les sous-espèces *Canis lupus lupaster*, le loup africain présent en Afrique du Nord, *Canis lupus arabs* en Arabie, *Canis lupus pallipes* en Inde, *Canis lupus dingo*, le dingo en Australie (qui correspond à un chien retourné à l'état sauvage), et le chien *Canis lupus familiaris*, issu de la domestication du loup il y a au moins 15,000 ans (Frantz et al., 2016). Les comportements écologiques, alimentaires et sociaux varient entre ces sous-espèces.

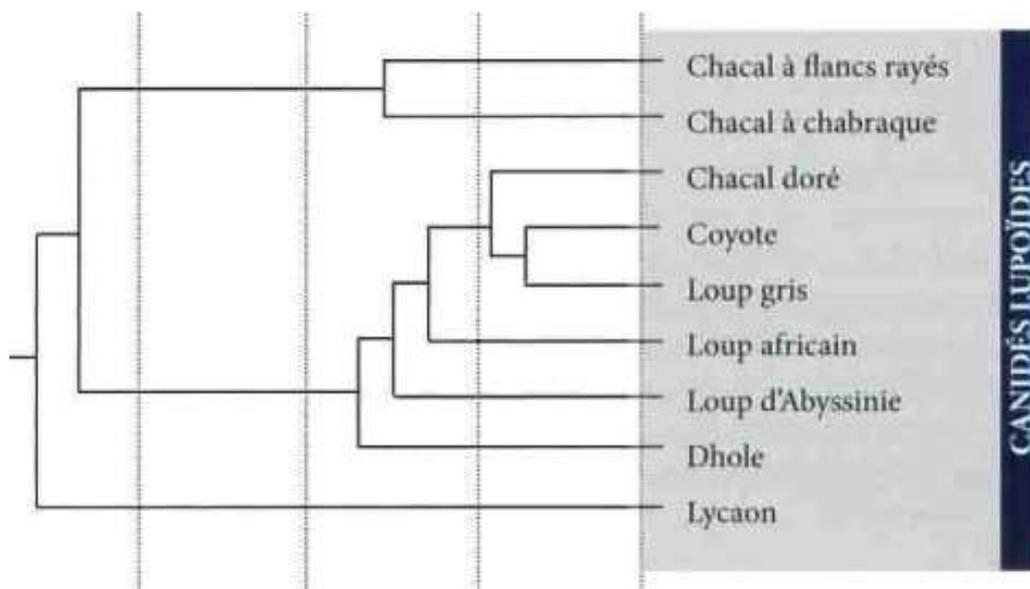


Figure 1 : Arbre phylogénétique des canidés lupoïdes modifié à partir de Nyakatura et Bininda-Emonds 2012 (d'après (Castello, 2020)).

Néanmoins, la diversité de conformation au sein de l'ensemble des sous-espèces sauvages est moindre par rapport à celle des chiens, du fait de la diversité des races (Drake et al., 2017) (Figure 2 et Figure 3).

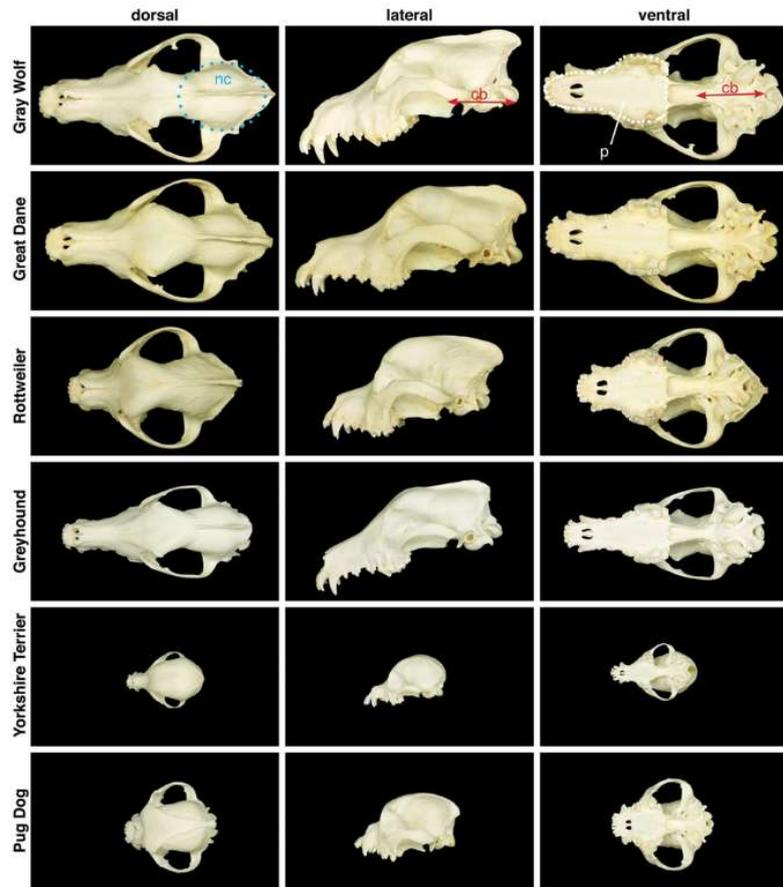


Figure 2 : Variabilité de conformation du crâne de chiens domestiques (p : forme du palais, cb : longueur de la base crânienne et nc : forme du neurocrâne. La ligne rouge correspond à la longueur de la base crânienne chez le loup) (d'après (Schoenebeck and Ostrander, 2013)).

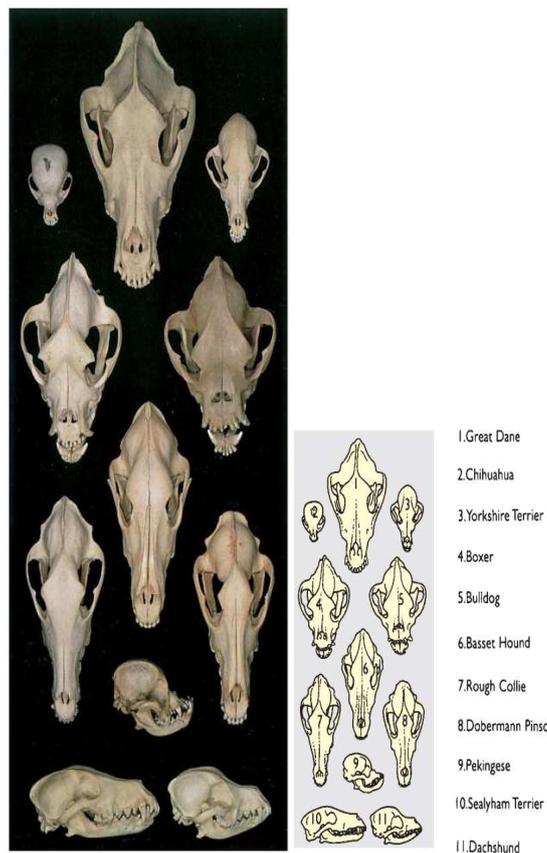


Figure 3 : Variabilité de conformation crânienne chez le chien (d'après (Done et al., 2009)).

Bien qu'ils appartiennent à la même espèce ; *Canis lupus*, chiens et loups se sont adaptés à des contraintes environnementales et anthropiques différentes. Les loups actuels restent principalement soumis à des contraintes naturelles, tandis que les chiens domestiques sont principalement soumis à des contraintes artificielles, de façon à répondre à des exigences esthétiques ou de fonctions de la part des humains. Dans certaines espèces comme les moutons et les chèvres, il a été démontré que les variants domestiques exprimaient un dimorphisme sexuel plus faible que chez l'ancêtre sauvage, ce qui peut être lié au relâchement des pressions de sélection environnementales (au profit des contraintes anthropiques) du fait de la domestication (Polák and Frynta, 2009). Chez les chiens, il semble qu'il persiste un dimorphisme sexuel au sein des races (Frynta *et al.*, 2012). La diversité des races complexifie grandement la comparaison des mâles et des femelles à l'échelle de l'espèce et ne permet pas d'étudier des adaptations à l'environnement. Le dimorphisme sexuel chez les animaux sauvages résulte de la sélection pour des traits spécifiques ou pour la taille corporelle globale. Il s'agit également de déterminer si les différentes facettes de ce dimorphisme sont liées à l'écologie, au comportement, à la phylogénie ou à l'histoire de vie d'une espèce (MacLeod and Kolska Horwitz, 2020).

Dans cette étude préliminaire, en partenariat avec l'Office Français de la Biodiversité, le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris et l'unité d'anatomie comparée d'Oniris, nous avons pour objectif d'explorer le dimorphisme sexuel au sein d'une population de loups gris français, *Canis lupus italicus*. Afin de concrétiser cela, nous allons étudier l'appareil masticateur, et plus exactement, la myologie et la craniométrie de ce dernier.

Les résultats de cette thèse alimenteront les connaissances sur les loups gris français, mais aussi plus généralement sur *Canis lupus*. Ils contribueront également à mieux distinguer l'effet des contraintes naturelles par rapport aux contraintes anthropiques des canidés. L'enjeu supplémentaire est de permettre l'identification du sexe facilement sur le terrain, en établissant de nouveaux critères craniométriques et/ou des critères d'imagerie, lorsqu'il n'est pas possible de définir le sexe d'une autre manière.

Problématique

Des études ont documenté le dimorphisme sexuel chez des loup gris. Celui-ci est peu marqué et concerne principalement les masse (mâles en moyenne 20% plus lourds) et taille corporelles (Mech and Boitani, 2003; Martinez, 2023). Toutefois, il n'existe pas de comparaison craniométrique pour des loups français exclusivement.

Les données sur la myologie des muscles masticateurs du loup gris sont limitées et éparées (Penrose, Kemp and Jeffery, 2016) et aucune étude n'a investigué à ce jour le dimorphisme sexuel au sein de l'appareil masticateur de loups français.

Pour pallier ce manque de données, nous nous demandons comment se manifesterait le dimorphisme sexuel chez le loup gris français à partir de l'appareil masticateur (myologie et craniométrie) ?

Ainsi, cette thèse vise à mener une étude morpho-fonctionnelle de l'appareil masticateur et à caractériser le dimorphisme sexuel chez le loup gris français, tout en créant un référentiel de données sur l'architecture du crâne et des muscles masticateurs.

Hypothèses de travail

Dans cette étude, nous examinerons les différences entre les mâles et les femelles sur l'appareil masticateur des loups gris de France, en nous concentrant plus particulièrement sur la myologie et la craniométrie. Nous faisons les hypothèses de :

- L'existence d'un dimorphisme sexuel de taille et de conformation (proportion) au niveau de la tête osseuse ;
- L'existence d'un dimorphisme sexuel concernant le développement des muscles masticateurs ;
- Une moindre variabilité morphologique chez le loup gris français par rapport au chien domestique.

Structure de la thèse

Ce projet d'étude sur l'appareil masticateur du loup gris français s'est déroulé tout au long des années d'études en école vétérinaire (Figure 4). Depuis quatre ans, la thèse s'est organisée autour de 5 objectifs :

- L'acquisition d'images par tomодensitométrie en vue des reconstructions 3D,
- La dissection des têtes de loup et acquisition des données myologiques,
- La préparation et le nettoyage des têtes osseuses,
- L'acquisition des données craniométriques,
- L'analyse de ces données et la valorisation des résultats par la rédaction de la thèse.

Le manuscrit de la thèse se découpe en 6 parties. D'abord nous allons traiter du contexte de cette étude dans la partie introductive. Puis nous aborderons la revue de littérature disponible chez le loup. Ensuite, nous parlerons des matériels et méthodes mis en œuvre pour la réalisation de la thèse. Sur ce, les résultats obtenus seront expliqués et par la suite discutés. Enfin, nous terminerons par une conclusion synthétique.



Figure 4 : Chronologie des grandes étapes de cette étude sur l'appareil masticateur du loup gris français.

I. Revue de la littérature

A. Histoire évolutive de *Canis lupus* et taxonomie

La domestication du chien s'est déroulée il y a au moins 15 000 ans, sur les parties Est et Ouest de l'Eurasie et à partir de populations différentes de loups (Frantz *et al.*, 2016) (Figure 5). Toutefois, le déroulé, les lieux et la date de la domestication font encore aujourd'hui débat et de fréquentes découvertes viennent constamment remettre en question les divers scénarii envisagés. L'hypothèse des experts est que la domestication aurait été initiée par une étape de commensalisme : les loups les plus dociles se seraient rapprochés des camps humains et auraient été retenus par les humains, les deux espèces tirant de cette collaboration des avantages réciproques (Zeder, 1982). Les loups auraient bénéficié d'un accès facilité à la nourriture et les humains auraient profité d'une protection contre les autres groupes humains ou les prédateurs.

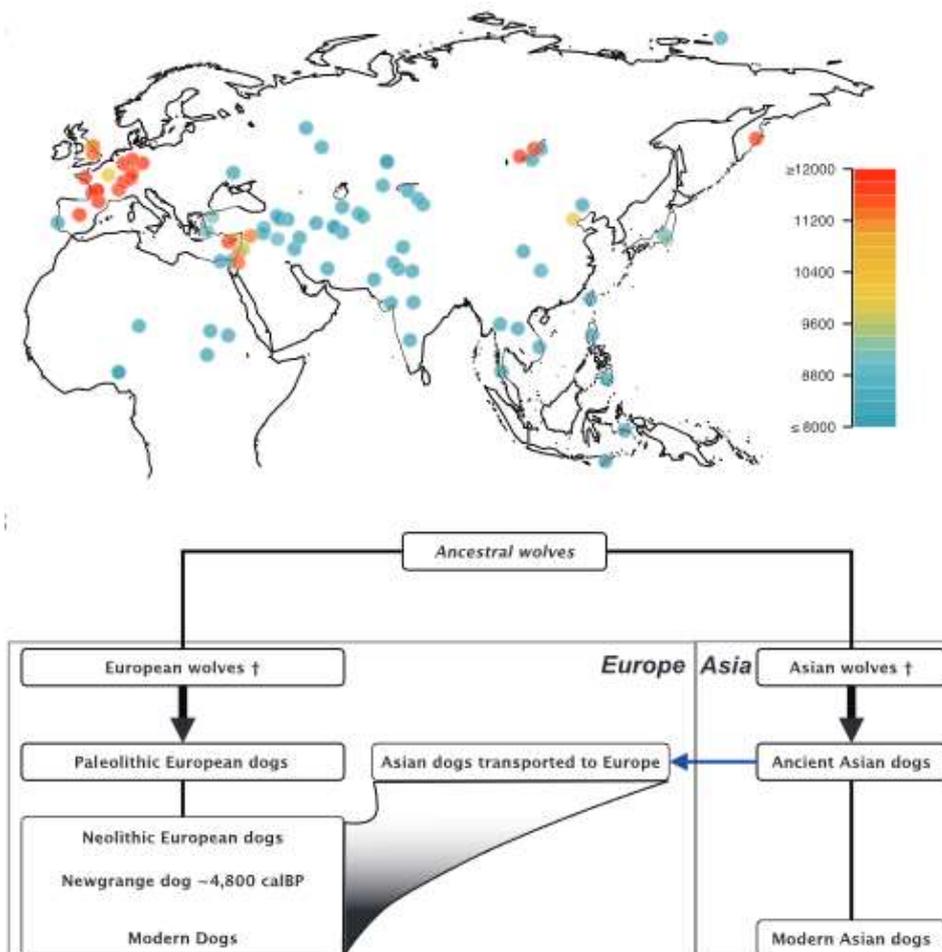


Figure 5 : Carte des premières apparitions archéologiques de chiens en Eurasie et modèle de domestication de ces derniers suggérant une double origine (d'après (Frantz *et al.*, 2016)).

Parmi les canidés et notamment le genre *Canis*, la taxonomie reste discutée car les attributions taxonomiques évoluent au cours des années (Boudadi-Maligne *et al.*,

2018; Hassanin *et al.*, 2021). De plus, l'aire de répartition, leur morphologie et leurs comportements sociaux et écologiques sont des facteurs supplémentaires de difficulté à définir des taxons.

Pour notre étude, le dernier taxon supérieur reconnu, est celui de la sous-espèce *Canis lupus lupus* (Carl Von Linné, 1758) aussi connu sous le nom vernaculaire de loup gris d'Europe (Figure 6). A l'heure actuelle, le loup gris français *Canis lupus italicus* n'est pas encore officiellement reconnu mais est unanimement admis (Mech and Boitani, 2003).

Nous pouvons donc retenir que le loup gris français fait partie de :

- Règne : Animal,
- Classe : Mammifère,
- Ordre : Carnivore,
- Famille : Canidés,
- Genre : *Canis*,
- Espèce : *Canis lupus*,
- Sous-espèce : *Canis lupus lupus*.



Figure 6 : Classification taxonomique du loup gris d'Europe, *Canis lupus lupus*, d'après l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN).

B. Historique et enjeux actuels

1. Disparition du territoire français

Depuis de nombreux siècles le loup subit sa mauvaise réputation. Que ce soit dans les contes, les écrits bibliques ou la politique, le loup n'y est pas décrit de façon glorieuse et incarne le mal et la tentation.

Canis lupus fait donc l'objet de nombreuses persécutions à l'échelle européenne mais également à l'échelle mondiale. L'accès aux armes à feu et la création de prime pour la chasse du loup favorisent aussi sa molestation. S'ajoute à cela la destruction de son habitat par la déforestation. Seules les guerres lui offrent des moments de répit ralentissant ainsi son déclin (Landry, 2013).

Néanmoins son déclin sévère, voire son éradication, semblent inévitables. Sa première éradication d'un territoire européen remonte au début du XVI^{ème} siècle et concerne l'Angleterre (Carbone, 2004). S'ensuit ainsi un déclin progressif, mais certain, de la population lupine dans toute l'Europe qui a fini par aboutir à son éradication dans de nombreux territoires européens dont la **France entre 1923 et 1929** (Landry, 2013). Le loup gris français est considéré comme étant éradiqué officiellement en France en 1937.

2. Retour sur le territoire français

Au début des années 1990, la pression paysanne s'amointrit permettant la recolonisation et l'augmentation de la population d'ongulés sauvages sur le territoire. De plus, le loup bénéficie enfin d'un statut de protection, à l'échelle nationale notamment, à partir de 1990.

Tous ces éléments favorables ont conduit à son retour sur le territoire français à partir de populations de loups italiennes ayant traversé le massif alpin. Ainsi, en **1992**, le retour officiel du loup est annoncé avec le retour du premier couple de loups.

Depuis son retour, la population a progressivement augmenté jusqu'à atteindre le nombre de 128 meutes réparties essentiellement dans le Sud-Est de la France (Figure 7).



Figure 7 : Répartition des loups en France (OFB 2020) ; Le trait rouge représente le tracé schématisé de la Vallée du Rhône (d'après (Andrieux-Rolland et al., 2023)).

3. Les rapports homme-loups de nos jours

a. Chasse et réglementation

Depuis son éradication officielle en 1937 en France, il aura fallu attendre 1990 pour que le loup bénéficie d'un statut de protection au niveau national, européen et international (Tableau I).

Ces statuts n'empêchent en rien la chasse de ce grand prédateur sur le territoire français dans un souci de régulation des populations lupines. Cependant cela est possible sous réserve que cette activité ne dégrade pas le statut de conservation de l'espèce sur le territoire. Un plafond est alors établi annuellement, par exemple il y a eu une autorisation d'abattre officiellement 51 individus en France pour l'année 2018 (Mathieu, 2019).

Tableau 1 : Statut et références officielles du loup (d'après (Martinez, 2023)).

| Niveau | Statut | Références officielles |
|---------------------------|---|--|
| Mondial | Inscription à la liste rouge des espèces menacées: en France, « en préoccupation mineure » | <ul style="list-style-type: none"> · Liste UICN (Union internationale pour la Conservation de la Nature) (9) · Liste rouge des espèces menacées en France (16) |
| International | « espèce réglementée » dans le commerce international des espèces menacées | <ul style="list-style-type: none"> · Convention de Washington (convention CITES) · Annexe II (UE: annexe A) (5) |
| Européen | « espèce de faune strictement protégée » | <ul style="list-style-type: none"> · Convention de Berne · Annexe II (4) |
| Communautaire (UE) | « espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation, qui nécessitent une protection stricte, dont le prélèvement dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesures de gestion » | <ul style="list-style-type: none"> · Directive Habitats-Faune-Flore · Annexes II, IV, V (13) |
| National | « espèce protégée » en France | <ul style="list-style-type: none"> · Arrêté ministériel du 23 avril 2007 (2) · Art. L 411-1 du code de l'environnement (3) · Plan National d'Action (PNA 2018-2023) sur le loup et les activités d'élevage (11) |

b. Impact anthropique

A l'heure actuelle, le loup fait parler de lui car il est parfois responsable de la prédation d'ongulés domestiques. Cet impact négatif sur les activités humaines oblige la prise de mesures préventives pour permettre la coexistence loup-activités humaines.

Cependant, l'homme n'est pas sans avoir également un impact sur l'environnement du loup gris français et donc sur son comportement comme évoqué précédemment.

4. Comportement

a. Au sein de l'espèce

Les loups gris sont des animaux très sociaux. Ils font même partie des canidés les plus sociaux. Au sein de l'espèce, la meute est généralement dirigée par un couple reproducteur monogame, les autres individus adultes étant non reproducteurs. (Castello, 2020).

b. Au sein d'une meute de loups

La meute est avant tout un groupe familial. Elle est constituée au minimum de deux individus et peut compter jusqu'à quinze membres. Elle est dirigée par le couple reproducteur monogame. Néanmoins, le couple reproducteur et les adultes non reproducteurs coopèrent tous ensemble aux soins des jeunes mais aussi à la chasse. Cette supériorité numérique leur offre la chance de pouvoir chasser des proies de taille moyenne à grande, ce qu'un individu seul ne pourrait faire aisément. (Carbone, 2004).

Vis-à-vis du comportement alimentaire au sein d'une meute, la hiérarchie prime et le repas se déroule en deux étapes. Pour commencer, le repas se fait sur place, et c'est ainsi que le couple reproducteur monogame se nourrit en premier et que le reste de la meute est ensuite autorisée à se nourrir. Ensuite, à la fin du repas, les loups détaillent le reste en morceaux. Ils les mettront dans un endroit sûr, où ils pourront retourner lorsque souhaité, pour achever le repas (Mech and Boitani, 2003).

5. Régime alimentaire

Le loup est un carnivore dont le régime alimentaire relève surtout de l'opportunisme. Cela signifie qu'il tire parti de la vulnérabilité et de l'abondance de ses proies mais peut tout de même être amené à se nourrir de végétaux. Pour subvenir à ses besoins, idéalement, il lui faut chasser des animaux de taille moyenne à grande. Grâce à sa chasse en meute, la prédation d'animaux de moyenne à grande taille paraît envisageable. Si nous nous concentrons sur les proies que le loup gris français peut

chasser, voici de quoi se constitue son régime alimentaire (Poulle, Carles and Lequette, 1997; Fluhr, 2011) (Figure 8) :

- Environ 75% d'ongulés sauvages (cerf, chevreuil, chamois et mouflon)
- Environ 15% d'ongulés domestiques
- Quelques proies de petites taille (lièvre, oiseau, marmotte, petit rongeur et insectes)

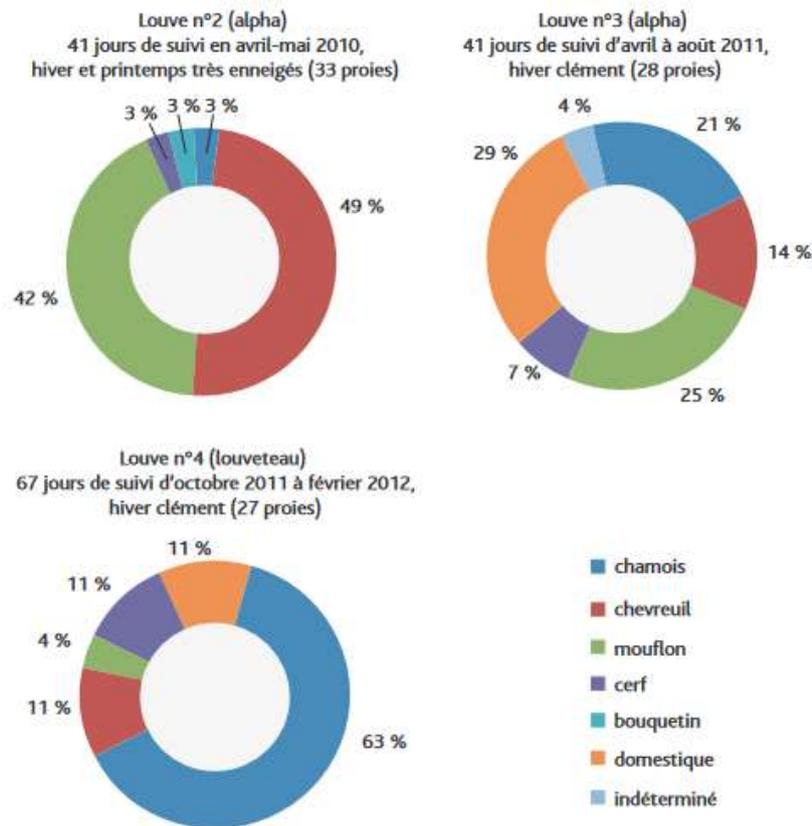


Figure 8 : Répartition des proies tuées lors du suivi du régime alimentaire de louves au sein d'une meute de loups (d'après (Anceau, Bergeon and Tardy, 2015)).

Lorsque le loup chasse des animaux de grande taille, il va chercher à l'épuiser en développant des stratégies avec les autres membres de la meute.

Le loup tue ensuite ses proie en les mordant à des endroits stratégiques et vulnérables tels que l'encolure où passent les veines jugulaires et les artères carotides. Ces structures ne sont recouvertes que de tissus mous, ne nécessitant ainsi que peu de force dans la mâchoire. Toutefois, il est utile pour les loups d'avoir une large ouverture de la mâchoire et de pouvoir la fermer rapidement. De plus, le broyage des os, particulièrement solides et résistants chez les proies sauvages, nécessite de produire des forces de morsure élevées à des angles d'ouvertures de mâchoire faibles (Poulle, Carles and Lequette, 1997; Brassard, 2024c).

C. Anatomie de la tête des loups/canidés

1. Anatomie générale de l'appareil masticateur

L'appareil masticateur, aussi appelé système stomatognathique, est constitué de plusieurs éléments anatomiques différents. Il est composé à la fois :

- D'éléments osseux :
 - Le crâne,
 - La mandibule, ou plus précisément, les deux héli-mandibules,
- D'éléments musculaires (qui permettent de mobiliser les os sur lesquels ils s'attachent) :
 - Les muscles masticateurs,
 - La langue,
- Des dents,
- De structures annexes telles que les glandes salivaires.

Cet ensemble s'articule autour de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Cette articulation synoviale est la jonction entre le crâne et la mandibule. Elle met en relation la fosse mandibulaire de l'os temporal et le processus condyalaire de la mandibule. Entre ces deux surfaces articulaires, il y a une spécificité propre à l'ATM : un disque articulaire fibrocartilagineux, qui permet d'augmenter la congruence entre les surfaces articulaires et d'absorber les chocs liés à l'affrontement des dents lors de la mastication. Pour renforcer la stabilité de cette articulation, la fosse mandibulaire est également bornée par le tubercule articulaire rostralement et par le processus rétro-articulaire caudalement (Figure 9). S'ajoute à cela la présence du ligament latéral et de la capsule articulaire (Figure 10).

Dans ce système, la mandibule est mobile par rapport au crâne, qui lui, reste fixe grâce à la contraction des muscles masticateurs.

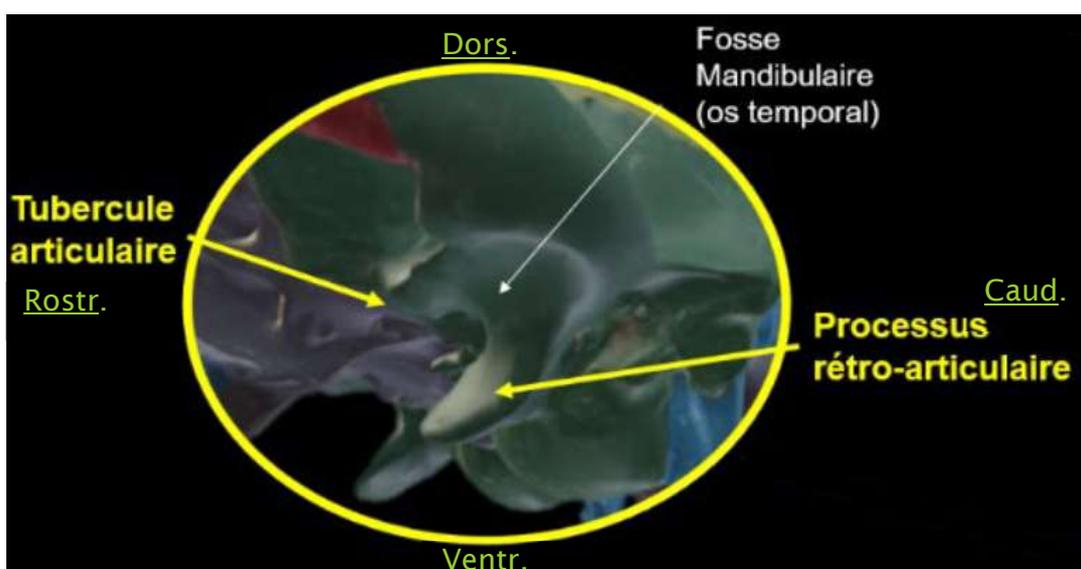


Figure 9 : Les reliefs osseux permettant la stabilité de l'ATM, crâne de chien en vue latérale gauche (d'après (Brassard, 2024b)).

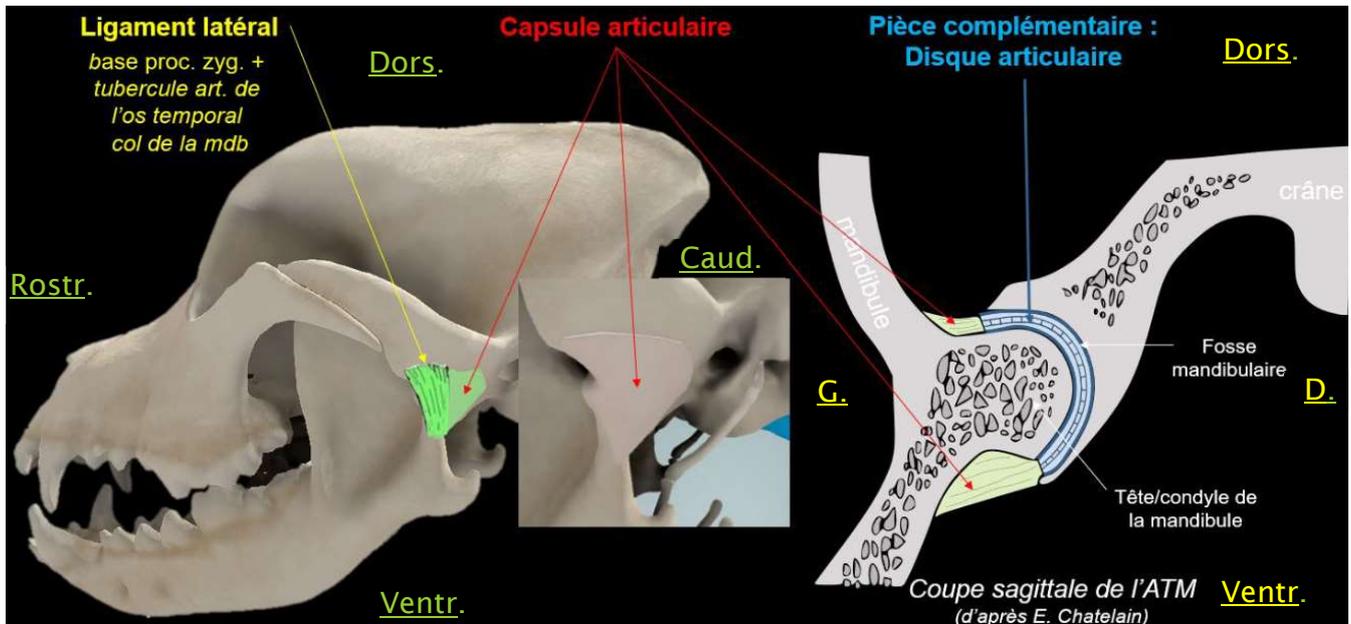


Figure 10 : Les moyens d'union de l'ATM (d'après (Brassard, 2024a)).

2. Ostéologie de la tête

L'ostéologie est la discipline qui étudie les os. Nous allons commencer par cette partie même si, d'après la Figure 4, vous avez pu constater que l'étude craniométrique s'effectue après l'étude de la musculature au cours de cette thèse. Néanmoins, cela est plus cohérent de mettre en avant tous les termes anatomiques osseux essentiels, afin que la compréhension des muscles et de leurs insertions soit plus aisée.

La tête osseuse, ou squelette céphalique, se divise en deux complexes osseux différents (Barone, 1986) :

- Le crâne : partie supérieure de la tête osseuse. Il accueille les organes des sens et l'encéphale. Il est aussi parfois subdivisé en 2 parties :
 - La face, en avant de l'orbite. Elle comprend les os :
 - Nasal,
 - Maxillaire,
 - Lacrymal,
 - Vomer,
 - Zygomatique,
 - Palatin,
 - Incisif.
 - Le crâne, en arrière de l'orbite. Il comprend les os :
 - Frontal,
 - Pariétal,
 - Occipital,
 - Sphénoïde,
 - Ptérygoïde,
 - Ethmoïde,
 - Temporal.

- La mandibule : partie inférieure de la tête osseuse. Elle se constitue de deux héli-mandibules qui sont unies rostralement par une synchondrose qui, chez les chiens, n'évolue pas vers l'ossification.

Les os maxillaire et incisif constituent la mâchoire supérieure tandis que les deux héli-mandibules forment la mâchoire inférieure. Ces mâchoires portent les dents (Figure 11) et la formule dentaire (nombre de dents par types de dents et par héli-mâchoires) chez les chiens et les loups est la suivante :

$$I \frac{3}{3} \quad C \frac{1}{1} \quad PM \frac{4}{4} \quad M \frac{2}{3}$$

Avec *I* : les incisives, *C* : les canines, *PM* : les prémolaires, *M* : les molaires ; les dents maxillaires en numérateur et les dents mandibulaires en dénominateur.



Figure 11 : Formule dentaire des canidés (Belhaoues, 2018).

Enfin, la tête osseuse est essentiellement constituée d'os plats. Les détails de ces différents os et de leurs reliefs sont précisés ci-après par les figures (Figure 12-Figure 16) ; elles-mêmes illustrées par une photo de crâne de loup de notre étude pour que cela soit plus représentatif.

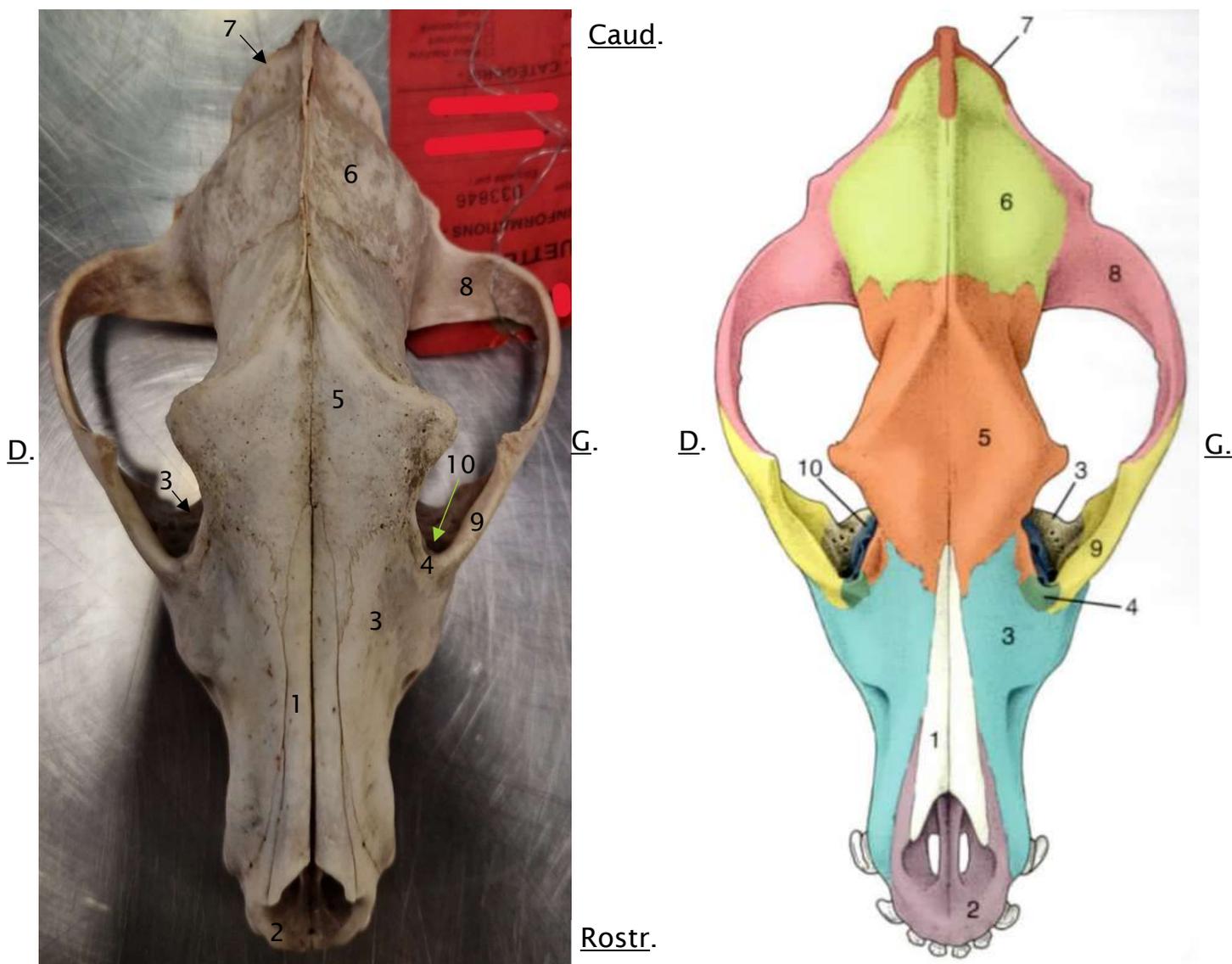
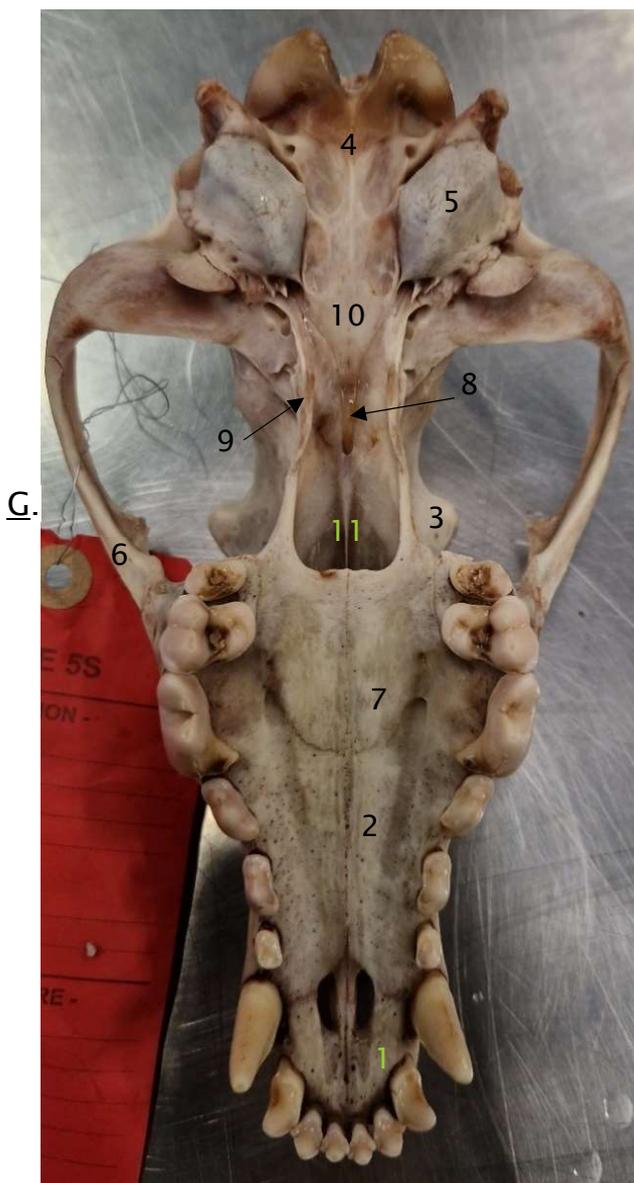


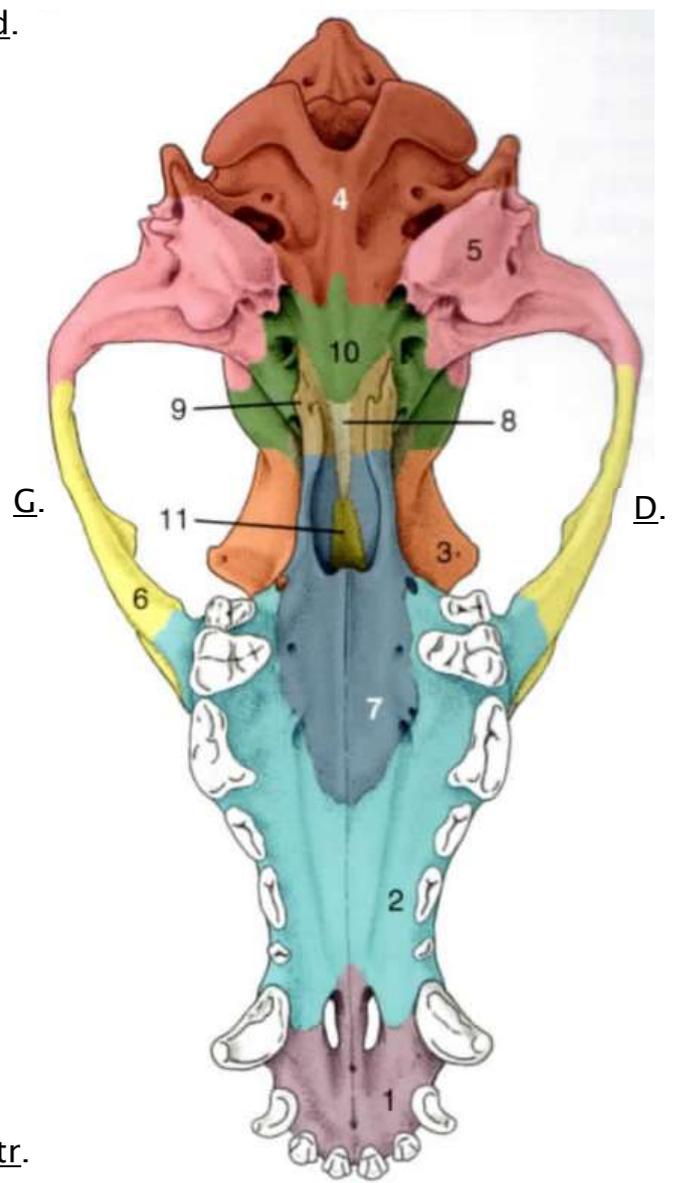
Figure 12 : Photo d'un crâne de loup (à gauche) et schéma d'un crâne de chien (à droite) en vue dorsale (d'après (Douart, 2013)).

Légende :

- 1 : Os nasal
- 2 : Os incisif
- 3 : Maxillaire
- 4 : Os lacrymal
- 5 : Os frontal
- 6 : Os pariétal
- 7 : Os occipital
- 8 : Os temporal
- 9 : Os zygomatique
- 10 : Os palatin



Caud.

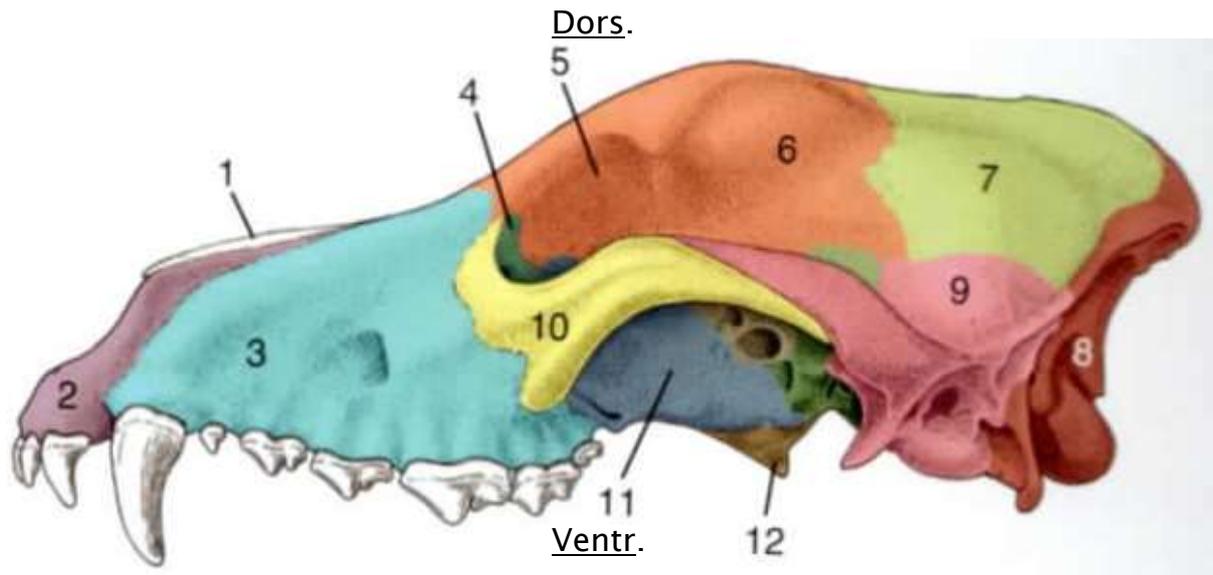


Rostr.

Figure 13 : Photo d'un crâne de loup (à gauche) et schéma d'un crâne de chien (à droite) en vue ventrale (d'après (Douart, 2013)).

Légende :

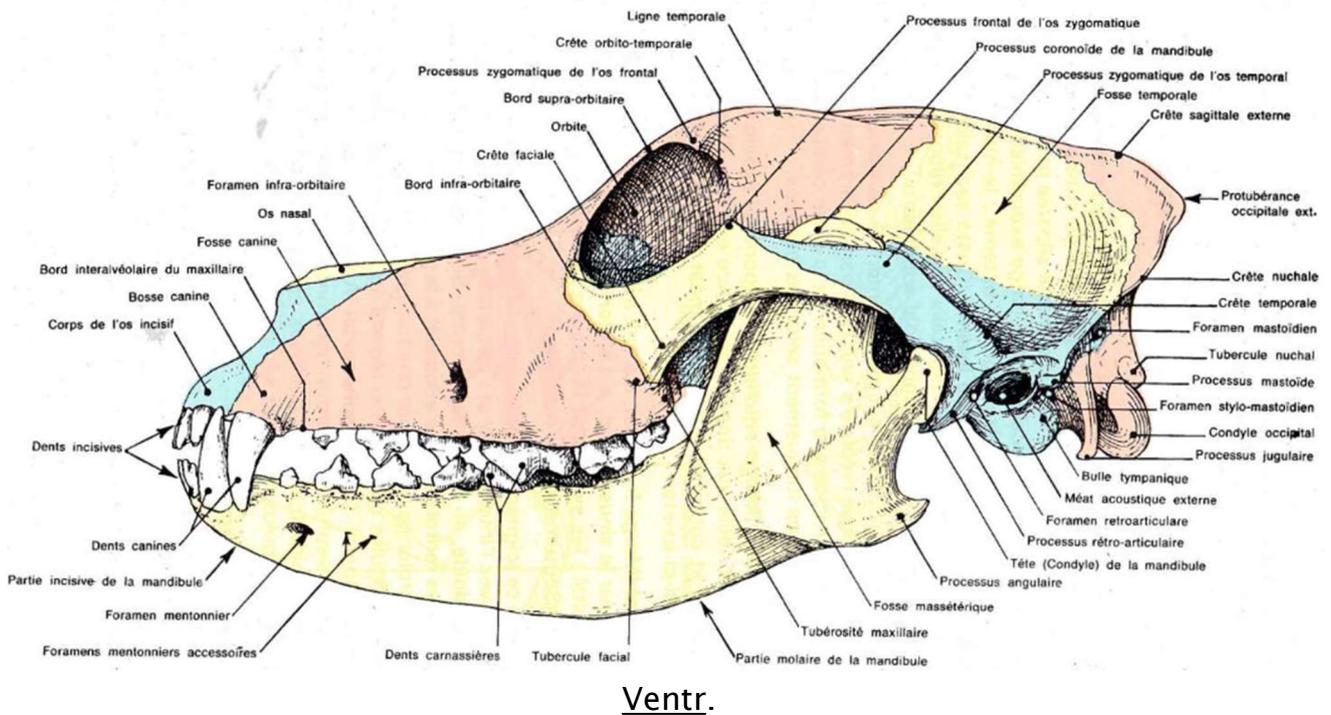
- 1 : Os incisif
- 2 : Maxillaire
- 3 : Os frontal
- 4 : Os occipital
- 5 : Os temporal
- 6 : Os zygomatique
- 7 : Os palatin
- 8 : Os présphénoïde
- 9 : Os ptérygoïde
- 10 : Os basisphénoïde
- 11 : Vomer



Rostr.

Dors.

Caud.

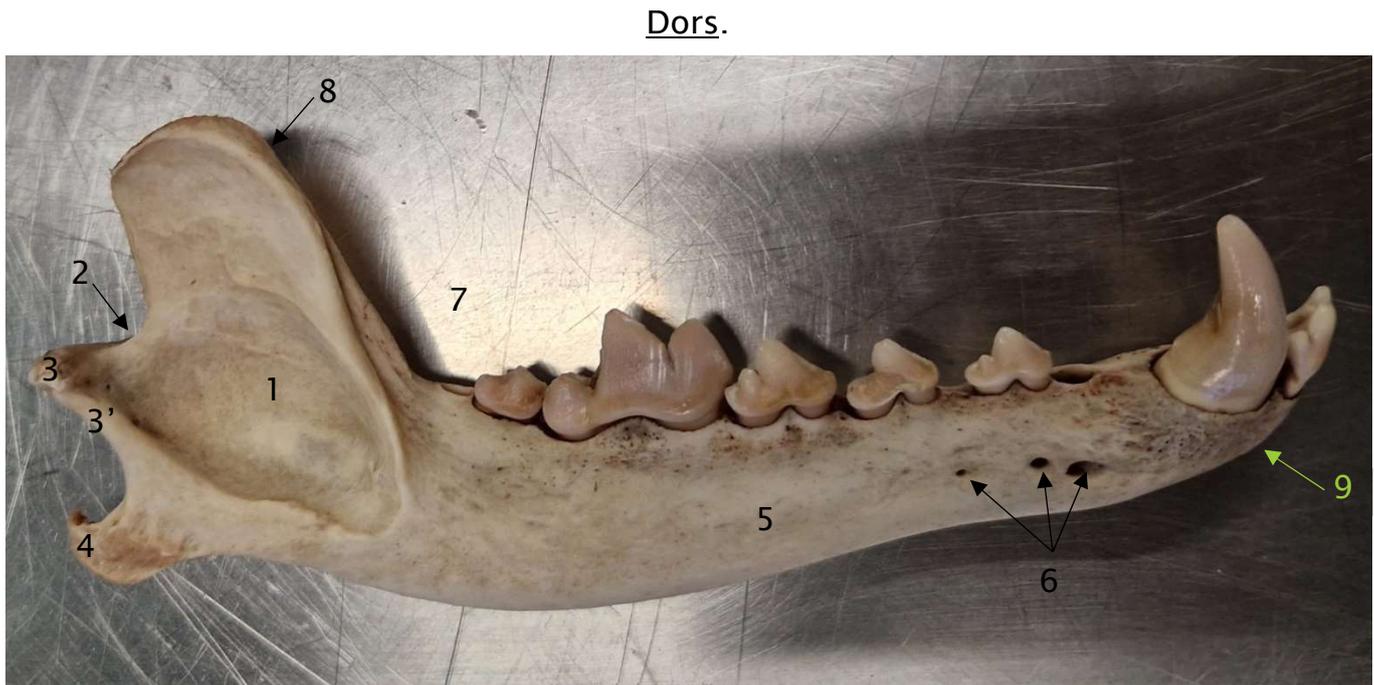


Ventr.

Figure 14 : Schémas d'un crâne de chien en vue latérale gauche (d'après (Douart, 2013) en haut et d'après (Barone, 1986) en bas).

Légende :

- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1 : Os nasal | 7 : Os pariétal |
| 2 : Os incisif | 8 : Os occipital |
| 3 : Maxillaire | 9 : Os temporal |
| 4 : Os lacrymal | 10 : Os zygomatic |
| 5 : Orbite | 11 : Os palatin |
| 6 : Os frontal | 12 : Os ptérygoïde |



Ventr.

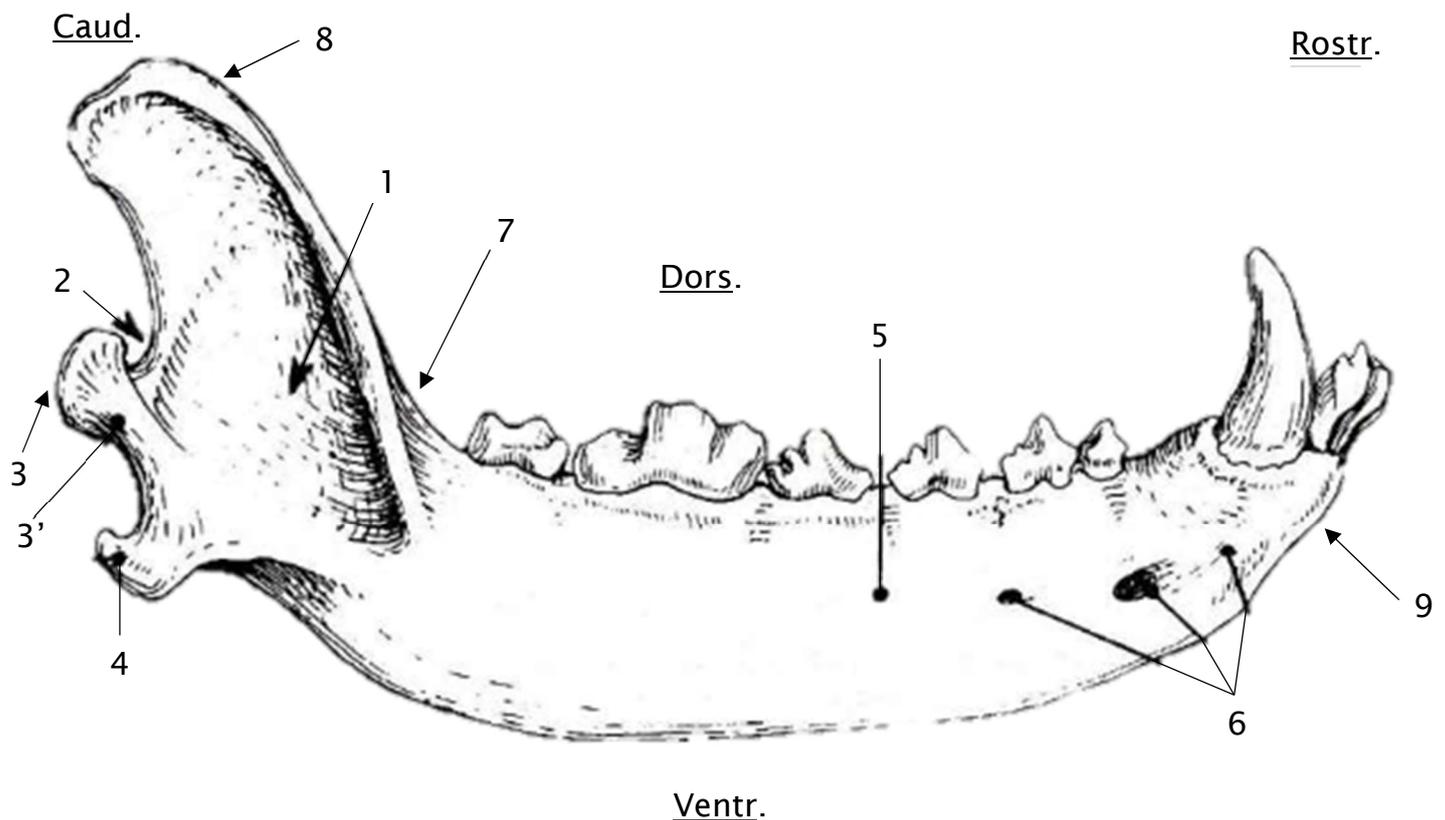


Figure 15 : Photo d'une hémimandibule droite de loup (en haut) et schéma d'une hémimandibule droite de chien (en bas) en vue latérale (d'après (Barone, 1986)). *

Légende :

1 : Fosse massétérique
 2 : Incisure mandibulaire
 3 : Tête du processus condyalaire
 3' : Col du processus condyalaire
 4 : Processus angulaire

5 : Partie molaire du corps
 6 : Foramens mentonniers
 7 : Branche de la mandibule
 8 : Processus coronoïde
 9 : Partie incisive du corps

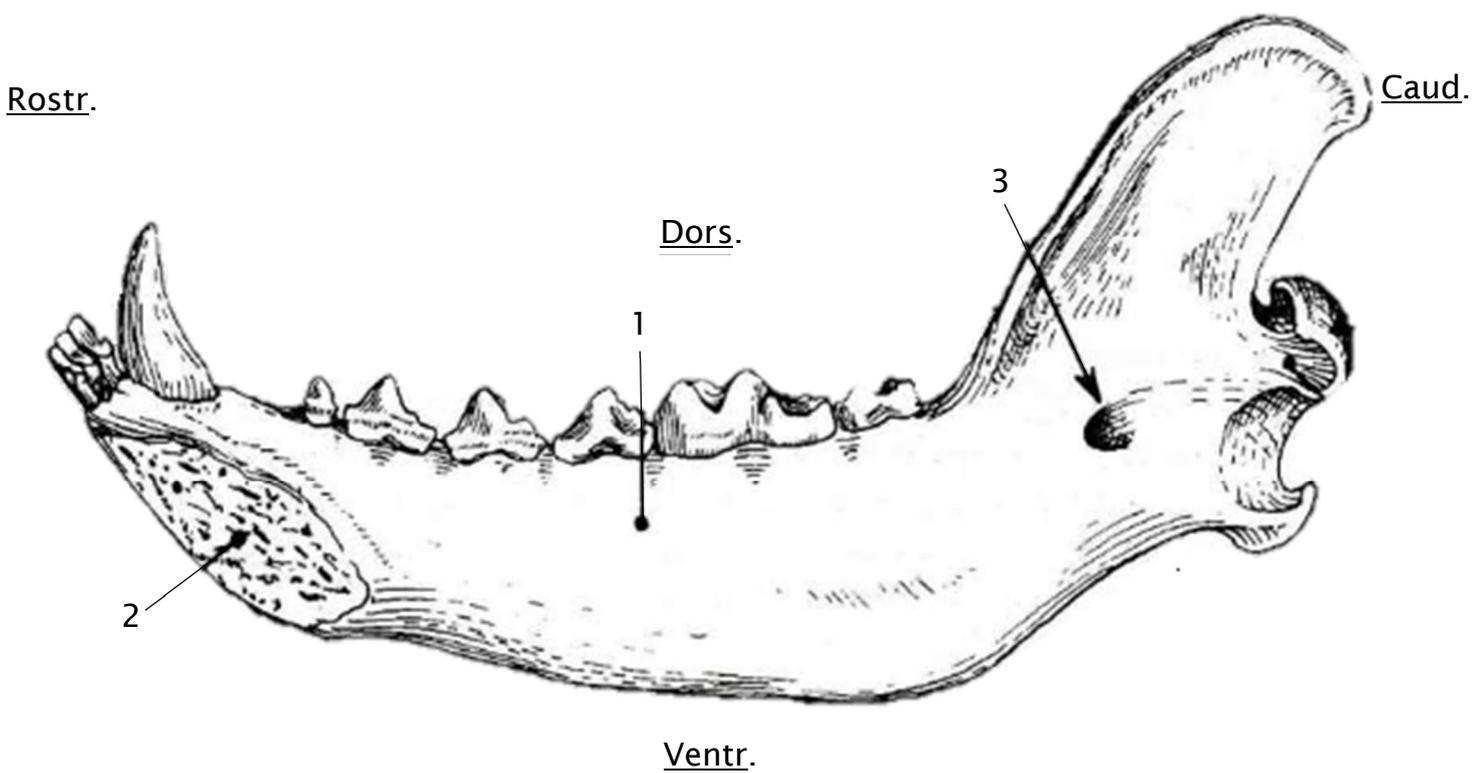
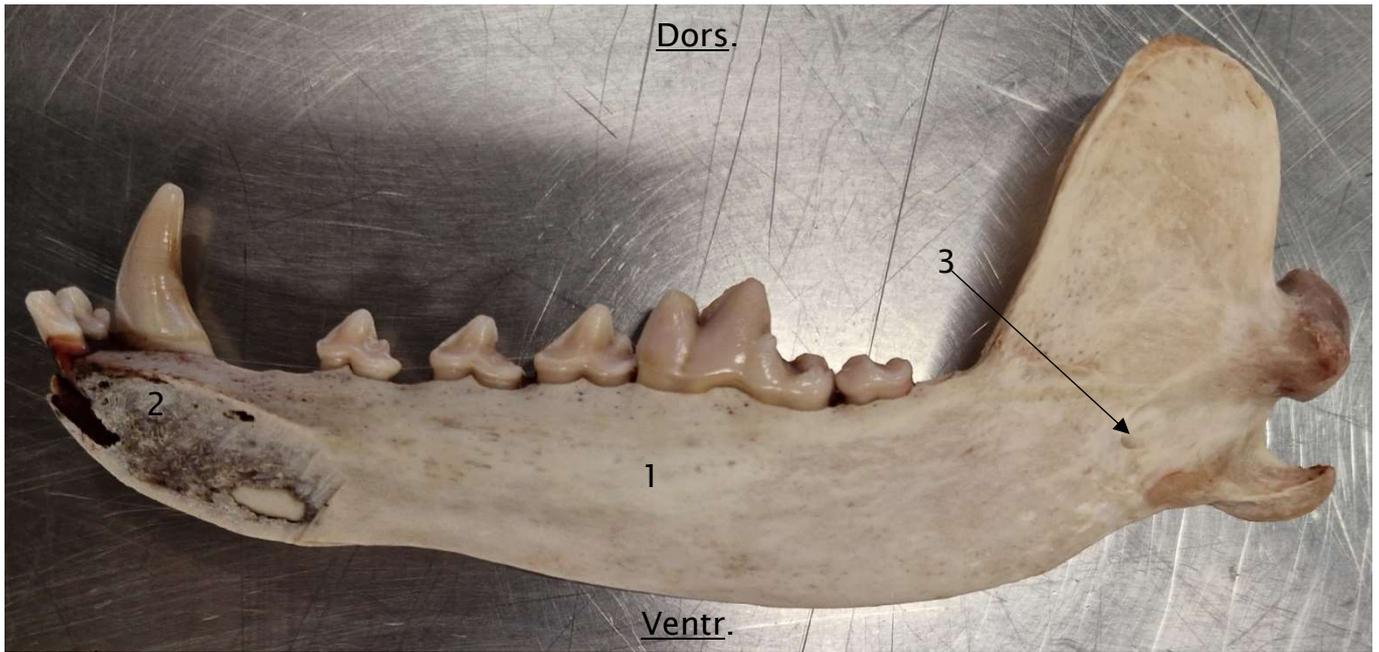


Figure 16 : Photo d'une hémi-mandibule droite de loup (en haut) et schéma d'une hémi-mandibule droite de chien (en bas) en vue médiale (d'après (Barone, 1986)).

Légende :

- 1 : Partie molaire du corps
- 2 : Surface symphysaire
- 3 : Foramen mandibulaire

3. Myologie

La myologie est la discipline qui étudie les muscles. Il nous faut donc rappeler quelques notions caractéristiques sur les muscles.

Ces derniers sont constitués de fibres musculaires et peuvent être de conformations très diverses ; c'est ce qu'on appelle la pennation (Figure 17). L'angle que forment les fibres musculaires lors d'une section longitudinale d'un muscle est appelé angle de pennation. Ce dernier permet d'augmenter la force musculaire en dispensant une contraction optimale du muscle sans que la taille de celui-ci doivent être importante. A savoir tout de même que la force de contraction d'un muscle dépend de la longueur du muscle et de la longueur des fibres musculaires qui le constitue (Brassard, 2024a). Afin d'optimiser la valeur de cette force musculaire, une force de proxy, aussi appelée force intrinsèque du muscle ou PCSA (Physiological Cross-Sectional Area), peut être calculée à partir de la masse du muscle, la longueur du muscle et la longueur des fibres musculaires :

$$PCSA = \frac{\text{Masse} \times \cos(\text{angle de pennation})}{1,06 \times \text{longueur de fibre musculaire}} \text{ (Haxton, 1944)}$$

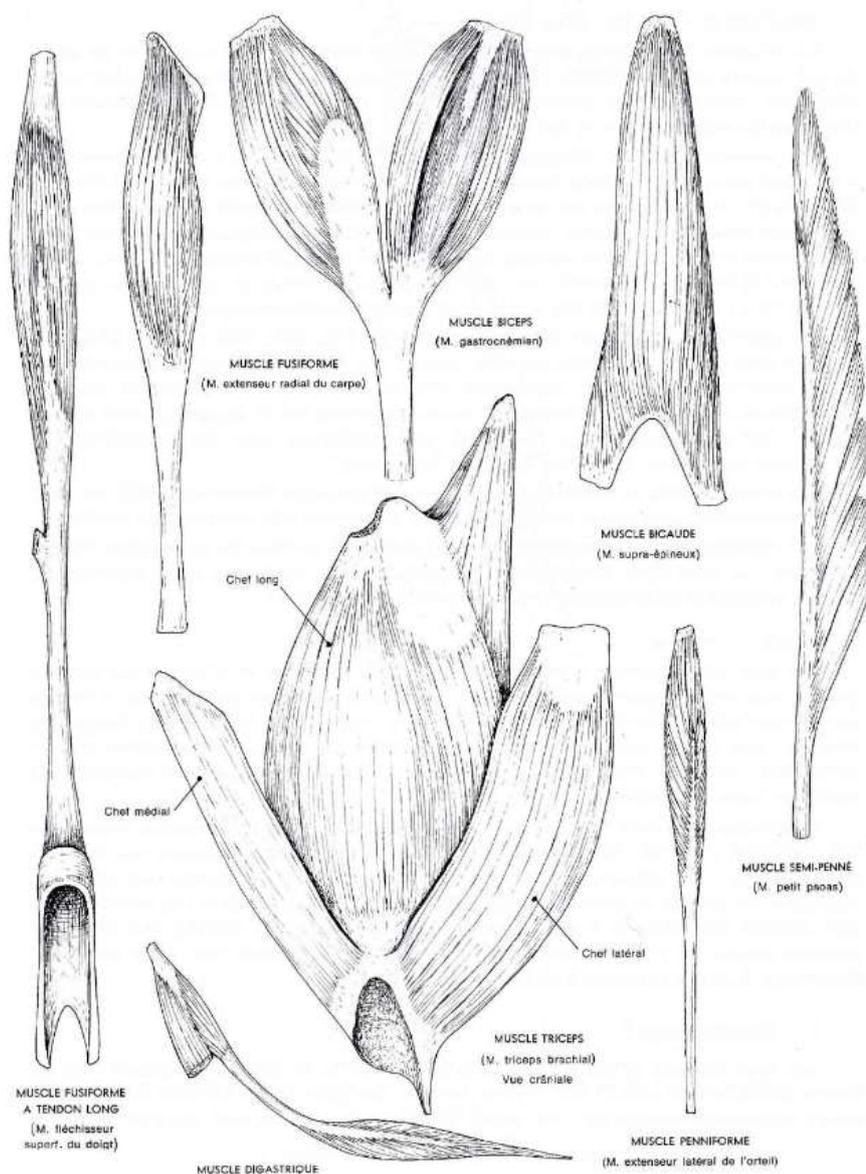


Figure 17 : Conformations des muscles longs d'un cheval (d'après (Barone, 2000))

Maintenant ces notions établies, nous nous intéressons spécifiquement aux muscles masticateurs étudiés au cours de cette thèse.

Nous comptons quatre grands groupes musculaires constituant l'appareil masticateur :

- Le muscle digastrique (DIG),
- Le complexe musculaire massétérique (MAS),
- Le complexe musculaire temporal (TEMP),
- Le complexe musculaire ptérygoïdien (PTE), divisé en deux muscles (Barone, 2000) :
 - Le muscle ptérygoïdien médial (PTEMED),
 - Le muscle ptérygoïdien latéral (PTELAT).

Ces derniers rejoignent la partie caudale du crâne et de la mandibule permettant ainsi la mobilité de la mandibule autour de l'ATM. Chez les canidés, les mouvements permis par l'appareil masticateur sont essentiellement des mouvements d'élévation et d'abaissement de la mandibule. Les mouvements latéraux et d'anté-rétropulsion (d'avant en arrière) sont très limités chez cette famille. Cela conditionne donc le volume de certains muscles chez cette dernière. Néanmoins, chez d'autres famille/espèces dont le régime alimentaire est différent et qui peuvent développer d'autres mouvements, les volumes musculaires seront différents. Les muscles les plus développés chez les canidés sont les muscles temporaux suivi des muscles massétériques (Penrose, Kemp and Jeffery, 2016). Le muscle ptérygoïdien médial est moins développé et le muscle ptérygoïdien latéral est quant à lui très peu développé et s'attache près de l'ATM. Ce dernier aurait donc davantage un rôle de stabilisateur de la mandibule qu'un rôle prépondérant dans l'ouverture ou la fermeture de la cavité buccale.

Nous pouvons résumer la fonction des muscles comme suit :

- Muscles éleveurs de la mandibule :
 - Le complexe musculaire massétérique,
 - Le complexe musculaire temporal,
 - Le complexe musculaire ptérygoïdien.
- Muscle abaisseur de la mandibule :
 - Le muscle digastrique.

La bonne compréhension du fonctionnement de ces muscles passe également par la connaissance de leur innervation et de leur vascularisation (Done *et al.*, 2009; Barone, 2011) (Tableau II). La vascularisation nous aidera également lors de la dissection comme vous pourrez le constater plus tard dans la partie dédiées (*Protocole de dissection p.63*).

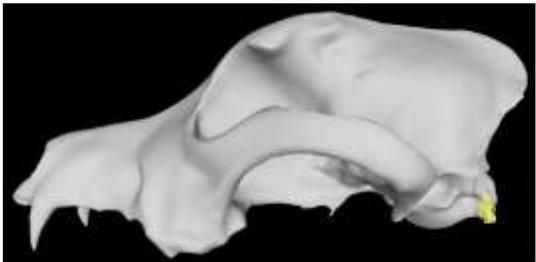
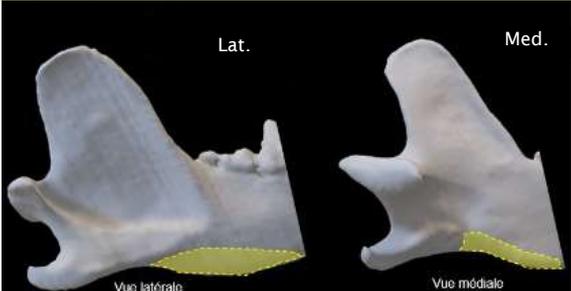
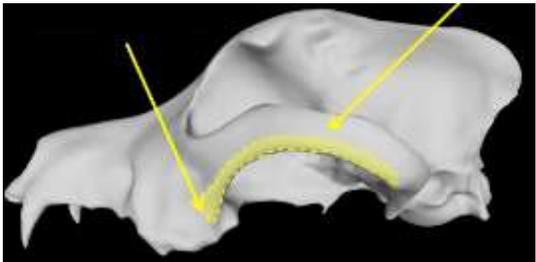
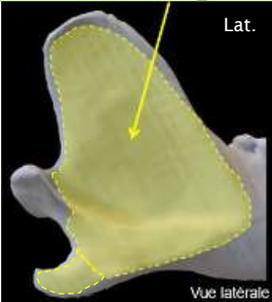
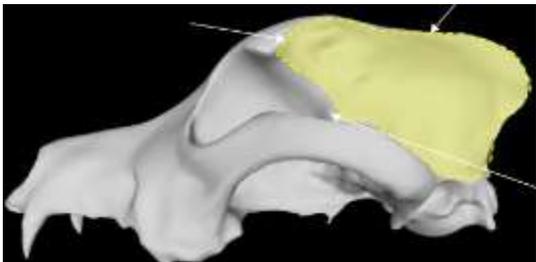
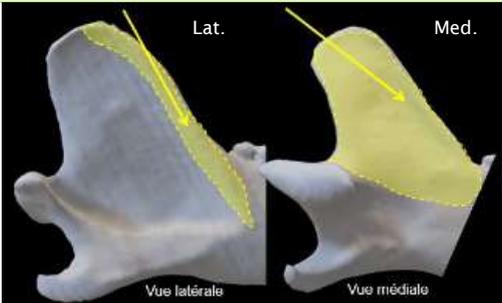
Tableau II : Innervation et vascularisation des complexes musculaires (d'après (Barone, 2000)).

| Complexe musculaire | Vascularisation principale | Innervation |
|---------------------|--|-------------------------------------|
| DIG | Branches collatérales de l'artère carotide externe | Nerfs trijumeau (V) et facial (VII) |

| Complexe musculaire | Vascularisation principale | Innervation |
|---------------------|---|--------------------|
| MAS | Artères transverses de la face | Nerf trijumeau (V) |
| TEMP | Artères temporales profondes | |
| PTE | Artère alvéolaire inférieure, artères ptérygoïdiennes et artère buccale | |

Ensuite, l'insertion de ces complexes musculaires est essentielle à visualiser pour le bon déroulement des futures dissections (Tableau3 et Figure 18 - Figure 21).

Tableau III : Complexes musculaires et leurs insertions (d'après (Barone, 2000) et (Brassard, 2024b)).

| Complexe musculaire | Insertion crânienne | Insertion mandibulaire |
|---------------------|---|---|
| | Processus jugulaire de l'os occipital | Bord ventral de la mandibule jusqu'à la carniassière inférieure |
| DIG |  |  |
| | Arcade zgomatique, crête faciale et tubercule facial | Fosse massétérique jusqu'à entourer le bord caudal du processus angulaire |
| MAS |  |  |
| | Fosse temporale, crête sagittale externe et face médiale de l'arcade zgomatique | Bord rostral et médial du processus coronoïde |
| TEMP |  |  |

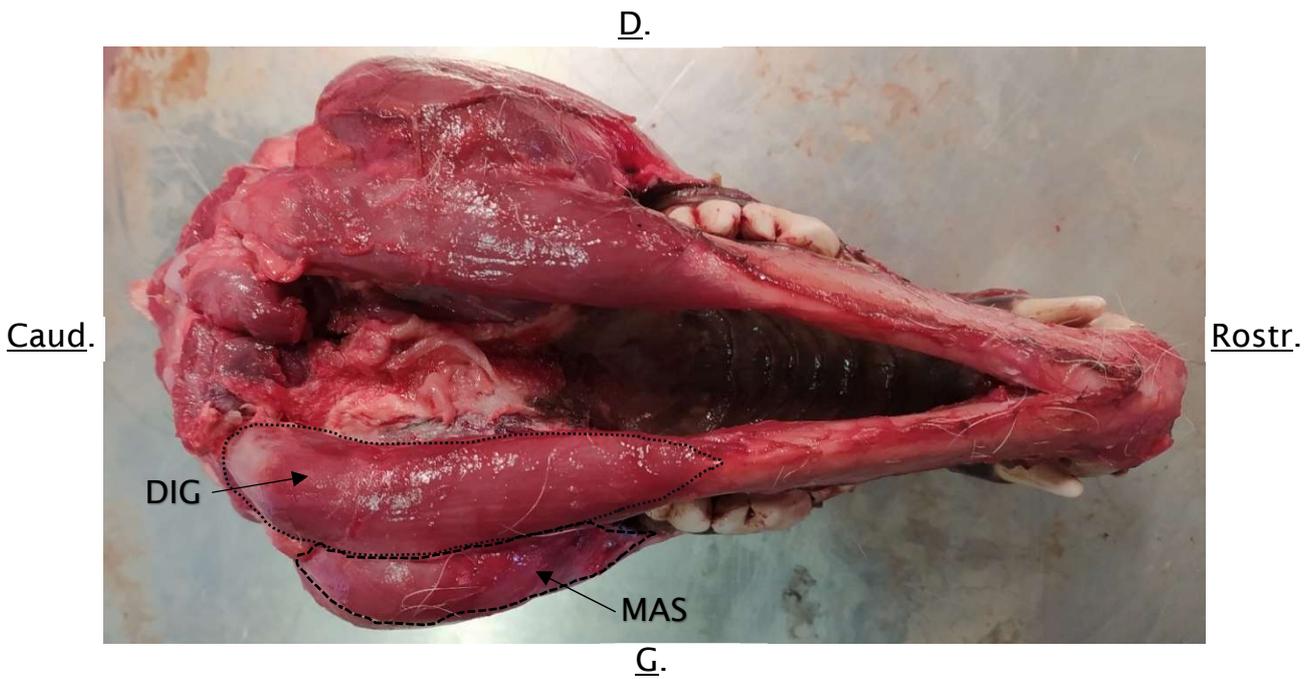


Figure 18 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle digastrique et du complexe musculaire massétérique.

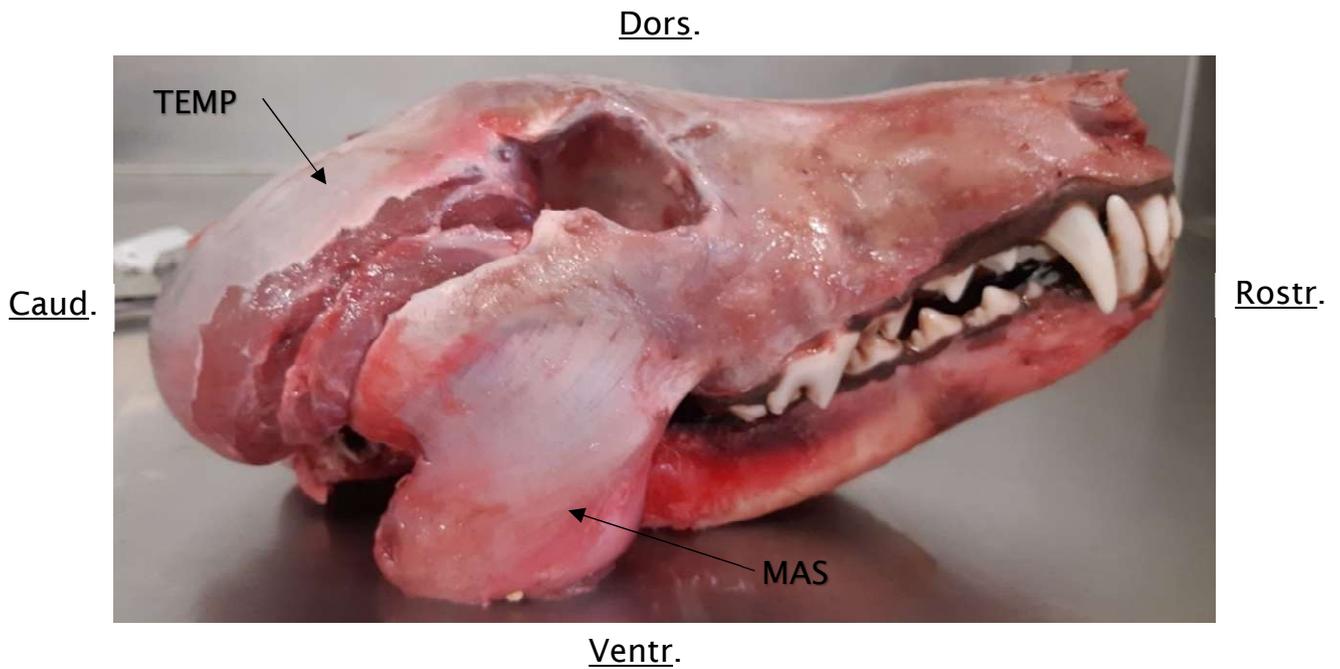


Figure 19 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition des complexes musculaires massétérique et temporal.

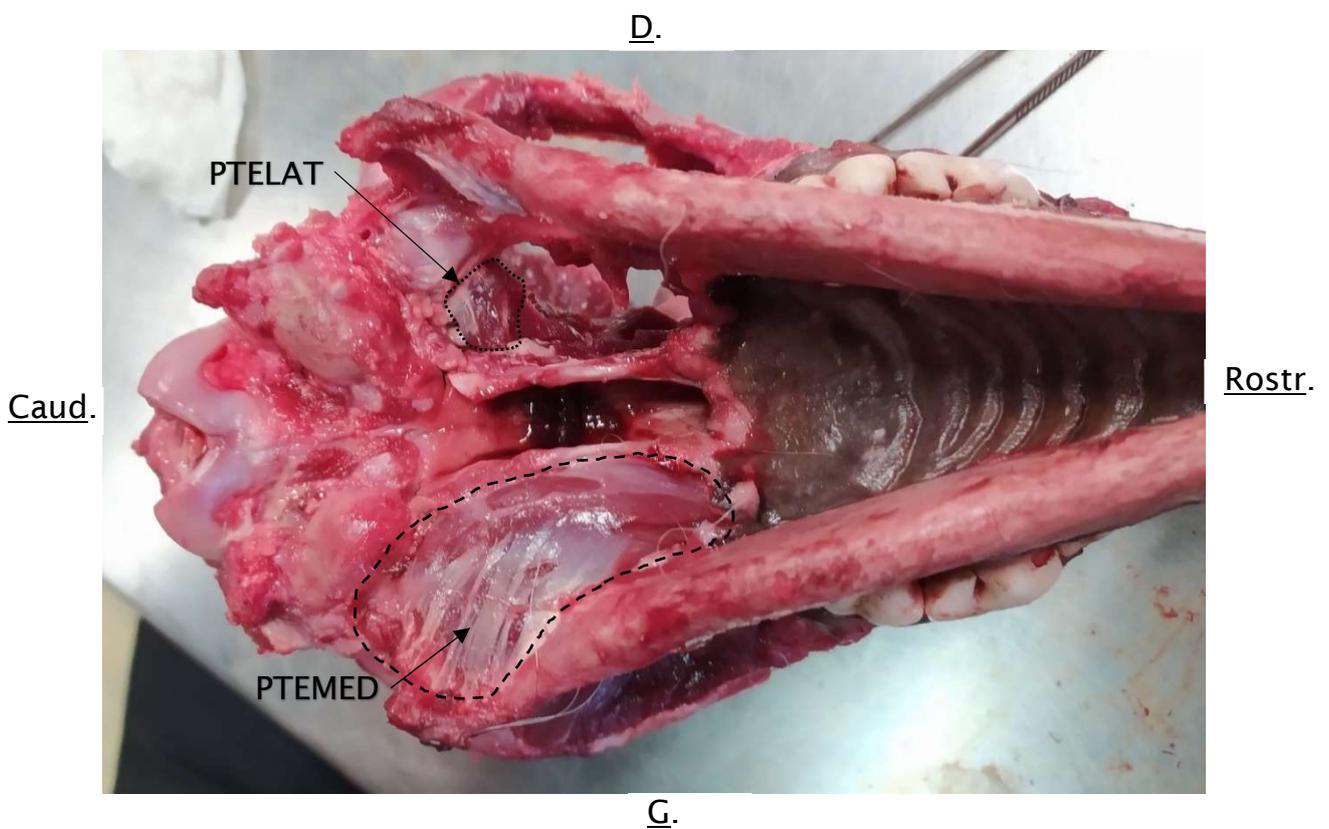


Figure 20 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du complexe musculaire ptérygoïdien constitué des muscle ptérygoïdien médial et muscle ptérygoïdien latéral.

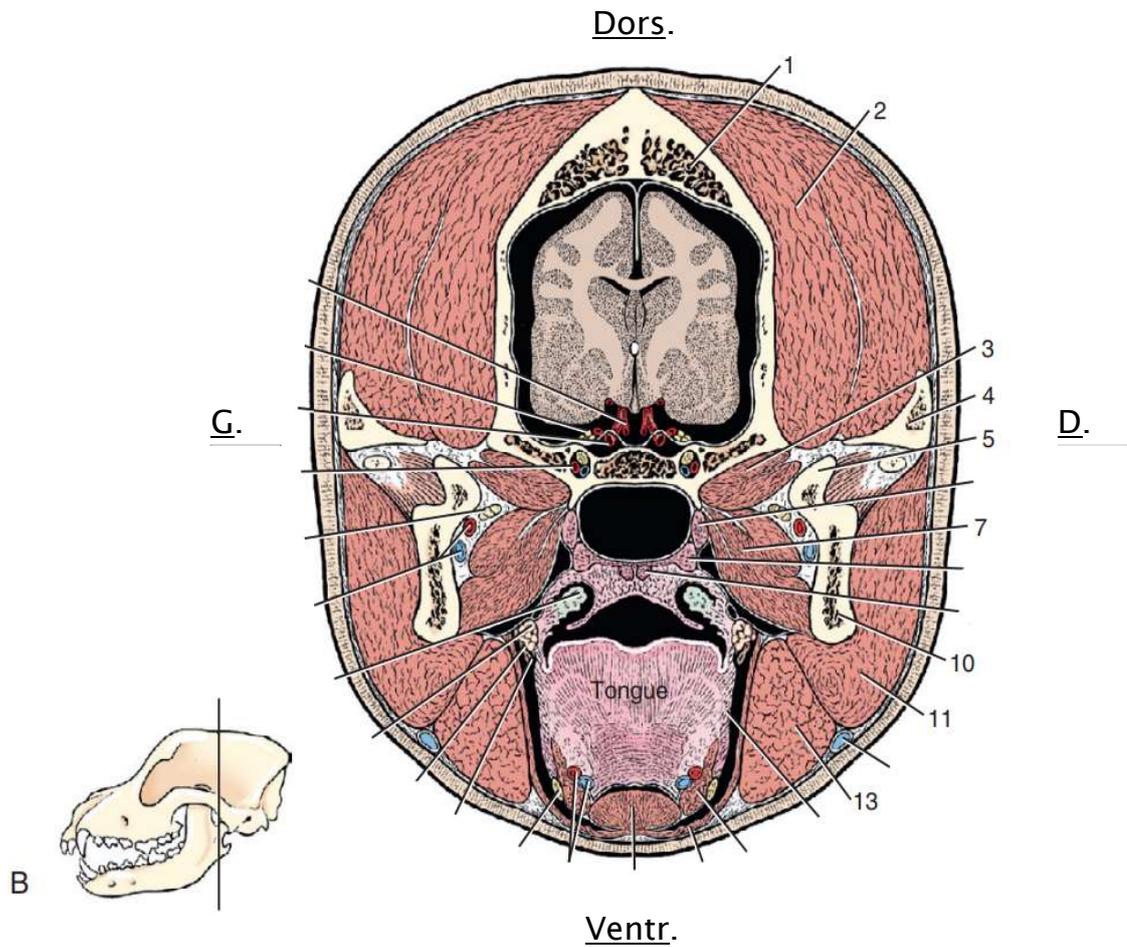


Figure 21 : Coupe transversale de la tête d'un chien en passant au bord rostral des articulations temporo-mandibulaires – vue caudale (d'après (Evans and De Lahunta, 2013)).

Légende :

- 1 : Os frontal
- 2 : Muscle temporal
- 3 : Muscle ptérygoïdien latéral
- 4 : Arcade zygomatique
- 5 : Processus condyloire
- 7 : Muscle ptérygoïdien médial
- 10 : Mandibule
- 11 : Muscle masséter
- 13 : Muscle digastrique

II. Matériels et méthodes

A. Matériels

1. Sélection de l'échantillon

a. Origine des têtes de loups

Dans le cadre du projet MorphoLoup dirigé par l'OFB, l'unité d'anatomie comparée d'Oniris et le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (Annexe 1), 146 têtes de loups gris français collectées et conservées à -20°C depuis une dizaine d'années ont été mises à notre disposition. Parmi ces 146 têtes, nous comptons aussi 2 cadavres de loups entiers. Celles-ci étaient stockées dans les services départementaux de l'OFB ou dans les laboratoires vétérinaires départementaux. Les animaux correspondent principalement à des loups qui ont été abattus dans le cadre de tirs dits de régulation de la population.

Chaque individu récupéré par l'OFB est identifié, *a minima*, par un numéro de dépouille qui se décline comme suit :



Parfois, un numéro SAGIR peut également être appliqué (en plus du numéro de dépouille) dans le cadre de la surveillance de la santé de la faune sauvage terrestre vertébrée.

Ensuite, lorsque l'âge, le sexe, le poids, l'ADN mitochondrial (issu de cellules épithéliales de l'intestin) et la cause de la mort des loups sont connus, ceux-ci sont centralisés par l'OFB dans le but de conserver une traçabilité (Annexe 4).

A partir de cela, nous avons pu constater que les 146 individus à notre disposition, proviennent des régions et départements à proximité de la frontière italienne (Figure 22), c'est-à-dire :

- La région **Provence-Alpes-Côte-d'Azur** :
 - 27 individus des **Hautes-Alpes (05)**,
 - 20 individus des **Alpes-de-Haute-Provence (04)**,
 - 18 individus des **Alpes-Maritimes (06)**,
 - 17 individus du **Var (83)**.

- La région **Auvergne-Rhône-Alpes** :
 - 49 individus de la **Savoie (73)**,
 - 9 individus de la **Drôme (26)**,
 - 3 individus de l'**Isère (38)**,
 - 3 individus de **Haute-Savoie (74)**.

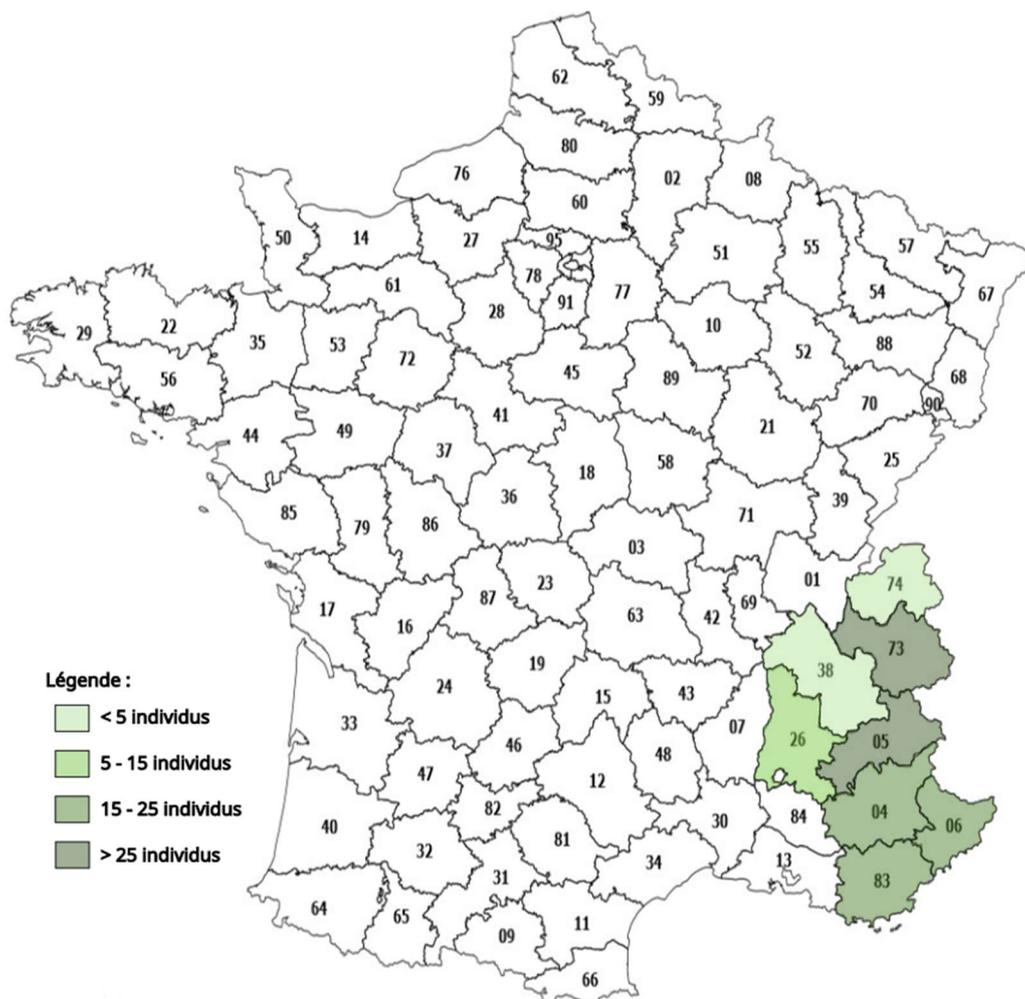


Figure 22 : Origine géographique des 146 loups fournis par l'OFB dans le cadre du projet MorphoLoup.

Cette disposition géographique est compatible avec le retour naturel du loup dans les années 90, qui s'est effectué depuis les Alpes à partir de populations de loups italiens (Mathieu, 2019; Martinez, 2023).

b. Description des spécimens étudiés

Au cours de notre étude, nous avons passé les 146 têtes au scanner, c'est-à-dire à la tomodensitométrie qui utilise des rayons X, en vue de faire des acquisitions 3D et également de préserver la traçabilité de notre échantillon.

Par la suite, nous avons disséqué et/ou préparé/nettoyé 54 têtes de loups ; selon leur état de conservation, en vue d'obtenir des têtes osseuses. Au sein de ces 54 spécimens coexistent des loups de tout âge et de tout sexe (ces derniers étant parfois inconnus).

Ainsi, pour limiter l'impact de l'allométrie de croissance, nous avons décidé de n'étudier que les spécimens adultes et dont le sexe était connu.

Pour la détermination de l'âge adulte, nous avons considéré les individus estimés à plus d'un an. Pour cela, nous avons examiné les sutures osseuses de l'os sphénoïde sur la face exocrânienne. Les sutures osseuses que nous avons retenues sont :

- La **suture sphéno-basilaire** → Fermeture à **8-10 mois** chez le chien (Barone, 1986),
- La **suture entre le basisphénoïde et le présphénoïde** → Fermeture à **1-2 ans** chez le chien (Barone, 1986).

De ce fait, parmi les 54 individus disséqués et/ou préparés, nous avons procédé à la constitution de notre échantillon en deux étapes. La première étape consistait à éliminer de notre échantillon tous les loups dont la suture sphéno-basilaire (SB) n'était pas fermée. La seconde était de ne conserver que les spécimens dont la suture entre le basisphénoïde et le présphénoïde (BP) était, elle aussi, fermée (Figure 23 - Figure 26).

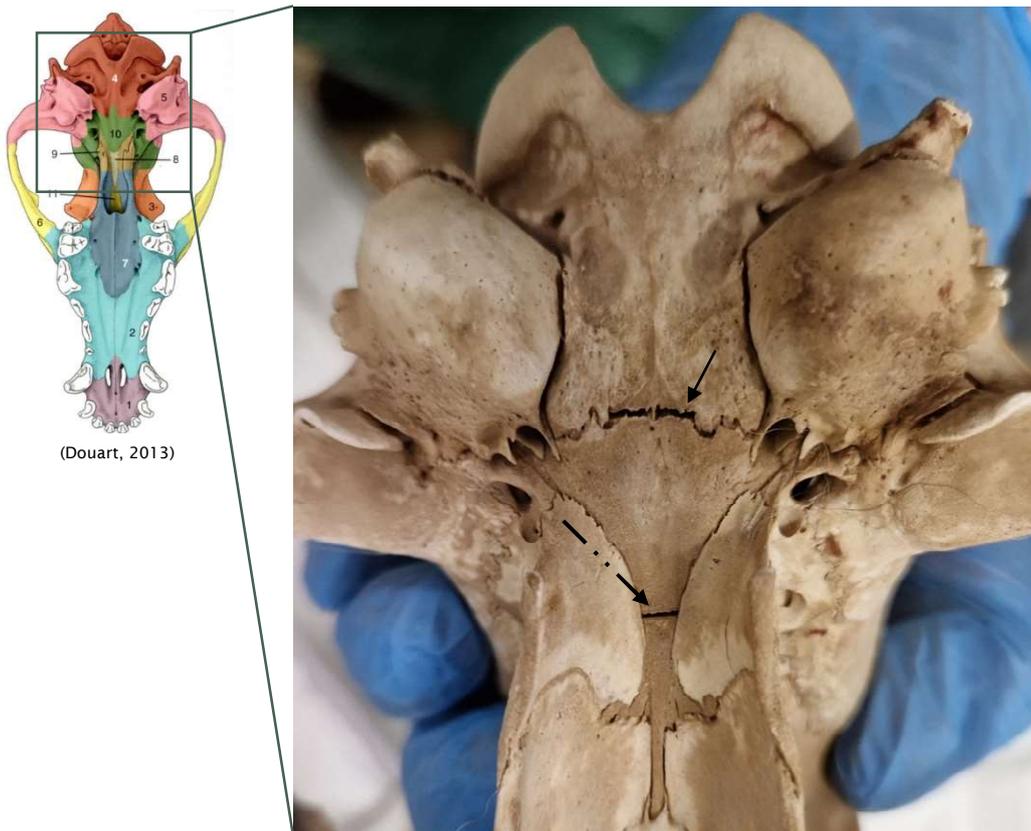
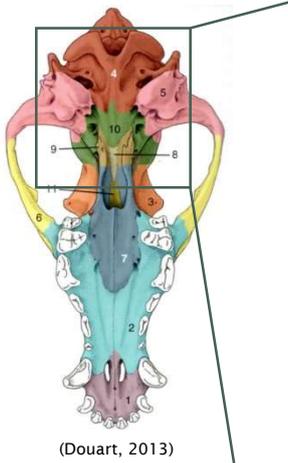


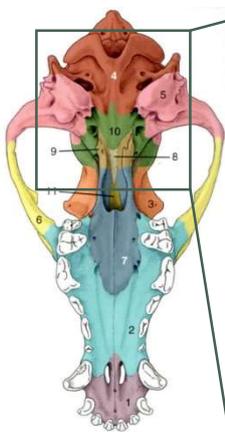
Figure 23 : Sutures SB (flèche continue) et BP (flèche discontinue) non fermées → Âge estimé à moins de 8-10 mois (individu non conservé pour notre échantillon).



(Douart, 2013)



Figure 24 : Suture SB (flèche continue) en cours de fermeture et suture BP (flèche discontinue) non fermée → Âge estimé à légèrement moins de 8-10 mois (individu non conservé pour notre échantillon).



(Douart, 2013)



Figure 25 : Suture SB fermée et suture BP (flèche discontinue) non fermée → Âge estimé entre 10 et 12 mois (individu non conservé pour notre échantillon).

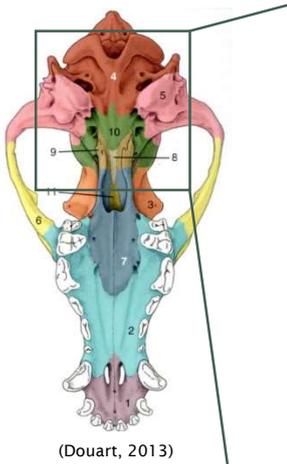


Figure 26 : Sutures SB et BP fermées → Âge estimé à minimum 1-2 ans (individu conservé pour notre échantillon).

Par conséquent, 47 individus adultes et dont le sexe était connu, ont été retenus pour cette étude sur l'appareil masticateur et l'exploration du dimorphisme sexuel chez le loup gris français. Nous comptons parmi ceux-ci 23 femelles et 24 mâles (Figure 27).

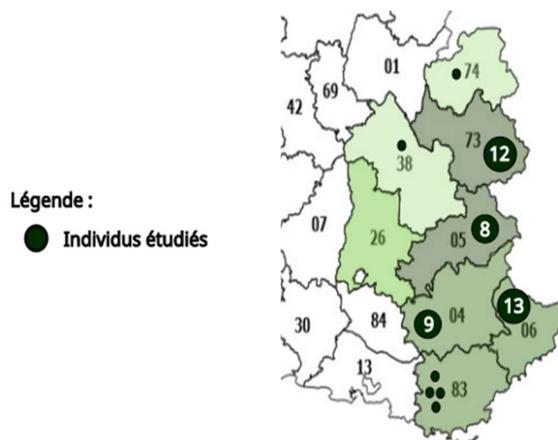


Figure 27 : Origine géographique des 47 loups étudiés.

B. Méthodes

1. Etude de la musculature

a. Description des feuillets musculaires

Les quatre complexes musculaires ont été décrits précédemment (*Partie I. C. 2. Myologie p.46*). Cependant, ces complexes musculaires sont eux-mêmes divisés en différents feuillets musculaires. La division, et par la même occasion l'appellation, de ces feuillets musculaires varient selon les auteurs (Druzinsky, Doherty and De Vree, 2011). Pour notre étude, les feuillets musculaires disséqués sont au nombre de dix et sont ceux qui sont valables pour les mammifères (Brassard, Merlin, Monchâtre-Leroy, et al., 2020) (Tableau IV et Figure 28 - Figure 33) :

Tableau IV : Les dix feuillets retenus pour l'étude de la musculature de l'appareil masticateur.

| Muscle Digastrique (DIG) | | |
|---|--|--|
| Complexe musculaire massétérique (MAS) | Muscle Masséter superficiel | <i>Masseter pars superficialis (MASSUP)</i> |
| | Muscle Masséter profond | <i>Masseter pars profunda (MASPROF)</i> |
| | Muscle Masséter zygomatocmandibulaire antérieur | <i>Masseter pars zygomatocmandibularis anterior (ZYGANT)</i> |
| | Muscle Masséter zygomatocmandibulaire postérieur | <i>Masseter pars zygomatocmandibularis posterior (ZYGPOST)</i> |
| Complexe musculaire temporal (TEMP) | Muscle Temporal suprazygomatique | <i>Temporalis pars suprazygomatica (SPZY)</i> |
| | Muscle Temporal superficiel | <i>Temporalis pars superficialis (TPSUP)</i> |
| | Muscle Temporal profond | <i>Temporalis pars profunda (TPPROF)</i> |
| Complexe musculaire ptérygoïdien (PTE) | Muscle Ptérygoïdien médial | <i>Pterygoideus medialis (PTEMED)</i> |
| | Muscle Ptérygoïdien latéral | <i>Pterygoideus lateralis (PTELAT)</i> |

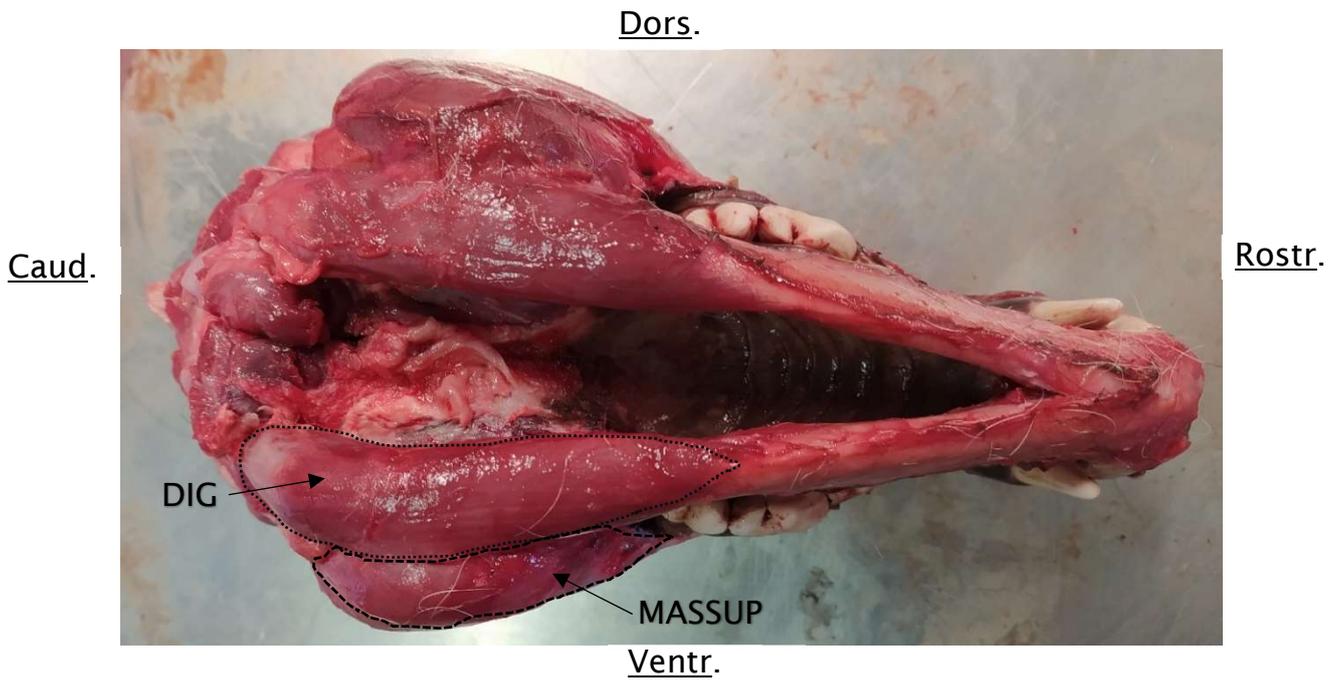


Figure 28 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle digastrique et du muscle *Masseter pars superficialis*.

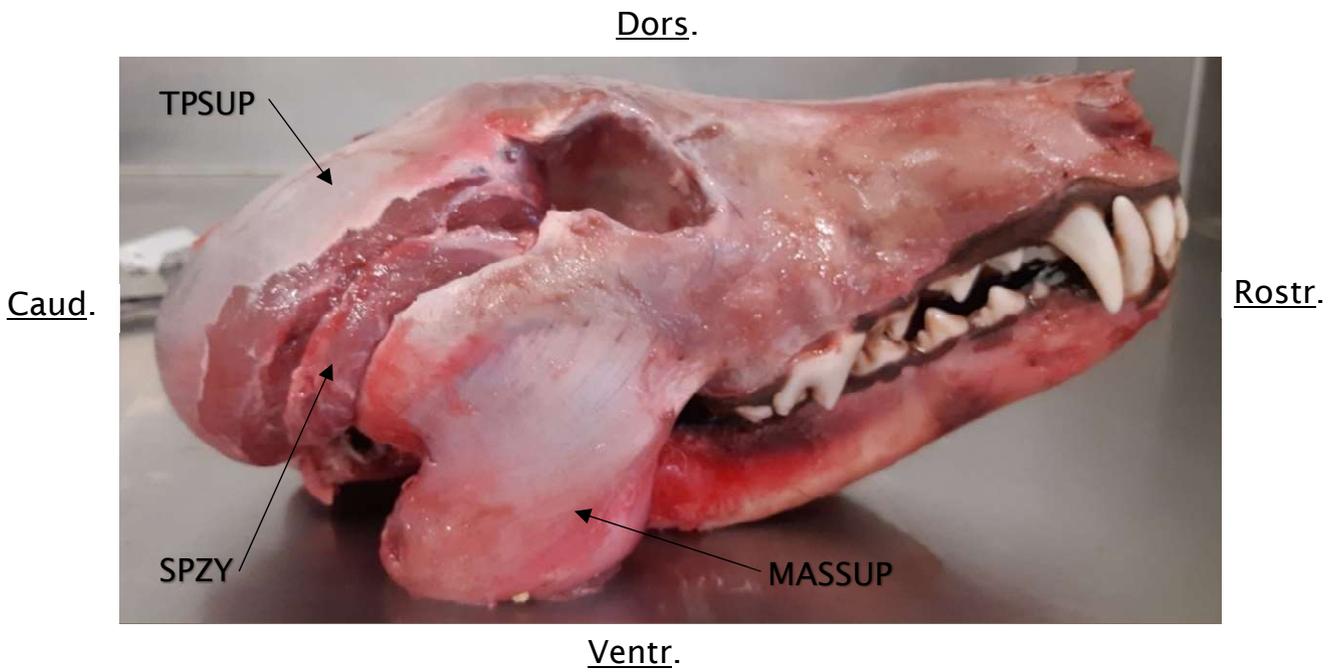


Figure 29 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle *Masseter pars superficialis*, du muscle *Temporalis pars superficialis* et du muscle *Temporalis pars suprazygomata*.

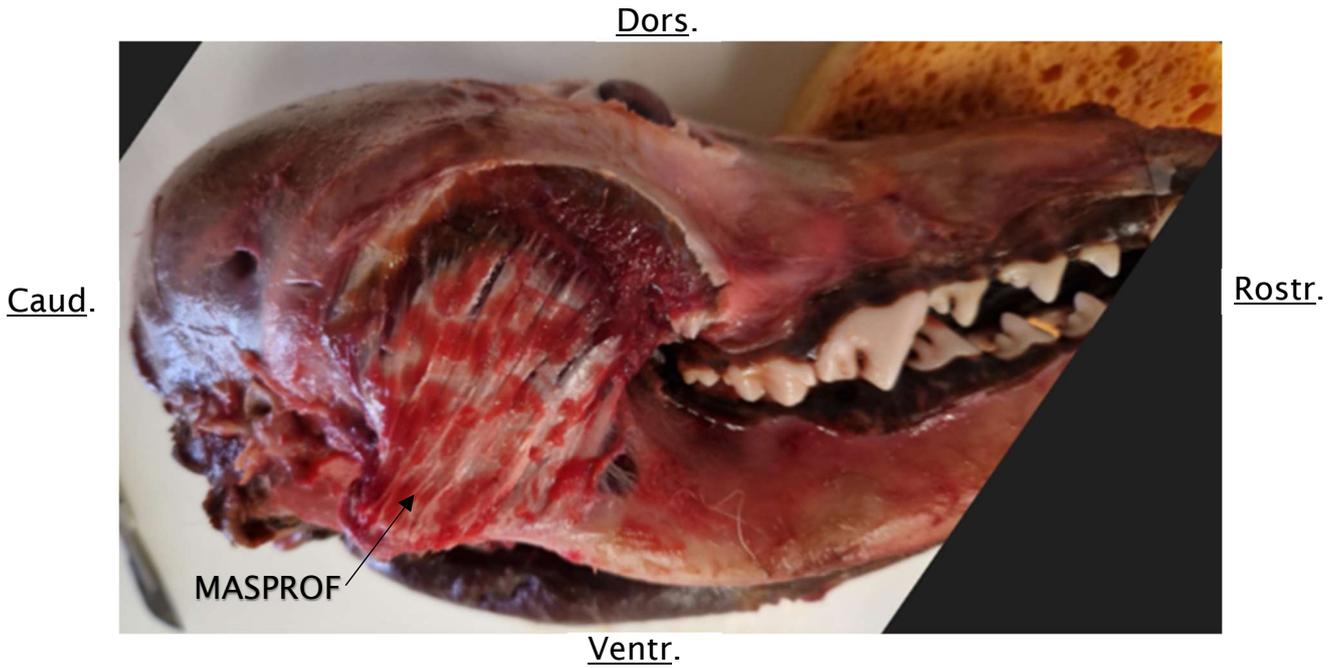


Figure 30 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle *Masseter pars profunda*.

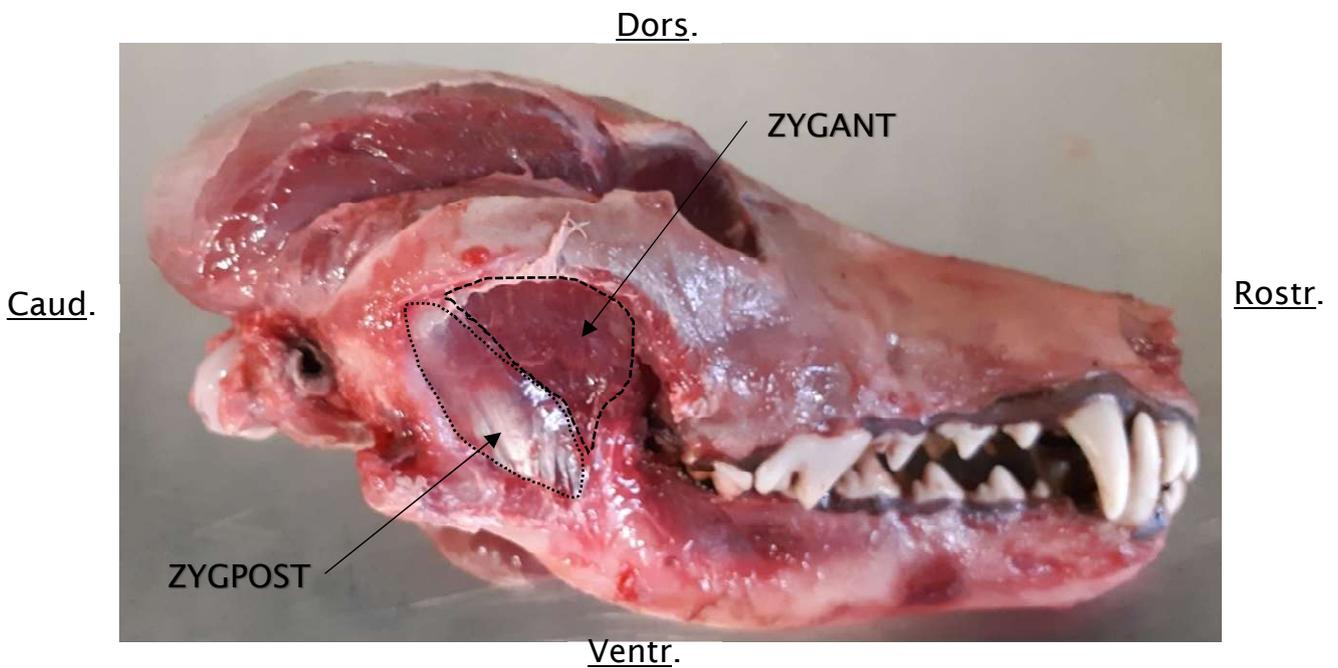


Figure 31 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* et du muscle *Masseter pars profunda zygomaticomandibularis posterior*.

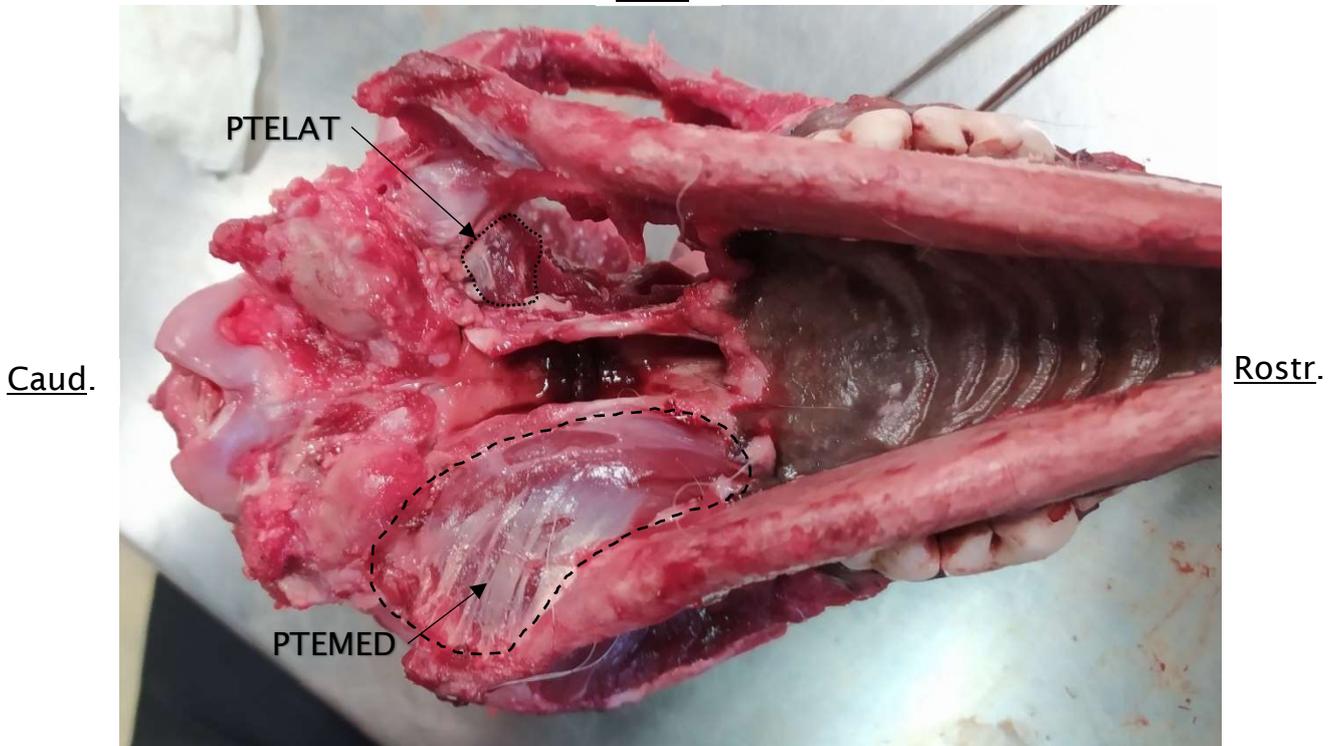
Dors.



Ventr.

Figure 32 : Photo d'une tête de loup (vue latérale droite) : exposition du muscle *Temporalis pars profunda*.

Dors.

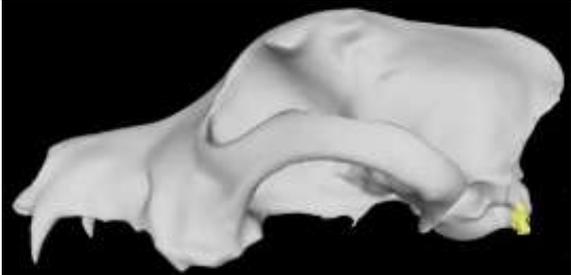
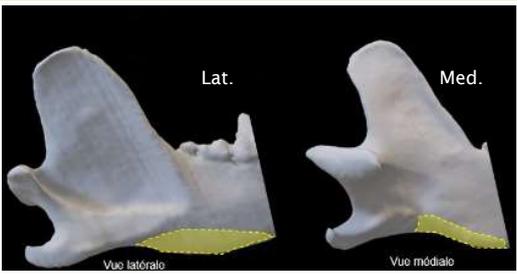
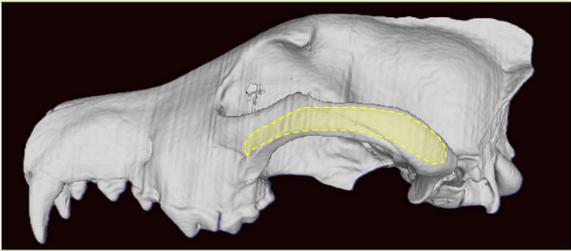
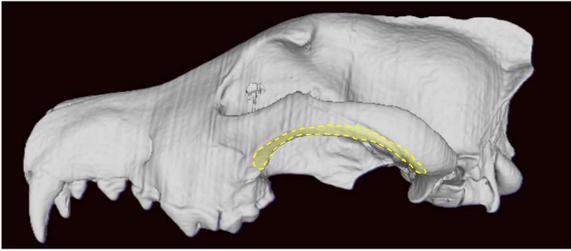
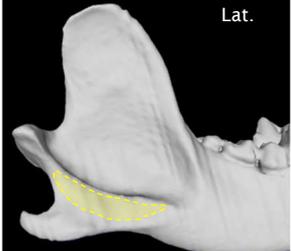
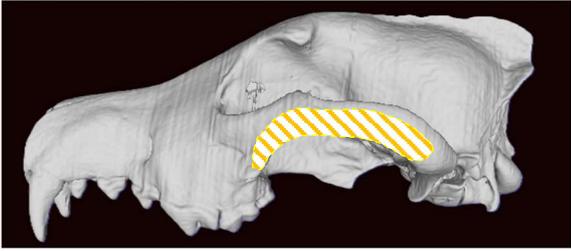
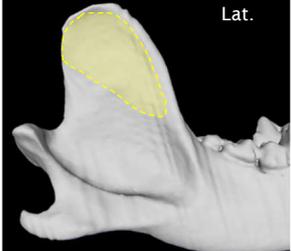


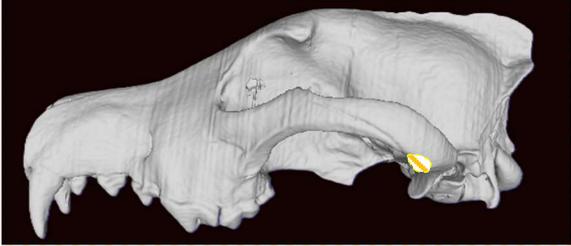
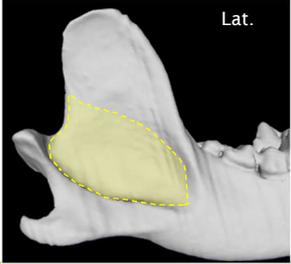
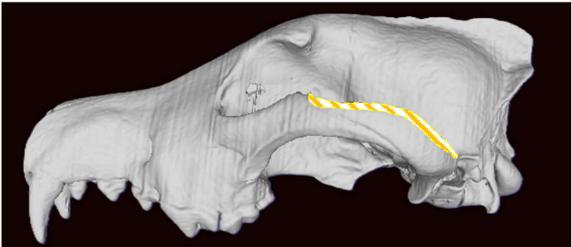
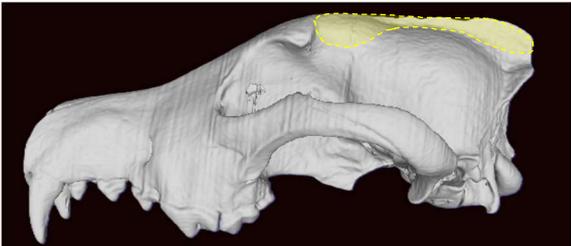
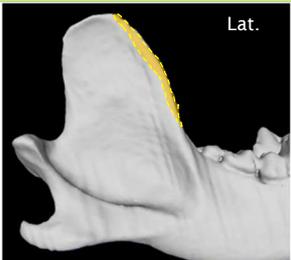
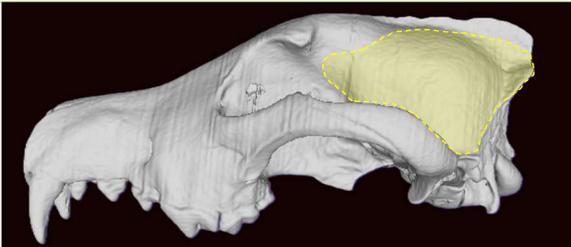
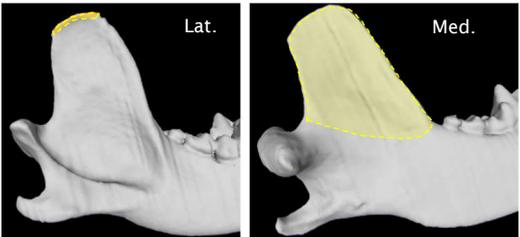
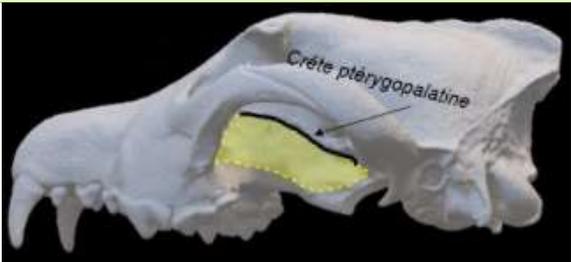
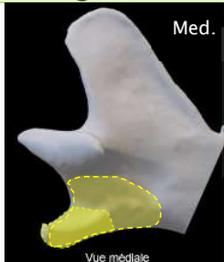
Ventr.

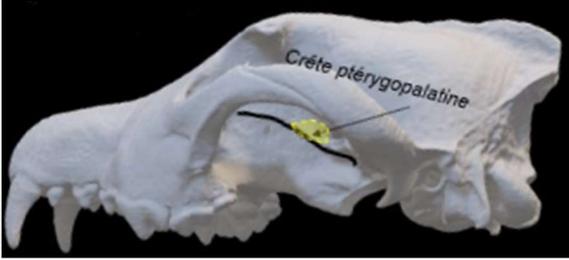
Figure 33 : Photo d'une tête de loup (vue ventrale) : exposition du muscle *Pterygoideus medialis* et du muscle *Pterygoideus lateralis*.

Afin de poursuivre, nous allons aborder plus en détail l'insertion des feuillets musculaires d'intérêts pour notre étude. La bonne connaissance de ces insertions permet de différencier correctement les feuillets musculaires adjacents lors de la dissection (Tableau V et Figure 34).

Tableau V : Feuillet musculaires et leurs insertions (Légende : hachuré orange → insertion en face médiale de l'arcade zygomatique) (d'après (Brassard, 2024b)).

| Feuillet musculaire | Insertion crânienne | Insertion mandibulaire |
|---|---|--|
| DIG | Processus jugulaire de l'os occipital | Bord ventral de la mandibule jusqu'à la carnière inférieure |
| |  |  |
| MASSUP | Bord latéral de l'arcade zygomatique | Processus angulaire et moitié ventrale sous la fosse massétérique de la branche mandibulaire |
| |  |  |
| MASPROF | Bord ventral de l'arcade zygomatique | Moitié dorsale sous la fosse massétérique de la branche mandibulaire |
| |  |  |
| ZYGANT | Bord médial de l'arcade zygomatique | Moitié dorso-rostrale de la fosse massétérique |
|  |  | |

| Feuillet musculaire | Insertion crânienne | Insertion mandibulaire |
|---------------------|---|---|
| ZYGPOST | Bord médial de l'arcade zygomatique, rostralement au processus condyloire | Moitié ventro-caudale de la fosse massétérique |
| |  |  |
| SPZY | Face dorsale de l'arcade zygomatique et au-dessus du méat acoustique externe | Bord ventro-rostral du processus coronoïde |
| |  |  |
| TPSUP | Crête sagittale externe et la ligne temporale | Bord dorso-rostral du processus coronoïde |
| |  |  |
| TPPROF | Fosse temporale | Bord médial et dorsal du processus |
| |  |  |
| PTEMED | Crête ptérygo-palatine | Fosse ptérygoïdienne et bord ventro-médial des processus angulaires |
| |  |  |

| Feuillet musculaire | Insertion crânienne | Insertion mandibulaire |
|---------------------|---|---|
| | Os sphénoïde et revers latéral du processus ptérygoïde | Fovéa ptérygoïdienne |
| PTELAT |  |  |

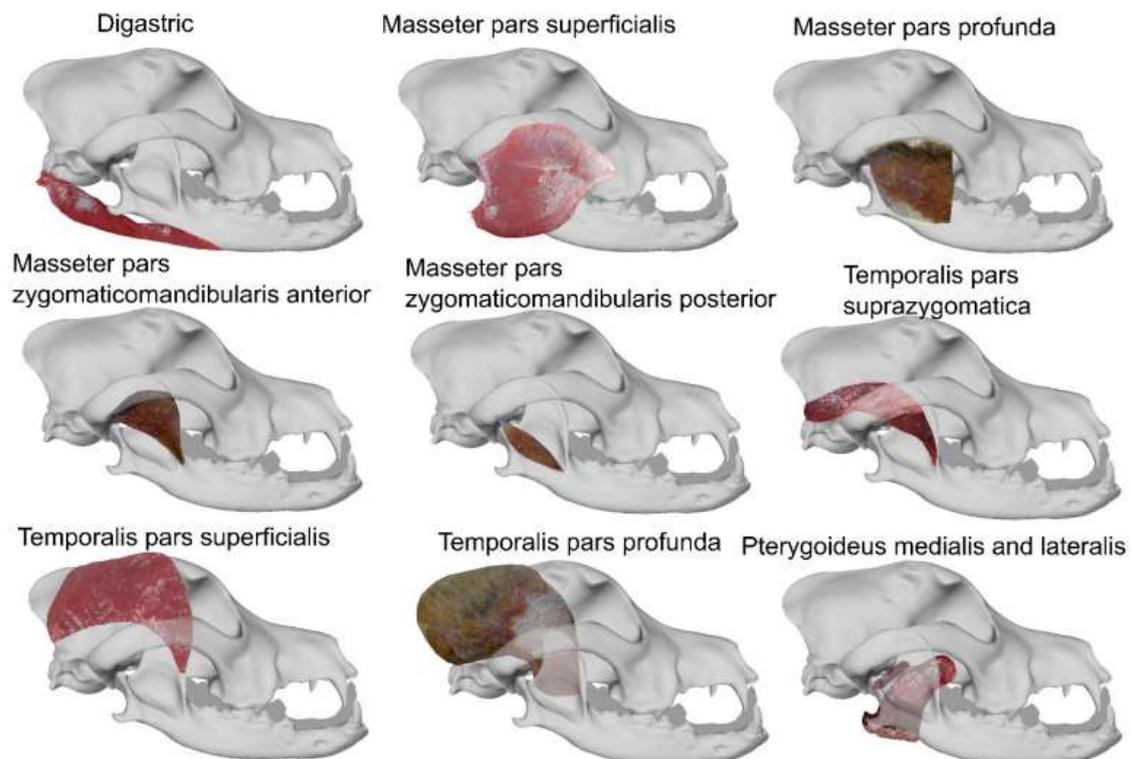


Figure 34 : Les complexes musculaires masticateurs et leurs différents feuillets chez le chien (Brassard, 2020a; Brassard, Merlin, Monchâtre-Leroy, et al., 2020)

b. Protocole de dissection

La dissection nécessite peu de matériel :

- Un manche de scalpel numéro 4 et des lames de scalpel numéro 22,
- Un manche de scalpel numéro 3 et des lames de scalpel numéro 11 (pas toujours nécessaire),
- Une pince à dents de souris.

Afin d'avoir des mesures comparables sans avoir à tenir compte des effets d'asymétrie, nous avons décidé de disséquer systématiquement les muscles masticateurs du côté droit. Néanmoins, en cas lésions des muscles masticateurs de ce côté, il nous est arrivé de disséquer, exceptionnellement, les muscles controlatéraux.

Le protocole de dissection nous a été enseigné par Colline BRASSARD et Anthony HERREL. Nous avons réalisé des vidéos de leurs démonstrations dans l'objectif de mémoriser correctement les différentes étapes de la dissection et de pouvoir nous y référer si nécessaire. De ces vidéos, nous avons capturé des photos pour illustrer le protocole de dissection suivant. Il est ainsi possible que les photos d'illustration ne suivent pas exactement les étapes décrites. En effet, la chronologie des vidéos diffère quelque peu de mon protocole de dissection.

Le protocole de dissection décrit ci-après est donc celui que j'ai adopté et adapté à ma façon de travailler pour être méthodique et minutieuse.

Toutes les photos illustrant le protocole de dissection sont orientées de façon à ce que la partie rostrale de la tête soit à droite de la page et la partie dorsale vers le haut de la page. De plus, les muscles tenus dans la pince à dents de souris sont les muscles dont l'étape fait mention.



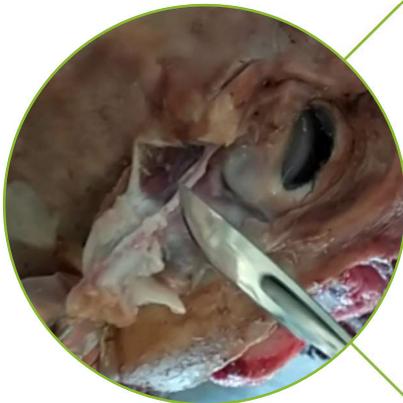
Retirer la peau :

- Inciser ventralement en région linguale
- Inciser les gencives mandibulaires
- Dégager les faces latérales et dorsale
 - Inciser les gencives maxillaires
- Longer la face jusqu'à retirer le planum nasal



Retirer la langue et le larynx :

- Longer les branches mandibulaires en face linguale
- Sectionner les os hyoïdiens.
- Veiller à ne pas léser les muscles Digastrique et *Pterygoideus medialis*



Retirer l'oeil droit :

- Retirer le ligament post-orbitaire
- Veiller à ne pas léser les muscles Temporaux et *Pterygoideus medialis* .



Nettoyer les muscles *Temporalis pars suprazygomata* et *Temporalis pars superficialis* :

- Longer l'artère palpébrale inférieure latérale jusqu'à l'artère temporale superficielle



Retirer le muscle digastrique :

- Commencer rostralement
- Longer le bord ventral de la mandibule



Retirer le muscle *Masseter pars superficialis* :

- Longer ventralement entre ce muscle et le muscle *Pterygoideus medialis*.
- Passer autour du processus angulaire
- Longer le plan de conjonctif qui sépare les muscles *Masseter pars superficialis* et *pars profunda* (orientation différente des fibres musculaires)



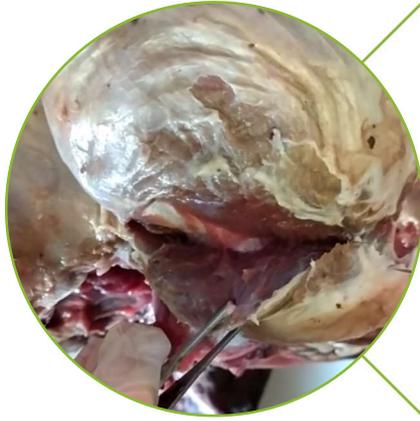
Retirer le muscle *Masseter pars profunda* :

- Longer la mandibule ventro-latéralement et caudalement
- Longer le plan conjonctif des muscles *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* et *posterior*



Séparer les muscles *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* et *Masseter pars zygomaticomandibularis posterior* :

- Longer l'orientation des fibres musculaires et en tenant compte que le *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* se superpose légèrement sur le *Masseter pars zygomaticomandibularis posterior*



Séparer les muscles *Temporalis pars superficialis* et *Temporalis pars suprazygomata* :

- Commencer en partie caudale
- Longer l'artère palpébrale inférieure latérale jusqu'à l'artère temporale superficielle
- Veiller à ne pas abîmer le muscle *Temporalis pars profunda*



Séparer, en partie, les muscles *Temporalis pars superficialis* et *Temporalis pars profunda*



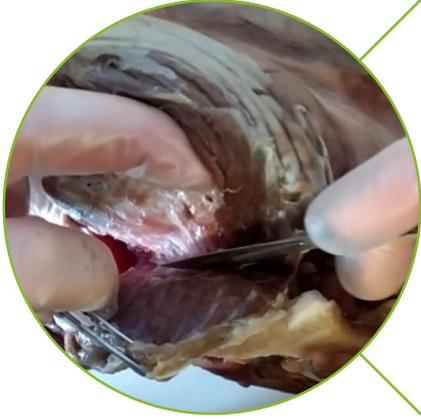
Retirer le muscle *Masseter pars zygomaticomandibularis posterior* :

- Commencer caudo-ventralement
- Longer la fosse massétérique



Retirer le muscle *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* :

- Longer le bord ventro-médial de l'arcade zygomatique
- Mettre un tension légère jusqu'à faire apparaître un plan de clivage
- Longer ce plan de clivage qui sépare les muscles *Masseter pars zygomaticomandibularis anterior* et *Temporalis pars suprazygomata*



Retirer le muscle *Temporalis pars suprazygomatica* :

- Commencer caudalement en longeant l'arcade zygomatique
- Rostralement longer entre les muscles *Temporalis pars suprazygomatica* et *pars superficialis* en s'aidant de l'artère malaire
- Longer la partie dorso-latérale du processus coronoïde



Retirer le muscle *Temporalis pars superficialis* :

- Sectionner l'attache sur la crête sagittale
- Caudalement, longer les fibres musculaires du muscle *Temporalis pars profunda*
- Rostralement, longer le conjonctif séparant les muscles *Temporalis pars superficialis* et *pars profunda*



Détacher la mandibule du crâne (1) :

- Sectionner l'insertion dorsale du muscle *Temporalis pars profunda* sur le processus coronoïde
- Longer le processus coronoïde jusqu'au tiers dorsal
- Détacher le muscle *Temporalis pars profunda* de son insertion crânienne dorso-caudale



Détacher la mandibule du crâne (2) :

- Détacher le muscle *Pterygoideus medialis* de son insertion mandibulaire jusqu'à arriver sur l'artère alvéolaire inférieure qui permet de visualiser les 3 muscles restants
- Veiller à ne pas léser les muscles *Temporalis pars profunda* et *Pterygoideus lateralis*



Détacher la mandibule du crâne (3) :

- Sectionner le ligament latéral et la capsule articulaire de l'articulation temporo-mandibulaire
- Détacher le muscle *Temporalis pars profunda* de son insertion mandibulaire en longeant le processus coronoïde d'abord dorsalement puis ventralement



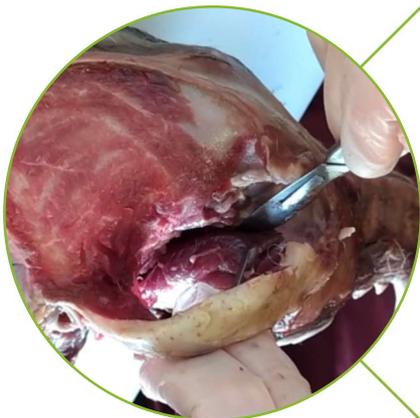
Détacher la mandibule du crâne (4) :

- Détacher le muscle *Pterygoideus lateralis* de son insertion mandibulaire
- Sectionner la commissure labiale
- Luxer la mandibule en coinçant le processus coronoïde derrière la carrossière supérieure ipsilatérale



Retirer le muscle *Temporalis pars profunda* :

- Longer l'insertion crânienne



Retirer le muscle *Pterygoideus medialis* :

- Longer l'insertion crânienne



Retirer le muscle *Pterygoideus lateralis* :
- Longer l'insertion crânienne

Une fois notre dissection réalisée, nous obtenons donc dix feuillets musculaires (Figure 35).

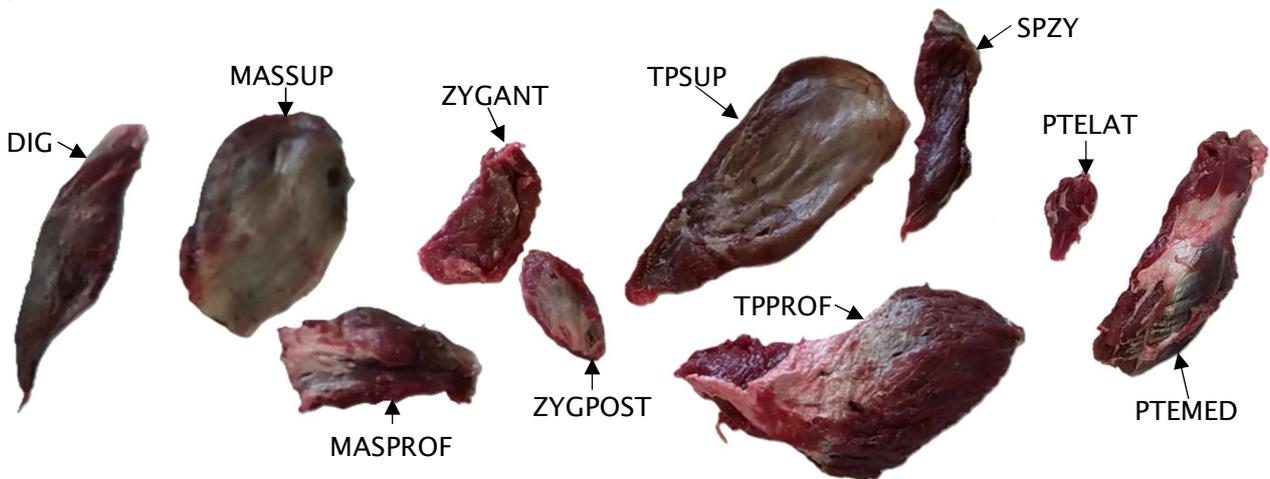


Figure 35 : Les dix feuillets musculaires issus de la dissection d'une tête de loup au cours de notre étude (proportions musculaires non respectées).

La figure suivante (Figure 36) donne un aperçu de la proportion de chaque feuillet musculaire chez un même individu (ici un renard) :



Figure 36 : Les dix feuillets musculaires issus de la dissection de la tête d'un renard (Dig: Digastric; MS: M. masseter pars superficialis; MP: M. masseter pars profunda; ZMA: M. zygomaticomandibularis pars anterior; ZMP: zygomaticomandibularis pars posterior; SZ: M. temporalis pars suprazygomata; TS: M. temporalis pars superficialis; TP: M. temporalis pars profunda; PM: M. pterygoideus medialis; PM: M. pterygoideus lateralis) (d'après (Brassard, 2020b)).

Chacun de ces feuillets musculaires sera étudié comme décrit ci-après (*Partie II. B. 1. c. Quantification de l'architecture musculaire p.71*).

c. Quantification de l'architecture musculaire

Toutes les mesures suivantes sont enregistrées sur format papier (*Annexe 2*) puis dans un tableau Excel (*Annexe 3*). La chronologie de l'acquisition des mesures myologiques est la suivante :

1) Masse

Chaque feuillet musculaire est pesé individuellement sur une balance de précision Sartorius® 1404 MP8 (Figure 37). La prise correcte des informations se faisait préalablement par le réglage de la balance. Pour cela, nous réglions le niveau à bulle afin que cette dernière se trouve dans le centre en modifiant la hauteur des pieds de la balance. La masse indiquée est en grammes, suivis de 2 décimales après la virgule. Les mesures sont notées dans leur entièreté.

Par la suite, pour l'exploration des données musculaires, la masse des feuillets sera additionnée par complexe musculaire afin d'avoir les masses totales de ces quatre derniers.



Figure 37 : Photographie de la balance Sartorius® utilisée pour la mesure de la masse musculaire.

2) Longueur

Ensuite, afin de déterminer la longueur des muscles et celle des fibres musculaires, nous avons utilisé un pied à coulisse digitale Mitutoyo® (Figure 38). Les longueurs indiquées le sont en millimètres, suivis de 2 décimales après la virgule. Nous arrondissons les mesures au millimètre près.

Pour ce qui est de la mesure de la longueur des fibres musculaires, les différents feuillets musculaires sont incisés longitudinalement.



Figure 38 : Photographie du pied à coulisse digital Mitutoyo® utilisé pour les mesures des longueurs musculaires et des fibres musculaires.

3) Angle de pennation

Pour continuer, les muscles étant précédemment incisés pour la mesure de la longueur des fibres musculaires, nous pouvons par la même occasion mesurer l'angle de pennation. Pour cela, nous utilisons un rapporteur et plaçons la ligne d'incision sur l'axe 0-180° puis nous déterminons l'angle formé par les fibres musculaires (Figure 39).

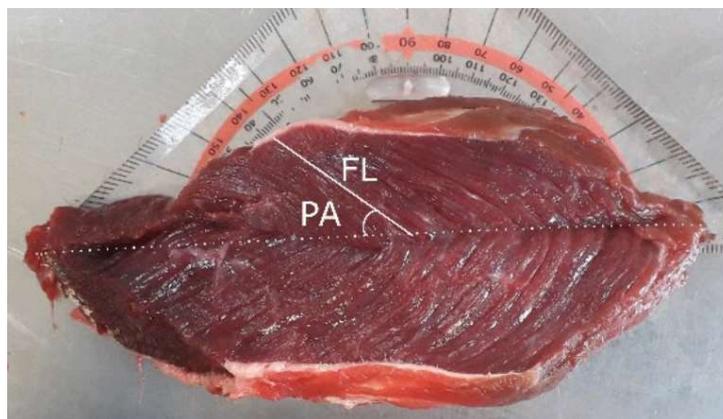


Figure 39 : Mesure de l'angle de pennation sur le muscle Temporalis pars profunda chez un chien (FL : Longueur de la fibre musculaire et PA : Angle de pennation) (d'après (Brassard, 2020b)).

4) PCSA : Physiological cross-sectional area

La force intrinsèque de chaque feuillet musculaire est calculée à partir des données musculaires recueillies précédemment.

$$PCSA = \frac{\text{Masse} \times \cos(\text{angle de pennation})}{1,06 \times \text{longueur de fibre musculaire}} \text{ (Haxton, 1944)}$$

2. Craniométrie

a. Acquisition scanner et segmentation

Comme évoqué précédemment, les 146 individus fournis par l'OFB ont été passés au scanner, un à un, afin d'assurer la traçabilité et de travailler par la suite sur modèle 3D.

Pour cela, des sessions d'acquisition scanner se sont échelonnées sur 3 années. Les premières sessions se sont déroulées au CETSO avec Monsieur TAVERNIER puis à Oniris avec Madame BOUILLAUT et Madame ROULEAU. A chaque session, nous passons une quinzaine de têtes congelées de loups. Afin de garder les proportions craniométriques dans l'état, les têtes n'étaient pas disséquées au préalable lorsque cela était possible.

Pour chaque spécimen, nous commençons par faire une deuxième étiquette en plastique avec ses informations (Numéro d'étude, de Dépouille et de SAGIR). Ensuite, ses informations étaient communiquées à l'opérateur d'imagerie et une fois cela fait nous plaçons la tête sur la table d'examen. Afin de poursuivre l'examen radiologique, l'acquisition se faisait grâce à un scanner SIEMENS Somatom go.Up® et les paramètres d'acquisition étaient les suivants :

- 110 Kv,
- Care Dose 4D/Modulation d'intensité calculée par le scanner (équivalent des mAs),
- Epaisseurs de coupe variant selon la taille du crâne :
 - Petits crânes : 0,6 millimètres avec un incrément de 0,3 millimètres,
 - Gros crânes : 1,0 millimètres avec un incrément de 0,5 millimètres.

Dès que l'acquisition était terminée, la tête était mise dans un premier sac bleu ou rose selon le sexe du loup (si celui-ci était connu, bleu pour les mâles et rose pour les femelles) puis dans un deuxième de la même couleur que le précédent. Pour les individus dont le sexe n'était pas connu, ces derniers étaient placés dans deux sacs de couleurs différentes. Le premier sac (intérieur) était identifié par l'étiquette d'origine (en papier) et un marquage au feutre indélébile des informations sur le sac. Le deuxième sac (extérieur) quant à lui était identifié par la deuxième étiquette (en plastique) et seul le numéro d'étude était marqué au feutre indélébile. Grâce à cela, l'étiquette d'origine restait lisible et protégée du gel des congélateurs et la traçabilité était ainsi renforcée.

Par la suite, Madame BRASSARD a procédé à la segmentation des images 2D, issues de la tomodensitométrie, sur Aviso® afin d'obtenir un modèle 3D. Les crânes et les mandibules étaient reconstitués ensemble (en bloc).

De ces modèles 3D, nous avons pu prendre ultérieurement les mesures linéaires craniométriques décrites ci-après (*Partie II. B. 2. c. Protocole de prise de mesures linéaires p.75*).

b. Préparation des têtes osseuses

En vue d'obtenir un crâne et une mandibule (osseux) à partir d'une tête (tissus mous) de loup, il nous faut passer par quatre étapes.

La première est une étape de cuisson pour détacher les tissus mous du crâne et de la mandibule. Pour cela il faut :

- Avoir terminé la dissection des muscles masticateurs,
- Réséquer grossièrement les muscles du côté controlatéral afin de détacher la mandibule du crâne,
- Placer le crâne et la mandibule d'un même individu dans une casserole. En cas de nombreuses préparations simultanées, une grande casserole peut contenir 2 individus. Cependant pour ne pas mélanger ces deux individus (notamment les dents), un des deux duos crâne-mandibule est placé dans un sachet en tissus dont les mailles sont fines et l'autre dans la casserole à nu. De plus, il faut que les 2 individus soient approximativement de même taille pour ne pas que la cuisson lèse un des deux,
- Placer une des deux étiquettes d'identification devant la plaque de cuisson individuelle et l'autre accrochée à la prise électrique. De cette dernière, nous savions exactement quelle tête était dans la casserole.
- Remplir la casserole d'eau jusqu'à ce que toutes les parties soient entièrement recouvertes,
- Porter l'eau de la casserole à ébullition douce, c'est-à-dire jusqu'à observation de très fines bulles remontant à la surface, puis couvrir la casserole,
- Laisser cuire à ébullition douce pendant huit à dix heures (Figure 40),
- Rajouter régulièrement de l'eau afin que les crânes et mandibules restent recouverts d'eau autant que possible,
- Surveiller régulièrement l'évolution de la cuisson pour ne pas surcuire les ossements (si tous les tissus mous se détachent facilement, il faut arrêter la cuisson). Une surcuisson fragilise les os en les rendant poreux,
- Une fois la cuisson estimée comme étant terminée, retirer l'eau de la casserole à l'aide d'une passoire pour récupérer les dents ou d'autres éléments osseux.



Figure 40 : Cuissons des têtes de canidés (d'après (Brassard, 2020b)).

La deuxième étape a pour objectif de nettoyer les os c'est-à-dire de détacher les derniers morceaux de tissus mous, retirer ce qui reste de l'encéphale et dégraisser les os dans le but d'un meilleur séchage ultérieur. Pour ce faire, nous utilisons une brosse, une brosse à dents et du liquide vaisselle et nous venons frotter les os.

La troisième étape consiste, quant à elle, à sécher les os. Dans cet optique, les os sont déposés sur un sopalin et mis à sécher à l'air libre dans une bibliothèque pendant plusieurs semaines. Afin d'identifier les os, une étiquette est accrochée à l'arcade zygomatique et l'autre aux 2 héli-mandibules (Figure 41).



Figure 41 : Photographie d'un crâne, des deux héli-mandibules et des vertèbres d'un loup mis à sécher pendant le nettoyage simultané d'un autre.

Finalement lorsque les os sont secs, la dernière étape consiste à identifier correctement les ossements, pour maintenir la traçabilité. Dès lors, l'étiquette d'origine est attachée au crâne par l'arcade zygomatique et la deuxième attache les deux héli-mandibules ensemble. Pour renforcer ce travail, chaque partie osseuse est également annotée des numéros de Dépouille et de SAGIR au crayon à papier lorsque les os sont suffisamment secs : en face médiale pour chacune des héli-mandibules et en face ventrale pour le crâne. Une fois le séchage complet, les os, et leurs étiquettes respectives, sont placés dans un sac plastique hermétique. Le sac est ensuite identifié au feutre indélébile avec les numéros de Dépouille et de SAGIR.

c. Protocole de prise de mesures linéaires

1) Définition des marqueurs osseux

Les mesures linéaires des crânes et des mandibules ont été faite à l'aide du logiciel Meshlab® 2022.02 (Figure 42). Les mesures sont exprimées en centimètres suivies de nombreuses décimales après la virgule. Afin que cela soit plus représentatif, les mesures ont été arrondies à la première décimale après la virgule.

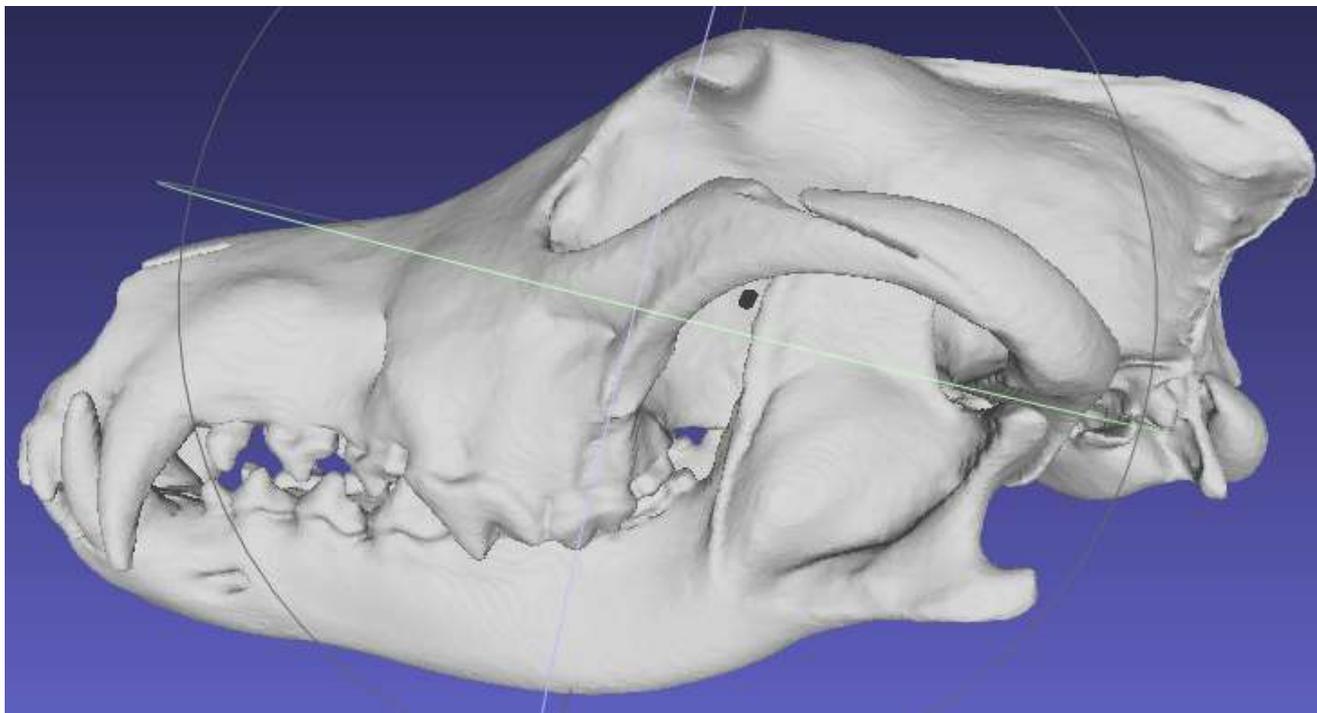


Figure 42 : Modèle 3D d'une tête osseuse de loup ouvert sur le logiciel MeshLab® 2022.02.

Les mesures ont été faites à partir des marqueurs osseux des canidés définis dans les travaux de (Von den Driesch, 1976) (Tableau VI et Figure 43 - Figure 47).

Tableau VI : Définition et légende des marqueurs osseux définis à partir des mesures du crâne et de la mandibule des canidés par (Von den Driesch, 1976).

| Marqueur | Définition par Von den Driesch | |
|----------|--------------------------------|---|
| 1 | Crâne | Longueur totale de la tête : prosthion - inion |
| 2 | | Longueur condylo-basale : prosthion - extrémité caudale des condyles occipitaux |
| 3 | | Longueur basale de la tête : prosthion - basion |
| 4 | | Axe basicrânial : basion - synsphénion |
| 5 | | Axe basifacial : prosthion - synsphénion |
| 6 | | Longueur du neurocrâne : basion - nasion |
| 7 | | Longueur supérieure du neurocrâne : inion - centre du frontal |
| 8 | | Longueur de la face : prosthion - nasion |
| 9 | | Longueur faciale : prosthion - centre du frontal |
| 10 | | Plus grande longueur des os nasaux : nasion - rhinion |

| | |
|-----|---|
| 11 | Longueur de la cavité crânienne : mesure prise si la lame criblée de l'éthmoïde est conservée, en introduisant la fine réglette du pied à coulisse dans le Foramen magnum jusqu'à ce que son extrémité atteigne la lame criblée de l'éthmoïde : nous révélons alors la mesure au niveau du basion |
| 12 | Longueur du museau : prosthion – point médian de la ligne joignant les bords rostraux des orbites |
| 13 | Longueur médiane du palais : prosthion – staphylion |
| 13a | Longueur du palais : prosthion – point médian de la ligne joignant les échancrures les plus profondes des choanes |
| 14 | Longueur de la partie horizontale du palais : staphylion – palatinooral |
| 14a | Longueur de la partie horizontale du palais correspondant à la mesure 13a |
| 15 | Longueur du processus alvéolaire du maxillaire portant les dents jugales (mesurée le long des alvéoles sur la face buccale) |
| 16 | Longueur du processus alvéolaire du maxillaire portant les molaires (mesurée le long des alvéoles sur la face buccale) |
| 17 | Longueur du processus alvéolaire du maxillaire portant les prémolaires (mesurée le long des alvéoles sur la face buccale) |
| 18 | Longueur de la carnassière, mesurée au cingulum |
| 18a | Largeur maximale de la carnassière |
| 19 | Longueur de l'alvéole de la carnassière |
| 20 | Longueur de M1, mesurée au cingulum (M1 = première molaire) |
| 20' | Largeur de M1, mesurée au cingulum |
| 21 | Longueur de M2, mesurée au cingulum (M2 = deuxième molaire) |
| 21' | Largeur de M2, mesurée au cingulum |
| 22 | Diamètre maximal de la bulle tympanique : il est mesuré depuis le point le plus caudal de la bulle tympanique, sur la suture avec le processus jugulaire, jusqu'à l'ouverture externe du canal carotidien |
| 23 | Largeur mastoïdienne maximale : otion – otion |
| 24 | Largeur prise dorsalement au pore acoustique externe |
| 25 | Largeur maximale entre les condyles occipitaux |
| 26 | Largeur maximale à la base des processus jugulaires |
| 27 | Largeur maximale du Foramen magnum |
| 28 | Hauteur du Foramen magnum : basion – opisthion |
| 29 | Largeur maximale du neurocrâne : euryon – euryon |
| 30 | Largeur bizygomatique : zygion – zygion |
| 31 | Largeur minimale du crâne : largeur au niveau de la constriction postorbitaire |
| 32 | Largeur frontale : ectorbital – ectorbital |
| 33 | Largeur minimale entre les orbites : entorbital – entorbital |
| 34 | Largeur maximale du palais : mesurée entre les bords vestibulaires des alvéoles de M1 |
| 35 | Largeur minimale du palais : mesurée derrière P1 (P1 = première prémolaire) |
| 36 | Largeur mesurée entre les bords vestibulaires des alvéoles des canines |

| | | |
|-----|-------------------------------------|--|
| 37 | | Hauteur maximale de l'intérieur de l'orbite |
| 38 | | Hauteur du crâne : nous plaçons une extrémité du pied à coulisse sur la base du crâne (basioccipital) et l'autre extrémité dorsalement sur le point le plus haut de la crête sagittale externe |
| 39 | | Hauteur du crâne compte non-tenu de la crête sagittale externe : nous positionnons le pied à coulisse comme pour la mesure 38, à la différence que son extrémité supérieure est placée à côté de la crête sagittale externe, sur le point le plus haut de la boîte crânienne |
| 40 | | Hauteur du triangle occipital : basion - inion |
| | | |
| 1 | Mandibule | Longueur totale de la mandibule : infradental - processus condyloire |
| 2 | | Longueur prise entre l'infradental et le processus angulaire |
| 3 | | Longueur prise depuis l'échancrure située entre les processus condyloire et angulaire et l'infradental |
| 4 | | Longueur prise entre le processus condyloire et le bord caudal de l'alvéole de la canine |
| 5 | | Longueur prise depuis l'échancrure entre les processus condyloire et angulaire et le bord caudal de l'alvéole de la canine |
| 6 | | Longueur prise entre le processus angulaire et le bord caudal de l'alvéole de la canine |
| 7 | | Longueur prise entre le bord caudal de l'alvéole de M3 et le bord caudal de l'alvéole de la canine |
| 8 | | Longueur de la partie du processus alvéolaire des dents jugales P1-M3, mesurée le long des alvéoles |
| 9 | | Longueur du processus alvéolaire des dents jugales P2-M3, mesurée le long des alvéoles |
| 10 | | Longueur du processus alvéolaire des molaires, mesurée le long des alvéoles |
| 11 | | Longueur du processus alvéolaire des prémolaires P1-P4, mesurée le long des alvéoles |
| 12 | | Longueur du processus alvéolaire des dents jugales P2-P4, mesurée le long des alvéoles |
| 13 | | Longueur de la carnassière, mesurée au cingulum |
| 13' | | Largeur de la carnassière, mesurée au cingulum |
| 14 | | Longueur de l'alvéole de la carnassière |
| 15 | | Longueur de M2, mesurée au cingulum |
| 15' | | Largeur de M2, mesurée au cingulum |
| 16 | Longueur de M3, mesurée au cingulum | |
| 16' | Largeur de M3, mesurée au cingulum | |
| 17 | | Epaisseur maximale du corps de la mandibule (au-dessous de M1) |

18
19
20

| |
|--|
| Hauteur de la branche de la mandibule : coronion – point basal du processus angulaire |
| Hauteur mandibulaire en arrière de M1, mesurée sur la face linguale et perpendiculairement au bord basal |
| Hauteur mandibulaire entre P2 et P3, mesurée sur la face linguale et perpendiculairement au bord basal |

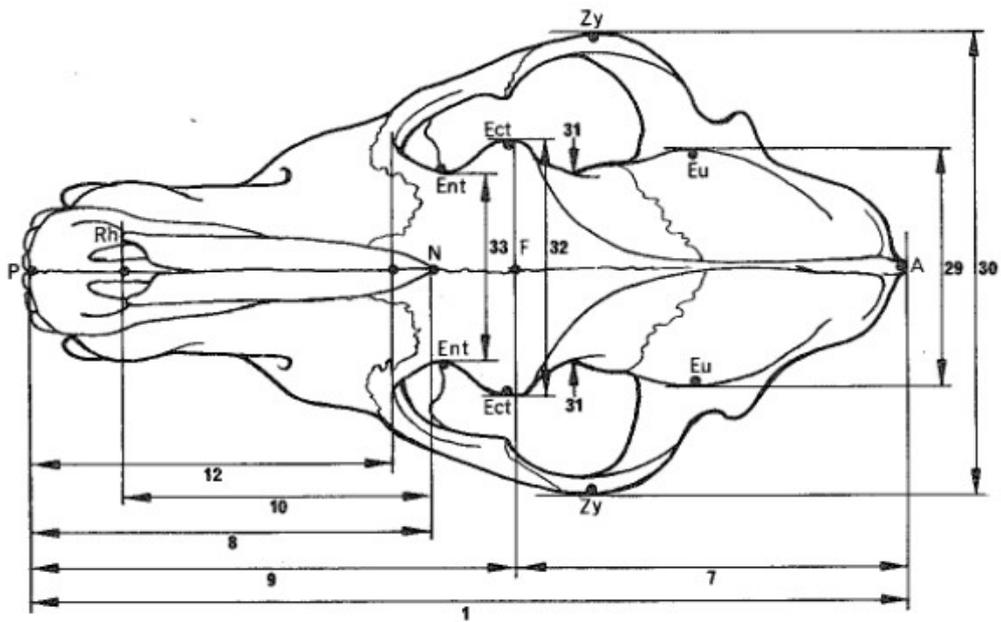


Figure 43 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue dorsale d'après (Von den Driesch, 1976).

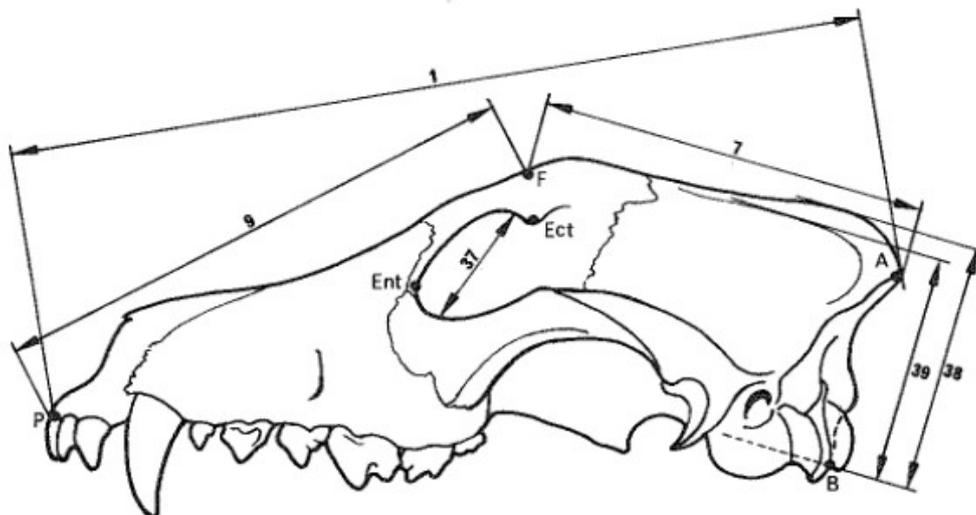


Figure 44 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue latéral gauche d'après (Von den Driesch, 1976).

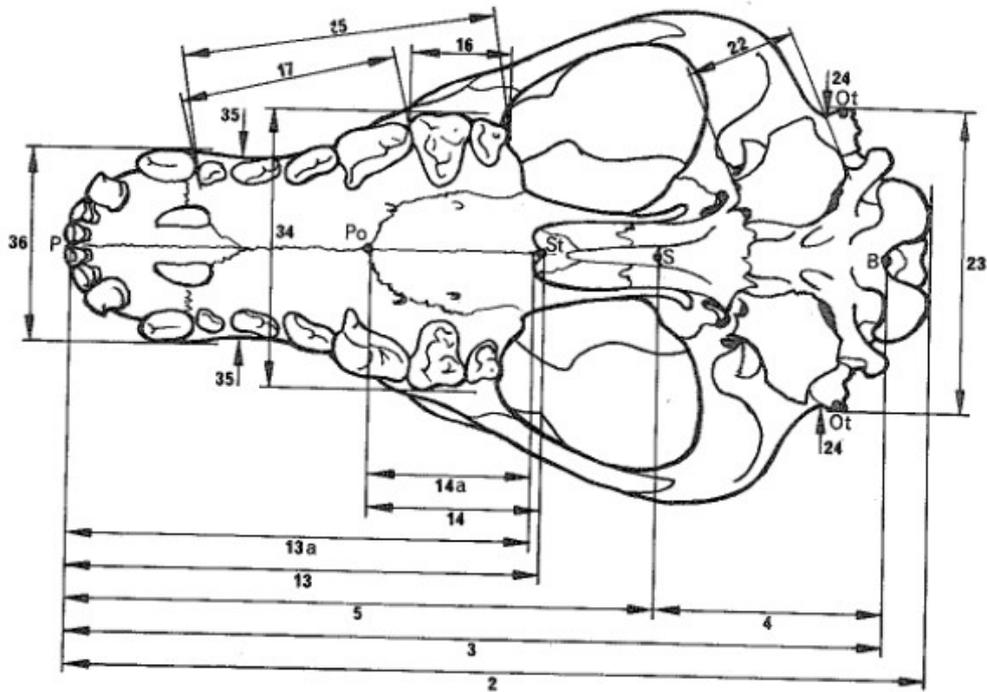


Figure 45 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue ventrale d'après (Von den Driesch, 1976).

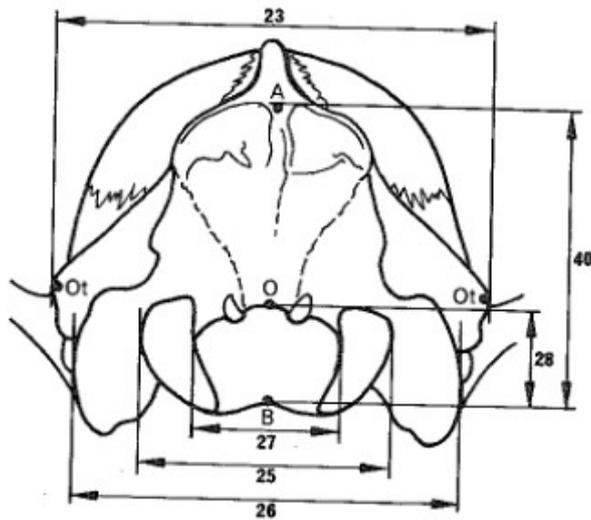


Figure 46 : Marqueurs osseux du crâne d'un canidé en vue dorsale d'après (Von den Driesch, 1976).

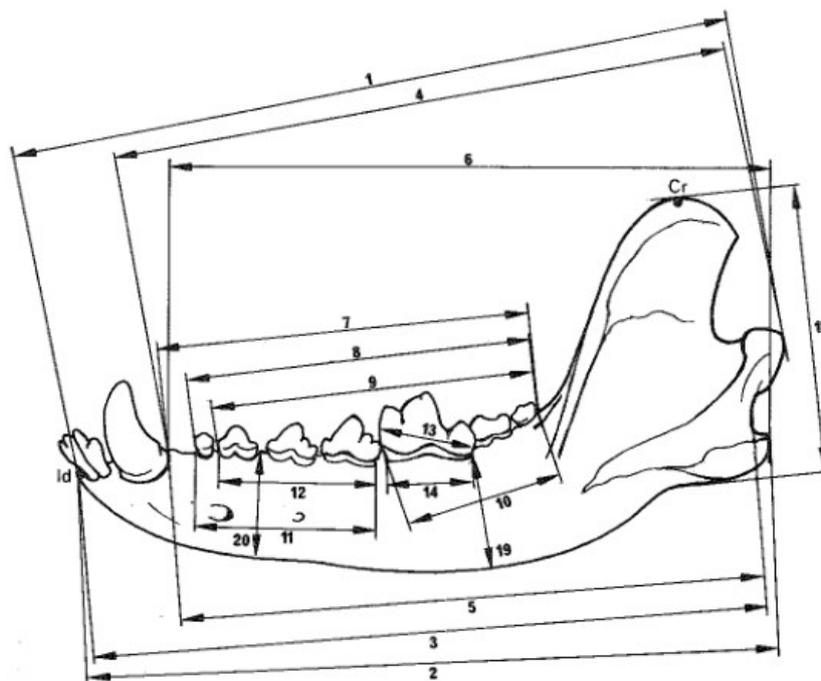


Figure 47 : Marqueurs osseux de l'hémi-mandibule gauche d'un canidé en vue latérale d'après (Von den Driesch, 1976).

Les mesures crâniennes et mandibulaires retenues pour notre étude sont décrites dans les deux prochaines parties. Le choix de ces mesures s'est fait en fonction de la faisabilité des mesures linéaires à partir d'un modèle 3D tout en conservant une répétabilité et une représentativité.

2) Choix des mesures sur les crânes

Les mesures crâniennes retenues pour notre étude sont au nombre de douze et sont les suivantes (Tableau VII et Figure 48) :

Tableau VII : Description des mesures crâniennes considérées dans cette étude, d'après les mesures du crâne des canidés définies par (Von den Driesch, 1976).

| Mesure | Définition | Marqueur correspondant |
|--------|---|------------------------|
| Cra1 | Longueur totale de la tête : Prosthion - Inion | 1 |
| Cra2 | Largeur bizygomatique : Zygion - Zygion | 30 |
| Cra3 | Largeur maximale du neurocrâne : Euryon - Euryon | 29 |
| Cra4 | Longueur de la face : Nasion - Prosthion | 8 |
| Cra5 | Largeur minimale entre les orbites : Entorbitale - Entorbitale | 33 |
| Cra6 | Longueur basale de la tête : Basion - Prosthion | 3 |
| Cra7 | Longueur du processus alvéolaire du maxillaire portant les dents jugales (mesurée le long des alvéoles sur la face buccale) | 15 |

| | | |
|-------|---|----|
| Cra8 | Largeur mastoïdienne maximale : Otion - Otion | 23 |
| Cra9 | Largeur maximale du palais : mesurée entre les bords vestibulaires des alvéoles de M1 | 34 |
| Cra10 | Largeur mesurée entre les bords vestibulaires des alvéoles des canines | 36 |
| Cra11 | Largeur maximale à la base des processus jugulaires | 26 |
| Cra12 | Hauteur du triangle occipital : Basion - Inion | 40 |

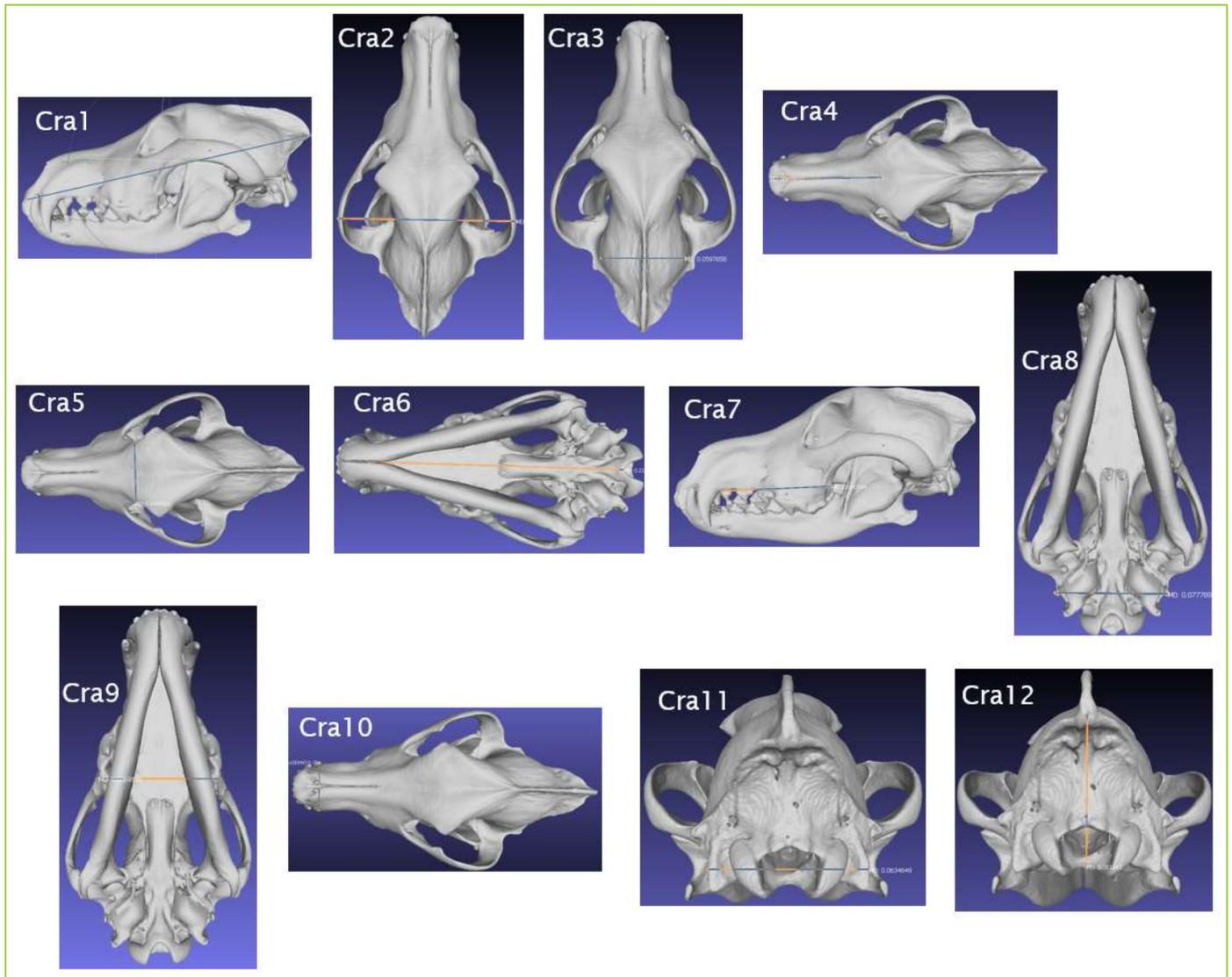


Figure 48 : Mesures crâniennes réalisées sur le modèle 3D d'une tête osseuse de loup à partir du logiciel MeshLab® 2022.02.

3) Choix des mesures sur les mandibules

Les mesures mandibulaires retenues pour notre étude sont au nombre de huit et sont les suivantes (Tableau VIII et Figure 49) :

Tableau VIII : Description des mesures mandibulaires considérées dans cette étude, d'après les mesures de la mandibule des canidés définies par (Von den Driesch, 1976).

| Mesure | Définition | Marqueur correspondant |
|--------|--|------------------------|
| Mdb1 | Longueur totale de la mandibule : infradental - processus condyalaire | 1 |
| Mdb2 | Longueur prise entre l'infradental et le processus angulaire | 2 |
| Mdb3 | Longueur de la partie du processus alvéolaire des dents jugales P1-M3, mesurée le long des alvéoles | 8 |
| Mdb4 | Hauteur de la branche de la mandibule : coronion - point basal du processus angulaire | 18 |
| Mdb5 | Hauteur mandibulaire en arrière de M1, mesurée sur la face linguale et perpendiculairement au bord basal | 19 |
| Mdb6 | Épaisseur maximale du corps de la mandibule (en-dessous de M1) | 17 |
| Mdb7 | Largeur entre les processus angulaires | / |
| Mdb8 | Longueur de la carnassière, mesurée au cingulum | 13 |

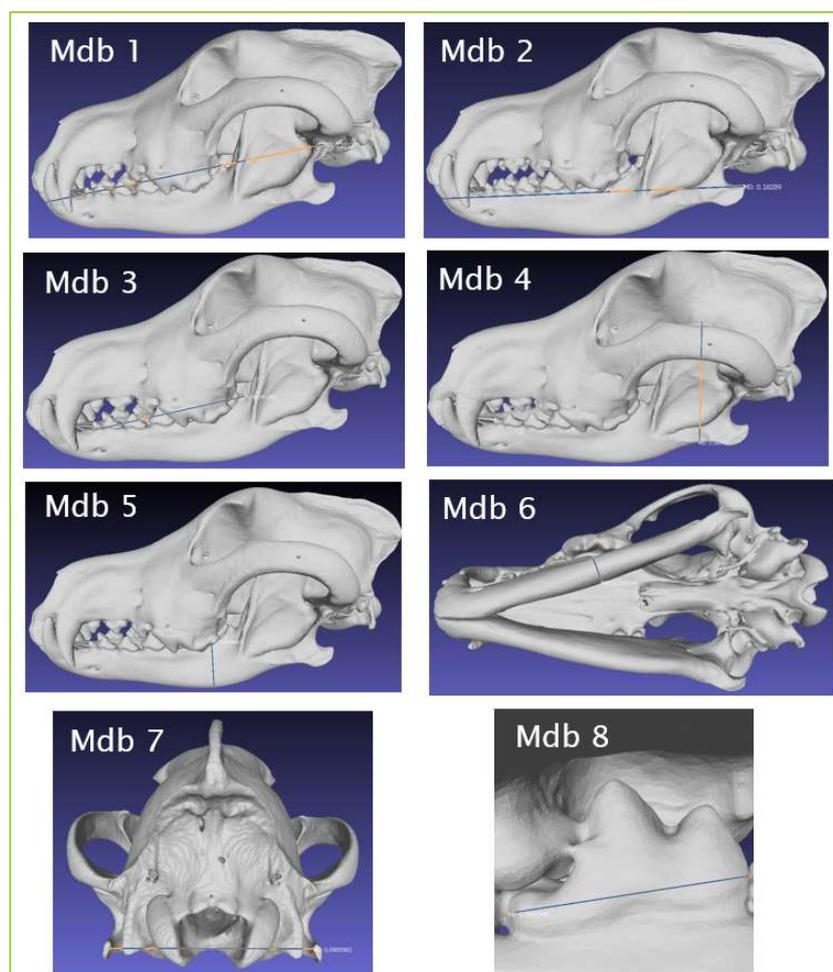


Figure 49 : Mesures mandibulaires réalisées sur le modèle 3D d'une tête osseuse de loup à partir du logiciel MeshLab® 2022.02.

C. Exploration des données

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec R 4.4.1 et Rstudio 2024.04.2-764.

Les deux analyses, à savoir la myologie et la craniométrie, ont été conduites sur l'ensemble de notre échantillon d'intérêt : 23 femelles et 24 mâles. De ce fait, ceci nous offre des résultats myologiques et craniométriques que nous pourrions mettre en relation.

1. Questions scientifiques

Nous souhaitons connaître, grâce aux données craniométriques et myologiques recueillies, s'il existe un dimorphisme sexuel chez le loup gris français, se traduisant par des différences dans la conformation (taille et proportions) du crâne et/ou de la mandibule et/ou des muscles masticateurs entre les mâles et les femelles. Nos analyses s'organiseront donc en deux grands volets : l'analyse des données musculaires, puis l'analyse des données craniométriques. Dans la discussion, nous tenterons de mettre en relation ces résultats.

2. Méthodes statistiques

Au vu de la petitesse de notre échantillon et dans le but d'augmenter le pouvoir statistique de nos résultats, l'étude de la musculature de l'appareil masticateur s'effectuera par le regroupement des feuillettes musculaires par complexes musculaires c'est-à-dire DIG, MASS, TEMP et PTE. Ceci aura également pour effet de réduire les biais liés à de possibles erreurs dans la prise de mesures de feuillettes difficiles à disséquer ou de mesures craniométriques difficiles à réaliser.

Pour les deux volets (étude des muscles et étude craniométrique), nous commencerons par l'analyse des données brutes.

Ensuite, concernant la myologie nous étudierons :

- Les données mises à l'échelle (*Variabilité des données mises à l'échelle p.87*) :
 - Pour cela, les données brutes sont divisées par la longueur du crâne :
 - Masse mise à l'échelle : $\frac{\text{masse}^{1/3}}{\text{longueur du crâne}}$
 - PCSA mise à l'échelle : $\frac{\text{PCSA}^{0,5}}{\text{longueur du crâne}}$
- Les données dans les proportions des différents muscles élévateurs.

Pour ce qui est de la craniométrie, nous avons séparé les informations liées à la taille de l'os et les informations liées aux proportions au sein de l'os. Pour cela nous avons utilisé la méthode des log-shape ratios (Mosimann, 1970). Ici, nous étudierons :

- La taille des os (*Variabilité de la taille isométrique p.94*) :
 - On considèrera ici la taille isométrique, qui est une moyenne géométrique des mesures linéaires. C'est donc plutôt une appréciation du volume de l'objet.
- Les proportions au sein du crâne et de la mandibule.

Pour ce faire, nous allons utiliser principalement les tests statistiques suivants :

- Test de normalité : Test de Shapiro,
- Test de comparaison de deux moyennes pour des échantillons indépendants :
 - Test de Student ou de Welch : permet de comparer des groupes ayant des variances différentes,
 - Test de Kruskal-Wallis ou ANOVA : permet de comparer plus de deux échantillons indépendants,
- Test de l'effet de plusieurs facteurs sur une variable : MANOVA,
- Analyse en composantes principales (ACP) : Méthode statistique multivariée permettant de prendre toutes les variables originales de tous les individus pour les décomposer et obtenir la variance de l'échantillon en nouvelles variables : les composantes principales. Sur le graphique obtenu, plus les ellipses sont proches, plus la morphologie des individus est similaire.

III. Résultats

A. Myologie

1. Variabilité des données brutes

Suite à nos mesures myologiques, nous avons regroupé les masses et les PCSA brutes de chaque complexe musculaire pour l'ensemble de l'échantillon (Tableau IX).

Tableau IX : Moyennes, écart-types, minimums et maximums des mesures des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet.

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|------------|---------|------------|---------|---------|
| Masse DIG | 23,8 | 4,5 | 14,02 | 32,3 |
| Masse MAS | 79,9 | 15,8 | 52,7 | 112,4 |
| Masse TEMP | 165,3 | 33,5 | 110,5 | 227,1 |
| Masse PTE | 26,6 | 4,7 | 17,5 | 38,1 |
| PCSA DIG | 2,0 | 0,4 | 1,3 | 3,3 |
| PCSA MAS | 29,2 | 4,9 | 17,6 | 36,7 |
| PCSA TEMP | 32,2 | 5,5 | 22,5 | 46,6 |
| PCSA PTE | 10,7 | 2,5 | 7,3 | 18,3 |

Nous avons ensuite classé ces données myologiques brutes en fonction de l'ensemble de l'échantillon, puis des femelles (F) et enfin des mâles (M) (Tableau X).

Tableau X : Moyennes et écart-types des mesures brutes des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles.

| | Echantillon complet | Femelles | Mâles | Test de Shapiro | Tests | Conclusion |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|------------|
| | Moyenne ± écart-type | Moyenne ± écart-type | Moyenne ± écart-type | Loi normale p-value | p-value | |
| Masse DIG | 23,8 ± 4,5 | 20,7 ± 3,5 | 26,9 ± 2,9 | OUI 0,61 | Welch << 0,001 | M > F |
| Masse MAS | 79,9 ± 15,8 | 68,4 ± 9,4 | 90,9 ± 12,4 | OUI 0,35 | Welch << 0,001 | M > F |
| Masse TEMP | 165,3 ± 33,5 | 141,3 ± 17,5 | 188,3 ± 28,8 | NON 0,01 | K-W << 0,001 | M > F |
| Masse PTE | 26,6 ± 4,7 | 23,1 ± 3,0 | 29,9 ± 3,6 | OUI 0,76 | Welch << 0,001 | M > F |
| PCSA DIG | 2,0 ± 0,4 | 1,7 ± 0,2 | 2,3 ± 0,4 | NON 0,002 | K-W << 0,001 | M > F |
| PCSA MAS | 29,2 ± 4,9 | 26,8 ± 5,0 | 31,4 ± 3,7 | OUI 0,08 | Welch << 0,001 | M > F |
| PCSA TEMP | 32,2 ± 5,5 | 28,6 ± 2,7 | 35,6 ± 5,3 | NON 0,004 | K-W << 0,001 | M > F |
| PCSA PTE | 10,7 ± 2,5 | 9,8 ± 1,8 | 11,6 ± 2,7 | NON 0,01 | K-W 0,007 | M > F |

Les masses et PCSAs (proxy de la force musculaire) brutes de tous les muscles masticateurs sont significativement plus élevées chez les mâles que chez les femelles (p-values des tests $\ll 0,001$; Tableau X). Nous mettons donc en évidence un **dimorphisme sexuel significatif pour les données d'architecture musculaire non ramenées à la taille**.

2. Variabilité des données mises à l'échelle

Afin de caractériser au mieux nos données, nous avons mis ces dernières à l'échelle pour l'échantillon entier, les femelles (F) et les mâles (M) (Tableau XI).

Tableau XI : Moyennes et écart-types des mesures ramenées à la taille des quatre grands groupes musculaires pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles.

| | Echantillon complet | Femelles | Mâles | Test de Shapiro | Tests | Conclusion |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------|-------------------|
| | Moyenne \pm écart-type | Moyenne \pm écart-type | Moyenne \pm écart-type | Loi normale p -value | p -value | |
| Masse DIG | 0,122 \pm 0,005 | 0,121 \pm 0,006 | 0,123 \pm 0,005 | OUI 0,28 | Welch 0,26 | Pas de différence |
| Masse MAS | 0,183 \pm 0,007 | 0,181 \pm 0,007 | 0,184 \pm 0,007 | OUI 0,39 | Welch 0,07 | Tendance à M>F |
| Masse TEMP | 0,233 \pm 0,009 | 0,230 \pm 0,007 | 0,235 \pm 0,011 | OUI 0,38 | Welch 0,09 | Tendance à M>F |
| Masse PTE | 0,127 \pm 0,004 | 0,126 \pm 0,005 | 0,127 \pm 0,004 | OUI 0,17 | Welch 0,28 | Pas de différence |
| PCSA DIG | 0,060 \pm 0,005 | 0,058 \pm 0,003 | 0,062 \pm 0,005 | NON 0,01 | K-W 0,03 | M > F |
| PCSA MAS | 0,229 \pm 0,018 | 0,228 \pm 0,021 | 0,230 \pm 0,014 | OUI 0,50 | Welch 0,74 | Pas de différence |
| PCSA TEMP | 0,241 \pm 0,015 | 0,237 \pm 0,010 | 0,245 \pm 0,017 | NON 0,04 | K-W 0,11 | Tendance à M>F |
| PCSA PTE | 0,139 \pm 0,013 | 0,137 \pm 0,012 | 0,139 \pm 0,015 | OUI 0,17 | Welch 0,71 | Pas de différence |

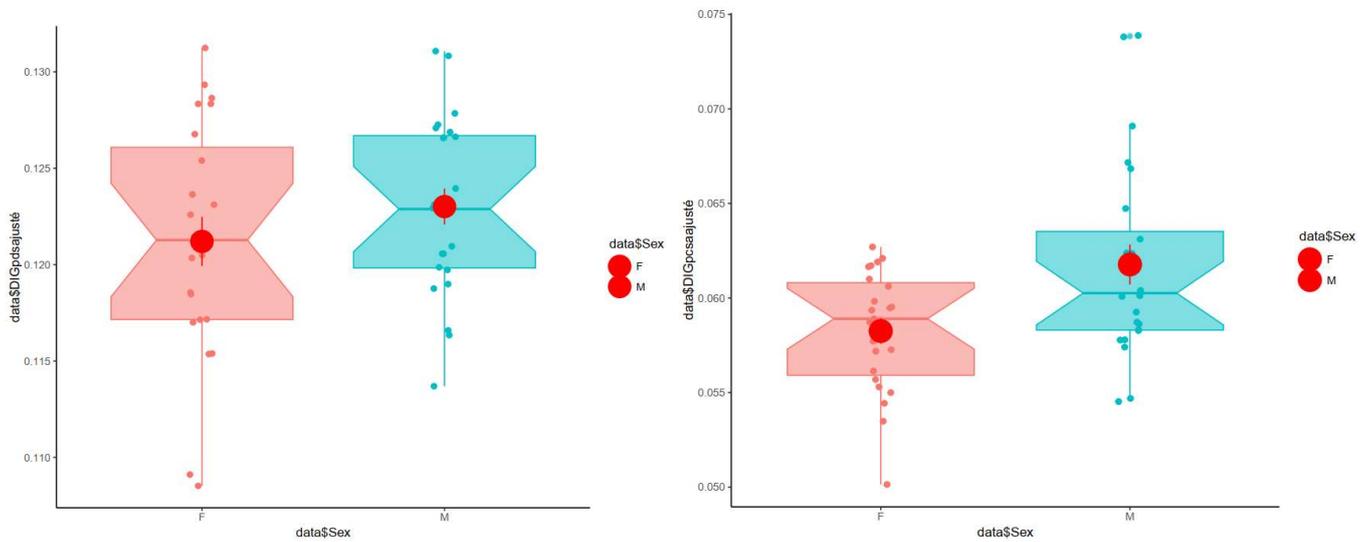


Figure 50 : Box-plots représentant la distribution des **masses** (à gauche) et des **PCSA** (à droite) du muscle digastrique après avoir mis à l'échelle les données.

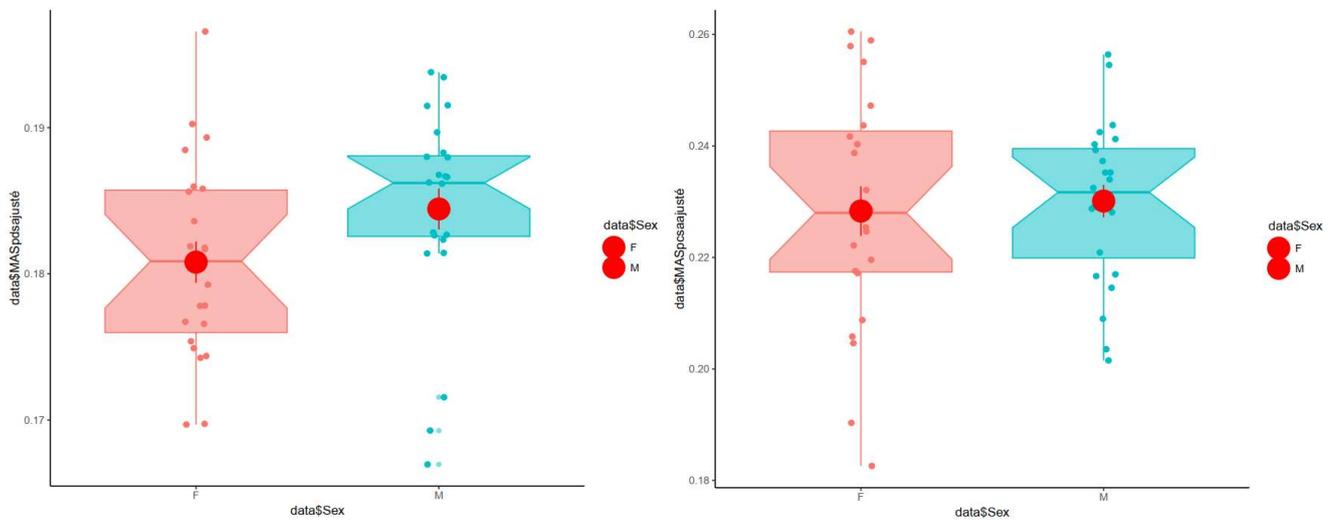


Figure 51 : Box-plots représentant la distribution des **masses** (à gauche) et des **PCSA** (à droite) du complexe musculaire massétérique après avoir mis à l'échelle les données.

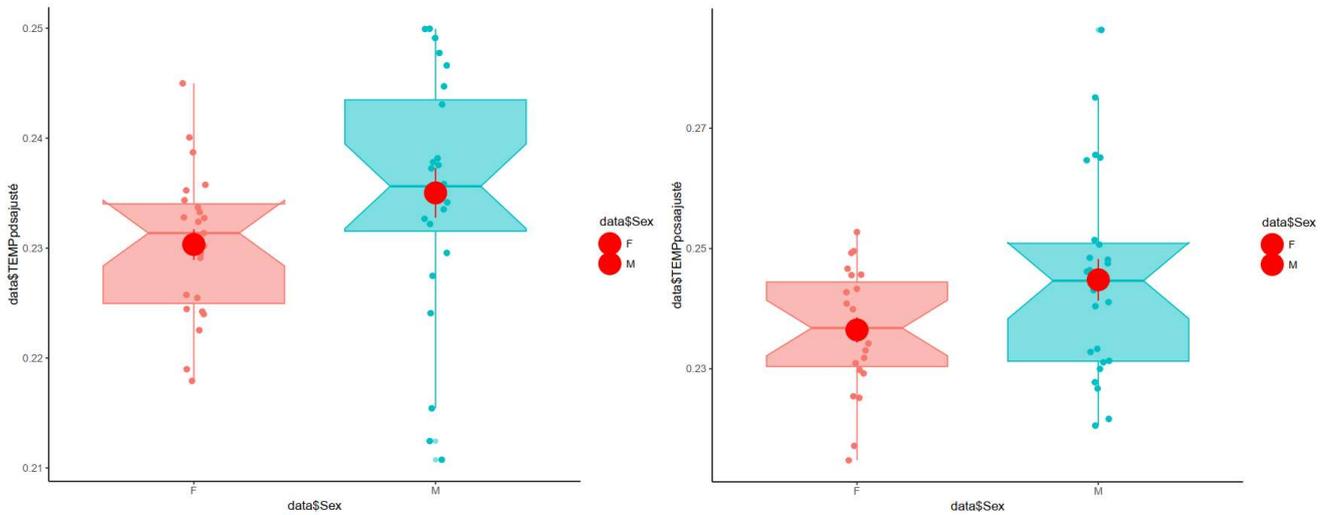


Figure 52 : Box-plots représentant la distribution des **masses** (à gauche) et des **PCSAs** (à droite) du complexe musculaire temporal après avoir mis à l'échelle les données.

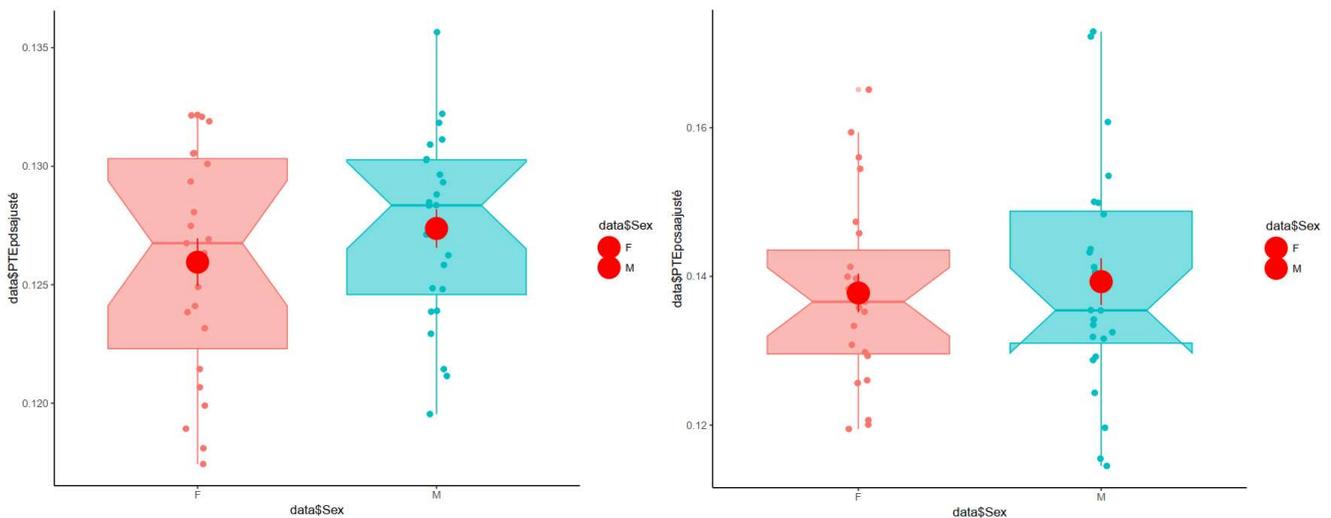


Figure 53 : Box-plots représentant la distribution des **masses** (à gauche) et des **PCSAs** (à droite) du complexe musculaire ptérygoïdien après avoir mis à l'échelle les données.

Une fois les données d'architecture musculaire rapportées à la longueur du crâne, nous ne constatons aucune différence de masse relative à la taille entre les mâles et les femelles (Tableau XI ; Figure 50 – Figure 53). Pour les PCSAs, la seule différence significative concerne le muscle digastrique, plus fort chez les mâles que chez les femelles (Tableau XI ; Figure 50 – Figure 53).

3. Variabilité des données dans les proportions des différents muscles élévateurs

Le muscle masticateur le plus lourd (et donc le plus volumineux) chez le loup est le **muscle temporal**, qui représente $60,8 \pm 1,9\%$ de la masse totale des muscles élévateurs de la mandibule. Ensuite le muscle masséter représente 29,4%. Enfin, le muscle ptérygoïdien ne représente que 9,8% de la masse totale (Tableau XII).

Concernant la **PCSA**, les **muscles temporal et masséter** représentent la même proportion avec respectivement **40,7% et 40,5% de la force totale**. La proxy du muscle ptérygoïdien ne représente que 16,2% de la totalité.

Tableau XII : Moyennes et écart-types des mesures des trois grands groupes musculaires élévateurs de la mandibule pour l'échantillon complet, les mâles et les femelles (en %).

| | Echantillon complet | Femelles | Mâles | Test de Shapiro | Tests | Conclusion |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------------|
| | Moyenne \pm écart-type | Moyenne \pm écart-type | Moyenne \pm écart-type | Loi normale <i>p-value</i> | <i>p-value</i> | |
| Masse MAS | 29,4 $\pm 1,7$ | 29,4 $\pm 1,4$ | 29,5 $\pm 1,9$ | OUI 0,75 | Welch 0,83 | Pas de différence |
| Masse TEMP | 60,8 $\pm 1,9$ | 60,7 $\pm 1,4$ | 60,8 $\pm 2,4$ | OUI 0,37 | Welch 0,85 | Pas de différence |
| Masse PTE | 9,8 $\pm 0,8$ | 9,9 $\pm 0,7$ | 9,7 $\pm 0,9$ | OUI 0,95 | Welch 0,37 | Pas de différence |
| PCSA MAS | 40,5 $\pm 3,7$ | 40,9 $\pm 3,8$ | 40,0 $\pm 3,7$ | OUI 0,46 | Welch 0,43 | Pas de différence |
| PCSA TEMP | 40,7 $\pm 3,4$ | 44,1 $\pm 3,1$ | 45,2 $\pm 3,7$ | OUI 0,76 | Welch 0,25 | Pas de différence |
| PCSA PTE | 16,2 $\pm 2,5$ | 15,0 $\pm 2,3$ | 14,7 $\pm 2,7$ | OUI 0,12 | Welch 0,71 | Pas de différence |

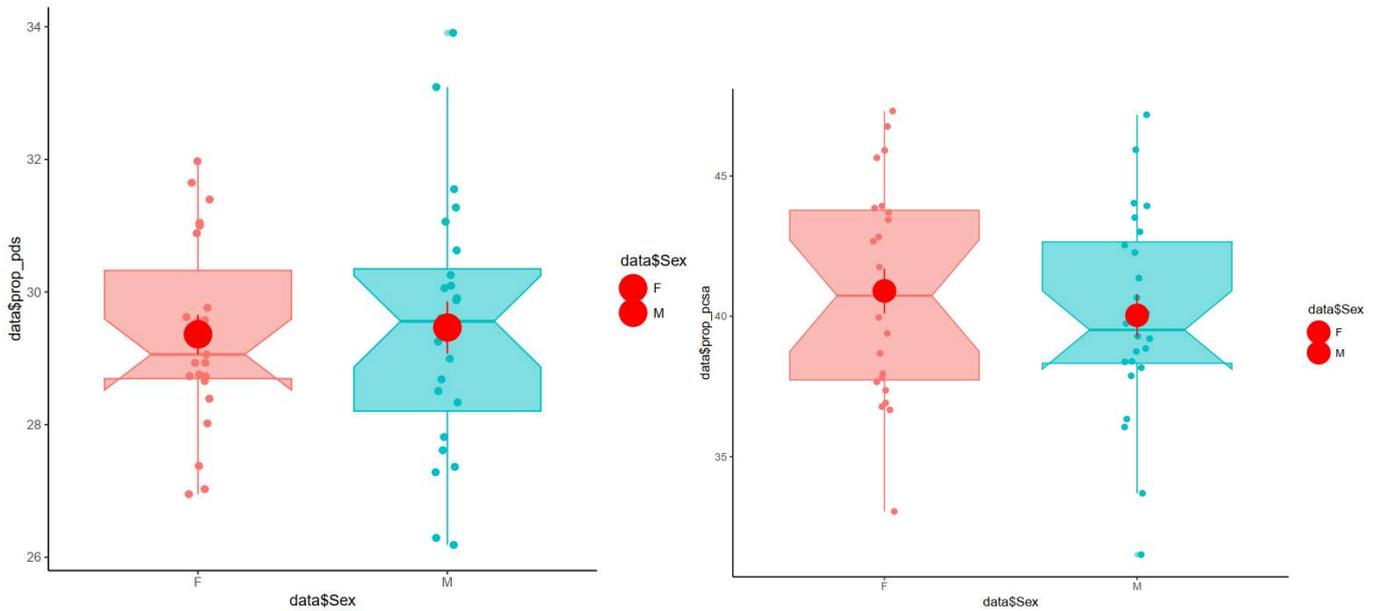


Figure 54 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du **complexe musculaire massétérique** au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de **masses** (à gauche) et de **PCSAs** (à droite).

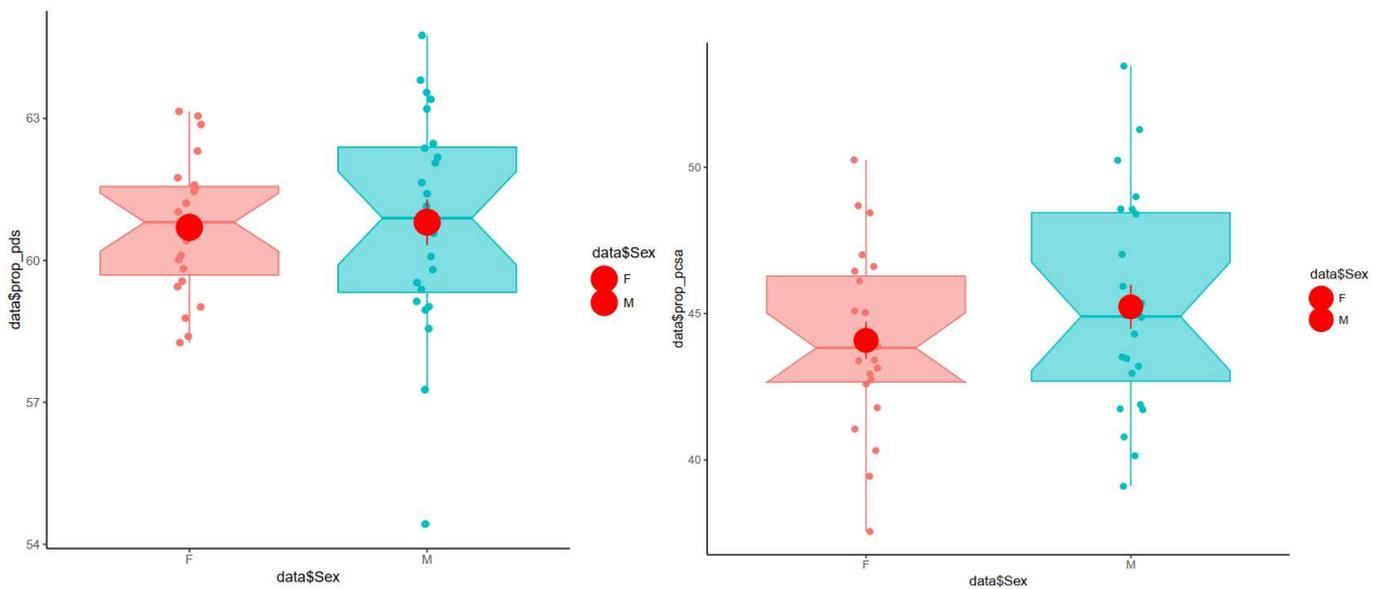


Figure 55 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du **complexe musculaire temporal** au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de **masses** (à gauche) et de **PCSAs** (à droite).

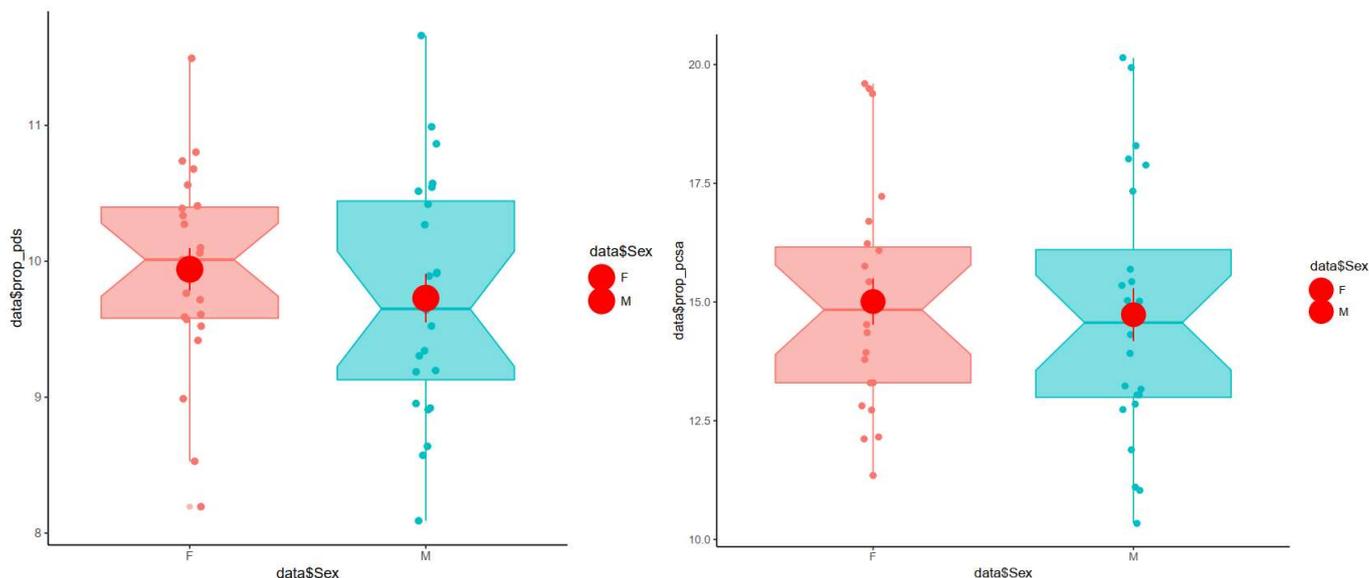


Figure 56 : Box-plots représentant la distribution de la proportions du **complexe musculaire ptérygoïdien** au sein des muscles releveurs de la mandibule en termes de masses (à gauche) et de PCSAs (à droite).

La comparaison des proportions des différents muscles élévateurs de la mandibule ne montre aucune différence significative, que ce soit en termes de masse musculaire ou de PCSA (Tableau XII ; Figure 54 - Figure 56).

B. Craniométrie

1. Variabilité des dimensions brutes

Suite à nos mesures craniométriques, nous avons regroupé les données brutes de l'ensemble de l'échantillon (Tableau XIII).

Tableau XIII : Moyennes, écart-types, minimums et maximums des mesures craniométriques pour l'échantillon complet. Les données sont en centimètres.

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|-------|---------|------------|---------|---------|
| Cra1 | 23,5 | 1,1 | 21,0 | 25,2 |
| Cra2 | 13,1 | 0,7 | 11,5 | 14,5 |
| Cra3 | 6,3 | 0,2 | 5,8 | 6,8 |
| Cra4 | 12,1 | 0,6 | 10,8 | 13,3 |
| Cra5 | 4,6 | 0,3 | 4,1 | 5,3 |
| Cra6 | 20,7 | 0,9 | 18,4 | 22,1 |
| Cra7 | 8,2 | 0,4 | 7,5 | 8,9 |
| Cra8 | 7,5 | 0,3 | 6,9 | 8,3 |
| Cra9 | 7,6 | 0,3 | 7,0 | 8,1 |
| Cra10 | 4,2 | 0,3 | 3,8 | 4,7 |
| Cra11 | 6,0 | 0,3 | 5,5 | 6,7 |
| Cra12 | 5,7 | 0,3 | 5,1 | 6,4 |
| Mdb1 | 17,3 | 0,9 | 15,1 | 19,0 |

| | | | | |
|------|------|-----|------|------|
| Mdb2 | 17,3 | 0,9 | 15,2 | 18,8 |
| Mdb3 | 9,1 | 0,5 | 6,5 | 10,0 |
| Mdb4 | 6,7 | 0,4 | 5,9 | 7,3 |
| Mdb5 | 2,8 | 0,2 | 2,3 | 3,2 |
| Mdb6 | 1,2 | 0,1 | 1,0 | 1,7 |
| Mdb7 | 8,8 | 0,6 | 7,4 | 9,9 |
| Mdb8 | 2,8 | 0,2 | 2,5 | 3,1 |

Nous avons ensuite classé ces données myologiques brutes en fonction de l'ensemble de l'échantillon, puis des femelles (F) et enfin des mâles (M) (Tableau XIV).

Tableau XIV : Moyennes et écart-types des mesures craniométriques pour l'échantillon complet, en séparant femelles et mâles. Les données sont en centimètres.

| | Echantillon complet | Femelles | Mâles | Test de Shapiro | Tests | Conclusion |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------|
| | Moyenne ± écart-type | Moyenne ± écart-type | Moyenne ± écart-type | Loi normale <i>p-value</i> | <i>p-value</i> | |
| Cra1 | 23,5 ± 1,1 | 22,6 ± 0,7 | 24,3 ± 0,6 | OUI 0,17 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra2 | 13,1 ± 0,7 | 12,5 ± 0,4 | 13,6 ± 0,6 | OUI 0,34 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra3 | 6,3 ± 0,2 | 6,2 ± 0,2 | 6,5 ± 0,2 | OUI 0,23 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra4 | 12,1 ± 0,6 | 11,7 ± 0,5 | 12,6 ± 0,5 | OUI 0,47 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra5 | 4,6 ± 0,3 | 4,4 ± 0,3 | 4,8 ± 0,2 | OUI 0,12 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra6 | 20,7 ± 0,9 | 19,9 ± 0,7 | 21,4 ± 0,5 | OUI 0,28 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra7 | 8,2 ± 0,4 | 7,9 ± 0,2 | 8,5 ± 0,3 | OUI 0,21 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra8 | 7,5 ± 0,3 | 7,2 ± 0,2 | 7,7 ± 0,3 | OUI 0,19 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra9 | 7,6 ± 0,3 | 7,3 ± 0,2 | 7,8 ± 0,2 | NON 0,02 | K-W << 0,001 | M > F |
| Cra10 | 4,2 ± 0,3 | 3,9 ± 0,1 | 4,4 ± 0,2 | NON 0,004 | K-W << 0,001 | M > F |
| Cra11 | 6,0 ± 0,3 | 5,8 ± 0,2 | 6,3 ± 0,2 | OUI 0,14 | Welch << 0,001 | M > F |
| Cra12 | 5,7 ± 0,3 | 5,5 ± 0,2 | 6,0 ± 0,3 | OUI 0,22 | Welch << 0,001 | M > F |
| Mdb1 | 17,3 ± 0,9 | 16,7 ± 0,6 | 18,0 ± 0,6 | OUI 0,86 | Welch << 0,001 | M > F |
| Mdb2 | 17,3 ± 0,9 | 16,7 ± 0,6 | 17,3 ± 0,5 | OUI 0,75 | Welch << 0,001 | M > F |
| Mdb3 | 9,1 ± 0,5 | 8,9 ± 0,2 | 9,4 ± 0,7 | NON << 0,001 | K-W << 0,001 | M > F |
| Mdb4 | 6,7 ± 0,4 | 6,5 ± 0,3 | 7,0 ± 0,2 | NON << 0,03 | K-W << 0,001 | M > F |
| Mdb5 | 2,8 ± 0,2 | 2,7 ± 0,2 | 3,0 ± 0,1 | NON << 0,01 | K-W << 0,001 | M > F |

| | | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|-------|
| Mdb6 | 1,2 ± 0,1 | 1,1 ± 0,1 | 1,2 ± 0,1 | NON << 0,001 | K-W << 0,002 | M > F |
| Mdb7 | 8,8 ± 0,6 | 8,4 ± 0,4 | 9,1 ± 0,4 | OUI 0,87 | Welch << 0,001 | M > F |
| Mdb8 | 2,8 ± 0,2 | 2,7 ± 0,1 | 2,9 ± 0,1 | NON << 0,03 | K-W << 0,001 | M > F |

Les valeurs brutes de toutes les mesures craniométriques (crâne et mandibule) sont significativement plus élevées chez les mâles que chez les femelles (p-values des tests ; Tableau XIV). Nous mettons donc en évidence un **dimorphisme sexuel significatif pour les données métriques crânienne et mandibulaire non ramenées à la taille isométrique**.

2. Variabilité de la taille isométrique

Afin de caractériser au mieux nos données, nous avons mis ces dernières à la taille isométrique pour comparer la mandibule et le crâne des femelles (F) et des mâles (M) (Tableau XV).

Tableau XV : Comparaison de la taille isométrique du crâne et de la mandibule entre femelles et mâles.

| Taille isométrique | Test de Shapiro Loi normale <i>p-value</i> | Test de Welch <i>p-value</i> | Conclusion |
|--------------------|--|---------------------------------|------------|
| Crâne | OUI 0,11 | << 0,001 | M > F |
| | | | |
| Mandibule | OUI 0,34 | << 0,001 | M > F |

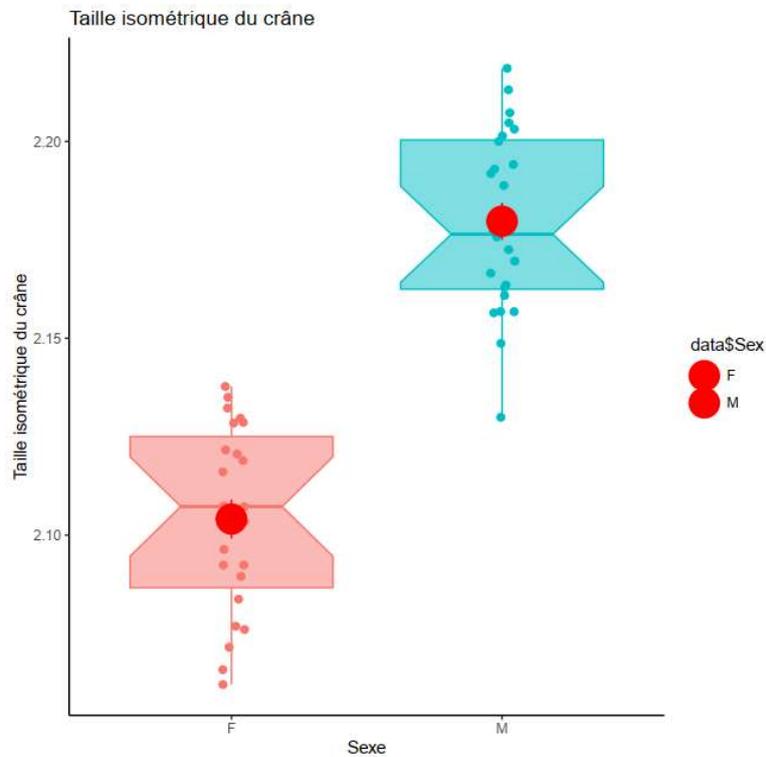


Figure 57 : Distribution des tailles isométriques du crâne chez les loups femelles et les loups mâles.

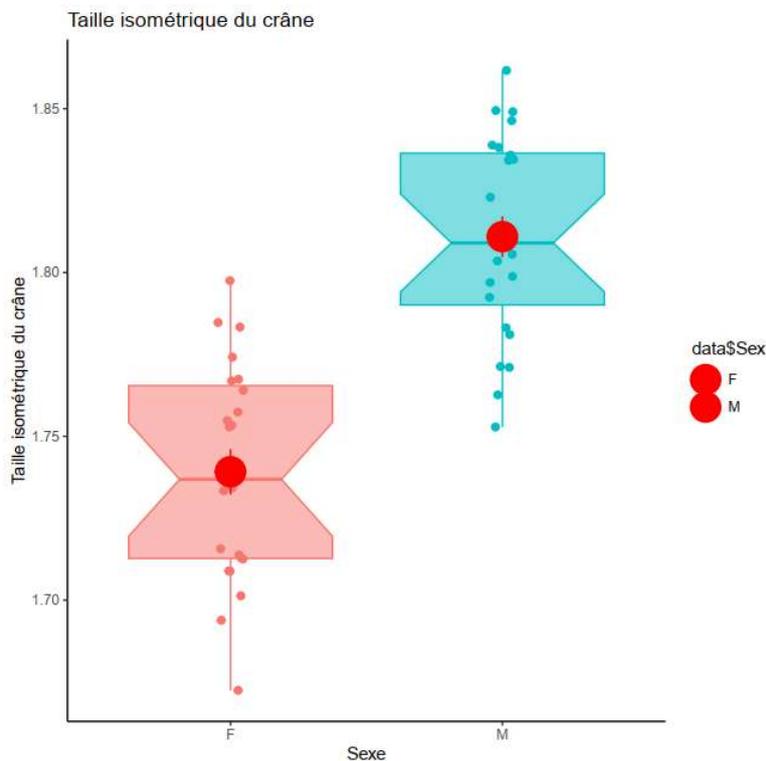


Figure 58 : Distribution des tailles isométriques de la mandibule chez les loups femelles et les loups mâles.

Une fois les **données craniométriques rapportées à la longueur du crâne**, nous notons qu'il existe un **dimorphisme sexuel** et que les **mâles ont des crânes et des mandibules plus volumineux** que les femelles (Tableau XV ; Figure 57-Figure 58).

3. Variabilité des proportions

a. Crâne

Il existe une **différence dans la conformation du crâne entre les mâles et les femelles** (MANOVA / $p\text{-value} = 0,002$).

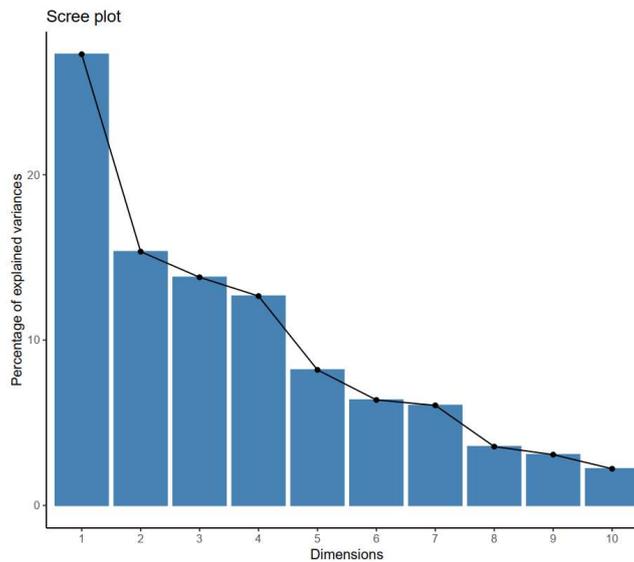


Figure 59 : Diagramme en bâton représentant le pourcentage de variation par les premiers axes de l'ACP.

Afin de visualiser ces différences, c'est-à-dire de comprendre quelles sont les mesures qui contribuent le plus à expliquer les différences mâles-femelles, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) (Figure 59). Cette analyse permet de calculer de nouveaux axes, par composition linéaire des mesures originales, de façon à obtenir des axes (variables) indépendantes et à maximiser la variance sur les premiers axes. Ainsi, cette méthode permet de passer d'un nombre de variables très élevé ; qu'il est difficile de représenter par des graphiques opposant deux variables, à un simple graphique en deux dimensions qui combine les variables originales et maximise la représentation de la variabilité dans l'échantillon.

D'après la figure 60, la deuxième composante principale (PC2) semble expliquer la plus grande partie de la différence de conformations crâniennes entre mâles et femelles ($p\text{-value} = 0,002$; Tableau16-Tableau17). PC2 représente 15,3% de la variance totale dans l'échantillon. PC1 (représentant 27% de la variance) et PC4 (13%) tendent aussi à contribuer à la différence entre les sexes ($p\text{-value} = 0,11$; Tableau XVI - Tableau XVII).

Tableau XVI : Pourcentage de la valeur propre des variances cumulées.

| Composante | Contribution à la variance totale |
|--------------|-----------------------------------|
| Composante 1 | 27,3% |
| Composante 2 | 15,3% |
| Composante 3 | 13,8% |
| Composante 4 | 12,7% |

Tableau XVII : Comparaison des scores entre femelles et mâles pour les premières composantes principales.

| | Composante | <i>p-value</i> | Conclusion |
|-------|--------------|----------------|-------------------------------|
| Anova | Composante 1 | 0,11 | Tend à être significatif |
| | Composante 2 | 0,002 | Hautement significatif |
| | Composante 3 | 0,96 | Non significatif |
| | Composante 4 | 0,11 | Tend à être significatif |

Contribution des variables à l'Axe 2

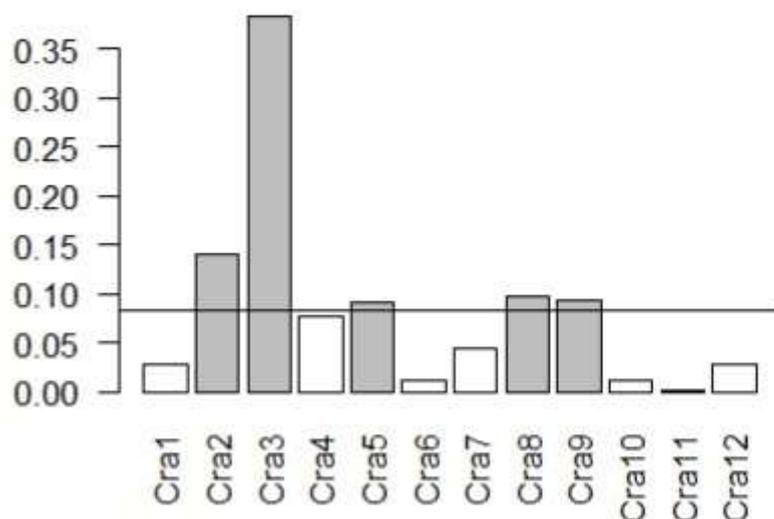


Figure 60 : Bar plot de la contribution des variables à la composante 2.

Les variables qui contribuent le plus à la composante 2 sont : Cra2, Cra3, Cra5, Cra8 et Cra9 (Figure 60). Ces dernières contribuent positivement à PC2 et sont liées à la largeur du crâne en partie caudale (neurocrâne) (Tableau VII).

Nous souhaitons ensuite savoir quelle(s) variable(s), parmi ces cinq en rapport avec la largeur du crâne, contribue(nt) le plus à la variabilité des proportions du crâne chez le loup gris français (Tableau XVIII).

Tableau XVIII : Comparaison de proportions crâniennes (données issues du calcul des log-shape ratios) entre femelles et mâles.

| | Femelles | Mâles | Test de Student | Conclusion |
|------|----------|-------|-----------------|-------------------|
| | Moyenne | | p-value | |
| Cra2 | 0,42 | 0,43 | 0,62 | Pas de différence |
| Cra3 | -0,28 | -0,31 | << 0,001 | M<F |
| Cra5 | -0,62 | -0,61 | 0,69 | Pas de différence |
| Cra8 | -0,13 | -0,14 | 0,22 | Pas de différence |
| Cra9 | -0,12 | -0,13 | 0,17 | Pas de différence |

La largeur relative du neurocrâne s'avère plus petite chez les mâles que chez les femelles (Variable Cra3, Tableau XVIII).

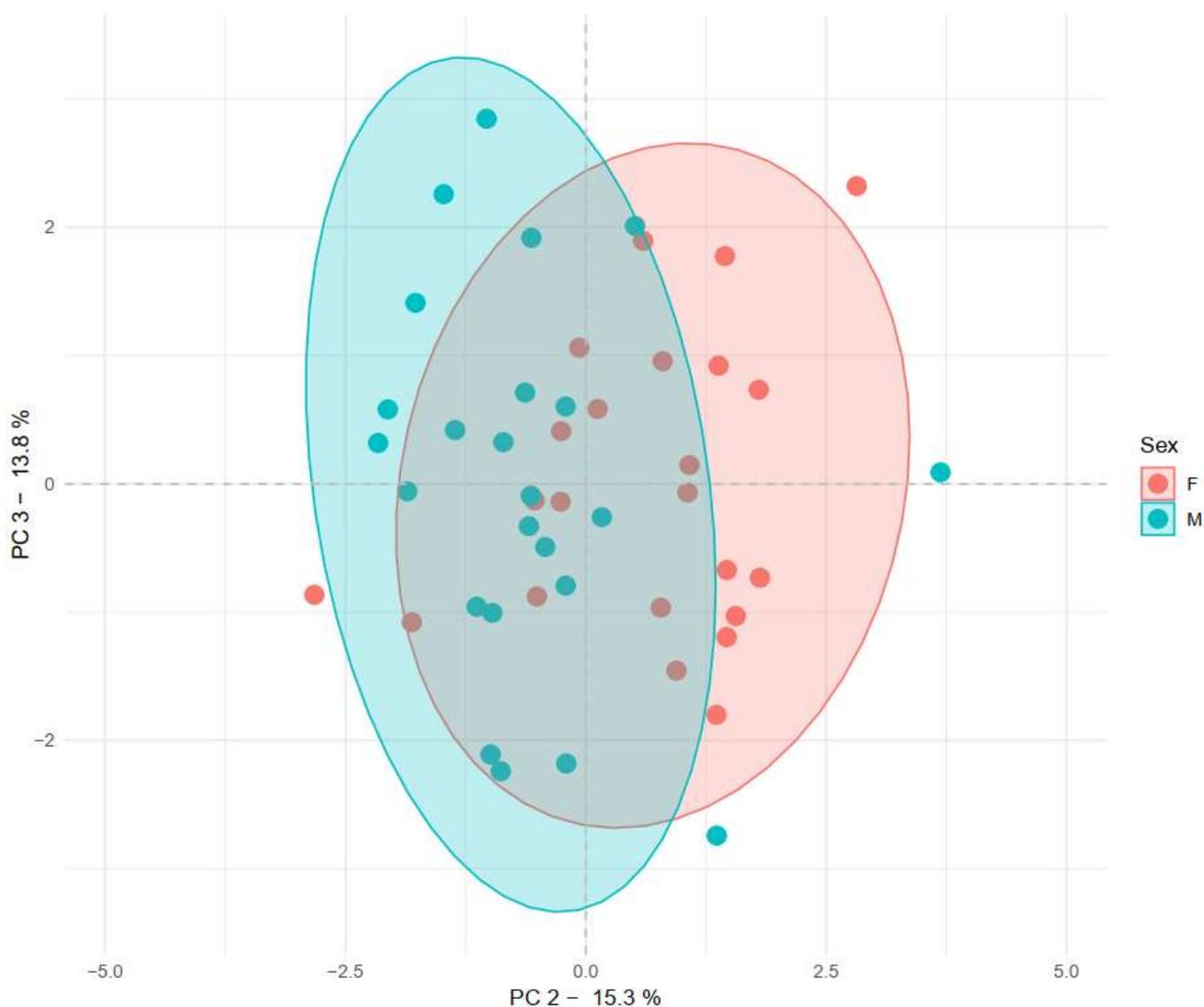


Figure 61 : Analyse en composantes principales montrant la variabilité dans les proportions crâniennes au sein de l'échantillon suivant PC2 et PC3. Les ellipses de confiance contiennent 95% des mâles (en bleu) et des femelles (en rose).

Le plan factoriel représentant PC2 par PC3 montre que les ellipses de confiance groupant 95% des mâles et des femelles se chevauchent fortement mais tendent à se séparer suivant l'axe 2. L'ellipse des mâles se situe davantage dans la portion négative de la composante 2 contrairement aux femelles (Figure 61). Ceci semble cohérent avec le fait que la variable Cra3 (largeur du neurocrâne expliquant environ 40% de la composante 2 ; Figure 60) est relativement plus faible chez les mâles que chez les femelles (Tableau XVIII). **La largeur relative du neurocrâne s'avère significativement plus petite chez les mâles que chez les femelles**

b. Mandibule

La conformation de la mandibule ne montre aucune différence significative entre les deux sexes (MANOVA ; $p\text{-value} = 0,61$). Il n'est donc pas utile de décrire plus en détail l'ACP (des ACP préliminaires ont révélé qu'il n'y avait pas de point extrême qui pourrait révéler une erreur dans les données et fausser le résultat).

C.Synthèse des résultats

Myologie :

L'analyse des données brutes montre l'existence d'un dimorphisme sexuel dans l'architecture musculaire (masse et PCSA) de tous les muscles masticateurs. Les mâles ont des muscles plus volumineux et produisant plus de force que les femelles.

Néanmoins, une fois les données normalisées par la taille, les différences s'estompent, suggérant que le dimorphisme est principalement un dimorphisme de taille. Toutefois, l'analyse des données mises à l'échelle, a tout de même permis de mettre en évidence que les mâles auraient tendance à avoir des muscles temporaux et muscles masséters relativement plus volumineux que les femelles. De plus, le muscle digastrique est plus puissant chez le mâle et le muscle temporal ; de loin le muscle le plus développé dans cette espèce, aurait également tendance à être plus puissant chez les mâles également. Ceci suggère *in fine* une plus grande puissance masticatrice chez les mâles, pour des morsures à des grands angles d'ouverture/de capture.

Enfin, la variabilité des proportions ne met pas en évidence de différence de conformation de la mandibule entre les deux sexes.

Craniométrie :

L'analyse des données brutes montre l'existence d'un dimorphisme sexuel dans les architectures crânienne et mandibulaire avec des mâles dont la taille est plus grande que chez les femelles.

Il en est de même lorsque nous rapportons ces données à la taille isométrique.

Dans un seul cas les proportions morphométriques entre mâles et femelles sont différentes : seule la largeur du neurocrâne met en évidence un dimorphisme sexuel avec une largeur de neurocrâne plus petite chez les mâles que chez les femelles. Etant donné les mesures et les zones d'insertions musculaires sur ce neurocrâne, ceci met en évidence le rôle des muscles temporaux. Effectivement, ces derniers sont plus volumineux chez les mâles que chez les femelles. Ainsi, avec une largeur de neurocrâne plus petite, le volume disponible pour accueillir ces derniers est plus importantes.

Enfin, une fois dans les proportions morphométriques, nous ne constatons pas de dimorphisme sexuel en lien avec la mandibule.

IV. Discussion

A. Discussion autour de la myologie, la craniométrie et le dimorphisme sexuel au sein de cette étude

Les résultats de cette thèse révèlent :

- L'existence d'un dimorphisme sexuel chez le loup gris français.
- Ce dimorphisme se manifeste par une différence de :
 - Taille absolue qui concerne à la fois les muscles masticateurs et la tête osseuse :
 - Les loups mâles ont des muscles masticateurs plus volumineux et dont la force intrinsèque est également plus importante que chez les louves, en particulier le muscle temporal.
 - Les mâles ont également une tête osseuse (crâne et mandibule) de plus grande dimension que les femelles.
 - Conformation qui ne concerne que le crâne (pas la mandibule)
 - Neurocrânes des mâles de taille moindre que celui des femelles.
- Il n'y a pas de différence dans la proportion des différents muscles masticateurs élévateurs de la mandibule entre mâles et femelles

En définitive, toutes ces données recueillies offrent un premier référentiel sur la myologie de l'appareil masticateur et la craniométrie chez le loup gris français, inexistante jusqu'à maintenant. Elles permettent également une meilleure connaissance de ce grand prédateur.

Maintenant, nous pouvons mettre en relation les résultats myologiques et craniométriques obtenus.

L'endocrâne de taille réduite chez les loups mâles peut s'expliquer par l'insertion de muscles temporaux de plus grande taille chez ce sexe (Tableau V).

Pour ce qui est du dimorphisme propre à la taille absolue, celui-ci peut être corrélé par le dimorphisme de masse et de taille corporelles déjà établi antérieurement (Belhaoues, 2018; Martinez, 2023).

Néanmoins, certains résultats pourraient être améliorés.

Plus précisément, pour la variabilité des données myologiques mises à l'échelle, nous avons dû diviser la masse et la PCSA par la longueur du crâne car c'était la seule donnée que nous avons en commun pour toutes les têtes. Néanmoins, il aurait été plus pertinent de diviser la masse et la PCSA par la masse corporelle si nous avions eu accès à cette information.

Ensuite, avec notre taille d'échantillon assez restreinte, nous ne constatons pas de dimorphisme sexuel lié à la mandibule au cours de cette étude préliminaire. Nous aurions espéré au moins une variation de hauteur de cette dernière. Cependant, comme la population étudiée est assez homogène, il est peu probable que nous obtenions des résultats très différents en traitant l'ensemble des individus du corpus, mais cela reste à tester. De plus, il faut retenir que la craniométrie avec la prise de mesures linéaires permet une appréciation quantitative de la forme de la tête osseuse mais cette

appréciation est approximative. Effectivement, lors de mesures linéaires la géométrie des ossements n'est pas ou peu prise en compte. Des mesures par morphométrie géométriques 3D, quant à elles, semblent encourageantes pour de futures études craniométriques chez le loup gris français, notamment pour la mandibule, car elle intégrerait la géométrie des os.

B. Comparaison avec les études précédentes sur l'appareil masticateur et le dimorphisme sexuel chez d'autres canidés

Dans notre étude nous avons réussi à mettre en évidence le dimorphisme sexuel chez le loup gris français à partir de la forme du crâne (mais pas de la mandibule).

Chez le chien, un dimorphisme sexuel de taille est documenté au sein des races (Frynta *et al.*, 2012) ; mais il est difficile à traiter si nous considérons l'espèce dans son ensemble, en mélangeant les races (Brassard et Callou 2020).

Chez le chien, bien que la variation de la conformation de la tête osseuse soit très importante, les os et les muscles masticateurs forment un système hautement intégré (Brassard, Merlin, Monchâtre-Leroy, *et al.*, 2020; Guintard, Brassard and Herrel, 2020). En effet, il existe de fortes covariations entre la forme de la mandibule et les muscles (Brassard, Merlin, Guintard, Monchâtre-Leroy, Barrat, Bausmayer, *et al.*, 2020; Brassard, Merlin, Guintard, Monchâtre-Leroy, Barrat, Callou, *et al.*, 2020; Brassard, Merlin, Monchâtre-Leroy, *et al.*, 2020). En particulier, ces études montrent que la forme du neurocrâne est liée au volume occupé par les muscles temporaux. Ces covariations décrites chez les chiens permettent d'expliquer les observations que nous avons faites dans cette thèse : les mâles ont des temporaux plus volumineux ce qui s'accompagne d'un volume réduit du neurocrâne, pour une même largeur des arcades zygomatiques. Cette conformation laisse davantage de place pour les muscles temporaux, plus volumineux. Dans le futur, nos données de myologie et de craniométrie pourraient être mises en relation directement dans la même étude statistique (two blocks partial least square analysis) pour explorer les covariations entre les deux ensembles de données chez le loup. Nous pourrions alors comparer la force de ces relations entre le chien et le loup, ou avec d'autres canidés sauvages.

Il semblerait que, comme le loup gris français, les renards roux présentent un dimorphisme sexuel de taille pour le crâne mais pas pour la mandibule (Brassard *et al.*, 2021). Il avait été émis que, de ce fait, le dimorphisme sexuel semblait davantage être lié à d'autres fonctions (sensorielles et accueil de l'encéphale notamment) plutôt qu'au régime alimentaire bien ; qu'il existe des différences à ce niveau entre les sexes (Forbes-Harper *et al.*, 2017). Chez le loup, il est vrai que nous avons mis plus en avant l'hypothèse alimentaire pour l'origine de ce dimorphisme, notamment de par le développement des muscles temporaux chez les mâles. Ainsi, si nous faisons le parallèle entre nos résultats et les études sur les renards, nous pouvons hypothétiquement supposer que :

- Les mâles ont un neurocrâne plus petit pour accueillir de volumineux temporaux et donc mieux casser les carcasses (force importante à des angles restreints d'ouverture de mâchoires),
- Les femelles ont un neurocrâne plus volumineux pour accueillir des organes sensoriels et un encéphale plus développés et ne mangent que des morceaux nécessitant moins de force musculaire à des angles restreints d'ouverture de mâchoires.

Des études sur la covariation entre les muscles masticateurs et le neurocrâne n'ont jamais été réalisées à ce jour chez le loup et pourraient être très pertinentes pour lever ces hypothèses. D'autres mesures craniométriques plus spécifiques de la face pourront, peut-être, dans un avenir proche, mettre en évidence l'importance des fonctions sensorielles et d'accueil de l'encéphale chez le loup.

C. Limites de l'étude

1. Scanner

L'acquisition d'images par tomodensitométrie bien que très protocolaire, a rencontré quelques obstacles. Nous nous sommes aperçus, en nous attardant sur les données musculaires et craniométriques d'un même individu, qu'il y avait une incohérence. Les données musculaires correspondaient davantage à celle d'un individu juvénile tandis que les données craniométriques correspondaient à celle d'un loup adulte. Les données myologiques étant forcément les bonnes, c'est donc l'acquisition scanner qui a été remise en question.

Il s'est finalement avéré qu'au cours de certaines sessions scanner, des numéros de têtes ont été échangés au moment de leur enregistrement sur le logiciel d'imagerie.

Afin de réparer ces erreurs, qui mettaient en péril toute la partie craniométrique, nous avons donc repris toutes les listes de têtes que nous avons passées au scanner pour chaque séance et que nous avons, fort heureusement, conservées dans nos archives. Nous avons ensuite comparé les individus d'une même session entre eux à partir des photos prises avant la dissection (si ces derniers avaient déjà été disséqués) ou à partir des têtes (si cette dernière n'avait pas encore été disséquée) tout en se basant sur les images de tomodensitométrie.

Grâce à ce travail de comparaison et surtout à la traçabilité assurée à la fois par les étiquettes, les listes de crânes par sessions scanner et les photos avant dissection, nous sommes parvenus à rétablir l'exactitude des données musculaires et craniométriques appartenant à un même individu et ce, pour chacune des 146 têtes de loups fournies par l'OFB.

Cette épreuve a donc de nouveau mis en lumière l'importance de la traçabilité sur le long terme.

2. Dissections et myologie de l'appareil masticateur

Initialement, l'objectif était de disséquer un maximum de têtes afin d'avoir un grand jeu de données musculaires. Nous avons donc commencé les dissections sans accorder d'importance au sexe (parfois inconnu) ni à l'âge approximatif de l'individu. De plus, certaines têtes étaient très détériorées ce qui ne permettait pas d'obtenir la globalité et l'intégrité des muscles masticateurs d'une même tête. Dans certains cas, les muscles étaient inexploitablement (tirs dans la tête, choc frontal ou tête osseuse uniquement).

Tous ces facteurs, mais aussi le critère de ne travailler que sur des individus adultes, ont contribué à la réduction de notre échantillon à seulement 23 femelles et 24 mâles. De plus, nous avons constaté que notre idéalisme à vouloir disséquer tous les individus serait finalement difficile à mener à bien. Les dissections se faisaient en parallèle des acquisitions d'images par tomodensitométrie et des cuissons/nettoyage des têtes osseuses. Or, ces trois tâches nécessitent séparément un temps considérable. Nous avons donc fait notre maximum, dans le temps imparti, tout en s'adaptant au mieux à nos horaires de cours. Ceci étant, il pouvait y avoir de longues périodes sans la possibilité de disséquer. L'acquisition des gestes ou la reprise de l'habitude de ces derniers à chaque nouvelle séance ralentissait également quelque peu notre avancée.

Néanmoins, les vidéos du protocole de dissection, que nous avons pu enregistrer pour s'y référer au besoin, ont fortement contribué à la mémorisation de ce protocole et donc à sa maîtrise et à son harmonisation sur le long terme.

3. Cuisson et nettoyage des têtes osseuses

Cette préparation des têtes de loups en vue d'obtenir des têtes osseuses a occasionnellement été ardue. En réalité, la cuisson nécessite d'être patient et disponible. C'est une cuisson de plusieurs heures mais il faut régulièrement ajouter de l'eau et estimer l'état d'avancement afin de ne pas fragiliser les têtes osseuses par surcuisson. Tout cela en gérant des tailles de têtes et des âges de spécimens différents, ce qui implique des temps de cuisson différents également.

Il y aura eu au cours de cette étude quelques défaillances avec certaines têtes osseuses devenues cassantes par surcuisson. Ceci aura notamment concerné :

- La tête d'un loup juvénile,
- La tête d'un individu adulte,
- La tête osseuse d'un spécimen, retrouvée telle quelle mais incomplètement propre (certains tissus mous encore fixés aux os).

Le nettoyage des têtes osseuses après leur cuisson a lui aussi été un travail de longue haleine. Il aurait peut-être pu être amélioré par un nettoyage à l'eau tiède. Ceci aurait permis, en plus de l'utilisation de produit vaisselle, de retirer plus aisément l'adipocire issue de la cuisson des têtes, de garantir un séchage plus optimal et de raccourcir le temps de nettoyage des casseroles en fin de session.

4. Craniométrie sur modèles 3D

De manière à obtenir un échantillon représentatif et répétable, il a été décidé de ne travailler que sur des individus adultes afin de pallier l'allométrie de croissance. Cette décision de réduire l'échantillon sur ce critère avait été prise suite à l'obtention de résultats craniométriques peu exploitables car biaisés par des résultats d'individus trop jeunes et donc de conformation relativement différente des adultes.

S'ajoute à cela que nous avons également retirés les spécimens dont les crânes ou mandibules venaient à être abîmés ou cassés.

Enfin, la prise de mesures craniométriques sur modèle 3D semble, pour certaines, moins aisée que sur tête osseuse au pied à coulisse. Je pense notamment à la mesure Mdb6. L'estimation de la largeur la plus importante du corps de la mandibule sous M1 qui, avec un pied à coulisse, peut se faire simplement en longeant la mandibule. Or pour les modèles 3D, cette mesure ne peut se faire uniquement en posant nos deux points de part et d'autre de l'hémi-mandibule. Régulièrement en voulant vérifier la justesse de la mesure, nous nous sommes aperçus que les deux points n'étaient pas correctement alignés faussant ainsi le résultat obtenu en augmentant ou réduisant la valeur réelle.

D. Perspectives pour les futures recherches

Cette thèse a permis d'établir une première base de données musculaires et craniométriques chez le loup gris français. Nos résultats contribuent à une meilleure compréhension de ce grand prédateur et ouvre le lancement de nouveaux projets scientifiques.

Afin de poursuivre les améliorations, il serait approprié de traiter l'ensemble des individus du corpus (146 loups) pour confirmer ou infirmer les résultats de cette étude préliminaire basée sur seulement 23 femelles et 24 mâles adultes. Ceci permettrait d'obtenir des critères plus précis et d'approfondir certaines hypothèses encore en suspens telles que la réelle implication de la forme de la mandibule dans le dimorphisme sexuel du loup gris français.

Néanmoins, des expérimentations se portent déjà actuellement sur l'étude 3D de l'endocrâne (par Madame Margot MICHAUD) et des têtes osseuses, ainsi que sur l'estimation préliminaire de la force de morsure de *Canis lupus italicus* (par Madame Colline BRASSARD). La force de morsure est, pour l'instant et sur un petit échantillon de 13 loups, estimée à environ 1709 Newton.

Cette étude préliminaire soulève de nombreuses pistes de réflexion pour des études futures comme :

- L'étude de l'allométrie de croissance ;
- L'étude de la covariation entre les données musculaires, la force de morsure et la forme de la tête osseuse ;
- L'étude de la forme extérieure crâne et de l'endocrâne ;

- La comparaison avec d'autres canidés sauvages, de chiens ferraux (dingo), errants ou de compagnie ;
 - A ce jour, pas d'études comparant la myologie de l'appareil masticateur avec d'autres canidés mais il existe des études comparant la craniométrie (Brassard, 2020a, 2024c).
- La comparaison entre loups sauvages et loups en captivité dans le but de mettre en évidence des marqueurs de captivité ;
- L'étude de l'impact des contraintes environnementales et anthropiques sur les adaptations morpho-fonctionnelles des loups gris entre les différentes régions terrestres ;
- L'utilisation pratique sur le terrain, notamment pour différencier les loups gris français mâles des femelles ; et peut être prochainement pour différencier un loup d'un hybride ou d'un chien.

Conclusion

Nous avons exploré dans cette thèse le dimorphisme sexuel au sein de l'appareil masticateur de loups gris adulte provenant du quart Sud-Est de la France, par une étude myologique d'une part, et une étude craniométrique d'autre part.

Concernant la myologie, les dix feuilletts musculaires constituant les différents muscles masticateurs ont été disséqués puis étudiés en se basant sur leur masse, leur taille, la longueur des fibres musculaires qui les constituent et leur PCSA.

Pour ce qui est de la craniométrie, suite à une acquisition par tomodensitométrie puis reconstruction 3D, nous avons pu analyser les données craniométriques grâce à la prise de mesures linéaires sur les modèles 3D des têtes osseuses.

Il résulte donc de cette étude qu'il existe un dimorphisme sexuel de taille chez le loup gris français caractérisé par des mâles ayant des crânes et des muscles masticateurs plus volumineux, en particulier les muscles temporaux puis les muscles masséters, mais également une force musculaire plus importante que chez les femelles. Il a également été mis en évidence une différence dans la forme du crâne entre les deux sexes, avec un endocrâne plus petit chez les mâles que chez les femelles. Néanmoins, nous ne constatons pas de dimorphisme sexuel au niveau de la morphologie de la mandibule.

Grâce à l'acquisition de ces données, nous avons constitué une première base de données musculaires et craniométriques chez le loup gris français, qui servira dans le futur à la réalisation de nombreux projets de recherche, dans des disciplines variées (aussi bien en anatomie, que biologie de l'évolution ou archéozoologie). Ce travail a déjà permis d'initier l'étude de l'endocrâne à partir des reconstruction 3D et une première estimation de la force de morsure du loups gris français.

A terme, cette étude préliminaire pourrait également ouvrir la voie vers des recherches comparatives chez d'autres canidés sauvages (dingo, renard roux) ou domestiques voire chez les autres populations de loups gris elle-même, tel que les loups en captivité ou situé dans d'autres zones géographiques (par exemple les populations lupines Nord-Américaines). L'étude de la force de morsure sur un échantillon plus fourni ainsi que l'étude de l'allométrie de croissance pourraient également constituées une belle avancée dans la recherche et la compréhension de ce grand prédateur.

Bibliographie

- Anceau, C., Bergeon, J.-P. and Tardy, X. (2015) 'La prédation du loup sur les ongulés sauvages : impact directs et indirects', *Faune sauvage*, (306), p. 16. Available at: https://www.loupfrance.fr/wp-content/uploads/FS_306_predation_loup_sur_ongules_sauvages-1.pdf.
- Andrieux-Rolland, S. *et al.* (2023) 'Plan Loup 2024-2029 : nos critiques, nos craintes, nos attentes', *FERUS - La gazette des grands prédateurs*, (88), p. 30. Available at: ISSN 1639-8777.
- Barone, R. (1986) *Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 1 - Ostéologie*. 3eme edn. Paris: VIGOT FRERES (Anatomie comparée des mammifères domestiques). Available at: ISBN 2-7114-9160-9.
- Barone, R. (2000) *Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 2 - Arthrologie et Myologie*. 5eme edn. Paris: VIGOT (Anatomie comparée des mammifères domestiques). Available at: ISBN 2-7114-8186-7.
- Barone, R. (2011) *Anatomie comparée des mammifères domestiques Tome 5 - Angiologie*. 2eme edn. Paris: VIGOT (Anatomie comparée des mammifères domestiques). Available at: ISBN 978-2-7114-0418-6.
- Belhaoues, F. (2018) *Variabilité morpho-anatomique et statuts des chiens entre âge du Bronze et Antiquité : Référentiel et applications archéologiques en Méditerranée nord-occidentale [en ligne]*. Thèse de Doctorat en Archéologie. Montpellier : Université Paul Valéry. Available at: <https://theses.fr/2018MON30072> (Accessed: 19 August 2024).
- Boudadi-Maligne, M. *et al.* (2018) 'Loups, chiens et sociétés du Paléolithique supérieur', in S. Costamagno *et al.* (eds) *Animal symbolisé, animal exploité : du Paléolithique à la Protohistoire*. Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, pp. 198–213. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.cths.4622>.
- Brassard, C., Merlin, M., Guintard, C., Monchâtre-Leroy, E., Barrat, J., Bausmayer, N., *et al.* (2020) 'Bite force and its relation to jaw shape in domestic dogs', *Journal of Experimental Biology*, p. jeb.224352. Available at: <https://doi.org/10.1242/jeb.224352>.
- Brassard, C., Merlin, M., Monchâtre-Leroy, E., *et al.* (2020) 'How Does Masticatory Muscle Architecture Covary with Mandibular Shape in Domestic Dogs?', *Evolutionary Biology*, 47(2), pp. 133–151. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11692-020-09499-6>.
- Brassard, C., Merlin, M., Guintard, C., Monchâtre-Leroy, E., Barrat, J., Callou, C., *et al.* (2020) 'Interrelations Between the Cranium, the Mandible and Muscle Architecture in Modern Domestic Dogs', *Evolutionary Biology*, 47(4), pp. 308–324. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11692-020-09515-9>.
- Brassard, C. (2020b) *Variabilité morphologique des chiens et renards roux dans les premières sociétés agricoles d'Europe : Approche morpho-fonctionnelle basée sur la mandibule [en ligne]*. Thèse de Doctorat du muséum national d'histoire naturelle, Paris, MNHN. Paris : MNHN. Available at: <https://theses.fr/2020MNHN0017> (Accessed: 19 August 2024).
- Brassard, C. *et al.* (2021) 'Masticatory system integration in a commensal canid: interrelationships between bones, muscles and bite force in the red fox', *Journal of Experimental Biology*, 224(5), p. jeb224394. Available at: <https://doi.org/10.1242/jeb.224394>.
- Brassard, C. (2024a) 'Anatomie fonctionnelle de l'appareil masticateur', *Présentation PowerPoint des Travaux Pratiques, UE d'anatomie comparée*. Lyon - VetAgro Sup, p. 85.

Brassard, C. (2024b) 'Arthro-myologie de l'appareil masticateur', *Polycopié d'enseignement - Anatomie Digestive 3, UE d'anatomie comparée. Lyon - VetAgro Sup*, p. 21.

Brassard, C. (2024c) 'Better bitten by a dog or a wolf', *Présentation PowerPoint à un colloque. Montpellier - Domestication days*, p. 48.

Carbone, G. (2004) *Les loups*. Paris: Larousse (Larousse). Available at: ISBN 978-2-03-560303-6.

Castello, J.R. (2020) *Les canidés du monde Loups, chiens sauvages, renard, chacals, coyotes et apparentés*. Paris: Delachaux et Niestlé (Guide Delachaux). Available at: ISBN 978-2-603-02695-3.

Done, S.H. *et al.* (2009) *Color atlas of veterinary anatomy. 3: The dog & cat*. 2. ed. London: Mosby Elsevier. Available at: ISBN 9780-7234-3415-3.

Douart, C. (2013) *Mémoires anatomie vétérinaire - Tête et cou*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson SAS. Available at: ISBN 978-2-294-72748-1.

Drake, A.G. *et al.* (2017) 'Three-Dimensional Geometric Morphometric Analysis of Fossil Canid Mandibles and Skulls', *Scientific Reports*, 7(1), p. 9508. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10232-1>.

Druzinsky, R.E., Doherty, A.H. and De Vree, F.L. (2011) 'Mammalian Masticatory Muscles: Homology, Nomenclature, and Diversification', *Integrative and Comparative Biology*, 51(2), pp. 224–234. Available at: <https://doi.org/10.1093/icb/icr067>.

Evans, H.E. and De Lahunta, A. (2013) *Miller's Anatomy of the Dog*. 4eme edn. Elsevier.

Fluhr, J. (2011) *Analyse spatio-temporelle du régime alimentaire du loup (Canis lupus) dans les Alpes françaises [en ligne]*. Stage de Master 1 « Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité ». Montpellier : Université Montpellier 2. Available at: https://www.loupfrance.fr/wp-content/uploads/Fluhr-2011_analyse-spatio-temporelle-r%C3%A9gime-alimentaire-loup-Alpes-fran%C3%A7aises_rapport-de-stage-M1.pdf.

Forbes-Harper, J.L. *et al.* (2017) 'Diet and bite force in red foxes: ontogenetic and sex differences in an invasive carnivore', *Journal of Zoology*, 303(1), pp. 54–63. Available at: <https://doi.org/10.1111/jzo.12463>.

Frantz, L.A.F. *et al.* (2016) 'Genomic and archaeological evidence suggest a dual origin of domestic dogs', *Science*, 352(6290), pp. 1228–1231. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.aaf3161>.

Frynta, D. *et al.* (2012) 'Allometry of Sexual Size Dimorphism in Domestic Dog', *PLoS ONE*. Edited by V. Laudet, 7(9), p. e46125. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046125>.

Guintard, P.C., Brassard, C. and Herrel, A. (2020) 'La tête du chien : Un système anatomique intégré', *Centrale canine magazine*, (204), pp. 37–39. Available at: <http://www.anthonherrel.fr/publications/Guintard%20et%20al%202020%20Centrale%20Canine%20Magazine.pdf>.

Hassanin, A. *et al.* (2021) 'Evolutionary history of Carnivora (Mammalia, Laurasiatheria) inferred from mitochondrial genomes', *PLOS ONE*. Edited by B.J. Mans, 16(2), p. e0240770. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240770>.

Haxton, H.A. (1944) 'Absolute muscle force in the ankle flexors of man', *The Journal of Physiology*, 103(3), pp. 267–273. Available at: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1944.sp004075>.

- Landry, J.-M. (2013) 'Historique du loup en France', *Société nationale de protection de la nature*, (278), pp. 13–19. Available at: ISSN 0011-0477.
- MacLeod, N. and Kolska Horwitz, L. (2020) 'Machine-learning strategies for testing patterns of morphological variation in small samples: sexual dimorphism in gray wolf (*Canis lupus*) crania', *BMC Biology*, 18(1), p. 113. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12915-020-00832-1>.
- Martinez, N. (2023) 'Le loup en France Etat des lieux', *Bulletin des GTV*, (110), pp. 97–103.
- Mathieu, R. (2019) 'Le loup (*Canis lupus*) en Rhône-Alpes et ailleurs', *FRAPNA Drôme*, p. 34. Available at: <https://fr.readkong.com/page/le-loup-canis-lupus-en-rhone-alpes-7791794>.
- Mech, L.D. and Boitani, L. (eds) (2003) *Wolves: behavior, ecology, and conservation*. Repr. Chicago, Ill.: Univ. of Chicago Press. Available at: ISBN 0226516970.
- Mosimann, J.E. (1970) 'Size Allometry: Size and Shape Variables with Characterizations of the Lognormal and Generalized Gamma Distributions', *Journal of the American Statistical Association*, 65(330), pp. 930–945. Available at: <https://doi.org/10.1080/01621459.1970.10481136>.
- Penrose, F. *et al.* (2020) 'Functional morphology of the jaw adductor muscles in the Canidae', *The Anatomical Record*, 303(11), pp. 2878–2903. Available at: <https://doi.org/10.1002/ar.24391>.
- Penrose, F., Kemp, G.J. and Jeffery, N. (2016) 'Scaling and Accommodation of Jaw Adductor Muscles in Canidae', *The Anatomical Record*, 299(7), pp. 951–966. Available at: <https://doi.org/10.1002/ar.23355>.
- Polák, J. and Frynta, D. (2009) 'Sexual size dimorphism in domestic goats, sheep, and their wild relatives: SEXUAL SIZE DIMORPHISM', *Biological Journal of the Linnean Society*, 98(4), pp. 872–883. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01294.x>.
- Pouille, M.-L., Carles, L. and Lequette, B. (1997) 'Significance of ungulates in the diet of recently settled wolves in the Mercantour mountains (southeastern France)', *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 52(4), pp. 357–368. Available at: <https://doi.org/10.3406/rev.1997.2238>.
- Schoenebeck, J.J. and Ostrander, E.A. (2013) 'The Genetics of Canine Skull Shape Variation', *Genetics*, 193(2), pp. 317–325. Available at: <https://doi.org/10.1534/genetics.112.145284>.
- Von den Driesch, A. (1976) *A guide to the measurement of animal bones from archaeological sites*. Les Etats-Unis d'Amérique: Peabody Museum of archaeology and ethnology Harvard University. Available at: ISBN 0-87365-950-3.
- Zeder, M.A. (1982) 'The domestication of animals', *Reviews in Anthropology*, 9(4), pp. 321–327. Available at: <https://doi.org/10.1080/00988157.1982.9977605>.

Annexe 1 : Convention projet Morpholoup



Convention de coopération relative à la comparaison de l'efficacité de méthodes d'estimation de l'âge des canidés et à l'alimentation de la recherche en craniométrie des canidés

Entre

L'OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ, établissement public à caractère administratif, ayant son siège sis 12 cours Louis Lumière, 94300 Vincennes, n° SIREN 130 025 919, code APE 8413Z, représenté par son Directeur général en exercice, Monsieur Pierre DUBREUIL,

Ci-après dénommé « OFB »,

Adresse de correspondance :

Office français de la biodiversité
Direction Stratégie d'intervention financière
Site de Saint-Benoît - 5 rue Saint-Thibault
78610 Auffargis

d'une part,

Et

ONIRIS, Ecole Nationale Vétérinaire Agroalimentaire et de l'Alimentation, établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel, SIRET N° 130 008535 00010, ayant son siège administratif au 101 route de Gachet, CS 40706, 44307 NANTES Cedex 03,

Représentée par sa Directrice Générale, Madame Laurence DEFLESSELLE,

Ci-après dénommée « ONIRIS »,

d'autre part.

OFB.20.01331

Page 1 sur 8

document en Annexe 1).

Elle a pour objet de définir les droits et obligations respectifs des Parties, ainsi que les modalités de leur coopération dans le cadre des missions communes et de fixer les règles de dévolution et d'exploitation des droits de propriété intellectuelle des Résultats issus de la coopération.

ARTICLE 2 : DURÉE DE LA CONVENTION

La Convention prend effet à la date de signature par les Parties pour une durée de trois (3) ans et trois (3) mois.

L'exécution de la Convention comprend deux périodes :

- Une première phase de réalisation du Projet de 3 ans,
- Une période de 3 mois pour la présentation et la validation des résultats attendus dans le cadre de la coopération, produits conjointement par l'OFB et ONIRIS

Elle pourra éventuellement être modifiée ou prorogée par voie d'avenant, signé d'un commun accord entre les Parties.

Nonobstant le terme ou la résiliation de la Convention, les articles 8, 9, et 10 demeureront en vigueur pour la durée qui leur est propre.

ARTICLE 3 : MODALITÉS DE LA COOPÉRATION

Les Parties affecteront de manière générale tous les moyens nécessaires à la bonne réalisation de la coopération et se communiqueront l'ensemble des informations nécessaires à leur bonne exécution.

3.1. Objectifs de la coopération

L'objectif de la coopération est de partager un même matériel biologique : des têtes de loups français afin de :

- (1) développer de nouvelles méthodes d'estimation de l'âge des canidés et du loup en particulier et de comparer leur efficacité ;
- (2) d'alimenter la recherche menée par l'équipe d'ONIRIS sur la morphologie des canidés. Cette coopération se fera par la mise à disposition de matériel biologique issu de la craniothèque de l'OFB.

3.2. Rôle de l'OFB

L'OFB (DRAS : Unité Sanitaire de la Faune et Unité Prédateurs Animaux Déprédateurs et Exotiques et Direction Nationale des Grands Prédateurs Terrestres) met à disposition et transmet à ONIRIS 150 têtes de loup accompagnées de leurs commémoratifs. L'OFB (Anouk Decors et Christophe Duchamp) assure le co-encadrement de la thèse vétérinaire réalisée dans le cadre de ce partenariat.

De plus, l'OFB participera à l'analyse des résultats finaux sur la comparaison de l'efficacité des méthodes d'estimation de l'âge sur base dentaire.

OFB.20.01331

Page 3 sur 8

L'OFB et ONIRIS sont également désignés ci-après, collectivement ou individuellement, les « Parties » ou la « Partie ».

Vu la Loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 portant création de l'Office français de la biodiversité, modifiant les missions des fédérations des chasseurs et renforçant la police de l'environnement ;

Vu le Décret n° 2019-1580 du 31 décembre 2019 relatif à l'Office français de la biodiversité ;

PRÉAMBULE

L'OFB est un établissement public de l'État à caractère administratif, créé par la loi n° 2019-773 du 24 juillet 2019 placé sous la double tutelle des ministères de l'environnement et de l'agriculture qui a été créé pour protéger et restaurer la biodiversité.

L'OFB exerce des missions de connaissance et d'expertise sur l'ensemble des composantes de la nature. Il contribue à l'exercice des polices administrative et judiciaire relatives à l'eau aux espaces naturels, à la flore et la faune sauvage, à la chasse et à la pêche.

Il accompagne et apporte son appui aux acteurs publics pour la conception, la mise en œuvre et l'évaluation de leurs politiques, et aux acteurs socio-économique pour l'exercice de leurs activités en faveur de la biodiversité.

Il gère et restaure également les espaces protégés, aires marines et espaces protégés terrestres.

Au 1er janvier 2020, l'ensemble des biens, droits et obligations de l'Agence française pour la biodiversité et de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage a été transféré à l'OFB.

ONIRIS est établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel.

Le champ d'action de recherche de l'unité d'anatomie comparée d'Oniris va de la mise en œuvre de modèles purement vétérinaires au développement de modèles en liens avec l'archéozoologie ou l'anatomie comparée. Le développement de la recherche sur les canidés nécessite parfois du matériel biologique spécifique et soumis à autorisation. Ce matériel peut actuellement être proposé par l'OFB.

La présente convention s'inscrit dans ce cadre partenarial.

CONTEXTE ET ENJEUX DE LA COOPÉRATION

Par conséquent, les Parties ont décidé de recourir à une convention de coopération, qui permettra de garantir que les services publics dont les deux entités ont la responsabilité soient réalisés en vue d'atteindre les objectifs qu'ils ont en commun.

Les Parties ont donc convenu de ce qui suit :

ARTICLE 1 : OBJET DE LA CONVENTION

La Convention définit et organise les relations entre l'OFB et ONIRIS sur le projet MORPHO LOUP consistant à développer de nouvelles méthodes d'estimation de l'âge des canidés et du loup en particulier, et de comparer leur efficacité, ainsi que de fournir à ONIRIS le matériel biologique nécessaire à la poursuite de l'étude de la morphologie crânienne des canidés (voir

OFB.20.01331

Page 2 sur 8

3.3. Rôle d'ONIRIS

ONIRIS met en œuvre et compare trois méthodes pour estimer l'âge des loups : lecture de cément, usure de la table dentaire, mesure de la cavité pulpaire par tomodensitométrie. Pour cela, ONIRIS :

- fera les demandes d'autorisation et centralisera les têtes ;
- fera réaliser des scanners auprès de Centre d'Etude tomoscanner de l'ouest (CETSO) ;
- réalisera les dissections des têtes et les préparera les dents pour envoi à l'ANSES (Laboratoire Rage et Faune Sauvage de Nancy) pour lecture des céments ;
- analysera les résultats des 3 méthodes ;
- produira les documents de valorisation techniques et scientifiques sous forme de thèses d'exercice vétérinaire.

ARTICLE 4 : LIEUX DE RÉALISATION ET ORGANISATION DE LA COOPÉRATION

Aux fins d'exécution de la présente, les actions de la coopération seront réalisées conjointement en associant le personnel de l'OFB et d'ONIRIS ou ses prestataires.

Les actions de la coopération pourront être réalisées dans les locaux des Parties.

Si la coopération nécessite la présence de l'une des Parties dans les locaux de l'autre Partie, les Parties s'engagent à prendre les mesures nécessaires afin d'assurer le respect des règles d'hygiène et de sécurité applicables sur les lieux de leur intervention ainsi que celles relatives à la sécurité des personnes et des biens entre les Parties.

Il est précisé que les personnels de chacune des Parties restent sous l'entière autorité hiérarchique et administrative de leur employeur.

Les parties pré-définissent conjointement les objectifs et les résultats à atteindre, et réalisent les actions conjointement.

ARTICLE 5 : MODALITÉS DE FINANCEMENT

La convention est conclue à titre gracieux

En conséquence, la convention n'induit pas de soulte à la charge de l'OFB au terme de sa durée.

Les Parties peuvent solliciter des participations financières d'autres collectivités ou établissements publics ou d'opérateurs privés en s'informant mutuellement.

ARTICLE 6 : PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

6.1 Connaissances antérieures

Chacune des Parties conserve la propriété totale et exclusive de ses Connaissances Antérieures. Lorsque les Connaissances Antérieures appartiennent à des tiers auprès

OFB.20.01331

Page 4 sur 8

desquels les Parties ont obtenu les droits d'exploitation aux fins d'exécution de la présente Convention, ces Connaissances Antérieures demeurent la propriété de ces tiers.

6.2 Résultats issus de la coopération

6.2.1 Résultats Propres

Les Parties conviennent que les Résultats Propres sont la propriété entière et exclusive de la Partie qui les a obtenus seule. A ce titre, cette Partie décidera seule de l'opportunité et de la nature des mesures de protection à prendre et engagera les procédures nécessaires à son nom et à ses frais.

6.2.2 Résultats Communs

Les Parties conviennent que les Résultats Communs sont la propriété conjointe des Parties.

Les Parties conviendront d'un commun accord des mesures de protection à prendre concernant les Résultats Communs.

6.3 Exploitation des Résultats

6.3.1 Exploitation des Résultats Propres

Chaque Partie pourra exploiter librement les Résultats Propres dont elle est propriétaire au titre de l'article 6.2.1 ci-avant.

6.3.2 Exploitation des Résultats Communs

Chaque Partie peut utiliser librement et gratuitement les Résultats Communs dont elle est copropriétaire, susceptibles d'une protection au titre de la Propriété Intellectuelle ou non, pour d'éventuels besoins de recherche réalisés dans le cadre de ses missions de service public et celles de ses partenaires.

Dans le cadre de l'exploitation de Résultats Communs, les Parties peuvent envisager d'examiner la possibilité d'accorder de manière privilégiée des licences ouvertes permettant la diffusion et réutilisation des Résultats Communs à l'ensemble de la communauté.

Les Résultats Communs n'ont pas vocation à faire l'objet d'une exploitation commerciale.

ARTICLE 7 : PUBLICATION ET COMMUNICATION

Les Parties s'engagent à donner la plus large diffusion possible aux Résultats communs. Les Parties conviennent de définir d'un commun accord les modalités de diffusion de ces Résultats.

ARTICLE 8 : CONFIDENTIALITE

Chaque partie s'engage à garder confidentielle toute information donnée comme telle provenant de l'autre partie et à exiger du personnel placé sous son autorité le respect de ces obligations.

Il est convenu que si une partie entend communiquer à un tiers l'une de ces informations, elle

OFB.20.01331

Page 5 sur 8

Chaque Partie doit, en tant que de besoin et dans la mesure où cela est compatible avec ses statuts, souscrire et maintenir en cours de validité les polices d'assurance nécessaires pour garantir les éventuels dommages aux biens ou aux personnes qui pourraient survenir dans le cadre de l'exécution de la Convention et notamment pour tout dommage survenu sur leurs installations respectives.

ARTICLE 11 : FORCE MAJEURE

Aucune des Parties ne sera responsable de la non-exécution totale ou partielle de ses obligations au titre de la Convention provoquée par un événement constitutif de force majeure.

La Partie invoquant le bénéfice d'un événement constitutif de force majeure devra en aviser l'autre Partie dans les sept (7) jours suivant la survenance de cet événement par le biais d'une notification par lettre recommandée avec accusé de réception. Cette notification précisera la nature du cas de force majeure ainsi que sa durée et ses effets prévisibles.

Les délais d'exécution de la Convention seront prolongés pour une période déterminée d'un commun accord entre les Parties.

ARTICLE 12 : LOI APPLICABLE – LITIGES

La Convention est soumise au droit français.

En cas de difficulté ou de litige sur la validité, l'interprétation et/ou l'exécution de la Convention, les Parties s'efforceront de résoudre leur différend à l'amiable.

Toutefois, en cas de désaccord persistant plus d'un (1) mois à compter de la notification de la contestation par l'une des Parties au moyen d'une lettre recommandée avec avis de réception, la Partie la plus diligente portera le litige devant la juridiction compétente.

OFB.20.01331

Page 7 sur 8

devra obtenir au préalable le consentement de l'autre partie.

Il est précisé que ne seront pas considérées comme confidentielles les informations dont la partie qui les aura reçues pourra prouver :

- qu'elles faisaient partie du domaine public au moment de leur communication, ou ;
- qu'elles y sont tombées ultérieurement autrement que par un manquement à la présente obligation de confidentialité, ou ;
- qu'elle les détenait déjà avant leur communication, ou ;
- qu'elle les a reçues librement d'un tiers autorisé à les divulguer, ou qu'elle est légalement tenue de communiquer, ou ;
- qu'elles ont été divulguées en application d'ordonnances, de règlements, de règles juridiques ou administratives, ou dans le cadre d'une procédure judiciaire, administrative ou arbitrale, sous réserve que la partie tenue de les divulguer ait préalablement informé la partie propriétaire desdites informations et ait convenu avec cette dernière des moyens légaux permettant de limiter autant que possible leur divulgation.

Les engagements du présent article sont valables pendant la durée de la Convention et pendant les cinq (5) ans qui suivront son échéance ou sa résiliation.

ARTICLE 9 : RÉSILIATION

En cas de non-respect par l'une des parties de l'une des obligations résultant de la présente Convention, celle-ci pourrait être résiliée de plein droit par l'autre Partie, sans préjudice de tous autres droits qu'elle pourrait valoir, à l'expiration d'un délai d'un mois suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure de se conformer aux obligations contractuelles et restée infructueuse.

ARTICLE 10 : RESPONSABILITÉ – ASSURANCE

10.1 Dommages au personnel

Chaque Partie prend en charge la couverture de son personnel conformément à la législation applicable dans le domaine de la Sécurité Sociale, du régime des accidents du travail et des maladies professionnelles et dans le cadre de son statut propre, et procède aux formalités légales qui lui incombent. La réparation des dommages subis par ces personnels du fait ou à l'occasion de l'exécution de la Convention s'effectue donc à la fois dans le cadre de la législation relative à la Sécurité Sociale et au régime des accidents du travail et des maladies professionnelles et dans le cadre de leur statut propre.

10.2 Dommages aux biens

Chaque Partie conserve à sa charge sans recours contre l'autre Partie, sauf cas de faute lourde ou intentionnelle, la réparation des dommages subis par ses biens propres du fait ou à l'occasion de l'exécution de la Convention.

En ce qui concerne les dommages aux matériels acquis, les Parties supportent les charges de réparation ou de remplacement desdits matériels au prorata de leurs apports financiers.

10.3 Dommages aux tiers

Chaque Partie est responsable suivant les règles du droit commun des dommages de toute nature causés aux tiers.

10.4 Couverture des risques

OFB.20.01331

Page 6 sur 8

ARTICLE 13 : INTÉGRALITÉ DE LA CONVENTION

La Convention ainsi que ses annexes constituent l'intégralité de la Convention entre les Parties sur son objet.

Fait en deux (2) exemplaires originaux à Vincennes, le

Le Directeur Général de l'OFB
Signé numériquement par
Alain GUIBÉ
Directeur des finances le 05/02/2021

Le Directeur général des Ressources de l'OFB
Par délégation,
Le Directeur des Finances
PIÉRE DUBREUIL

Alain GUIBÉ

La Directrice Générale d'ONIRIS


ONIRIS
F. O. B. I. S.
Fédération Française des
Omniprotégés de l'Industrie
Santé d'Orléans
Laurence DEFLESSELLE
Directrice Générale

OFB.20.01331

Page 6 sur 8

Contexte, enjeux et partenaires du programme MORPHOLOUP

Objectifs & enjeux

-Développer de nouvelles méthodes d'estimation de l'âge des canidés et comparer leur efficacité.
Enjeu : dynamique de pop, épidémiologie
-alimenter la recherche sur la morphologie des canidés par la mise à disposition de matériel biologique issu de la craniothèque de l'OFB

Partenaires

- Contractant : OFB et Oniris

. OFB : Nicolas Jean, Directeur Adjoint, Direction Nationale des Grands Prédateurs Terrestres ;
Christophe Duchamp, Nolwen Drouet-Hoguet, Dr. Anouk Decors (vétérinaire), Elsa Barrandon, Florie Bazireau, Yolan Richard.

ONIRIS : Dr. Claude Guintard, responsable unité d'anatomie comparée ; Dr. Eric Betti, Maître de conférence en anatomie comparée ; Justine Joseph et Salomé Leroy, doctorantes en anatomie comparée.

Les responsables de projet sont Claude Guintard pour ONIRIS et Nicolas Jean pour l'OFB.

D'autres membres de ces organisations seront susceptibles de travailler sur le programme Morpholo-up au cours du déroulement de celui-ci.

- Partenaires techniques associés au projet

ANSES :

Dr Elodie Monchâtre-Leroy
Dr Jacques Barrat
Franck Boué

CETSO Centre d'Etude tomoscanner de l'ouest :
Cédric Tavernier

1

L'étude comprendra les étapes suivantes : réalisation des scanners chez Cédric Tavernier (CETSO Centre d'Etude tomoscanner de l'ouest) ; dissection des têtes ; lecture de la table dentaire ; préparation des crânes ; prélèvements d'une dent pour la lecture de cément à l'ANSES-LRFS ; radiologie à Oniris ; analyse des résultats (validation de méthode et comparaison de méthode) ; production de documents de valorisation techniques et scientifiques sous forme de thèse d'exercice vétérinaire et d'articles scientifiques.

2) Alimentation des recherches sur la morphologie des canidés, coordonnées par le service d'anatomie comparée d'ONIRIS et ses partenaires :

- Thèse de doctorat vétérinaire sur la morphométrie (Justine Joseph) permettant de connaître la variabilité morphologique et d'appréhender le dimorphisme sexuel et l'allométrie de croissance dans cette espèce que niveau de la tête osseuse.
- Thèse de doctorat vétérinaire sur les dents (Salomé Leroy) permettant de connaître la variabilité selon l'âge et le sexe de la taille des dents, de l'espace inter-dentaire au niveau des canines et d'apprécier l'existence ou non d'oligodontie dans cette espèce sauvage.
- Recherche post doctorale suite aux travaux de Colline Brassard et Margaux Michaud : la dissection des têtes permettra de constituer un référentiel de données sur l'architecture des muscles masticateurs chez le loup et d'établir un modèle biomécanique d'estimation de la force de morsure, un indicateur fonctionnel important. Ces données viendront enrichir celles d'un corpus déjà existant contenant d'autres canidés (chiens domestiques, dingos australiens et renards roux).

Après segmentation des scans pour reconstituer en trois dimensions les ossements, la morphométrie géométrique sera utilisée pour explorer la variabilité morphologique de la mandibule, de la surface externe du crâne ainsi que de l'endocrâne. L'étude de la surface externe permettra d'étudier la variabilité ainsi que les relations entre les différents éléments de l'appareil masticateur pour illustrer les relations morpho-fonctionnelles unissant mandibule, crâne et muscles, de la même façon que cela a déjà été réalisé chez les chiens domestiques ou le renard roux. Les effets de l'âge, du sexe, de la localisation géographique seront quantifiés.

En particulier, la variabilité décrite chez les loups français sera comparée avec celle de loups nord-américains. L'étude de l'endocrâne (comprenant le cerveau, le cervelet et le bulbe olfactif ; Figure 1) permettra d'explorer l'influence de la domestication et du sexe sur la forme et la taille du cerveau et des différentes aires cognitives du télencéphale chez le loup. Les relations entre les structures musculaires et la forme de l'endocrâne et des différentes aires cognitives seront également explorées.

3

Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS :

Dr. Anthony Herrel, Directeur de recherches CNRS, UMR 7179 MECADEV Mécanismes adaptatifs et évolution
Dr. Raphaël Cornette, Dr HDR UMR 7205 ISYEB Institut de Systématique et évolution de la biodiversité
Dr. Colline Brassard, Post-doctorante FYSSEN (jusque fin 2022), UMR 7179 MECADEV Mécanismes adaptatifs et évolution

Department of African Zoology, Royal Museum for Central Africa, Tervuren, Belgique :

Dr. Margot Michaud – post-doctorante FYSSEN (jusque fin 2021)
Dr. Emmanuel Gilissen – Chercheur et conservateur des collections de mammifère, Université Libre de Bruxelles, Laboratory of Histology and Neuropathology, Brussels, Belgique

North Carolina State University :

Prof. Adam Hartstone-Rose, Associate Professor

School of veterinary and life science, Murdoch University, Australie

Prof. Trish Fleming, Professor

SCC :

André Varlet
Nathalie Baumayer

Nature du matériel et des données et modalités de mise à disposition

Depuis 2010, 150 têtes de loups gris français (*Canis lupus italicus*) ont fait l'objet d'un prélèvement et ont été conservées congelées à -20°C au sein des services départementaux de l'OFB ou des Laboratoires Vétérinaires Départementaux (LVD). Les données relatives à ces loups sont enregistrées dans la base de données Loup administrée par l'OFB.

La transmission des 150 têtes à ONIRIS, stockées préalablement par l'OFB, sera effectué début 2021. En fonction des besoins de l'études, de nouvelles têtes pourront être fournis à ONIRIS ultérieurement. Le transport sera pris en charge par l'OFB.

Dans la poursuite du projet, l'OFB transmettra à ONIRIS les données afférentes aux individus : âge estimé à l'autopsie, sexe, poids, date et origine de la mort (ou de découverte du corps) et origine géographique de l'individu. Les données sont transmises sous la forme d'un tableau Excel.

Projets de recherche menés à partir de ce matériel

1) Comparaison de l'efficacité de trois méthodes pour estimer l'âge des loups : lecture de cément, usure de la table dentaire, mesure de la cavité pulpaire par radiographie

2

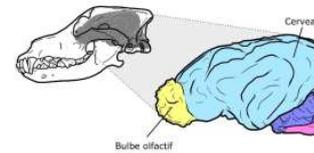


Figure 1. Représentation graphique des différentes structures de l'endocrâne obtenues après la segmentation d'un crâne de loup (*Canis lupus*).

Tous les résultats obtenus seront comparés avec ceux obtenus chez les chiens domestiques, en vue d'évaluer l'impact de la domestication sur la variabilité phénotypique et l'intégration fonctionnelle des structures crâniennes (crâne, mandibule, muscles masticateurs) et endocrâniennes, ainsi que d'autres espèces de canidés plus commensales, comme le dingo australien.

Au moins 3 publications dans des revues internationales à comité de lecture (type Proceedings of the Royal Society B, Evolutionary Biology, Journal of Anatomy) sont possibles :

- Variabilité morphologique et intégration fonctionnelle au sein du système masticateur (muscles / crâne / mandibule / force de morsure) des loups ; impact de certains paramètres comme la région géographique (France / Etats-Unis), l'âge ou le sexe ; comparaison avec les chiens pour quantifier l'effet de la domestication ;
- Etude de l'endocrâne : effets de la domestication et du sexe sur la forme globale et celle des différentes parties du télencéphale ;
- Covariations endocrâne et structures musculaires.

Modalités de mise à dispositions des résultats

ONIRIS s'engage à échanger sur la stratégie d'analyse et de publication avec l'OFB et à informer l'OFB des résultats obtenus à partir des données transmises dans le cadre du programme.

Est fixée la collaboration comme suit :

-La comparaison de l'efficacité de trois méthodes pour estimer l'âge des loups sur base dentaire se fera dans le cadre d'une thèse vétérinaire portée par ONIRIS. La rédaction de la thèse vétérinaire se fera en partie sous le format d'un article directement valorisable dans une revue scientifique, assorti d'une synthèse bibliographique.

Pour l'ensemble du programme : au moins un article scientifique à portée internationale associant les différents partenaires sera réalisé.

Fin du programme

Les têtes de loup seront mises à disposition à ONIRIS pour une durée de 3 ans, puis seront restituées sous formes de crânes à l'OFB, qui les mettra en collection disponibles pour de futures études scientifiques.

4

Annexe 2 : Feuille de recueil des mesures myologiques

N°

S

D

Photos

Prel. Muscles

Dents

Cuisson

| Muscle | Poids (g) | | Longueur (mm) | | Longueur fibre (mm) | | Angle de pennation | |
|----------------------------------|-----------|--------|---------------|--------|---------------------|--------|--------------------|--------|
| | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite | Gauche | Droite |
| Digastrique | | | | | | | | |
| Masséter pars superficialis | | | | | | | | |
| Masséter pars profunda | | | | | | | | |
| Zygomatoc-mandibularis anterior | | | | | | | | |
| Zygomatoc-mandibularis posterior | | | | | | | | |
| Temporalis pars suprazygomata | | | | | | | | |
| Temporalis pars superficialis | | | | | | | | |
| Temporalis pars profunda | | | | | | | | |
| Pterygoideus medialis | | | | | | | | |
| Pterygoideus lateralis | | | | | | | | |

Annexe 3 : Tableau des mesures myologiques et craniométriques

| Sex | dissectedID | N° dépeuille (BDD) | Date capture | N° SAGIR | Age_scanID | Age_dissected | Preli_Muscu | DIGpds | DIGlj | DIGfibref | DIGangle | DIGcsa |
|-----|-------------|--------------------|--------------|------------|------------|---------------|-------------|--------|-------|-----------|----------|--------|
| F | 1F | D 83 18 005 | 15/5/2019 | S 14 53 45 | adult | adult | X | 26,32 | 122 | 122 | 0 | 2,04 |
| F | 3F | D 74 20 001 | 23/10/2017 | S 14 50 84 | adult | adult | VRAI | 22,08 | 113 | 113 | 0 | 1,84 |
| F | 19F | D 83 19 008 | 16/2/2020 | S 13 61 37 | adult | adult | VRAI | 22,62 | 116 | 116 | 0 | 1,84 |
| F | 20F | D 06 18 008 | 10/10/2018 | S 13 89 79 | adult | adult | VRAI | 18,32 | 110 | 110 | 0 | 1,57 |
| F | 21F | D 06 19 018 | 26/4/2019 | S 14 31 40 | adult | adult | VRAI | 14,02 | 71 | 71 | 0 | 1,86 |
| F | 26F | D 73 17 014 | 9/8/2019 | S 12 89 49 | adult | adult | VRAI | 20,23 | 110 | 110 | 0 | 1,73 |
| F | 37F | D 73 17 002 | 2/8/2017 | S 13 82 32 | adult | adult | VRAI | 24,4 | 120 | 120 | 0 | 1,92 |
| F | 50F | D 73 17 005 | 27/8/2017 | S 12 89 45 | adult | adult | VRAI | 26,24 | 132 | 132 | 0 | 1,88 |
| F | 69F | D 05 18 012 | 20/9/2018 | S 13 98 91 | adult | adult | VRAI | 24,84 | 112 | 112 | 0 | 2,09 |
| F | 73F | D 05 20 015 | 4/9/2020 | S 14 77 15 | adult | adult | VRAI | 20,15 | 110 | 110 | 0 | 1,73 |
| F | 74F | D 05 18 005 | 27/2/2018 | S 13 77 18 | adult | adult | VRAI | 18,68 | 110 | 110 | 0 | 1,6 |
| F | 77F | D 04 20 014 | 21/9/2020 | S 14 52 33 | adult | adult | VRAI | 18,31 | 115 | 115 | 0 | 1,5 |
| F | 90F | D 06 19 026 | 20/5/2019 | S 13 06 17 | adult | adult | VRAI | 17,40 | 102 | 102 | 0 | 1,62 |
| F | 96F | D 04 18 013 | 28/10/2018 | S 13 56 77 | adult | adult | VRAI | 21,6 | 114 | 114 | 0 | 1,79 |
| F | 97F | D 04 18 016 | 27/11/2018 | S 13 77 02 | adult | adult | VRAI | 15,59 | 110 | 110 | 0 | 1,33 |
| F | 106F | D 06 18 006 | 15/9/2018 | S 24 51 01 | adult | adult | VRAI | 24,08 | 117 | 117 | 0 | 1,94 |
| F | 108F | D 06 19 019 | 30/4/2019 | S 13 86 13 | adult | adult | VRAI | 16,37 | 107 | 107 | 0 | 1,44 |
| F | 109F | D 06 18 010 | 13/1/2019 | S 13 90 00 | adult | adult | VRAI | 25,11 | 124 | 124 | 0 | 1,91 |
| F | 110F | D 06 19 001 | 13/1/2019 | S 12 96 81 | adult | adult | VRAI | 18,45 | 116 | 116 | 0 | 1,5 |
| F | 111F | D 83 19 010 | 16/9/2018 | S 13 61 41 | adult | adult | VRAI | 20,68 | 114 | 114 | 0 | 1,71 |
| F | 120F | D 06 18 007 | 25/12/2013 | S 13 89 99 | adult | adult | VRAI | 21,35 | 104 | 104 | 0 | 1,94 |
| F | 124F | D 38 20 002 | 5/5/2019 | S 14 28 59 | adult | adult | X | 17,06 | 116 | 116 | 0 | 1,39 |
| F | 142F | D 06 19 021 | 5/5/2019 | S 13 86 15 | adult | adult | VRAI | 21,56 | 116 | 116 | 0 | 1,75 |
| M | 2M | D 73 18 006 | 25/8/2018 | S 13 56 47 | adult | adult | X | 27,01 | 119 | 119 | 0 | 2,14 |
| M | 12M | D 73 17 006 | 20/10/2017 | S 12 89 40 | adult | adult | VRAI | 23,33 | 114 | 114 | 0 | 1,93 |
| M | 14M | D 73 20 004 | 26/07/2020 | S 13 56 30 | adult | adult | X | 29,94 | 87 | 87 | 0 | 3,25 |
| M | 15M | D 05 20 016 | 21/10/2020 | S 13 51 41 | adult | adult | X | 30,36 | 134 | 134 | 0 | 2,14 |
| M | 17M | D 04 18 007 | 25/9/2018 | S 13 56 75 | adult | adult | X | 31,15 | 120 | 120 | 0 | 2,45 |
| M | 22M | D 73 19 013 | 5/8/2019 | S 13 56 30 | adult | adult | X | 29,81 | 92 | 92 | 0 | 3,06 |
| M | 45M | D 05 18 009 | 30/8/2016 | S 13 51 46 | adult | adult | VRAI | 28,82 | 119 | 119 | 0 | 2,28 |
| M | 46M | D 04 20 010 | 15/9/2020 | S 14 52 08 | adult | adult | VRAI | 27,98 | 100 | 100 | 0 | 2,64 |
| M | 47M | D 06 18 009 | 10/10/2018 | S 13 89 78 | adult | adult | X | 31,35 | 100 | 100 | 0 | 2,96 |
| M | 52M | D 73 17 004 | 25/8/2017 | S 12 89 36 | adult | adult | VRAI | 25,55 | 133 | 133 | 0 | 1,81 |
| M | 63M | D 73 18 005 | 23/8/2018 | S 13 56 43 | adult | adult | VRAI | 23,02 | 123 | 123 | 0 | 1,77 |
| M | 67M | D 04 19 002 | 26/1/2019 | S 13 56 68 | adult | adult | VRAI | 26,96 | 120 | 120 | 0 | 2,12 |
| M | 7M | D 73 18 007 | 6/9/2018 | S 13 56 48 | adult | adult | VRAI | 27,23 | 120 | 120 | 0 | 2,12 |
| M | 86M | D 04 18 009 | 24/9/2018 | S 13 56 53 | adult | adult | VRAI | 26,33 | 129 | 129 | 0 | 2,14 |
| M | 94M | D 05 19 002 | 14/2/2019 | S 13 98 94 | adult | adult | VRAI | 32,28 | 110 | 110 | 0 | 2,77 |
| M | 99M | D 05 19 009 | 4/5/2019 | S 13 99 03 | adult | adult | VRAI | 32,28 | 110 | 110 | 0 | 2,77 |
| M | 102M | D 04 18 003 | 7/4/2018 | S 13 56 70 | adult | adult | VRAI | 25,62 | 108 | 108 | 0 | 2,24 |
| M | 117M | D 06 19 013 | 16/5/2019 | S 13 86 16 | adult | adult | VRAI | 25,63 | 128 | 128 | 0 | 1,89 |
| M | 121M | D 04 19 003 | 26/2/2019 | S 13 56 55 | adult | adult | VRAI | 24,02 | 102 | 102 | 0 | 2,22 |
| M | 125M | D 73 20 012 | 28/6/2020 | S 13 40 19 | adult | adult | X | 26,09 | 115 | 90 | 0 | 2,73 |
| M | 127M | D 73 17 012 | 9/12/2017 | S 12 89 39 | adult | adult | VRAI | 26,65 | 135 | 135 | 0 | 1,86 |
| M | 128M | D 83 19 003 | 30/8/2019 | S 14 55 53 | adult | adult | VRAI | 24,63 | 112 | 112 | 0 | 2,07 |
| M | 139M | D 06 18 011 | 3/10/2018 | S 13 90 01 | adult | adult | VRAI | 24,84 | 123 | 123 | 0 | 1,91 |
| M | 141M | D 06 19 020 | 1/9/2019 | S 13 86 14 | adult | adult | VRAI | 25,35 | 118 | 118 | 0 | 2,03 |

| MASSUPpds | MASSUPig | MASSUPifibre | MASSUPangle | MASSUPossa | MASPROFpds | MASPROFig | MASPROfifibre | MASPROfangle | MASPROFocsd | ZYGANTpds | ZYGANTig | ZYGANTifibre | ZYGANTangle |
|-----------|----------|--------------|-------------|------------|------------|-----------|---------------|--------------|-------------|-----------|----------|--------------|-------------|
| 39.49 | 95 | 20 | 30 | 16.13 | 15.74 | 62 | 25 | 37.9 | 4.71 | 7.43 | 61 | 33 | 0 |
| 33.23 | 82 | 21 | 28 | 13.18 | 7.86 | 55 | 12 | 21 | 5.77 | 17.32 | 68 | 29 | 4 |
| 39.86 | 91 | 23 | 28 | 14.74 | 14.58 | 68 | 31 | 20 | 4.21 | 14.23 | 63 | 35 | 10 |
| 31.52 | 84 | 26 | 30 | 9.9 | 9.74 | 42 | 9 | 35 | 8.36 | 12.57 | 51 | 34 | 10 |
| 24.26 | 87 | 25 | 37.5 | 7.26 | 10.73 | 55 | 13 | 18 | 3.85 | 12.03 | 70 | 38 | 17 |
| 33.3 | 06 | 23 | 42 | 10.15 | 13.95 | 55 | 25 | 25 | 9.17 | 9.07 | 62 | 22 | 15 |
| 39.72 | 95 | 23 | 35 | 13.35 | 15.25 | 67 | 16 | 40 | 6.89 | 15 | 14.81 | 33 | 7 |
| 39.96 | 96 | 24 | 28 | 13.73 | 14.43 | 52 | 21 | 35 | 6.02 | 14.86 | 74 | 60 | 6 |
| 41.6 | 100 | 22 | 34 | 14.79 | 15.72 | 84 | 23 | 21 | 5.31 | 13.84 | 63 | 26 | 15 |
| 30.17 | 89 | 29 | 34 | 8.14 | 18.8 | 69 | 13 | 18 | 12.98 | 8.7 | 48 | 26 | 5 |
| 29.81 | 83 | 31 | 47 | 6.19 | 9.58 | 53 | 30 | 11 | 2.96 | 13.26 | 57 | 35 | 6 |
| 34 | 91 | 19 | 38 | 13.3 | 12.33 | 67 | 24 | 21 | 4.52 | 13.28 | 70 | 24 | 11 |
| 28.37 | 86 | 25 | 27 | 9.54 | 11.04 | 59 | 25 | 16 | 3.49 | 10.02 | 74 | 24 | 40 |
| 35.99 | 92 | 19 | 41 | 13.49 | 13.6 | 48 | 13 | 31 | 6.87 | 14.01 | 78 | 33 | 13 |
| 37.33 | 88 | 32 | 34 | 9.12 | 13.6 | 57 | 29 | 13 | 4.31 | 17.92 | 74 | 32 | 22 |
| 36.72 | 88 | 28 | 50 | 7.95 | 15.27 | 57 | 27 | 5 | 5.32 | 16.19 | 77 | 37 | 7 |
| 42.65 | 76 | 24 | 40 | 8.33 | 9.67 | 57 | 16 | 30 | 4.94 | 11.55 | 59 | 32 | 20 |
| 55.09 | 95 | 29 | 37 | 11.08 | 14.5 | 57 | 28 | 15 | 4.72 | 14.05 | 65 | 44 | 11 |
| 28.87 | 87 | 24 | 20 | 12.96 | 9.18 | 41 | 16 | 31 | 4.64 | 15.58 | 67 | 51 | 3 |
| 33.6 | 92 | 19 | 30 | 12.41 | 10.15 | 43 | 8 | 25 | 10.85 | 12.2 | 61 | 28 | 7 |
| 28.2 | 86 | 16 | 45 | 11.76 | 12.21 | 48 | 21 | 18 | 12.2 | 16.34 | 72 | 30 | 10 |
| 40.45 | 88 | 24 | 35 | 13.02 | 10.47 | 58 | 14 | 18 | 6.71 | 12.02 | 61 | 35 | 1705 |
| 34.64 | 92 | 16 | 35 | 16.73 | 9.87 | 56 | 15 | 20 | 5.83 | 15.81 | 83 | 21 | 34 |
| 49.68 | 99 | 25 | 44 | 13.49 | 11.3 | 59 | 29 | 30 | 3.18 | 11.09 | 58 | 27 | 15 |
| 59 | 100 | 27 | 38 | 16.24 | 5.9 | 74 | 31 | 19 | 1.7 | 18.53 | 62 | 37 | 9 |
| 47.85 | 102 | 26 | 33 | 14.56 | 17.88 | 58 | 20 | 30 | 7.3 | 9.82 | 65 | 35 | 30 |
| 46.2 | 101 | 24 | 24 | 16.59 | 15.39 | 56 | 16 | 25 | 8.22 | 20.9 | 81 | 39 | 0 |
| 48.34 | 90 | 30 | 50 | 9.77 | 12.81 | 52 | 12 | 32 | 9.82 | 17.19 | 84 | 28 | 0 |
| 62.46 | 103 | 23 | 44 | 15.19 | 22.58 | 80 | 28 | 25 | 6.82 | 15.66 | 65 | 36 | 5 |
| 50.6 | 113 | 30 | 48 | 10.65 | 19.41 | 74 | 23 | 27 | 7.09 | 23.39 | 75 | 49 | 10 |
| 48.62 | 105 | 35 | 35 | 12.52 | 19.54 | 50 | 20 | 25 | 8.35 | 15.72 | 75 | 46 | 10 |
| 43.12 | 99 | 25 | 45 | 11.51 | 18.83 | 62 | 37 | 5 | 4.78 | 20.81 | 72 | 30 | 14 |
| 40.38 | 96 | 23 | 40 | 12.69 | 15.32 | 54 | 22 | 10 | 6.47 | 20.99 | 79 | 32 | 6 |
| 52.2 | 93 | 24 | 30 | 17.77 | 14 | 55 | 16 | 50 | 5.31 | 21.06 | 75 | 39 | 6 |
| 49.3 | 92 | 28 | 36 | 13.44 | 19.44 | 64 | 16 | 23 | 10.55 | 23.73 | 76 | 35 | 6 |
| 62.02 | 99 | 26 | 44 | 13.58 | 15.29 | 53 | 22 | 23 | 6.04 | 21.09 | 79 | 39 | 6 |
| 67.47 | 105 | 30 | 40 | 13.84 | 16.91 | 52 | 15 | 35 | 8.71 | 24.57 | 95 | 32 | 15 |
| 66.98 | 98 | 30 | 32 | 9.86 | 18.33 | 45 | 18 | 25 | 8.71 | 18.8 | 78 | 38 | 28 |
| 44.22 | 96 | 25 | 17 | 15.96 | 19 | 61 | 27 | 20 | 6.24 | 16 | 60 | 32 | 5 |
| 43.04 | 97 | 23 | 26 | 16 | 11.9 | 55 | 14 | 20 | 7.54 | 13.23 | 80.02 | 27 | 16 |
| 61.48 | 115 | 35 | 40 | 15.03 | 16.85 | 56 | 17 | 25 | 8.47 | 18.53 | 80 | 36 | 12 |
| 48 | 100 | 25 | 30 | 14.06 | 20.39 | 65 | 20 | 20 | 9.04 | 14.8 | 80 | 40 | 0 |
| 50.6 | 99 | 24 | 45 | 14.06 | 14.46 | 45 | 19 | 20 | 6.75 | 17.65 | 85 | 26 | 20 |
| 38.44 | 90 | 28 | 40 | 9.92 | 13.46 | 56 | 24 | 25 | 4.8 | 12.96 | 85 | 30 | 4 |
| 42.02 | 93 | 30 | 30 | 11.44 | 15.07 | 56 | 19 | 18 | 7.12 | 19.13 | 75 | 35 | 5 |
| 27.18 | 83 | 15 | 38 | 13.47 | 11.54 | 52 | 16 | 18 | 6.47 | 15.12 | 67 | 34 | 12 |

| ZYGANT_pcsa | ZYGPOST_pds | ZYGPOSTlg | ZYGPOSTlgfbw | ZYGPOSTlang | ZYGPOST_pcsa | SPZYGpds | SPZYGlg | SPZYGlgfbw | SPZYGangle | SPZYGpca | TPSubpca | TPSUPlg | TPSUPlgfbw |
|-------------|-------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------|------------|------------|-------------|----------|---------|------------|
| 2.124070898 | 7.43 | 53 | 8 | 30 | 7.587934847 | 16.54 | 116 | 39 | 35 | 3.277400177 | 64.5 | 171 | 48 |
| 5.620627635 | 10.91 | 56 | 7 | 42 | 10.92633295 | 12.08 | 108 | 34 | 8 | 3.319211507 | 52.8 | 153 | 43 |
| 3.791390752 | 8.11 | 45 | -4 | 19 | 5.137861578 | 17.16 | 114 | 42 | 30 | 3.349213445 | 59.67 | 145 | 41 |
| 3.434803955 | 6.58 | 48 | -1 | 35 | 4.622659049 | 9.63 | 97 | 47 | 10 | 1.913476325 | 43.78 | 128 | 40 |
| 2.856933896 | 5.72 | 50 | -2 | 34 | 3.7286204 | 10.15 | 100 | 50 | 15 | 1.849839082 | 31.99 | 110 | 32 |
| 4.088202361 | 7.25 | 51 | 7 | 35 | 8.003844099 | 14.6 | 96 | 39 | 15 | 3.411349072 | 52.97 | 148 | 36 |
| 4.256201336 | 12.01 | 58 | -0 | 50 | 7.282904898 | 13.78 | 103 | 52 | 4 | 2.493910726 | 59.03 | 135 | 44 |
| 2.78941422 | 10.25 | 56 | -5 | 20 | 6.057766895 | 15.63 | 106 | 31 | 15 | 4.59446764 | 56.74 | 130 | 43 |
| 4.850657996 | 8.81 | 49 | -5 | 34 | 4.593598122 | 18.3 | 126 | 52 | 20 | 3.2050474 | 73.71 | 154 | 53 |
| 3.144736529 | 8.05 | 49 | 9 | 30 | 7.307656709 | 13.9 | 96 | 40 | 20 | 3.080596092 | 50.28 | 125 | 39 |
| 3.554544564 | 6.86 | 46 | -1 | 33 | 4.934202484 | 13.64 | 110 | 50 | 19 | 2.46905228 | 51.93 | 143 | 47 |
| 5.124217373 | 8.71 | 56 | -0 | 44 | 5.910801567 | 15.3 | 112 | 46 | 27 | 2.795816206 | 52.13 | 133 | 40 |
| 3.017203319 | 6.07 | 45 | -4 | 36 | 3.350671736 | 9.79 | 107 | 51 | 5 | 1.801059681 | 37.66 | 131 | 38 |
| 3.90249417 | 8.3 | 46 | -5 | 30 | 4.520761542 | 9.53 | 112 | 38 | 7 | 2.348303085 | 46.4 | 145 | 39 |
| 4.898329708 | 8.07 | 44 | -2 | 20 | 6.626605091 | 8.44 | 126 | 65 | 7 | 1.215833022 | 60.78 | 153 | 44 |
| 4.097226465 | 10.26 | 55 | -1 | 27 | 7.620429366 | 15.64 | 133 | 40 | 8 | 3.69949203 | 59.65 | 124 | 43 |
| 3.199719061 | 5.79 | 47 | -2 | 27 | 4.055730029 | 9.36 | 107 | 44 | 10 | 1.976372335 | 40.95 | 125 | 30 |
| 2.957088749 | 11.31 | 52 | -2 | 43 | 6.502838338 | 15.52 | 117 | 43 | 5 | 3.392045733 | 54.02 | 143 | 51 |
| 2.878033324 | 7.65 | 55 | -3 | 30 | 4.807760766 | 13.98 | 107 | 48 | 3 | 2.743675962 | 48.05 | 127 | 41 |
| 4.079872995 | 7.81 | 50 | -0 | 34 | 6.108286266 | 10.76 | 108 | 40 | 21 | 2.369180516 | 44.3 | 141 | 29 |
| 5.080301473 | 8.4 | 57 | -3 | 47 | 4.157319466 | 10.52 | 114 | 52 | 5 | 1.901300476 | 47.3 | 128 | 44 |
| -0.23237521 | 6.62 | 50 | -1 | 42 | 4.219227054 | 11.62 | 104 | 37 | 16 | 2.897020206 | 44.88 | 123 | 40 |
| 5.888177908 | 8.04 | 57 | -0 | 32 | 6.432364805 | 11.75 | 105 | 57 | 5 | 1.937320043 | 55.25 | 145 | 37 |
| 3.742878202 | 7.54 | 54 | 9 | 20 | 7.426920714 | 12.74 | 104 | 41 | 20 | 2.754644268 | 50.55 | 160 | 52 |
| 4.666462252 | 9.44 | 58 | -5 | 38 | 4.678504097 | 21.63 | 119 | 49 | 31 | 3.569605066 | 74.66 | 156 | 48 |
| 2.292282875 | 9.82 | 55 | -3 | 35 | 5.837498603 | 18.29 | 115 | 35 | 20 | 4.632608635 | 88.88 | 180 | 46 |
| 5.05636188 | 13.44 | 66 | -4 | 12 | 8.858695252 | 13.57 | 119 | 38 | 5 | 3.356097828 | 79.33 | 162 | 35 |
| 3.956361252 | 11.83 | 78 | -3 | 44 | 6.175464324 | 26.43 | 123 | 24 | 29 | 9.086556756 | 73.93 | 138 | 42 |
| 4.322075813 | 12.04 | 50 | -3 | 38 | 6.885086701 | 18.25 | 135 | 54 | 15 | 3.079690734 | 84.87 | 180 | 40 |
| 5.023597161 | 12.31 | 60 | -4 | 25 | 7.550315949 | 19.58 | 121 | 49 | 20 | 3.512286202 | 77.49 | 132 | 43 |
| 4.434858172 | 11.62 | 59 | 22 | 38 | 3.926537289 | 17.23 | 119 | 30 | 6 | 5.388557314 | 81.35 | 157 | 47 |
| 3.174974954 | 10.23 | 60 | -7 | 25 | 5.145132442 | 17.24 | 145 | 48 | 15 | 3.27290905 | 88.48 | 155 | 50 |
| 6.349639643 | 10.44 | 56 | -6 | 32 | 5.220296064 | 18.63 | 112 | 29 | 36 | 4.903053548 | 71.17 | 144 | 37 |
| 6.15419062 | 10.08 | 54 | -2 | 30 | 6.862842822 | 11.63 | 108 | 48 | 10 | 2.289755448 | 32.78 | 156 | 38 |
| 5.066432297 | 10.54 | 56 | -0 | 40 | 7.617083425 | 16.1 | 120 | 56 | 6 | 2.697406084 | 82.41 | 148 | 48 |
| 6.366187218 | 10.54 | 54 | -4 | 32 | 6.023198742 | 19.43 | 124 | 52 | 8 | 3.480730871 | 88.61 | 135 | 48 |
| 5.073649437 | 11.19 | 59 | -4 | 30 | 6.530205033 | 12.18 | 120 | 60 | 13 | 1.866010596 | 72.78 | 145 | 53 |
| 6.096607301 | 13.41 | 70 | -5 | 35 | 6.90869743 | 20.25 | 125 | 40 | 15 | 4.613207071 | 75.57 | 160 | 46 |
| 4.121000684 | 10.74 | 55 | -2 | 48 | 5.649734837 | 15.3 | 115 | 38 | 25 | 3.555930545 | 53.43 | 135 | 34.5 |
| 4.099031595 | 9.99 | 55 | -3 | 33 | 6.00065731 | 15.17 | 111 | 40 | 17 | 2.051240660 | 60.57 | 154 | 36 |
| 4.46512882 | 7.9 | 52 | 9 | 27 | 7.378355913 | 14.26 | 107 | 48 | 13 | 2.73084063 | 55.82 | 148 | 44 |
| 4.74975791 | 12.29 | 75 | 20 | 30 | 5.020496327 | 20.54 | 125 | 46 | 11 | 4.135074313 | 86.94 | 175 | 47 |
| 3.490566038 | 7.66 | 55 | -7 | 10 | 4.186252713 | 16.4 | 130 | 65 | 15 | 2.299155813 | 86.09 | 160 | 50 |
| 6.017987938 | 9.57 | 55 | -4 | 30 | 5.584613419 | 15.62 | 123 | 47 | 8 | 3.104774635 | 71.3 | 163 | 41 |
| 4.065544054 | 9.41 | 54 | -3 | 35 | 5.59377412 | 13.66 | 118 | 53 | 5 | 2.422217796 | 55.53 | 136 | 39 |
| 5.136712823 | 10.35 | 58 | -3 | 20 | 7.057923531 | 14.35 | 117 | 58 | 6 | 2.321305985 | 64.16 | 143 | 42 |
| 4.103660301 | 8.13 | 49 | -3 | 25 | 5.347084404 | 10.61 | 98 | 35 | 12 | 2.850074276 | 42.6 | 145 | 33 |

| TPSupange | TPSupcsc | TPPROFpsc | TPPROFfig | TPPROFfighvre | TPPROFangle | TPPROFpoca | PTEMEDpds | PTEMEDig | PTEMEDfighvre | PTEMEDangle | PTEMEDpoca | PTELATpds | PTELATig |
|-----------|-------------|-----------|-----------|---------------|-------------|-------------|-----------|----------|---------------|-------------|-------------|-----------|----------|
| 30 | 10.978506 | 73.4 | 129 | 40 | 35 | -4.18060379 | 18.81 | 90 | 24 | 32.5 | 6.235924959 | 1.23 | 27 |
| 28 | 10.22808971 | 76.93 | 138 | 38 | 40 | 14.630536 | 25.67 | 106 | 25 | 16 | 9.311542541 | 1.75 | 26 |
| 27 | 12.17992781 | 86.75 | 135 | 41 | 36 | -6.25973613 | 24.6 | 96 | 22 | 45 | 7.29991725 | 2.29 | 35 |
| 15 | 5.973639789 | 72.06 | 123 | 40 | 30 | 4.71834684 | 18.93 | 93 | 78 | 70 | 5.993389953 | 1.47 | 27 |
| 30 | 8.167497838 | 7.2 | 132 | 45 | 33 | -2.51852085 | 15.83 | 117 | 18 | 34 | 6.878231013 | 1.65 | 28 |
| 35 | 12.58018309 | 69.17 | 132 | 29 | 44 | -6.18831555 | 15.91 | 105 | 20 | 30 | 8.13328575 | 1.47 | 25 |
| 34 | 10.49272857 | 85.89 | 128 | 40 | 47 | -3.81529225 | 22.59 | 93 | 23 | 29 | 8.104043964 | 1.18 | 16 |
| 25 | 11.20212019 | 00.12 | 129 | 39 | 40 | -6.32093961 | 25.62 | 111 | 16 | 45 | 10.69164043 | 1.01 | 33 |
| 27 | 11.69029742 | 91.66 | 135 | 40 | 40 | -6.56029096 | 25.66 | 107 | 24 | 29 | 8.821832423 | 2.3 | 28 |
| 20 | 11.42906264 | 67.33 | 122 | 34 | 42 | -3.88344648 | 21.89 | 100 | 20 | 45 | 7.301211097 | 1.69 | 33 |
| 21 | 5.731198625 | 71.81 | 122 | 37 | 37 | -4.62264558 | 21.71 | 86 | 22 | 47 | 6.349135676 | 2 | 31 |
| 36 | 5.946711301 | 73.64 | 130 | 35 | 35 | -4.75072571 | 19.96 | 104 | 21 | 31 | 7.686010477 | 1.81 | 31 |
| 25 | 8.473572805 | 63.04 | 121 | 35 | 25 | -5.39990375 | 17.34 | 94 | 24 | 24 | 6.226760313 | 0.97 | 21 |
| 20 | 10.54710634 | 74.49 | 127 | 36 | 33 | -6.37121871 | 21.83 | 102 | 22 | 40 | 7.170990649 | 1.76 | 26 |
| 21 | 12.16617031 | 77.89 | 132 | 36 | 32 | -17.3098705 | 15.13 | 107 | 28 | 12 | 6.304569947 | 1.84 | 28 |
| 19 | 12.37388834 | 73.78 | 119 | 41 | 43 | -2.41584816 | 24.27 | 104 | 17 | 41 | 10.16470672 | 1.98 | 30 |
| 21 | 5.491091972 | 66.82 | 126 | 37 | 43 | -2.46023823 | 19.4 | 98 | 25 | 17 | 7.000872553 | 1.41 | 27 |
| 22 | 9.26497814 | 80.82 | 132 | 38 | 38 | -5.81107972 | 23.69 | 109 | 22 | 40 | 7.781986646 | 1.51 | 25 |
| 23 | 5.753623677 | 84.4 | 133 | 36 | 33 | -8.54021277 | 21.25 | 92 | 21 | 30 | 8.267313491 | 1.56 | 28 |
| 35 | 11.80495627 | 82.26 | 133 | 38 | 36 | -6.52178202 | 20.69 | 98 | 18 | 29 | 9.484214749 | 1.37 | 30 |
| 33 | 8.505385477 | 74.79 | 127 | 37 | 36 | -5.42743014 | 15.75 | 98 | 19 | 25 | 8.887576982 | 1.8 | 26 |
| 35 | 8.67084711 | 69.28 | 124 | 33 | 33 | -6.61037649 | 15.67 | 89 | 19 | 33 | 8.190988119 | 1.58 | 28 |
| 22 | 13.29183065 | 87.5 | 131 | 38 | 40 | -6.21405147 | 25.46 | 100 | 25 | 32 | 8.147662086 | 1.22 | 17 |
| 20 | 8.61782692 | 93.4 | 146 | 38 | 40 | -7.76279816 | 23.32 | 106 | 24 | 30 | 7.938666201 | 2 | 35 |
| 23 | 13.50725086 | 109.48 | 136 | 45 | 54 | -3.49071896 | 26.14 | 113 | 35 | 20 | 6.62097037 | 2.31 | 32 |
| 28 | 16.05820151 | 113.94 | 130 | 45 | 45 | 21.31046023 | 30.4 | 110 | 25 | 40 | 8.78730593 | 1.71 | 30 |
| 24 | 19.53411352 | 109.29 | 133 | 39 | 27 | 23.55341921 | 28.9 | 116 | 20 | 36 | 11.02858073 | 1.99 | 29 |
| 27 | 14.79607155 | 123.17 | 147 | 42 | 35 | 22.66283857 | 34.81 | 114 | 22 | 19 | 14.11385147 | 3.27 | 32 |
| 20 | 18.80936621 | 104.69 | 135 | 50 | 50 | 12.6568745 | 27.14 | 97 | 23 | 40 | 8.52765455 | 1.87 | 25 |
| 43 | 12.29639269 | 106.82 | 133 | 36 | 44 | 20.31883028 | 27.43 | 106 | 22 | 30 | 10.4.37778 | 2.98 | 39 |
| 21 | 15.24423278 | 114.1 | 148 | 39 | 31 | 23.65314925 | 30.31 | 106 | 16 | 52 | 11.00277082 | 3.13 | 38 |
| 25 | 14.78820706 | 104.85 | 135 | 55 | 35 | -4.73309123 | 34.4 | 100 | 26 | 40 | 9.561567781 | 1.28 | 26 |
| 18 | 17.25820812 | 109.73 | 133 | 38 | 42 | 20.24460817 | 29.35 | 103 | 22 | 31 | 10.78810475 | 2.85 | 34 |
| 22 | 7.545453514 | 94.67 | 128 | 39 | 32 | -19.4205889 | 27.62 | 107 | 22 | 26 | 10.64523662 | 2.22 | 31 |
| 30 | 14.02695627 | 109.38 | 131 | 43 | 44 | -7.26226138 | 26.84 | 99 | 22 | 30 | 9.967462195 | 1.82 | 25 |
| 25 | 15.4275388 | 12.06 | 140 | 41 | 45 | -9.69681246 | 30.85 | 112 | 36 | 29 | 7.070759425 | 2.58 | 34 |
| 24 | 11.8347879 | 104.28 | 138 | 39 | 34 | 20.91244289 | 25.06 | 106 | 24 | 16 | 10.98045003 | 2.74 | 32 |
| 42 | 11.66983423 | 97.63 | 140 | 38 | 50 | -5.57978012 | 30.41 | 105 | 27 | 45 | 7.513318384 | 2.33 | 30 |
| 22 | 13.54646757 | 88.25 | 125 | 35 | 38 | -8.74446065 | 24.88 | 107 | 20 | 45 | 8.298498451 | 1.72 | 25 |
| 20 | 16.88540959 | 92.3 | 131 | 34 | 50 | -6.46206892 | 25.14 | 100 | 18 | 25 | 13.84161893 | 2.03 | 35 |
| 23 | 11.0168484 | 80.96 | 130 | 28 | 50 | -7.53805277 | 22.67 | 97 | 26 | 29 | 7.178482507 | 1.66 | 28 |
| 31 | 11.51721781 | 112.53 | 135 | 46 | 40 | -7.67903634 | 25.09 | 110 | 23 | 34 | 9.892002865 | 1.6 | 25 |
| 30 | 15.26379967 | 88.63 | 135 | 35 | 30 | 20.68890338 | 24.92 | 110 | 35 | 15 | 6.48810555 | 1.55 | 30 |
| 20 | 14.20791752 | 118.32 | 131 | 48 | 45 | -6.44356807 | 24.01 | 101 | 28 | 25 | 7.331687994 | 2.18 | 35 |
| 25 | 11.00620315 | 77.02 | 133 | 36 | 43 | -4.91455503 | 25.54 | 96 | 21 | 33 | 9.622402617 | 1.70 | 29 |
| 25 | 13.06725508 | 88.12 | 141 | 35 | 38 | -8.71884841 | 26.88 | 103 | 16 | 37 | 12.6576194 | 2.57 | 36 |
| 25 | 11.03336756 | 71.19 | 125 | 30 | 44 | -6.10371081 | 21.02 | 91 | 24 | 49 | 5.420739304 | 1.72 | 34 |

| Ca6 | Ca7 | Ca8 | Ca9 | Ca10 | Ca11 | Ca12 | Mdb1 | Mdb2 | Mdb3 | Mdb4 | Mdb5 | Mdb6 | Mdb7 | | |
|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 205 | 8.2 | 7.5 | 7.2 | 7.2 | 4.0 | 5.6 | 5.7 | 5.4 | 17.3 | 17.4 | 9.3 | 6.3 | 2.8 | 1.1 | 8.7 |
| 203 | 8.0 | 7.0 | 7.3 | 7.3 | 3.9 | 5.8 | 5.8 | 5.4 | 16.9 | 17.1 | 8.2 | 6.9 | 2.9 | 1.2 | 8.9 |
| 203 | 8.0 | 3.9 | 5.8 | 5.4 | 16.9 | 16.8 | 2.3 | 1.1 | 8.3 | | | | | | |
| 197 | 8.0 | 7.0 | 7.1 | 7.0 | 3.9 | 5.8 | 5.2 | 5.2 | 16.5 | 16.5 | 8.8 | 6.0 | 2.5 | 1.1 | 7.8 |
| 197 | 7.8 | 7.3 | 7.0 | 7.0 | 3.8 | 5.8 | 5.8 | 5.4 | 16.4 | 16.4 | 8.7 | 6.2 | 2.6 | 1.1 | 7.4 |
| 200 | 7.8 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 4.0 | 5.7 | 5.7 | 5.4 | 17.0 | 16.8 | 9.1 | 6.6 | 2.7 | 1.1 | 8.3 |
| 196 | 7.7 | 7.2 | 7.4 | 7.4 | 4.0 | 5.8 | 5.8 | 5.5 | 16.4 | 16.5 | 8.6 | 6.6 | 2.9 | 1.1 | 9.0 |
| 208 | 8.1 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 4.1 | 6.0 | 6.0 | 5.7 | 17.2 | 17.5 | 9.0 | 6.6 | 2.9 | 1.2 | 8.8 |
| 209 | 8.4 | 7.5 | 7.3 | 7.3 | 3.9 | 5.6 | 5.6 | 5.5 | 17.4 | 17.5 | 9.1 | 6.8 | 3.0 | 1.0 | 8.7 |
| 195 | 7.8 | 7.0 | 7.2 | 7.2 | 3.8 | 5.7 | 5.7 | 5.2 | 16.1 | 16.1 | 8.8 | 6.4 | 2.7 | 1.0 | 8.1 |
| 204 | 8.1 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 3.8 | 6.0 | 6.0 | 5.3 | 16.9 | 16.7 | 9.0 | 6.1 | 2.6 | 1.0 | 8.4 |
| 200 | 7.8 | 7.2 | 7.2 | 7.0 | 3.9 | 5.6 | 5.6 | 5.5 | 16.5 | 16.5 | 8.6 | 6.3 | 2.7 | 1.1 | 7.9 |
| 188 | 7.6 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 3.8 | 5.5 | 5.5 | 5.1 | 15.6 | 15.6 | 8.8 | 5.9 | 2.4 | 1.0 | 7.9 |
| 190 | 7.5 | 7.1 | 7.1 | 7.3 | 3.8 | 5.6 | 5.6 | 5.1 | 15.9 | 15.9 | 8.6 | 6.1 | 2.8 | 1.2 | 8.5 |
| 205 | 8.2 | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 3.8 | 5.9 | 5.9 | 5.7 | 16.8 | 16.7 | 8.9 | 6.5 | 2.8 | 1.1 | 7.8 |
| 196 | 7.7 | 7.3 | 7.6 | 7.6 | 4.0 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 16.6 | 16.5 | 9.0 | 6.9 | 2.8 | 1.1 | 8.7 |
| 191 | 7.8 | 7.0 | 7.3 | 7.3 | 3.8 | 5.7 | 5.7 | 5.5 | 16.0 | 16.0 | 8.8 | 6.1 | 2.6 | 1.1 | 8.4 |
| 204 | 8.1 | 7.2 | 7.6 | 7.6 | 3.9 | 5.9 | 5.9 | 5.7 | 17.7 | 17.7 | 9.3 | 6.9 | 3.0 | 1.2 | 9.0 |
| 201 | 8.0 | 7.2 | 7.6 | 7.6 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | 5.6 | 16.9 | 17.0 | 8.9 | 7.0 | 2.8 | 1.1 | 8.3 |
| 196 | 8.0 | 6.9 | 7.3 | 7.3 | 4.0 | 5.9 | 5.9 | 5.3 | 16.2 | 17.0 | 9.1 | 6.3 | 2.7 | 1.1 | 8.6 |
| 207 | 8.3 | 7.5 | 7.3 | 7.3 | 4.0 | 5.7 | 5.7 | 5.6 | 17.1 | 17.0 | 9.1 | 6.7 | 2.9 | 1.1 | 8.5 |
| 184 | 7.5 | 7.3 | 7.1 | 7.1 | 3.9 | 5.9 | 5.9 | 5.3 | 15.1 | 15.2 | 8.5 | 6.2 | 2.4 | 1.1 | 8.8 |
| 204 | 8.1 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 4.0 | 5.9 | 5.9 | 5.4 | 17.1 | 17.2 | 9.3 | 6.6 | 3.0 | 1.1 | 8.8 |
| 209 | 8.2 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 4.4 | 6.0 | 6.0 | 5.8 | 17.3 | 17.3 | 9.4 | 6.8 | 2.7 | 1.2 | 8.2 |
| 206 | 8.5 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 4.4 | 6.3 | 6.3 | 6.0 | 17.1 | 17.3 | 9.0 | 7.1 | 2.9 | 1.3 | 9.3 |
| 213 | 8.6 | 7.8 | 7.9 | 7.9 | 4.6 | 6.3 | 6.3 | 5.9 | 17.9 | 17.9 | 9.3 | 7.0 | 3.0 | 1.2 | 9.1 |
| 209 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 4.3 | 6.1 | 6.1 | 6.0 | 17.5 | 17.5 | 9.1 | 6.7 | 2.8 | 1.1 | 8.9 |
| 221 | 8.8 | 8.1 | 8.0 | 8.0 | 4.7 | 6.5 | 6.5 | 6.1 | 18.6 | 18.6 | 9.8 | 7.2 | 2.9 | 1.2 | 9.7 |
| 207 | 8.4 | 7.4 | 7.9 | 7.9 | 4.3 | 6.2 | 6.2 | 5.8 | 17.5 | 17.4 | 9.4 | 6.6 | 2.8 | 1.2 | 9.5 |
| 219 | 8.7 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 4.4 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 19.0 | 18.8 | 10.0 | 7.1 | 3.1 | 1.2 | 9.5 |
| 221 | 8.5 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 4.2 | 6.6 | 6.6 | 6.2 | 18.8 | 18.8 | 9.7 | 7.2 | 3.0 | 1.3 | 9.2 |
| 217 | 8.5 | 7.8 | 8.0 | 8.0 | 4.6 | 6.7 | 6.7 | 6.4 | 18.3 | 18.0 | 9.3 | 7.1 | 3.0 | 1.3 | 9.9 |
| 221 | 8.7 | 7.8 | 8.1 | 8.1 | 4.6 | 6.4 | 6.4 | 6.2 | 18.6 | 18.7 | 9.5 | 7.3 | 3.1 | 1.2 | 9.9 |
| 217 | 8.5 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 4.4 | 6.2 | 6.2 | 5.9 | 18.2 | 18.2 | 9.5 | 7.2 | 3.0 | 1.3 | 8.9 |
| 216 | 8.7 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 4.4 | 6.4 | 6.4 | 6.2 | 18.1 | 18.3 | 9.6 | 7.0 | 3.1 | 1.3 | 9.1 |
| 218 | 8.9 | 7.6 | 8.1 | 8.1 | 4.4 | 6.4 | 6.4 | 6.3 | 18.5 | 18.5 | 9.9 | 7.1 | 3.1 | 1.1 | 9.3 |
| 212 | 8.3 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 4.3 | 6.3 | 6.3 | 6.0 | 17.7 | 17.6 | 9.1 | 6.9 | 2.8 | 1.0 | 9.3 |
| 219 | 8.5 | 8.1 | 7.9 | 7.9 | 4.3 | 6.6 | 6.6 | 6.4 | 18.4 | 18.1 | 9.7 | 7.2 | 3.1 | 1.2 | 8.9 |
| 211 | 8.4 | 7.4 | 7.6 | 7.6 | 4.3 | 6.0 | 6.0 | 5.7 | 17.5 | 17.7 | 9.3 | 6.7 | 2.9 | 1.2 | 8.5 |
| 209 | 8.3 | 7.6 | 7.9 | 7.9 | 4.5 | 6.1 | 6.1 | 5.8 | 17.8 | 17.9 | 9.1 | 6.9 | 3.2 | 1.7 | 9.0 |
| 203 | 7.9 | 7.6 | 7.2 | 7.2 | 4.0 | 6.2 | 6.2 | 5.7 | 16.9 | 17.1 | 9.2 | 6.8 | 2.9 | 1.2 | 8.9 |
| 215 | 8.7 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 4.4 | 6.2 | 6.2 | 5.9 | 18.3 | 18.3 | 9.8 | 7.1 | 2.9 | 1.1 | 9.3 |
| 218 | 8.8 | 7.7 | 8.0 | 8.0 | 4.3 | 6.4 | 6.4 | 5.7 | 18.3 | 18.0 | 9.7 | 6.8 | 2.8 | 1.2 | 9.1 |
| 206 | 8.3 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 4.4 | 6.3 | 6.3 | 5.6 | 17.4 | 17.6 | 9.5 | 6.9 | 3.0 | 1.1 | 9.4 |
| 213 | 8.5 | 7.5 | 7.8 | 7.8 | 4.2 | 6.2 | 6.2 | 5.9 | 18.1 | 18.0 | 9.8 | 6.9 | 3.0 | 1.1 | 8.6 |
| 210 | 8.4 | 7.3 | 7.3 | 7.9 | 4.3 | 6.0 | 6.0 | 5.7 | 17.3 | 17.2 | 9.4 | 6.9 | 3.0 | 1.1 | 9.0 |
| 214 | 8.5 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 4.3 | 6.1 | 6.1 | 5.6 | 17.7 | 17.6 | 9.5 | 7.0 | 2.9 | 1.2 | 8.6 |

| Mdib8 | Digpdsajusitē | MASpdsajusitē | TEMpdsajusitē | PTepdsajusitē | Digpseajusitē | MASpseajusitē | TEMpseajusitē | PTepseajusitē |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2,7 | 0,13 | 0,18 | 0,23 | 0,12 | 0,06 | 0,24 | 0,23 | 0,12 |
| 2,7 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,23 | 0,15 |
| 2,6 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,24 | 0,13 |
| 2,7 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,23 | 0,23 | 0,12 |
| 2,5 | 0,11 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,19 | 0,21 | 0,13 |
| 2,5 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,24 | 0,25 | 0,14 |
| 2,8 | 0,13 | 0,20 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,23 | 0,14 |
| 2,9 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,23 | 0,25 | 0,17 |
| 2,8 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,25 | 0,14 |
| 2,8 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,25 | 0,14 |
| 2,7 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,05 | 0,18 | 0,23 | 0,13 |
| 2,7 | 0,12 | 0,18 | 0,22 | 0,12 | 0,05 | 0,24 | 0,23 | 0,14 |
| 2,8 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,25 | 0,25 | 0,14 |
| 2,7 | 0,11 | 0,19 | 0,23 | 0,12 | 0,05 | 0,22 | 0,24 | 0,12 |
| 2,7 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,24 | 0,16 |
| 2,7 | 0,13 | 0,17 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,24 | 0,16 |
| 2,7 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,21 | 0,23 | 0,14 |
| 2,7 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,23 | 0,13 |
| 2,7 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,12 | 0,05 | 0,22 | 0,24 | 0,14 |
| 2,8 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,25 | 0,16 |
| 2,8 | 0,12 | 0,18 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,20 | 0,22 | 0,15 |
| 2,9 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,23 | 0,25 | 0,15 |
| 2,9 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,24 | 0,24 | 0,13 |
| 2,8 | 0,11 | 0,17 | 0,23 | 0,11 | 0,06 | 0,24 | 0,23 | 0,14 |
| 2,8 | 0,12 | 0,18 | 0,25 | 0,13 | 0,06 | 0,23 | 0,27 | 0,12 |
| 2,7 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,13 | 0,07 | 0,23 | 0,27 | 0,13 |
| 2,6 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,13 | 0,06 | 0,25 | 0,29 | 0,15 |
| 2,9 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,14 | 0,06 | 0,24 | 0,28 | 0,17 |
| 2,8 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,13 | 0,07 | 0,23 | 0,25 | 0,13 |
| 2,9 | 0,12 | 0,19 | 0,24 | 0,12 | 0,06 | 0,24 | 0,24 | 0,14 |
| 3,0 | 0,12 | 0,19 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,20 | 0,27 | 0,14 |
| 3,0 | 0,13 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,07 | 0,22 | 0,23 | 0,13 |
| 3,0 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,05 | 0,21 | 0,26 | 0,14 |
| 3,0 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,12 | 0,06 | 0,24 | 0,23 | 0,14 |
| 3,0 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,24 | 0,25 | 0,13 |
| 3,1 | 0,12 | 0,19 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,24 | 0,24 | 0,15 |
| 2,8 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,07 | 0,23 | 0,23 | 0,13 |
| 2,8 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,07 | 0,24 | 0,23 | 0,13 |
| 2,7 | 0,11 | 0,18 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,22 | 0,25 | 0,13 |
| 3,0 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,24 | 0,25 | 0,17 |
| 2,8 | 0,13 | 0,18 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,26 | 0,24 | 0,12 |
| 2,9 | 0,12 | 0,19 | 0,24 | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,23 | 0,14 |
| 2,9 | 0,12 | 0,18 | 0,23 | 0,12 | 0,07 | 0,23 | 0,25 | 0,12 |
| 3,1 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,13 | 0,06 | 0,24 | 0,25 | 0,13 |
| 3,0 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,20 | 0,22 | 0,15 |
| 3,1 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,23 | 0,25 | 0,16 |
| 2,9 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,12 | 0,06 | 0,23 | 0,25 | 0,16 |
| 2,9 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,06 | 0,23 | 0,23 | 0,11 |

Annexe 4 : Inventaire des loups fournis pour le projet MorphoLoup par l'OFB

| Région de stockage de l'échantillon | Département d'origine de l'échantillon | Coordinateur | Numero Depouille (BDD) | Numero SAGIR | Autre numéro | Génotype | Date | Espèce | Type d'échantillon | Génétique |
|-------------------------------------|--|-------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|------------|--------|--------------------|-----------|
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard | D0414003 | Sagr 135676 | 180733 | S58-12 | 21/10/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard | D0415011 | Sagr 135677 | 180732 | S58-75 | 28/10/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard/Pierre-1 | D0416004 | Sagr 135669 | 180771 | S58-13 | 19/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard/Pierre-1 | D0416005 | Sagr 135149 | 180817 | S58-13 | 24/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418015 | Sagr 135149 | 180817 | S58-14 | | | | |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418016 | Sagr 137702 | 180818 | S36-19 | 27/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418017 | Sagr 135656 | 180848 | S58-15 | 13/12/2018 | Loup | Tête (décerébrés) | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0419002 | Sagr 135668 | 190117 | S63-03 | 26/01/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0419003 | Sagr 135655 | 190145 | S62-46 | 26/02/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420009 | Sagr 145207 | 200449 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420010 | Sagr 145208 | 200450 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420013 | Sagr 135138 | 200451 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420014 | Sagr 145233 | 200496 | ND | 21/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard | D0514001 | Sagr 101847 | 15019 | S1-7 | 09/01/2014 | Loup | Crâne | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard/Pierre-1 | D0515001 | Sagr 101847 | 15019 | S43-5 | 08/01/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard | D0515002 | Sagr A02061 | | S21-1 | 26/03/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard | D0515003 | Sagr A02062 | | S45-2 | 20/08/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard | D0515008 | Sagr 135123 | 170382 | S48-11 | 11/11/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Boulard/Pierre-1 | D0517003 | Sagr 135112 | 170382 | S58-52 | 24/07/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517009 | Sagr 135112 | | S54-35 | 12/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517010 | Sagr 135129 | 170581 | S54-36 | 01/11/2017 | Loup | Tête | G+ |

| Numero Depouille (BDD) | Numero SAGIR | Sexe | Poids | Age estime | Age minimum | Meute | Commune de dices | Mortalité | Lieu d'origine de stockage |
|---------------------------|--------------|------|-------|------------|-------------|------------------|-----------------------|-------------------|--|
| D0414003 | | F | | | NI | PARPAILLON UBAYE | LARCHE | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0415011 | | M | | <1 | <1 | COULOMP DALUIS | LE FUGERET | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0416004 | | F | | <1 | <1 | TROIS EVECHES | BACH-ALLOS | NA | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0416005 | | F | | <1 | <1 | MONGES | BAYONS | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0417004 | | NI | | | NI | SASSE | LA BREOLE | NA | Labo véto GAP |
| D0418003 | | M | | | <1 | VANSON | SISTERON | Naturelle | Labo véto GAP |
| D0418007 | | M | | 3 à 4 | <1 | MONGES | AUZET | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0418009 | | M | | 3 à 4 | <1 | ISSOLE VERDON | ANGLES | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0418012 | | F | | 3 à 4 | <1 | MONGES | SELONNET | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0418013 | | F | | 3 à 4 | <1 | COUSSON | LA JAVIE | Collision | Labo véto GAP |
| D0418014 | | F | | 3 à 4 | <1 | AUP | BARREME | NA | Labo véto GAP |
| D0418015 | | M | | 3 à 4 | <1 | MONGES | BARLES | NA | Labo véto GAP |
| D0418016 | | F | | 3 à 4 | <1 | MONGES | LA JAVIE | NA | Labo véto GAP |
| D0418017 | | F | | <1 | <1 | SASSE | TURRIERS | Collision | Labo véto GAP |
| D0419002 | | M | | 3 à 4 | <1 | ISSOLE VERDON | MORIEZ | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0419003 | | M | | | <1 | VANSON | SISTERON | Collision | Labo véto GAP |
| D0420009 | | ND | | | ND | PARPAILLON UBAYE | LARCHE | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0420010 | | M | | | ND | PARPAILLON UBAYE | LARCHE | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0420013 | | M | | | ND | MONGES | AUZET | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0420014 | | F | | | ND | COULOMP DALUIS | CASTELLET LES SAUSSES | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0514001 | | NI | | | NI | DURBON | ST DISDIER | NA | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0515001 | | F | | <1 | <1 | BEAL TRAVERSIER | ARVIEUX | NA | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0515002 | | F | | | | BEAL TRAVERSIER | ARVIEUX | Collision | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0515003 | | F | | | | BEAL TRAVERSIER | AGNIERES EN DEVOLUY | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0515008 | | F | | 32,1 5 à 6 | <1 | DURBON | LA CLUSE | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0517003 | | M | | <1 | <1 | 1 RIPA HAUT GUIL | CE RIVIERES | Tir réglementaire | ONCFS Glerres - Grand Congel Bureau Louise |
| D0517009 | | M | | <1 | <1 | OBILOU | ST DISDIER | Tir réglementaire | Labo véto GAP |
| D0517010 | | M | | 3 à 4 | <1 | RIPA HAUT GUIL | CERVIERES | Tir réglementaire | Labo véto GAP |

| Région de stockage de l'échantillon | Département d'origine de l'échantillon | Coordinateur | Numéro Dépouille (BDD) | Numero SAGIR | Autre numéro | Génotype | Date | Espèce | Type d'échantillon | Génétiqque |
|-------------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|------------|--------|--------------------|------------|
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517011 | Sagr 135126 | 17D595 | S54-37 | 09/11/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518002 | Sagr 137706 | 18D76 | S54-39 | 30/01/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518003 | Sagr 126630 | 18D104 | S54-40 | 09/02/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518005 | Sagr 137718 | 18D437 | S58-53 | 02/07/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518009 | Sagr 135146 | 18D574 | S58-20 | 30/08/2016 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518011 | Sagr 135131 | 18D629 | S58-22 | 13/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518012 | Sagr 139891 | 18D644 | S58-23 | 20/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518014 | Sagr 135148 | 18D744 | S58-25 | 02/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518015 | Sagr 139893 | 18D862 | S62-08 | 18/12/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Bouliard | D0414003 | | | S1-8 | 02/10/2014 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Bouliard | D0415011 | | | S52-07 | 29/11/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Pierre-Idoua Bouliard | ID0416004 | | | S52-35 | 28/10/2016 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Pierre-Idoua Bouliard | ID0416005 | | | S52-18 | 03/11/2016 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0417004 | | | S1-8 | 16/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418003 | Sagr 135670 | 18D271 | S58-07 | 07/04/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418007 | Sagr 135675 | 18D606 | S58-08 | 25/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418009 | Sagr 135653 | 18D658 | S58-10 | 24/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418012 | Sagr 135676 | 18D733 | S58-12 | 21/10/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418013 | Sagr 135677 | 18D732 | S58-75 | 28/10/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418014 | Sagr 135669 | 18D771 | S58-13 | 19/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418015 | Sagr 135149 | 18D817 | S58-14 | 24/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418016 | Sagr 137702 | 18D818 | S36-20 | 27/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0418017 | Sagr 135656 | 18D848 | S58-16 | 13/12/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0419002 | Sagr 135668 | 19D173 | S63-04 | 26/01/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0419003 | Sagr 135655 | 19D201 | S62-47 | 26/02/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420009 | Sagr 145207 | 20D449 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420010 | Sagr 145208 | 20D450 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420013 | Sagr 135138 | 20D451 | ND | 15/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D0420014 | Sagr 145233 | 20D496 | ND | 21/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard | D0514001 | | | S1-8 | 09/01/2014 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard/Pierre-Idoua Bouliard | ID0515001 | | 15D20 | S43-6 | 08/01/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard | D0515002 | Sagr A02063 | | S21-2 | 26/03/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard | D0515003 | Sagr A02064 | | S45-3 | 20/08/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard | D0515008 | | | S48-12 | 11/11/2015 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Hauts-Alpes | Louise Bouliard/Pierre-Idoua Bouliard | ID0517003 | | 17D382 | S58-53 | 24/07/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517009 | Sagr 135123 | | S54-35 | 12/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517010 | Sagr 135112 | 17D581 | S54-36 | 01/11/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0517011 | Sagr 135126 | 17D595 | S54-37 | 09/11/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518002 | Sagr 137706 | 18D76 | S54-39 | 30/01/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D0518003 | Sagr 126630 | 18D104 | S54-40 | 09/02/2018 | Loup | Tête | G+ |

| Numéro Depouille (BDJ) | Numéro SAGIR | Sexe | Poids | Age estimé | Age minimum | Meute | Commune de décès | Mortalité | Lieu d'origine de stockage |
|------------------------|--------------|------|-------|------------|-------------|---|-----------------------|---------------------|---|
| DD517011 | Sagr 135126 | M | | | <1 | MORGON | CHATEAURoux | NA | Labo veto GAP |
| DD518002 | Sagr 137706 | F | | | 1 <1 | DURBON | VEYNES | Collision | Labo veto GAP |
| DD518003 | Sagr 126630 | M | | | <1 | MORGON | CROTS | NA | Labo veto GAP |
| DD518005 | Sagr 137718 | F | | 3 à 4 | | 1 GUISANE | LE MONETIER LES BAINS | NA | Labo veto GAP |
| DD518009 | Sagr 135146 | M | | | | 2 CHABRIERES | REALLON | NA | Labo veto GAP |
| DD518011 | Sagr 135131 | M | | <1 | <1 | CHABRIERES | REALLON | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD518012 | Sagr 139891 | F | | 3 à 4 | <1 | CHABRIERES | ANCELLE | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD518014 | Sagr 135148 | F | | <1 | <1 | GUISANE | LE MONETIER | Collision | Labo veto GAP |
| DD518015 | Sagr 139893 | F | | <1 | <1 | DURBON | ST JUEN EN BEAUCHENE | Collision | Labo veto GAP |
| DD414003 | | M | | | | 3 BEAUMONT VALGAU VILLAR LOUBIERE | NA | | Labo veto GAP |
| DD415011 | | M | | 3 à 4 | | 1 FOURAN | CHATEAURoux | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD416004 | | M | | | | CHAMPsAUR | ORCIERES | Mortalité naturelle | Labo veto GAP |
| DD416005 | | F | | | | CHABRIERES | ANCELLE | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD418003 | Sagr 135670 | F | | | | CHABRIERES | ANCELLE | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD418007 | Sagr 135675 | F | | | | BEAL TRAVERSIER | CEILLAC | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD418009 | Sagr 135653 | M | | | | CHABRIERES | AVANCON | NA | Labo veto GAP |
| DD418012 | Sagr 135676 | M | | | | CHABRIERES | ANCELLE | Tir réglementaire | Labo veto GAP |
| DD418013 | Sagr 135677 | F | | | | RIPA HAUT GUIL | ABRIES | Collision | Labo veto GAP |
| DD418014 | Sagr 135669 | F | | 23 | 1 ND | AUDIBERGUE | ESCRAGNOLLES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD418015 | Sagr 135149 | F | | 26 | <1 | 1 TEILLON HAUT ESTER ST VALLIER DE THIEY | SERANON | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD418016 | Sagr 137702 | M | | 25 <1 | <1 | THIEY CAUSSOLS | ST AUBAN | NA | OFB Gap |
| DD418017 | Sagr 135656 | F | | | <1 | HAUTE TINEE | ISOLA | NA | OFB Gap |
| DD419002 | Sagr 135668 | M | | | <1 | HAUTE TINEE | ISOLA | NA | OFB Gap |
| DD419003 | Sagr 135655 | F | | 25 | <1 | | | | OFB Gap |
| DD420009 | Sagr 145207 | M | | 37 | | COULOMP DALUIS | LA CROIX SUR ROUDOULE | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD420010 | Sagr 145208 | M | | 34 | <1 | 2 THIEY CAUSSOLS | ST VALLIER DE THIEY | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD420013 | Sagr 135138 | M | | 33 | <1 | AUDIBERGUE | ESCRAGNOLLES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD420014 | Sagr 145233 | F | | 26 | <1 | LA BERNARDE | GREOLIERES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD514001 | | M | | 30 | <1 | PREALPES DE MENTON | PELLE | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD515001 | Sagr 101847 | F | | 26 | <1 | PREALPES DE MENTON | PELLE | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD515002 | Sagr AO2063 | F | | 20 | <1 | CHEIRON | COURSEGOULES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD515003 | Sagr AO2064 | M | | 27 | | 1 CHEIRON | COURSEGOULES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD515008 | | F | | 27 | | 1 THIEY CAUSSOLS | GOURDON | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD517003 | Sagr 135123 | M | | 30 | | 1 VESUBIE ROYA | BREL SUR ROYA | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD517009 | Sagr 135112 | F | | 19 | | 1 BLEINE | GREOLIERES | Tir réglementaire | OFB Gap |
| DD517010 | Sagr 135129 | M | | 34 3 à 4 | | 1 NA | CHAFFOIS | Collision | ONCFS Glères - Grand Congel Bureau Louise |
| DD517011 | Sagr 135126 | M | | | 1 ND | VERCORS HAUTS PLA TRESCHENU CREYERS | Naturelle | | ONCFS Glères - Grand Congel Bureau Louise |
| DD518002 | Sagr 137706 | M | | 32,5 7 à 8 | <1 | VERCORS OUEST | BARBIERES | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| DD518003 | Sagr 126630 | F | | 27 | <1 | VERCORS OUEST | ORIOU EN ROYANS | Collision ou chute | Clermont-Ferrand |

| Région de stockage de l'échantillon | Département d'origine de l'échantillon | Coordinateur | Numéro Dépouille (BDD) | Numéro SAGIR | Autre numéro | Génotype | Date | Espèce | Type d'échantillon | Génétique | |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|------|------------|--------------------|-----------|----|
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18005 | Sagir 137718 | 180437 | S58-53 | | 02/07/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18009 | Sagir 135146 | 180574 | S58-20 | | 30/08/2016 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18011 | Sagir 135131 | 180629 | S58-22 | | 13/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18012 | Sagir 139891 | 180644 | S58-23 | | 20/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18014 | Sagir 135148 | 180744 | S58-25 | | 02/11/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Hauts-Alpes | | D05.18015 | Sagir 139893 | 180862 | S62-09 | | 18/12/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard | D04.14003 | | | S1-9 | | 02/10/2014 | Loup | Crâne | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard | D04.15011 | | | S52-07 | | 29/11/2015 | Loup | Crâne | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard/Pierre-Edouard | D04.16004 | | | S52-35 | | 28/10/2016 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Alpes de Haute Provence | Louise Boulard/Pierre-Edouard | D04.16005 | | | S52-18 | | 03/11/2016 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Alpes de Haute Provence | | D04.17004 | | | S1-9 | | 16/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17005 | Sagir 128945 | 170825005059 | S54-20 | | 25/08/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17006 | Sagir 128940 | 170828005073 | S54-21 | | 27/08/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17007 | Sagir 138234 | | S54-22 | | 20/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Isère | Louise Boulard | D73.17008 | Sagir 128938 | 170817004957 | S54-23 | | 15/08/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17010 | Sagir 138236 | | S56-34 | | 24/11/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17011 | Sagir 138238 | | S54-24 | | 18/11/2017 | Loup | Crâne | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Isère | Louise Boulard | D73.17012 | Sagir 128939 | 170817004960 | S54-25 | | 17/08/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.17013 | Sagir 138237 | | S56-29 | | 09/12/2017 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18001 | Sagir 138239 | | S54-26 | | 11/01/2018 | Loup | Crâne | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18004 | Sagir 128946 | | S56-14 | | 08/07/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18005 | Sagir 135643 | | S56-15 | | 13/07/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18006 | Sagir 135647 | | S56-18 | | 23/08/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18007 | Sagir 135648 | | S55-30 | | 25/08/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | Louise Boulard | D73.18009 | Sagir 135637 | | S58-42 | | 06/09/2018 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19007 | Sagir 139539 | | S64-47 | | 31/05/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19009 | Sagir 139513 | | S64-48 | | 09/07/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19010 | Sagir 128947 | | ND | | 18/07/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19013 | Sagir 135639 | | S67-42 | | 03/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19014 | Sagir 128949 | | S69-93 | | 05/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19015 | Sagir 139488 | | ND | | 09/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19016 | Sagir 139489 | | ND | | 14/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19017 | Sagir 139487 | | ND | | 05/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19018 | Sagir 139494 | | ND | | 09/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19020 | Sagir 139520 | | ND | | 21/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19022 | Sagir 143056 | | S67-43 | | 29/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.19026 | Sagir 139522 | | S69-94 | | 20/10/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D73.20001 | Sagir 139524 | | ND | | 05/01/2020 | Loup | Tête | G+ |

| Numéro Dapouille (BDD) | Numéro SAGIR | Sexe | Poids | Age estimé | Age minimum | Meute | Commune de décès | Mortalité | Lieu d'origine de stockage |
|---------------------------|--------------|------|------------|------------|-------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---|
| D0518005 | Sagir 137718 | M | 16 | | NI | VENTOURET | MONTBRUN LES BAINS | NA | Diermont-Ferrand |
| D0518009 | Sagir 135146 | M | 36,3 à 4 | | ND | 1 LA RAYE | COMBOVIN | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D0518011 | Sagir 135131 | F | 31,5 | | ND | LA RAYE | OURCHES | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D0518012 | Sagir 139891 | M | | | ND | LA RAYE | OURCHES | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D0518014 | Sagir 135148 | ND | | | ND | LA RAYE | GIGORS ET LOZERON | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D0518015 | Sagir 139893 | ND | | | ND | VERCORS OUEST | BOUVANTE | NA | Diermont-Ferrand |
| D0414003 | | F | | | | 1 TRIEVES | CHICILLANNE | NA | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D0415011 | | M | | | | 8 HAUTE MAURIENNE | LANSLEBOURG MONT CENNA | NA | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D0416004 | | F | 13,8 <1 | | <1 | GALIBIER THABOR | VALMEINER | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D0416005 | | M | 31,6 3 à 4 | | ND | BEAUFORTAIN | LA LECHERE | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D0417004 | | M | 19,2 <1 | | <1 | ARVAN | ST COLOMBAN DES VILLAT | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317005 | Sagir 128945 | F | 29 | | <1 | 1 LAUZIERE | MONTSAPEY | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317006 | Sagir 128940 | M | 31,4 | | <1 | LAUZIERE | BONVILLARET | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317007 | Sagir 138234 | M | | | <1 | ENCOMBRES | ST MARTIN DE BELLEVILLE | NA | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317008 | Sagir 138234 | F | 25 5 à 6 | | <1 | 1 GALIBIER THABOR | VALLOIRE | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317010 | Sagir 138236 | M | 34 3 à 4 | | <1 | BELLEDONNE NORD | ST REMY DE MAURIENNE | Collision | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317011 | Sagir 138238 | F | | | <1 | HAUTE MAURIENNE | ST ANDRE | Collision | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317012 | Sagir 128939 | M | | | <1 | 1 BEAUFORTAIN | LA LECHERE | NA | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7317013 | Sagir 138237 | M | 16,7 | | <1 | GALIBIER THABOR | FRENEY | NA | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318001 | Sagir 138239 | M | | | <1 | BEAUFORTAIN | LA LECHERE | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318004 | Sagir 128946 | M | 29,5 3 à 4 | | | 1 LAUZIERE | LA LECHERE | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318005 | Sagir 135643 | M | 30,3 3 à 4 | | | 1 ENCOMBRES | PONTAMAFREY | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318006 | Sagir 135647 | M | 3 à 4 | | | ENCOMBRES | MONTPASCAL | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318007 | Sagir 135648 | M | 36,3 3 à 4 | | <1 | BEAUFORTAIN | LA LECHERE | Tir réglementaire | ONCSF Gières - Grand Congel Bureau Louise |
| D7318009 | Sagir 135637 | F | 26,5 3 à 4 | | <1 | BELLEDONNE | CHAMPLAURENT | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D7319007 | Sagir 139539 | M | | | | 1 ENCOMBRES | PLANAVY | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D7319009 | Sagir 139513 | M | 34 | | | 1 BELLECOTE | BELLENTRE | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D7319010 | Sagir 128947 | M | | | ND | ARVAN | ST MARTIN DE BELLEVILLE | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319013 | Sagir 135639 | M | | | | 1 BELLEDONNE | ST ALBAN DES | Tir réglementaire | Diermont-Ferrand |
| D7319014 | Sagir 128949 | F | | | ND | NORD | HURTIERES | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319015 | Sagir 139488 | ND | | | ND | 1 BEAUFORTAIN | LA LECHERE | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319016 | Sagir 139489 | M | | | ND | NA | PONTAMAFREY MONTPASNA | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319017 | Sagir 139487 | F | | | ND | BEAUFORTAIN | LA LECHERE | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319018 | Sagir 139494 | M | | | ND | BEAUFORTAIN | LA LECHERE | NA | Diermont-Ferrand |
| D7319020 | Sagir 139520 | M | 11 <1 | | ND | BEAUFORTAIN | GRANIER | Bracottage (tir) | Diermont-Ferrand |
| D7319022 | Sagir 143056 | M | 14,1 <1 | | <1 | BELLEDONNE | ST REMY DE | Mise à mort | Diermont-Ferrand |
| D7319026 | Sagir 139522 | ND | | | <1 | NORD | MAURIENNE | NA | Diermont-Ferrand |
| D7320001 | Sagir 139524 | F | | | ND | GALIBIER THABOR | ST MARTIN DE LA PORTE | NA | Diermont-Ferrand |

| Région de stockage de l'échantillon | Département d'origine de l'échantillon | Coordinateur | Numéro Depouille (BDD) | Numéro SAGIR | Autre numéro | Génotype | Date | Espèce | Type d'échantillon | Génétique |
|-------------------------------------|--|------------------------|------------------------|--------------|--------------|----------|------------|--------|--------------------|-----------|
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320003 | \$agr 139501 | | ND | 18/04/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320004 | \$agr 135630 | | ND | 11/05/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320005 | \$agr 139498 | | ND | 10/07/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320006 | \$agr 126927 | | ND | 18/07/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320007 | \$agr 134007 | | ND | 26/07/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Isère | | D7320008 | \$agr 134008 | | ND | 01/08/2020 | | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Isère | | D7320010 | \$agr 139497 | | ND | 12/08/2020 | | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320011 | \$agr 134010 | | ND | 14/08/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320013 | \$agr 134020 | | ND | 19/08/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320015 | \$agr 134027 | | ND | 08/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Haute-Savoie | | D7419001 | \$agr 143065 | | SS9-44 | 26/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Haute-Savoie | | D7420001 | \$agr 143084 | | ND | 28/06/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Haute-Savoie | | D7420002 | \$agr 128529 | | ND | 09/07/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Var | Louise Boulard/Pierre- | D8316001 | \$agr 148756 | | SS2-39 | 19/08/2016 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8317002 | \$agr 132984 | | ND | 21/03/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8317003 | \$agr 136124 | | ND | 18/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8317004 | \$agr 136126 | | ND | 23/10/2017 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8318001 | \$agr 136130 | | SS9-95 | 20/02/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8318002 | \$agr 136131 | | SS9-01 | 21/02/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8318003 | \$agr 136133 | | ND | 17/04/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8318005 | \$agr 143545 | | SS7-34 | 14/10/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8318007 | \$agr 132986 | | ND | 14/03/2018 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319003 | \$agr 143553 | 2019-1034 | SS7-37 | 09/02/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319004 | \$agr 143555 | | SS2-25 | 23/02/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319006 | \$agr 143558 | | ND | 15/05/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319007 | \$agr 136134 | | ND | 15/05/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319008 | \$agr 136137 | | S40b-21 | 30/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319009 | \$agr 136138 | | S1-7 | 30/08/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8319010 | \$agr 136141 | | SS7-23 | 05/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| PACA | Var | | D8320003 | \$agr 136142 | | ND | 12/02/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320014 | \$agr 134028 | | ND | 02/09/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320002 | \$agr 134003 | | SS70-35 | 16/02/2020 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7319019 | \$agr 139499 | | ND | 18/09/2019 | Loup | Tête | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Isère | | D3820002 | \$agr 142859 | | ND | 28/03/2020 | Loup | Depouille complète | G+ |
| Auvergne Rhône-Alpes | Savoie | | D7320012 | \$agr 134019 | | ND | 19/08/2020 | Loup | Depouille complète | G+ |

| Numéro Dépouille (BDJ) | Numéro SAGIR | Sexe | Poids | Age estimé | Age minimum | Meute | Commune de décès | Mortalité | Lieu d'origine de stockage |
|------------------------|--------------|------|-------|------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|--|
| D7320003 | Sagr/ 139501 | F | 17,6 | | ND | TROIS VALLEES | ST MARTIN DE BELLEVILLE NA | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320004 | Sagr/ 135630 | M | 32,5 | | ND | TROIS VALLEES | PRALOIGNAN LA VANOISE | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320005 | Sagr/ 139498 | F | 25,6 | | ND | LAUZIERE | MONTSAPEY | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320006 | Sagr/ 126927 | ND | | | ND | GALBIER THABOR | ORELLE | NA | Clermont-Ferrand |
| D7320007 | Sagr/ 134007 | ND | | | ND | TROIS VALLEES | ST JEAN DE BELLEVILLE | NA | Clermont-Ferrand |
| D7320008 | Sagr/ 134008 | ND | | | ND | TROIS VALLEES | LES ALLUES | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320010 | Sagr/ 139497 | ND | | | ND | LAUZIERE | MONTSAPEY | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320011 | Sagr/ 134010 | ND | | | ND | GALBIER THABOR | VALLOIRE | NA | Clermont-Ferrand |
| D7320013 | Sagr/ 134020 | ND | | | ND | GALBIER THABOR | VALLOIRE | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320015 | Sagr/ 134027 | ND | | | ND | GRAND ARC | BONVILLARD | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7419001 | Sagr/ 143065 | M | 37 | | | 2 LES BORNES | LES VILLARDS SUR THONES | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7420001 | Sagr/ 143084 | F | 24,2 | | 1 ND | LES BORNES | LES VILLARDS SUR THONES | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7420002 | Sagr/ 128529 | F | 24,8 | | ND | LES BORNES | LE PETIT BORNAND LES GL | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D8316001 | Sagr/ 148756 | M | <1 | | <1 | CANUERS EST | SELLANS | Tir réglementaire | ONCS Gieres - Grand Congel Bureau Louise |
| D8317002 | Sagr/ 132984 | F | <1 | | ND | CANUERS EST | BARGEMON | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8317003 | Sagr/ 136124 | M | | | ND | SAINTE CROIX CANU AIGUINES | | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8317004 | Sagr/ 136126 | F | 15 <1 | | ND | CANUERS EST | SEILLANS | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8318001 | Sagr/ 136130 | M | 30 | | <1 | TRIGANCE | COMPS SUR ARTUBY | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8318002 | Sagr/ 136131 | M | 22 | | <1 | TRIGANCE | COMPS SUR ARTUBY | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8318003 | Sagr/ 136133 | M | 34 | | ND | SAINTE CROIX CANU AIGUINES | | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8318005 | Sagr/ 143545 | F | 26 | | <1 | SAINTE CROIX CANUERS | AMPUS | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8318007 | Sagr/ 132986 | ND | | | ND | SAINTE CROIX CANUERS | AMPUS | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319003 | Sagr/ 143553 | M | 29 | | <1 | QUEST VAR | LA VERDIERE | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319004 | Sagr/ 143555 | F | 20 | | 1 | 1 MONT AURELIEN | POURCEUX | Collision | OFB Gap |
| D8319006 | Sagr/ 143558 | M | 30 | | ND | CANUERS EST | COMPS SUR ARTUBY | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319007 | Sagr/ 136134 | F | | | ND | CANUERS EST | COMPS SUR ARTUBY | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319008 | Sagr/ 136137 | F | 25 | | | 6 CANUERS EST | SEILLANS | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319009 | Sagr/ 136138 | M | 13 <1 | | NI | CANUERS EST | SEILLANS | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8319010 | Sagr/ 136141 | F | 24 | | | 2 ESPAGNIERES | FOX AMPHOUX | Tir réglementaire | OFB Gap |
| D8320003 | Sagr/ 136142 | ND | | | ND | MAURES | LA MOLE | Collision | OFB Gap |
| D7320014 | Sagr/ 134028 | NI | | | ND | BELLEDONNE NORD | ST ALBAN DES HURTIERES | Tir réglementaire | Clermont-Ferrand |
| D7320002 | Sagr/ 134003 | F | 28 | | ND | GALBIER THABOR | ORELLE | Collision | Clermont-Ferrand |
| D7319019 | Sagr/ 139499 | M | <1 | | ND | ARVAN | ST MARTIN DE LA PORTE | NA | Clermont-Ferrand |
| D3820002 | Sagr/ 142859 | F | | | ND | VERCORS NORD | VEUREY VOROIZE | Tir réglementaire | Vallées |
| D7320012 | Sagr/ 134019 | M | | | ND | GALBIER THABOR | VALLOIRE | Tir réglementaire | Alton |

Justine JOSEPH

Etude morpho-fonctionnelle de l'appareil masticateur chez le loup gris français (*Canis lupus italicus*) et exploration du dimorphisme sexuel

Morpho-functional study of the masticatory system in the French gray wolf (*Canis lupus italicus*) and exploration of sexual dimorphism

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 16 décembre 2024

Résumé

Le retour du loup gris, *Canis lupus italicus*, sur le territoire français offre une opportunité unique de mener de nouvelles études sur les adaptations morpho-fonctionnelles de ce grand prédateur à son environnement. Dans cette étude préliminaire, nous nous sommes attachés à examiner le dimorphisme sexuel de l'appareil masticateur au sein d'un échantillon de 47 spécimens provenant du Sud-Est de la France. Plus précisément, nous avons exploré les différences entre mâles et femelles à deux niveaux. D'une part, la morphologie des muscles masticateurs, analysée grâce à des données issues de dissections et d'autre part, la morphologie osseuse du crâne et de la mandibule, étudiée à partir de mesures craniométriques réalisées numériquement sur des reconstructions 3D des ossements des têtes disséquées.

Nos résultats mettent en évidence un dimorphisme sexuel principalement lié à la taille : les mâles présentent un crâne et des muscles masticateurs significativement plus volumineux et puissants que ceux des femelles. En outre, nous avons observé que, proportionnellement à la taille, les mâles possèdent un muscle temporal plus développé. Ce développement s'accompagne d'un neurocrâne relativement plus réduit chez les mâles, alors que la largeur de l'arcade zygomatique reste constante, suggérant ainsi un élargissement de la fosse temporale qui accueille le muscle temporal.

Cette base de données inédite ouvre de nombreuses perspectives pour des recherches futures, notamment des études comparatives avec d'autres canidés.

Mots clés

Loup gris français

Canis lupus italicus

Système stomatognathique

Dimorphisme sexuel

Myologie

Craniométrie

Thèse soutenue à Nantes le 16 décembre 2024