



**HAL**  
open science

# Réalisation et apport pédagogique d'un mannequin de simulation pour l'apprentissage de la palpation abdominale du chien

Chloé Bui

► **To cite this version:**

Chloé Bui. Réalisation et apport pédagogique d'un mannequin de simulation pour l'apprentissage de la palpation abdominale du chien. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04630344

**HAL Id: dumas-04630344**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04630344>**

Submitted on 1 Jul 2024

**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 THESE : 2024 – TOU 3 – 4015

---

# REALISATION ET APPORT PEDAGOGIQUE D'UN MANNEQUIN DE SIMULATION POUR L'APPRENTISSAGE DE LA PALPATION ABDOMINALE DU CHIEN

---

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**BUI Chloé, Marie, Fanny**

**Directeur de thèse : M. Laurent-Xavier  
NOUVEL**

---

## JURY

PRESIDENTE :

**Mme Armelle DIQUELOU**

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Laurent-Xavier NOUVEL**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Mme Sophie PALIERNE**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITES :

**Dr. Maelenn AUFRAY**

Maître de Conférences, CIRIMAT

**Dr. David GROSSIN**

Maître de Conférences, CIRIMAT

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire**

**Directeur : Professeur Pierre SANS**

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

**PROFESSEURS 2<sup>ème</sup> CLASSE**

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

## MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

## MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie de santé des bovins*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **FUSADE-BOYER Maxime**, *Microbiologie et infectiologie*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie pathologique*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

## INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
- Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
- Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

**A Madame la Professeure Armelle DIQUELOU,**

Professeure de l'Ecole Vétérinaire de Toulouse  
Praticien hospitalier  
*Médecine interne*

*Pour m'avoir fait découvrir l'importance de la palpation abdominale et encouragé tout au long de ce projet,*

*Pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse. Sincères remerciements.*

**A Madame la Docteure Sophie PALIERNE,**

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Chirurgie des animaux de compagnie*

*Pour m'avoir permis d'apercevoir le monde de l'impression 3D en chirurgie et pour votre aide tout au long de ce voyage. Remerciements les plus sincères.*

**A Monsieur le Docteur Xavier NOUVEL,**

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Pathologie de la reproduction*

*Pour votre soutien et aide infinis dans les innovations et les idées les plus insolites. Pour votre aide et énergie à toute épreuve. Merci de m'avoir encadré dans ce défi.*

**A Madame Maëlen AUFRAY et Monsieur David GROSSIN, Maître de conférences au CIRIMAT,**

*Sans qui, l'aboutissement de cette maquette n'aurait pas eu lieu, merci pour votre temps et votre aide précieuse.*

## Table des matières

Liste des annexes.....	5
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	7
Liste des abréviations.....	8
Introduction .....	9
<b>I. Problématique : Quelle est la nécessité d'utiliser un mannequin de palpation abdominale en médecine vétérinaire ? .....</b>	<b>10</b>
<b>A. L'état des lieux de la palpation abdominale canine dans la médecine vétérinaire .....</b>	<b>10</b>
1. L'importance de la palpation abdominale lors d'examen clinique du chien .....	10
a) Le déroulement de la palpation abdominale chez le chien .....	10
b) L'importance de la palpation pour le diagnostic .....	14
c) Les particularités de la palpation abdominale chez le chien .....	15
2. L'apprentissage de la palpation abdominale en milieu universitaire.....	15
3. Les difficultés de l'apprentissage de la palpation abdominale .....	17
4. Les modèles existants de palpation abdominale de carnivore .....	19
<b>B. Les choix autour de la réalisation du mannequin d'abdomen de chien .....</b>	<b>22</b>
<b>II. L'élaboration du mannequin d'abdomen de chien sain : choix et stratégies de la fabrication à la conception .....</b>	<b>23</b>
<b>A. Le cahier des charges.....</b>	<b>23</b>
<b>B. L'aspect extérieur du mannequin .....</b>	<b>24</b>
<b>C. La conception d'un premier organe : la rate.....</b>	<b>24</b>
1. L'acquisition de l'image 3D de la rate grâce au scanner .....	24
2. Le traitement de l'image 3D de la rate grâce à 3D Slicer® .....	26
3. La fabrication du moule de la rate.....	27
a) Le choix de la méthode d'impression du moule de la rate en 3D.....	27
b) L'acquisition et traitement de l'image 3D du moule de la rate grâce à Openscad® et Ultimaker Cura® .....	28
c) L'impression du moule de la rate.....	31
2. L'usage du silicone pour imiter la texture de la rate.....	32

3. La fabrication des attaches de la rate dans l'abdomen.....	39
<b>D. La conception des éléments extra abdominaux.....</b>	<b>41</b>
1. De la palpation de tissu de peluche à la palpation d'une peau de chien .....	41
a) La transformation du tissu en fausse peau.....	41
b) La mise en place des volets d'ouverture sur l'abdomen.....	44
c) Imitation du tissu adipeux.....	46
2. De la palpation de la peluche couchée à la palpation du chien debout.....	48
a) La fabrication du squelette appendiculaire.....	48
b) La fabrication du squelette axial .....	50
3. De la peluche instable au chien immobile.....	52
<b>III. Synthèse des étapes de fabrication du mannequin de palpation abdominale Scraps .....</b>	<b>53</b>
<b>A. La mesure du shoreness sur organes pour une bonne fidélité du silicone .....</b>	<b>53</b>
<b>B. L'obtention du moule de rate à partir d'un scanner.....</b>	<b>53</b>
<b>C. L'impression 3D du thorax à partir d'un scanner .....</b>	<b>54</b>
<b>D. Le résultat final : le mannequin Scraps.....</b>	<b>55</b>
<b>IV. Discussions .....</b>	<b>56</b>
<b>A. Le choix des différents matériaux .....</b>	<b>56</b>
<b>B. Le choix des types de modélisation et du moule.....</b>	<b>57</b>
<b>C. Les avantages du modèle inerte et immobile.....</b>	<b>58</b>
<b>D. Les inconvénients du modèle inerte et immobile.....</b>	<b>58</b>
<b>V. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>59</b>
<b>A. Les perspectives à court terme sur le mannequin Scraps .....</b>	<b>60</b>
1. L'ajout d'un capteur de pression sur Scraps.....	60
2. La fabrication de rates pathologiques.....	60
3. L'ajout ou l'amélioration des d'éléments extra-abdominaux de Scraps .....	61
4. L'affinage lds mesures liées au matériau composant Scraps.....	61
<b>B. Les perspectives à long terme sur le mannequin Scraps .....</b>	<b>61</b>
1. La confection de tous les organes abdominaux.....	61
2. L'amélioration du capteur de pression .....	61

<b>Bibliographie .....</b>	<b>64</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>66</b>

## Liste des annexes

ANNEXE 1 : Liste du matériel et coûts associés pour la fabrication de Scraps.....	66
ANNEXE 2 : Etapes de fabrication des deux parties du moule de la rate sur le logiciel Openscad® .....	67

## Liste des figures

Fig. 1: Photographies d'un assistant hospitalier de l'ENVT effectuant une palpation abdominale avec deux abords différents. Source personnelle .....	11
Fig. 2: Topographie et anatomie des viscères de l'abdomen du chien. Source (3).....	11
Fig. 3: Vue ventrale des organes abdominaux de chien après retrait du grand omentum. Source (4).12	
Fig. 4: Topographie de la rate chez les carnivores domestiques. Source Cours de sémiologie des carnivores par Armelle Diquelou, ENVT, 2021 .....	13
Fig. 5: Schéma représentant les points de contacts à utiliser lors de la réalisation de la palpation. Source (5) .....	14
Fig. 6: Visualisation des organes abdominaux de face et de profil. Source site VIN® .....	17
Fig. 7: Schéma des différents stades de la sensation à la représentation 3D. Source (7) .....	18
Fig. 8: Photographie d'un gant avec des capteurs de pression (à gauche) et de l'écran renvoyant les informations recueillies par les gants lors de la palpation sur mannequin (à droite). Source (5) .....	19
Fig. 9: Exemple de modèle d'abdomen de chien en vente sur le site Syndaver® (8).....	20
Fig. 10: Photographie du mannequin d'abdomen de chat (à gauche) et son squelette interne (à droite). Source (9) .....	21
Fig. 11: Mannequin de palpation abdominale de chien à l'université Tufts. Source (6) .....	21
Fig. 12: Photographie des dimensions de la peluche de chien qui servira de mannequin pour la palpation abdominale. Source personnelle .....	24
Fig. 13: Images de scanner sous trois angles différents ainsi qu'un image virtuelle 3D de la rate isolée à partir du scanner. Source logiciel 3D Slicer® .....	26
Fig. 14: Représentation du format STL de la rate en 3D. Source visionneuse 3D® .....	27
Fig. 15: Visualisation 3D du moule de la rate en deux parties. Source logiciel Openscad® .....	29
Fig. 16: Visualisation du moule de rate en deux parties (moule supérieur en haut, moule inférieur en bas) prêt pour l'impression. Source Ultimaker Cura® .....	30
Fig. 17: Visualisation de la simulation de l'impression du moule supérieur de la rate et de ses mailles qui la composent. Source Ultimaker Cura® .....	30
Fig. 18: Photographie de la partie inférieure du premier moule imprimé au Fablab Arilect de Toulouse (à gauche) et des deux parties du moule avec la rate en silicone (à droite). Source personnelle .....	31

Fig. 19: Visualisation 3D de la partie supérieure du moule modifié avec six cheminées. Source logiciel Openscad® .....	32
Fig. 20: Structure du silicone.....	32
Fig. 21: Photo du mannequin de palpation abdominale humain présent à l'institut toulousain de simulation en santé (ITSIMS) au CHU de Toulouse. Source site <a href="https://limbsandthings.com/global/products/60000/60000-abdominal-examination-trainer">https://limbsandthings.com/global/products/60000/60000-abdominal-examination-trainer</a> .....	33
Fig. 22: Photographie de la mesure de la dureté ou du shoreness sur un rein de chien autopsié (à gauche). Schéma de fonctionnement d'un duromètre (à droite) avec 1. Duromètre 2. Surface du matériau à mesurer. Source photo personnelle et site <a href="https://www.manufacturingguide.com/en/shore-test">https://www.manufacturingguide.com/en/shore-test</a> .....	34
Fig. 23: Schéma des shore 00, A et D ainsi que leurs équivalences. Source site Smooth-on .....	35
Fig. 24: Schéma représentant l'utilisation du duromètre et des zones des mesures de dureté de rate de chien. Source personnelle.....	36
Fig. 25: Photographie des essais de silicones avec leur shore A présent sur les notices. Source personnelle .....	38
Fig. 26: Photographie du premier moule imprimé en PBS à taille réduite par rapport au mannequin et du coulage de silicone. Source personnelle.....	38
Fig. 27: Photographie du dispositif d'attache de la rate à l'abdomen en tubulure et fil de fer avant de l'inclure dans le silicone. Source personnelle .....	39
Fig. 28: Photographie du dispositif d'attache de la rate placé dans le moule et prêt à être inclus dans le silicone. Source personnelle.....	40
Fig. 29: Photographie du moule de rate à taille finale en cours de séchage, incluant le dispositif d'attache dans le silicone. Source personnelle .....	40
Fig. 30: Photographie de la rate à taille finale avec le système d'attache inclus. Source personnelle .	40
Fig. 31: Photographie des premiers essais de fausse peau entre Eco flex™ 00 :20 et latex sur tissu de peluche isolé. Source personnelle.....	42
Fig. 32: Photographie des essais de fausse peau avec latex et compresses apposés sur un tissu 100% coton. Source personnelle.....	42
Fig. 33: Schéma des étapes chronologiques permettant d'obtenir le « derme » du mannequin. Source personnelle .....	43
Fig. 34: Patron du "derme" prêt à être cousu à l'intérieur de la peluche. Source personnelle .....	43
Fig. 35: Schéma représentant les étapes de la fausse peau. Source personnelle.....	44
Fig. 36: Photographie de la peau du mannequin. Source personnelle .....	44
Fig. 37: Patron du derme et emplacements des fermetures éclair ainsi que leur sens d'ouverture. Source personnelle .....	45

Fig. 38: Photographies des fermetures éclair "en H" permettant l'ouverture en "volets" du mannequin. Source personnelle .....	46
Fig. 39: Patron de la couche représentant le tissu adipeux. Source personnelle .....	47
Fig. 40: Photographies du mannequin avec la peau finale. Source personnelle .....	47
Fig. 41: Schéma représentant la chronologie et les matériaux de la peau du mannequin. Source personnelle .....	48
Fig. 42 : Schéma de la confection des pattes avec poids, guêtre et ouate. Source personnelle .....	49
Fig. 43: Schéma et photographie des pattes antérieures ou postérieures. Source personnelle .....	49
Fig. 44: Photographies des pattes en PVC avec leur poids à l'intérieur. Source personnelle .....	50
Fig. 45: Photographies des guêtres en tissu et des pattes en PVC avec une guêtre. Source personnelle .....	50
Fig. 46: Fichier de la cage thoracique provenant du scanner de chien au format STL (à gauche). Source logiciel OsiriX® Fichier de la cage thoracique après ajustement de la taille et du nombre de côtes (à droite). Source logiciel OsiriX® .....	51
Fig. 47: Capture d'écran de la cage thoracique et de ses supports générés par le logiciel Ideamaker® 4.2.1 (à gauche). Photographie lors de l'impression de la cage thoracique et de ses supports par l'imprimante 3D Raise 3D Pro 3® (à droite). Source des photos : Sophie Palierne.....	52
Fig. 48: Photographie du thorax imprimé en 3D après retouches. Source personnelle.....	52
Fig. 49: Photographie du mannequin Scraps sur son socle. Source personnelle.....	53
Fig. 50: Schéma synthétisant les étapes de fabrication de la rate avec les logiciels et formats associés. Source personnelle .....	54
Fig. 51: Schéma synthétisant les étapes de fabrication du thorax. Source personnelle .....	54
Fig. 52: Photographies du mannequins Scraps avec sa peau, son squelette, sa rate et son socle. Source personnelle .....	55
Fig. 53: Photographie du capteur de pression Loomia®. Source site <a href="https://www.loomia.com/samples/p/mini-pressure-matrix">https://www.loomia.com/samples/p/mini-pressure-matrix</a> .....	60
Fig. 54: Exemple de cas clinique sur le mannequin AbSim. Source <a href="https://www.acdet-absim.com/">https://www.acdet-absim.com/</a> .....	62
Fig. 55: Ecran présentant les retours sur la palpation sur le mannequin AbSim. Source <a href="https://www.acdet-absim.com/">https://www.acdet-absim.com/</a> .....	62

## Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau décrivant la méthode des sept étapes à suivre lors d'une palpation. D'après (2)(6) .....	16
Tableau 2: Tableau comparant les méthodes envisagées pour modéliser un organe. Source personnelle .....	25

Tableau 3: Tableau comparant les méthodes envisagées pour fabriquer le moule de la rate. Source personnelle .....	28
Tableau 4: Tableau des résultats de mesures des duretés de foie, rate et rein de chiens autopsiés mesurées par deux duromètres différents. Source personnelle .....	36
Tableau 5: Tableau indiquant les Shore A des silicones présents sur les notices. Source personnelle .	38
Tableau 6: Tableau du choix de la propriété de l'organe à mesurer pour déterminer le silicone qui le composera. Source personnelle .....	57

### **Liste des abréviations**

PTS = Palpation Training System

PVC = PolyVinyl Chloride

DICOM = Digital Imaging and Communications in Medicine

STL = STereo-Lithography

RTV = Room-Temperature Viscosity

PLA = Acide Poly Lactique

## Introduction

Dans la philosophie du « jamais la première fois sur l'animal vivant », les salles de simulation émergent dans les écoles vétérinaires avec notamment celle de Toulouse nommée *Simuvet*. Elles hébergent des mannequins résistants à la pratique répétée de gestes médicaux permettant aux étudiants de s'entraîner autant qu'ils le souhaitent. Ils peuvent ainsi améliorer leur pratique gestuelle et posturale, entraîner et aiguiser leurs sens, en particulier tactile en réalisant des gestes techniques tels que des injections, des prises de sang, des gestes de réanimation, des palpations et notamment celle des carnivores domestiques.

La palpation abdominale des carnivores domestiques est une étape essentielle et systématique lors de l'examen clinique général d'un animal mais elle reste difficile à maîtriser. Elle a pour objectif de déceler une éventuelle anomalie de position ou de texture des principaux organes abdominaux, elle permet de visualiser mentalement les principaux organes de la cavité abdominale par le biais de la pression des mains sur l'abdomen de l'animal debout. Effectuée avec précision et concentration, elle oriente l'investigation vers des examens complémentaires et optimise la prise en charge médicale de l'animal. Sa réalisation demande une dextérité qui ne peut être acquise que par la répétition. Le mannequin pédagogique paraît être une solution pour améliorer l'assimilation de ce geste technique indispensable à tout clinicien.

Le mannequin dit « simple » est composé de tissu ou de plastique. Il permet l'initiation à la palpation en visualisant directement les organes composés tous du même matériau. Pour perfectionner ce type de mannequins, certains développeurs les ont digitalisés et commercialisés pour les écoles de médecine humaine. Mais ceux-ci restent toutefois onéreux et imparfaits puisque les matériaux utilisés sont identiques pour tous les organes et ne permettent pas une distinction des différentes consistances propres à chaque organe abdominal.

La technique utilisant un scanner puis une imprimante 3D pour réaliser un modèle réaliste d'organe est connue et utilisée pour les chirurgies osseuses en médecine vétérinaire mais pas pour des chirurgies viscérales ni pour la confection de mannequins. Ainsi, la finalité de cette thèse est d'apporter une pierre à l'édifice de la salle *Simuvet* de l'ENVT en fabriquant un mannequin qui représente l'anatomie et les textures des organes d'un abdomen de chien tout en étant reproductible à moindre coût. Ce travail vise les trois objectifs suivants : pédagogique en apportant aux étudiants un outil leur permettant de progresser sur la topographie anatomique ainsi que l'apprentissage de la palpation abdominale, éthique en limitant la répétition des palpations sur les chiens vivants et technologique en renseignant le domaine de l'impression 3D des viscères en médecine vétérinaire.

## I. Problématique : Quelle est la nécessité d'utiliser un mannequin de palpation abdominale en médecine vétérinaire ?

### A. L'état des lieux de la palpation abdominale canine dans la médecine vétérinaire

#### 1. L'importance de la palpation abdominale lors d'examen clinique du chien

##### *a) Le déroulement de la palpation abdominale chez le chien*

La palpation abdominale fait partie de **l'examen rapproché** qui se déroule **après l'inspection à distance du chien** (1). Celle-ci permet d'apprécier visuellement, avant de toucher l'animal, **l'aspect de l'abdomen de l'animal**. Il peut présenter un aspect normal, une distension ou un creux abdominal. A noter que si les commémoratifs de l'animal précisent des douleurs abdominales, il convient d'effectuer la palpation en dernier dans la chronologie des étapes de l'examen clinique rapproché pour que l'examen se déroule le plus calmement possible pour l'animal.

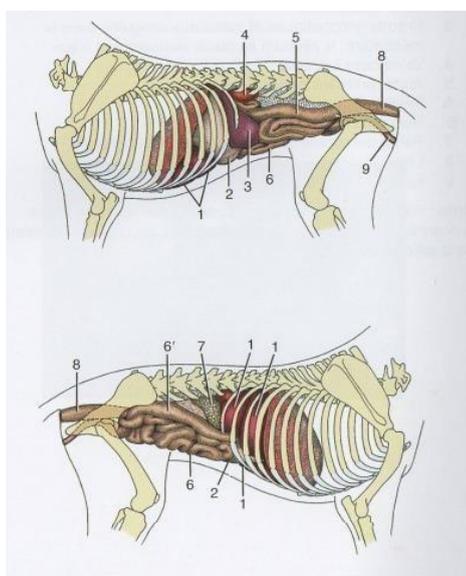
La palpation s'effectue sur **un chien debout** (Fig. 1) pour la systématisation des repères anatomiques des organes abdominaux (Fig. 2 et Fig. 3) ainsi que la détection d'éventuels épanchements qui résideraient par gravité en partie ventrale de l'abdomen.

Au préalable de la palpation, le vétérinaire **prévient le chien** vocalement ou en posant ses mains sur l'animal à un endroit où celui-ci visualise la main. Il reste ensuite attentif à toute réaction du chien qui indiquerait une douleur. Ce premier contact contribue à percevoir si l'animal est **anxieux, en tachypnée ou dyspnée**.

Le geste de palpation est un acte **non invasif et simple**, qui pourtant, apporte des informations cruciales sur la caractéristique des organes. En effet, l'opérateur **sent à travers ses deux mains** simultanément (ou une seule selon le gabarit du chien) (1) **la consistance générale de l'abdomen** : si celui-ci est souple ou distendu. Puis, à travers la pression appliquée sur la surface de l'abdomen, l'opérateur identifie les **organes en surface ou profondeur** : leur forme, surface, consistance, texture, élasticité (2) ou la présence d'éléments supplémentaires tels que des masses ou corps étrangers.



Fig. 1: Photographies d'un assistant hospitalier de l'ENVT effectuant une palpation abdominale avec deux abords différents.  
Source personnelle

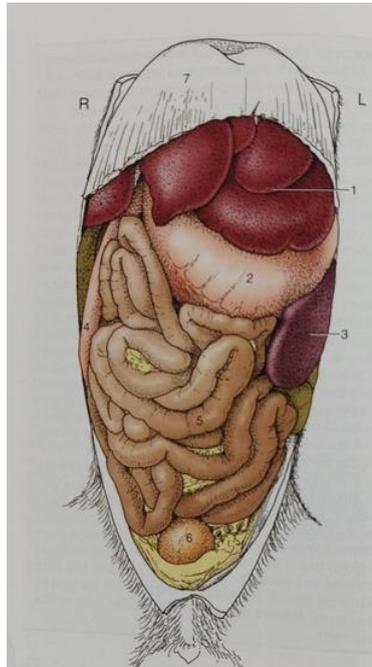


1. Foie
2. Estomac
3. Rate
4. Rein gauche
5. Côlon descendant
6. Jéjunum
7. Partie descendante du duodénum
8. Rectum
9. Tractus urogénital de la femelle

Haut : Projection sur la paroi gauche de l'animal

Bas : Projection sur la paroi droite de l'animal

Fig. 2: Topographie et anatomie des viscères de l'abdomen du chien. Source (3)



1. Foie
  2. Estomac
  3. Rate
  4. Duodenum descendant
  5. Jejunum
  6. Vessie
  7. Diaphragme
- L = Left / Gauche  
R = Right / Droite

Fig. 3: Vue ventrale des organes abdominaux de chien après retrait du grand omentum. Source (4)

La palpation est réalisée en exerçant une pression par les deux mains, douce mais ferme, en avançant de l'abdomen **dorsal vers le ventral, du crânial vers le caudal (1) et du superficiel vers le profond**. Le premier conseil lors de la palpation est d'éviter **de contenir la colonne vertébrale de l'animal** car si celle-ci est douloureuse, on pourrait interpréter une douleur à la palpation comme une douleur abdominale alors que celle-ci provient de la colonne. Le deuxième conseil est d'analyser la réponse de l'animal lors de la première prise de contact avec l'abdomen du chien. En effet, une réaction de **crispation de l'abdomen** ou un évitement de contact peut simplement signifier un **mécontentement** sans pour autant être une douleur abdominale vraie (1).

Il est pertinent d'utiliser la complémentarité des **deux abords d'approche de l'animal**. De manière plus concrète, lorsque l'opérateur se place sur le côté de l'animal avec **ses mains posées sur la partie ventrale de l'abdomen** (Fig. 1), il palpe les organes les uns après les autres : le foie, rate (Fig. 4), les intestins, la vessie et la prostate chez les mâles. Alors qu'en **restant derrière l'animal** avec ses mains sur les flancs de l'animal (Fig. 1), il a l'occasion de comparer la taille et la consistance des organes symétriques tels que les reins ou de détecter une masse qui rendrait l'abdomen asymétrique (1). Le but est de palper l'emplacement, la taille, la forme, la consistance et le contenu des organes (contenu anormalement liquidien, gazeux ou compact).

## PALPATION ABDOMINALE (CN&CT)

- **Rate**

- Palpation derrière le cercle de l'hypocondre, à gauche
- Accrochée à l'estomac
- « Languette » ferme

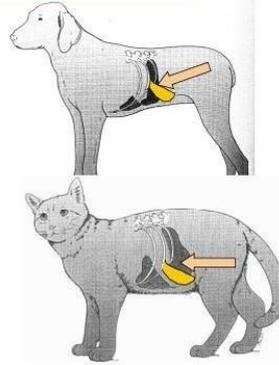


Fig. 4: Topographie de la rate chez les carnivores domestiques. Source Cours de sémiologie des carnivores par Armelle Diquelou, ENVT, 2021

La palpation adéquate se réalise avec les doigts de la même main alignés sur un même plan imaginaire. Les trois paramètres essentiels sur le geste de la palpation sont : **la position, l'orientation et la pression exercée par les mains**. Des zones clés de pression sur la main pour favoriser une palpation réussie ont été identifiées durant une étude sur un mannequin de palpation abdominale humaine nommé PTS pour « Palpation Training System ». Les opérateurs portent des gants contenant des capteurs de pressions sur toute la main qui évaluent l'intensité et l'emplacement de la pression exercée. Ils effectuent des palpations des organes superficiels ou profonds (5). Ils concluent que la pression doit être effectuée sur **six points de la main** (en vert sur Fig. 5) (5) à pression égale et modérée. C'est-à-dire ni trop superficielle ni trop profonde (2). A travers les premières et troisièmes phalanges de l'index, du majeur et de l'annulaire (Fig. 5) (5). Il ne faut pas exercer de pression avec la face palmaire ou le pouce (en rouge sur la Fig. 5) car cela pourrait entraîner une erreur de diagnostic puisque ce sont des zones de ressenti tactile moins précises pour l'opérateur. L'opérateur pourrait exercer une trop forte pression sur l'abdomen de l'animal et engendrer un inconfort pour l'animal (5).



Fig. 5: Schéma représentant les points de contacts à utiliser lors de la réalisation de la palpation. Source (5)

#### *b) L'importance de la palpation pour le diagnostic*

La palpation abdominale est un outil pouvant préciser, **situer et graduer la sévérité d'une douleur abdominale** en fonction de la sensation perçue à travers les mains du vétérinaire et des réactions de l'animal. Cela permet de localiser une douleur dans l'abdomen crânial, moyen, caudal ou généralisé ayant une intensité graduée de faible jusqu'à sévère (1). Un seul organe ou plusieurs peuvent être décelés comme douloureux ou anormaux. Cependant, cette douleur doit être différenciée d'un animal stressé présentant un abdomen tendu seulement par stress en réponse à la palpation, d'une douleur au niveau du dos ou d'un inconfort léger de l'abdomen par rapport à une vraie douleur abdominale. Celle-ci doit être investiguée par d'autres **examens complémentaires** comme la radiographie, l'échographie ou les analyses laboratoires tout en restant corrélée aux éléments commémoratifs et à l'anamnèse (âge, race, sexe, entier(e) ou stérilisé(e)) (1). Effectivement, des signes cliniques tels que des pertes de conscience, des éructations, de la fièvre, de la nausée ou un animal inactif peuvent être expliqués par une douleur abdominale ou dorsale (1).

Un autre élément, outre une douleur, qui doit retenir l'attention du vétérinaire lors de la palpation est une **distension abdominale**. Les causes principales de distension abdominale non exhaustives sont : un épanchement, une accumulation de graisse, une ptose ou défaut de musculature abdominale, une augmentation de taille des organes, une obstruction intestinale, une présence de masse anormale ou surnuméraire. De la même manière que pour la douleur abdominale, les éléments perçus relatifs à la distension abdominale doivent être confrontés avec

l'anamnèse, les signes commémoratifs ainsi que les éventuels résultats d'analyses de laboratoire pour déterminer la cause de cette distension (1).

Après avoir palpé l'abdomen dans son ensemble, le clinicien continue l'examen de l'animal en se concentrant sur l'aspect de chaque **organe individuellement**. Ce qui peut révéler, entre autres, une distension vésicale, une hypertrophie prostatique ou encore une splénomégalie (1).

### *c) Les particularités de la palpation abdominale chez le chien*

La palpation abdominale est une aide cruciale au **diagnostic d'une anomalie abdominale**. Elle peut exclure certaines affections pathologiques et ainsi **réduire le temps et le coût du diagnostic** en évitant le recours à des examens complémentaires surnuméraires qui n'apporteraient pas plus d'informations diagnostiques que la palpation (5). La palpation et les examens complémentaires sont tous deux nécessaires pour parvenir à un diagnostic précis. En effet, une palpation jugée anormale sans poursuite par des examens complémentaires ciblés serait inutile car ne permettant pas de conclure sur l'affection de l'animal, tout autant qu'un examen complémentaire réalisé sans palpation au préalable.

Une autre particularité que l'on peut souligner sur ce geste est qu'il **ne peut être effectué que par un opérateur humain**. Il n'existe aucun examen complémentaire ou appareil capables de mesurer la texture des organes. Bien qu'elle reste imparfaite, étant donné qu'elle dépend des compétences de l'opérateur, la palpation est donc difficilement remplaçable à ce jour.

Enfin, un élément évident mais qu'il reste important de rappeler est que le chien **ne peut pas exprimer verbalement** la localisation et l'intensité de sa douleur. Ainsi, le vétérinaire ne peut savoir à l'avance le cadran d'abdomen sur lequel il doit concentrer sa palpation et doit s'en remettre seulement à son ressenti tactile et aux réactions de l'animal (2).

## 2. L'apprentissage de la palpation abdominale en milieu universitaire

Selon un sondage à l'Université The Cummings School of Veterinary Medicine at Tufts University (6):

“Palpation is one of the hardest skills to acquire as a veterinary student.”

“ La palpation abdominale est l'un des gestes les plus difficiles à acquérir pour un étudiant vétérinaire ”

Cet apprentissage **n'est pas une tâche aisée, autant pour les étudiants que pour les professeurs**. D'une part, parce qu'il y a peu d'animaux disponibles pour des palpations dans les écoles vétérinaires, et d'autre part, parce que leur patience et leur tolérance à la manipulation abdominale restent limitées dans le temps. De plus, les **étudiants ne peuvent pas s'entraîner en palpant les anomalies sur les organes d'animaux vivants puisque cela causerait un stress** et un inconfort supplémentaire à l'animal (6).

Afin d'expliquer la technique de la palpation aux étudiants, la méthode des sept étapes est proposée par le Centre ostéopathique du Québec et décrite dans le Tableau 1 (2).

Méthode des 7 étapes à suivre lors de la palpation: PALPATE	
1. <b>P</b> -osition (= Position du clinicien et de l'animal)	Placement du clinicien et de l'animal dans une position confortable
2. <b>A</b> -natomy (= Anatomie de l'abdomen)	Visualisation mentale de l'anatomie de l'abdomen
3. <b>L</b> -evel (= Profondeur de la palpation)	Contrôle de la pression exercée à travers les mains afin de palper les organes superficiels ou profonds dans l'abdomen. Elle ne doit pas être trop superficielle ou trop profonde au risque de lui causer une douleur ou de modifier la forme de l'organe palpé.
4. <b>P</b> -urpose (= Objectif)	Objectif de la palpation : localiser la douleur/lésion dans l'abdomen
5. <b>A</b> -scertain (= Vérification)	Utilisation d'un point de référence pour mobiliser l'organe palpé et le situer dans l'abdomen
6. <b>T</b> -weaking(= Ajustement)	Ajustement et progression sur chaque étape précédente pour améliorer chaque future palpation
7. <b>E</b> -valuate/normalise (= Evaluer)	Prise en compte de la sensation qu'il ressent de l'organe pour conclure s'il est sain ou non

Tableau 1: Tableau décrivant la méthode des sept étapes à suivre lors d'une palpation. D'après (2)(6)

Au sein des écoles vétérinaires en France cette initiation se fait par la première approche théorique avec l'apprentissage de la topographie anatomique de l'abdomen. Celle-ci peut se faire par le biais de **logiciels de visualisation 3D** comme VIN ® (Fig. 6) ou Vet anatomy®.



Fig. 6: Visualisation des organes abdominaux de face et de profil. Source site VIN®

Ensuite les étudiants poursuivent leur formation par une session de **travaux pratiques** (Fig. 1) puis durant les rotations cliniques.

### 3. Les difficultés de l'apprentissage de la palpation abdominale

Les difficultés d'apprentissage de la palpation abdominale résident dans les multiples étapes à maîtriser, d'autant plus qu'elles ne sont pas toutes aisées à enseigner. En effet d'abord il faut connaître la **topographie abdominale puis la pression à exercer lors du geste technique** (2). S'ajoute aussi un défi pour les professeur(e)s qui doivent réussir à **décrire à l'aide de mots et verbes** une sensation et un ressenti de textures ainsi que la pression à exercer pour les percevoir.

Plus précisément, le niveau sensoriel est l'information « immédiate » que nos sens nous livrent (Fig. 7), comme des informations directes, que l'on peut appeler « sensation ». Ensuite le niveau de la perception est acquis grâce aux informations et sensations apportées par les cinq sens. Enfin le niveau cognitif est celui permettant la représentation en 3D de ce que l'opérateur a senti et perçu comme information (7).

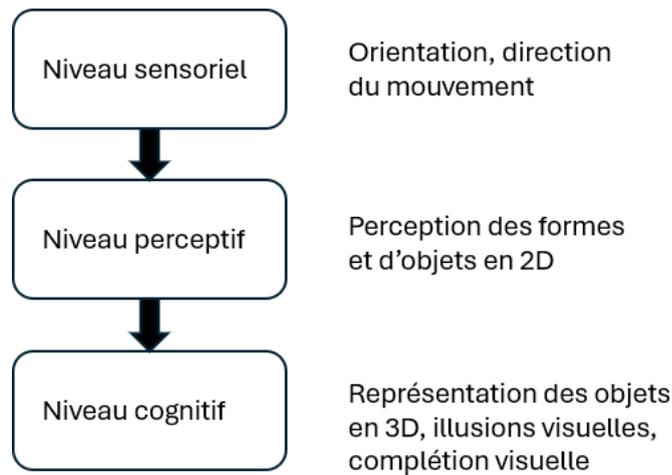


Fig. 7: Schéma des différents stades de la sensation à la représentation 3D. Source (7)

Une autre manière d'expliquer la palpation est de la décrire comme une combinaison de **deux composantes** : une composante **motrice** et une **perceptive**. La composante motrice correspond à l'étape où le clinicien palpe mécaniquement l'organe. Il est dit que l'information cognitive part du cerveau du clinicien et traverse jusqu'à ses mains qui palpent l'animal. La composante **perceptive** correspond au fait que le clinicien ressent la consistance de l'organe. Cette fois l'information part de l'organe de l'animal pour arriver jusqu'au cerveau du clinicien. Cette dernière composante perceptive peut être influencée par plusieurs facteurs tels que l'état émotionnel du vétérinaire, la capacité à projeter en 3D mentalement les organes et enfin celle de pouvoir situer mentalement ce qui est palpé comme étant dorsal ou ventral dans l'abdomen (2).

Une étude menée sur la mémorisation de la palpation abdominale en médecine humaine permet d'expliquer plus en détails les éléments des composantes motrice et perceptive (5). Cette étude explique que lors d'un apprentissage utilisant les **mécanorécepteurs**, comme la palpation, il y a des « inherent feedback » et « augmented feedback ». Les « **inherent feedback** » sont **les informations sensorielles intrinsèques** à chacun, qui sont reçues lors d'un mouvement par exemple la vision ou la proprioception de notre propre membre lorsqu'on le met en mouvement. Pour la palpation, c'est lorsque l'on visualise nos mains palper et exercer une pression sur l'abdomen de l'animal. Les « **augmented feedback** » sont la réception d'informations provenant de **sources extérieures**, comme une personne extérieure ou un capteur qui indique une mesure sur un écran par exemple. Autrement dit les « augmented feedback » sont les capteurs qui donnent un retour concret qui précise ou rectifie ce que l'on

ressent avec les « inherent feedback ». Ajouter des « **augmented feedback** » **permettrait de diminuer le temps d'adaptation et d'apprentissage** que l'opérateur nécessite pour autocorriger la pression qu'il exerce. Tout « augmented feedback » est donc bénéfique pour l'assimilation d'une action motrice (5). Dans la même étude, sur un mannequin de palpation abdominale humaine (PTS), les étudiants reçoivent des « augmented feedback » grâce à des gants mesurant la pression et indiquant en temps réel la valeur de la pression exercée à un endroit du gant en direct sur un écran (Fig. 8) (5).

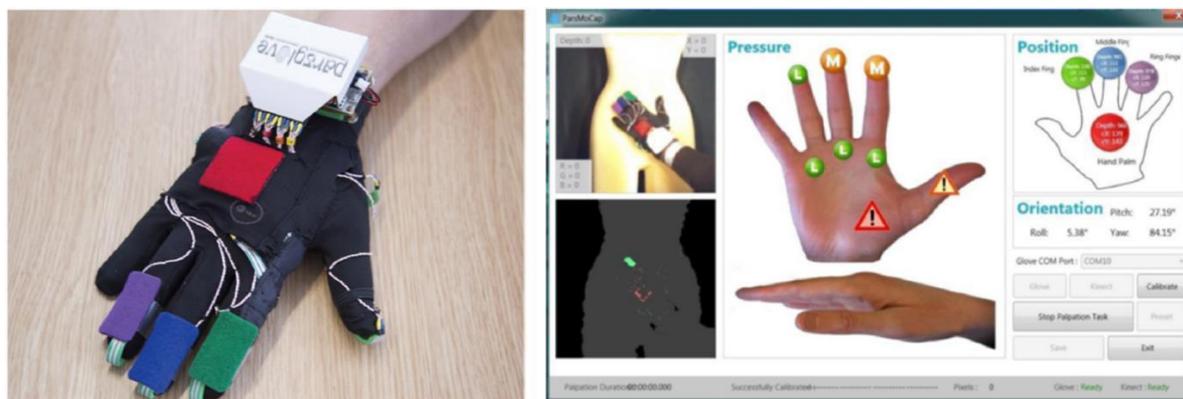


Fig. 8: Photographie d'un gant avec des capteurs de pression (à gauche) et de l'écran renvoyant les informations recueillies par les gants lors de la palpation sur mannequin (à droite). Source (5)

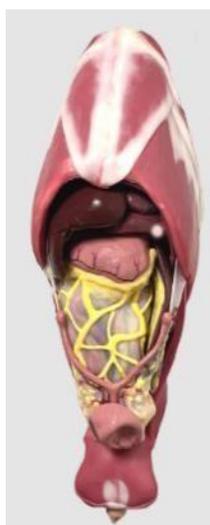
La palpation est donc un geste dont l'apprentissage est difficile car il requiert des **connaissances sur l'anatomie ainsi que sur les textures physiologiques** ou anormales de chacun des organes. D'autant plus que ce geste est réalisé sur un patient qui ne peut pas préciser verbalement la localisation de sa douleur. Il faut donc s'adapter à chaque animal, autant sur **ses réactions** possibles **lors de la palpation** que sur les différentes morphologies d'abdomen. C'est un geste également **complexe à enseigner et acquérir** car il reste difficile à décrire. Il nécessite une **répétition d'entraînements** pour l'ancrer comme geste acquis au sein de la mémoire à long terme (2).

Tous ces arguments convergent vers l'utilité d'un **modèle pédagogique inerte** comme une solution efficace pour répondre à ces attentes.

#### 4. Les modèles existants de palpation abdominale de carnivore

##### - Modèle de **Chien Syndaver®** :

Ce modèle de palpation abdominale de chien disponible en vente sur le marché contenant tous les organes abdominaux composés d'une combinaison de silicone et autres matériaux propres à l'entreprise (Fig. 9) permet l'apprentissage de la **topographie anatomique** mais **ne permet pas de différencier les consistances propres à chaque organe** (8).



*Fig. 9: Exemple de modèle d'abdomen de chien en vente sur le site Syndaver® (8)*

##### - Modèle de **chat de l'Université de Californie** :

La maquette d'**abdomen de chat** a été testée par les étudiants qui ont participé à l'étude dirigée par J. A. Williamson en Californie (9) visant à évaluer l'utilité d'une maquette de palpation. Le modèle n'a pas été incorporé dans le programme pédagogique par la suite. Il est composé d'une peluche de chat fermée par une fermeture éclair à l'emplacement de la colonne vertébrale (Fig. 10) ainsi qu'un squelette axial et appendiculaire partiels en tuyaux PVC (PolyVinyl Chloride). La cavité abdominale contient du vinyle, coton et latex. Les organes sont en silicone (intestin grêle, reins, foie, vessie et masse intra-abdominales). Le modèle a été fabriqué en consultant des experts pour les matériaux et la topographie des organes. Il a été modifié plusieurs fois durant le développement du mannequin. Etant donné qu'il a été testé par des étudiants vétérinaires et des vétérinaires, il permet de mettre en relief le besoin des étudiants de s'entraîner sur un mannequin de palpation abdominale pour mémoriser le geste (9).



Fig. 10: Photographie du mannequin d'abdomen de chat (à gauche) et son squelette interne (à droite). Source (9)

- Modèle de **chien de l'université de Tufts** :

Un **squelette de chien est proposé par l'université de Tufts** aux USA (Fig. 11) (6) avec deux organes reconstitués : une vessie en latex et un colon en drain de Penrose. Le reste des organes est en coton, le squelette en tuyaux PVC et les premières et dernières côtes sont en Lexan® qui appartient aux polycarbonates, donc proche de la texture du Plexiglas® mais plus élastique et résistant aux chocs. L'abdomen et thorax sont entourés de tissu 100% polyester panne velvet. Le modèle a été reproduit au nombre de dix modèles pour avoir des pathologies sur la vessie, le colon ou des masses dans l'abdomen.



Fig. 11: Mannequin de palpation abdominale de chien à l'université Tufts. Source (6)

Aujourd'hui, il **n'existe aucun mannequin d'abdomen de chien avec des organes fidèles à la réalité disponible en France**, commercialisés ou fabriqués. Les modèles connus et développés à ce jour, essentiellement aux Etats-Unis, ne sont pas commercialisés ni distribués en France, d'où **l'objectif d'en créer un**.

## B. Les choix autour de la réalisation du mannequin d'abdomen de chien

L'idée de construire un mannequin d'abdomen de chien est le fruit de plusieurs étapes de réflexion.

Le premier choix est **pédagogique** en voulant créer une maquette pour faciliter l'apprentissage d'un geste technique qui n'est pas encore enseigné sur mannequin puisqu'aucun n'existe sur le marché de vente des modèles pédagogiques vétérinaires. L'idéal est d'apporter un outil pédagogique utile au plus grand nombre d'étudiants. En effet, selon l'atlas démographique de la profession vétérinaire en 2021 : 56,9% des étudiants en dernière année vétérinaire effectuent leur approfondissement en clinique des animaux de compagnie (10).

C'est pour ces raisons que le choix s'est porté vers un mannequin de **palpation de carnivore domestique**.

Le second choix est une maquette de **chien** plutôt que de chat. Puisqu'un chien de taille moyenne est plus grand qu'un chat, ses organes sont plus grands donc plus simples à confectionner et individualiser lors de la palpation effectuée par les étudiants.

La dernière décision est celle du ou des organes à confectionner ainsi que l'ordre dans lequel les réaliser. Tout d'abord en faisant la dichotomie entre les **organes** abdominaux dits « **pleins** » (ceux avec un parenchyme tels que la **rate, le foie, les reins**) et les **organes** « **creux** » (comme la **vessie, l'estomac, l'intestin ou la vésicule biliaire**). Cette différence implique de trouver deux manières de fabriquer ces deux catégories d'organes puisque qu'ils n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques donc ne renvoient pas la même texture perçue par les mains de l'étudiant.

Finalement, le premier organe confectionné est la **rate** puisqu'elle se trouve entre les côtes et les intestins en termes de localisation et de dureté, elle **permet d'initier le travail de dissociation des textures et des organes** dans l'abdomen. C'est également un **organe plein** qui est donc plus simple à réaliser.

L'objectif est d'avoir un modèle qui pourra être **ouvert et refermé à volonté afin de visualiser les organes intra-abdominaux** directement dans leur position physiologique. Avoir les **stimuli tactiles et visuels c'est-à-dire multimodaux** permet d'apprendre plus rapidement le geste de la palpation puisque cela permet de corriger les perceptions tactiles et visuelles en même temps. En effet, la mémorisation impliquant des stimuli multimodaux est perçue comme une forme d'assimilation plus précise et plus rapide qu'un apprentissage n'impliquant qu'un seul sens car elle optimise l'activation des neurones et la représentation mentale (11).

## II. L'élaboration du mannequin d'abdomen de chien sain : choix et stratégies de la fabrication à la conception

### A. Le cahier des charges

Pour concevoir une maquette, il faut en premier lieu définir les objectifs à atteindre, autrement dit un cahier des charges. Pour cela il faut comprendre la réalité des difficultés du geste de palpation et les apports pédagogiques que doit atteindre la maquette.

Je me suis donc rendue aux cliniques du service de médecine préventive de l'ENVT pour y répéter des gestes de palpation abdominale ainsi qu'y observer l'encadrement pédagogique existant pour cette pratique durant la formation à l'ENVT.

Cela me permet de cibler les principaux et premiers objectifs que le mannequin d'abdomen de chien doit approcher : être **le plus réaliste possible** tout en représentant à la fois **l'anatomie et la texture des organes**. « Etre réaliste » signifie que le mannequin final doit tenir **debout** afin de mettre en scène une palpation abdominale en conditions réelles puisque celle-ci se réalise sur un chien debout. La maquette doit donc contenir des éléments extra-abdominaux servant à la fois pour tenir en position debout et à la fois pour comparer les différentes textures des différents éléments de la cavité abdominale. Elle contient donc des os (les quatre membres, les côtes et la colonne vertébrale) et une peau (fourrure, peau et tissu adipeux) en plus d'organes abdominaux.

L'autre objectif principal est d'avoir un mannequin **durable dans le temps** et résistant à l'usure liée **aux manipulations répétées** des étudiants.

Les objectifs secondaires sont d'élaborer une maquette **reproductible et transportable grâce à ses composants interchangeables** (6).

La liste des matériaux utilisés est disponible en Annexe 1 et son coût de fabrication peut être estimé à 135 €.

## B. L'aspect extérieur du mannequin

Nous optons pour une **peluche de chien de taille moyenne** (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) pour faciliter la fabrication et la mise en place de ses organes abdominaux de taille moyenne également. De plus, bien qu'il existe différentes races de chien, la configuration anatomique des organes abdominaux reste identique, seule la taille des organes varie. Donc une taille unique de mannequin permet de s'entraîner à la dissociation des consistances pour tous formats et races de chien.

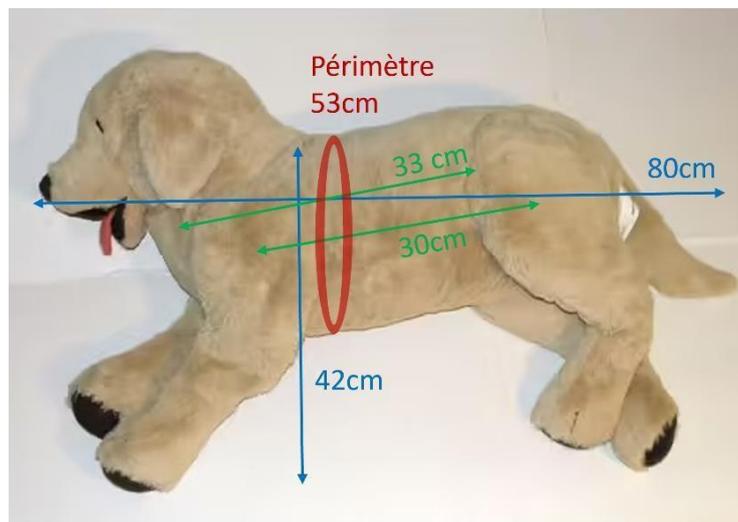


Fig. 12: Photographie des dimensions de la peluche de chien qui servira de mannequin pour la palpation abdominale. Source personnelle

## C. La conception d'un premier organe : la rate

### 1. L'acquisition de l'image 3D de la rate grâce au scanner

Le premier organe choisi pour commencer la fabrication est la rate. La première étape est de **modéliser l'organe**. Pour cela, il faut acquérir et récupérer les données essentielles de l'organe : sa forme et sa taille. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées comme décrit dans le

Tableau 2 : basé sur des organes réels frais d'autopsie (lignes foncées) ou basé sur des données numériques issue du scanner d'un organe (lignes claires).

Méthodes pour modéliser l'organe	Avantages	Inconvénients
<b>Moulage d'un organe frais</b> Acquisition des données par la fabrication du moule : - Couler un matériau autour type silicone qui épouse la forme extérieure de l'organe ou - Faire l'empreinte de l'organe dans un matériau type pâte souple (plastiline) pour avoir la forme extérieure de l'organe	- Précis car on moule l'organe directement mais jusqu'à un certain point car on manipule l'organe - Rapide car on fabrique le moule directement sans passer par une modélisation intermédiaire de l'organe	- Récupérer précisément des organes sains et frais lors d'autopsie de chien de taille golden retriever - Perte de forme de l'organe lors de ses manipulations pour la fabrication du moule
<b>Plastination</b> 1) Récupérer des organes frais d'autopsie 2) Plastiner = Remplacer l'eau et les graisses tissulaires par une matière plastique comme la silicone, la résine époxy ou le polyester 3) Fabriquer le moule	- Précis car on moule directement l'organe frais en un minimum de manipulation physique de l'organe	- Récupérer précisément des organes sains et frais lors d'autopsie de chien de taille golden retriever
<b>Photogrammétrie</b> = Récupérer la forme, les dimensions et la situation d'un objet dans l'espace à partir de plusieurs prises de vues photographiques de cet objet Puis fabriquer du moule	- Précis car on prend en photo les dimensions directement de l'organe sans le manipuler physiquement donc sans le modifier	- Savoir utiliser l'outil de photogrammétrie
<b>Utilisation de scanner humain</b> 1) Récupérer un fichier 3D d'organes d'humain 2) Modifier le fichier de l'organe humain pour se rapprocher d'un organe animal 3) Fabriquer le moule	- Précis car on ne manipule pas l'organe physiquement jusqu'à un certain point car on modifie le fichier du scanner	- Savoir utiliser un logiciel de scanner - Difficile de trouver les données de scanner humain - Difficile de passer d'organes humain à animal
<b>Utilisation de scanner de chien</b> 1) Récupérer d'un scanner de chien 2) Isoler l'organe des autres dans le scanner 3) Fabriquer le moule	- Précis car on moule directement l'organe sans le manipuler physiquement donc sans le modifier	- Savoir utiliser un logiciel de scanner pour isoler un organe

Tableau 2: Tableau comparant les méthodes envisagées pour modéliser un organe. Source personnelle

La qualité de l'objet obtenu dépend de la qualité des données, la méthode basée sur les données numériques est celle qui permet l'**acquisition la plus rapide et précise** pour éviter la perte d'informations sur l'organe. La fabrication du moule de la rate se déroulera donc en **différentes étapes** : **acquisition** de l'image de la rate à partir d'un **scanner de chien**, **traitement de l'image** de la rate, **création** de son moule, **impression** du moule.

Nous recherchons donc parmi les scanners de l'ENVV un scanner de chien de taille moyenne avec un abdomen sain. Nous récupérons un scanner possédant toutes ces caractéristiques et nous avons maintenant des données en **format DICOM** (Digital Imaging and Communications in Medicine) (Fig. 13) (12).

Ensuite, il s'agit d'isoler l'organe d'intérêt, c'est-à-dire que l'on traite les données du scanner grâce à un logiciel capable d'isoler un organe parmi les autres présents sur le scanner.

## 2. Le traitement de l'image 3D de la rate grâce à 3D Slicer®

La distinction d'éléments dans un scanner se fait par les différences de densités et pixels. Les os peuvent ainsi assez facilement être isolés des autres organes abdominaux qui possèdent une densité bien distincte par les fonctionnalités d'un logiciel qui compare les densités. Isoler un organe abdominal parmi d'autres ayant des densités similaires n'est pas aussi aisé. L'étape de traitement de l'image 3D de la rate est donc un défi et n'est pas une manipulation courante. Il existe plusieurs logiciels permettant d'isoler des éléments au sein d'un scanner disponibles gratuitement ou payants dont les principaux sont : Horos®, OsiriX®, Radiant® et 3D Slicer®. Le choix s'est orienté vers 3D Slicer® car il est gratuit, compatible avec une majorité des systèmes d'exploitation et permet facilement un passage du format DICOM au format STL (= STereo-Lithography), soit d'un format d'imagerie médicale à un format d'impression 3D.

La **rate est isolée à partir du scanner par 3D Slicer®** (Fig. 13 et Fig. 14) et puis extraite en **format STL** qui est un format permettant par la suite une fabrication assistée par ordinateur par le biais d'une imprimante 3D.

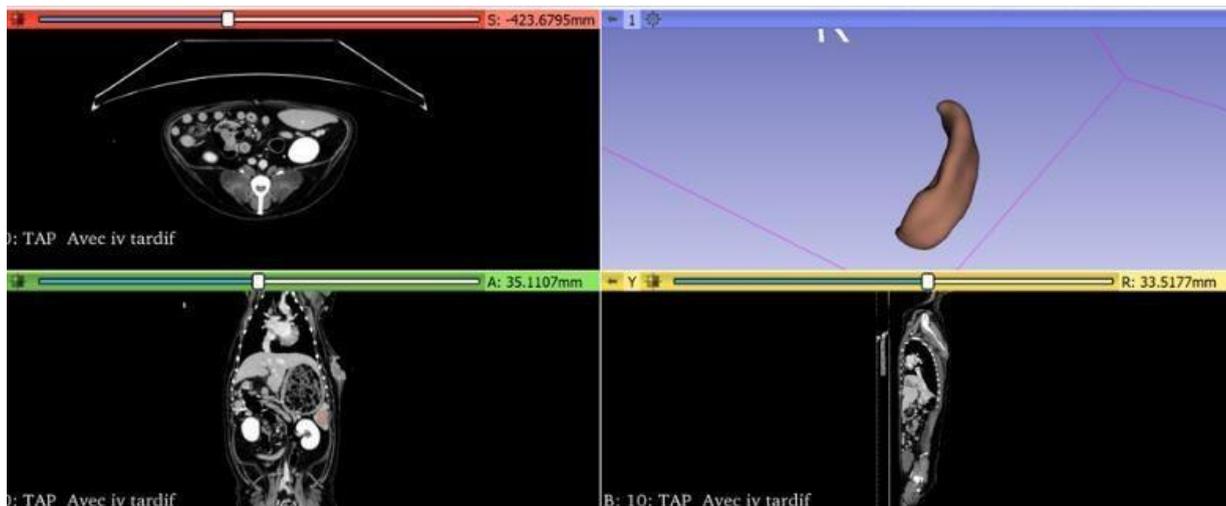


Fig. 13: Images de scanner sous trois angles différents ainsi qu'un image virtuelle 3D de la rate isolée à partir du scanner.

Source logiciel 3D Slicer®

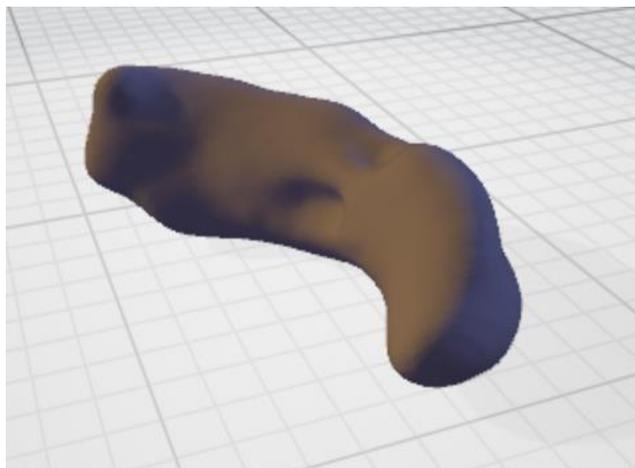


Fig. 14: Représentation du format STL de la rate en 3D. Source visionneuse 3D®

Puisque nous avons choisi l'acquisition de l'organe de manière numérique, l'étape suivante de confection et fabrication de son moule est aussi réalisée de manière numérique.

### 3. La fabrication du moule de la rate

#### a) Le choix de la méthode d'impression du moule de la rate en 3D

A présent que nous avons modélisé la rate et récupéré son fichier 3D en format STL, il s'agit maintenant de fabriquer son moule. Il est nécessaire de fabriquer un **moule assez rigide**, avec la **forme exacte de l'organe, qui doit pouvoir recevoir le silicone coulé sans endommager la forme et pouvoir décoller l'organe siliconé de son moule** sans abimer ni l'un ni l'autre. Le choix du silicone est fait en parallèle du choix du type de moule et sera expliqué dans la partie suivante. Etant donné que la rate est un organe plein, la meilleure solution est un **moule creux (moule femelle) en deux parties** qui s'emboitent.

Il reste à déterminer la méthode pour obtenir la forme de ce moule. Les avantages et inconvénients de chacune sont présentées dans le Tableau 3.

Méthode pour fabriquer le moule	Avantages	Inconvénients
<b>Laser</b> = Méthode de fabrication soustractive de matière sur une matière type carboné : papier, carton, tissu, bois, certains plastiques	- Précis (car impression à partir des données du scanner et fichier 3D de rate)	- Les machines restent peu accessibles
<b>Impression 3D en Silicone</b> = Méthode de fabrication additive avec du silicone	- Précis (idem)	- Savoir manipuler un logiciel de modélisation 3D pour adapter la forme du moule au modèle - Ajout de silicone est onéreux - Ajout de silicone est en développement car le silicone à des températures de fonte et durcissement peu adaptées pour l'impression 3D pour l'instant
<b>Impression 3D</b> = Méthode de fabrication additive avec des polymères plastiques, résine, caoutchouc	- Précis (idem) - Le silicone se démoule facilement des moules en polymère	- Savoir manipuler un logiciel de modélisation 3D pour adapter la forme du moule au modèle - Peu d'option pour le matériau composant le moule

Tableau 3: Tableau comparant les méthodes envisagées pour fabriquer le moule de la rate. Source personnelle

Dans le cas de la rate, du fait de sa forme, de celle de son moule et des matériaux candidats pour le moule qui reçoit le silicone, le choix s'est tourné vers l'**impression 3D du moule en matériau plastique PLA** (Acide Poly Lactique).

*b) L'acquisition et traitement de l'image 3D du moule de la rate grâce à Openscad® et Ultimaker Cura®*

Le moule est réfléchi, construit et codé en utilisant le logiciel **Openscad® à partir du fichier STL de la rate**. Des illustrations des principales étapes d'élaboration du moule sont présentées dans l'Annexe 2.

Premièrement il faut importer la rate en 3D en format STL comme fichier dans le logiciel Openscad®. Ensuite, nous entourons la rate par deux cubes pour être positionnée sur la diagonale des cubes afin d'optimiser l'espace de la rate au sein des deux cubes. Ceux-ci s'emboîtent à mi-hauteur de la rate pour permettre un démoulage facile.

Puis nous importons quatre cylindres perforant les deux moules aux quatre coins qui serviront pour les vis qui fixeront les deux moules lors du coulage de silicone ultérieurement et deux cylindres représentant les deux cheminées, l'une servant de point d'entrée et l'autre de séchage d'échappatoire pour les bulles d'air, traversant

seulement le moule supérieur. Enfin on soustrait la rate qui était restée au centre du moule élaboré.

Le premier moule est imprimé par la suite en 3D au FabLab Artilect de Toulouse (Fig. 15) avec une couleur grise pour le moule supérieur et une couleur violette pour celui inférieur. Les futurs moules sont imprimés au service de chirurgie de l'ENVT.

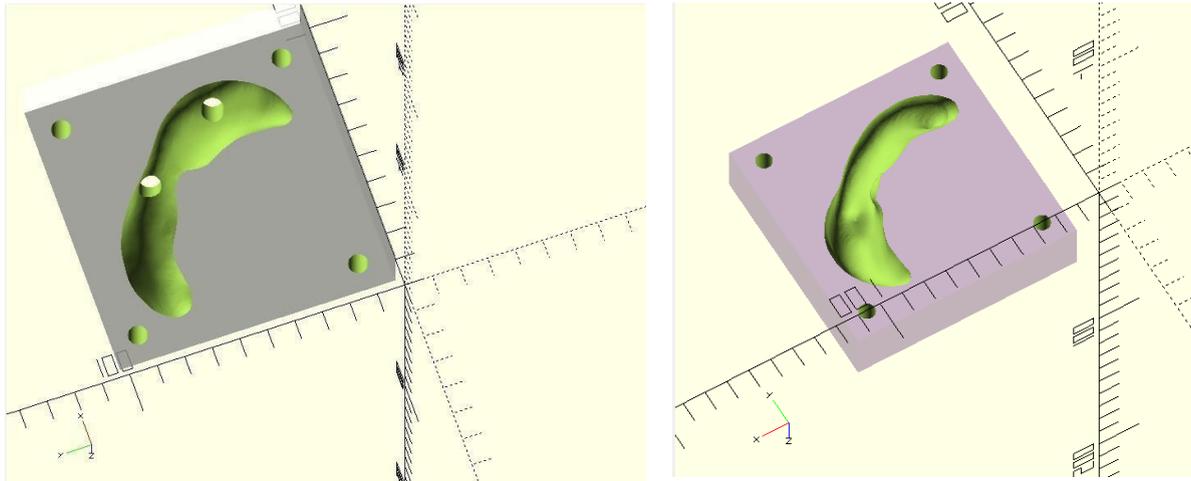


Fig. 15: Visualisation 3D du moule de la rate en deux parties. Source logiciel Openscad®

La conception du moule est permise par le logiciel Openscad® et nous l'exportons en format **STL**. Nous passons maintenant à l'impression 3D par le logiciel **Ultimaker Cura®** (Fig. 16). Quelques derniers réglages sont nécessaires pour économiser et optimiser l'utilisation du matériau PLA et donc le temps d'impression. Ainsi, en mettant une densité faible ou autrement dit une maille large, cela permet d'utiliser peu de fil PLA et donc de rendre l'impression plus rapide (Fig. 17). On peut également rogner la hauteur des moules pour imprimer la hauteur minimale de moule entourant la rate.

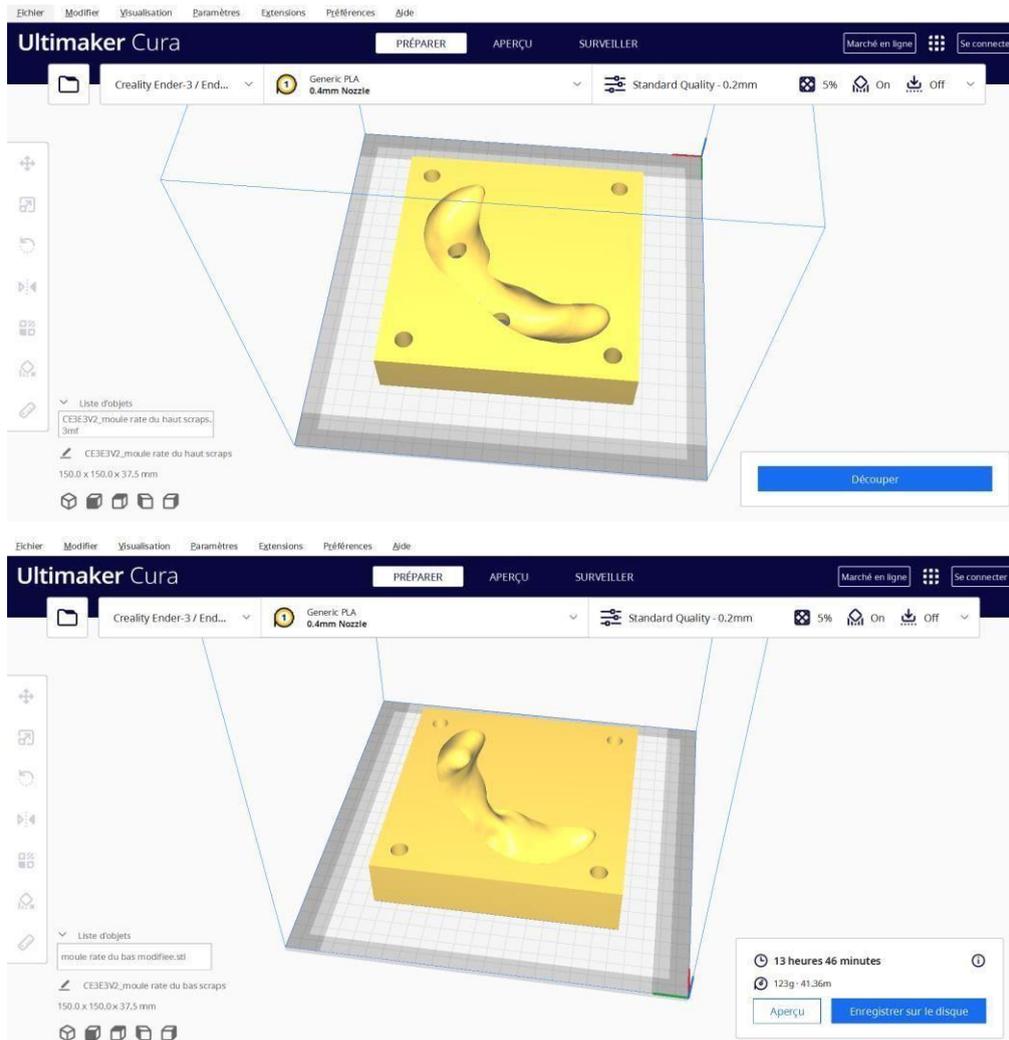


Fig. 16: Visualisation du moule de rate en deux parties (moule supérieur en haut, moule inférieur en bas) prêt pour l'impression. Source Ultimaker Cura®

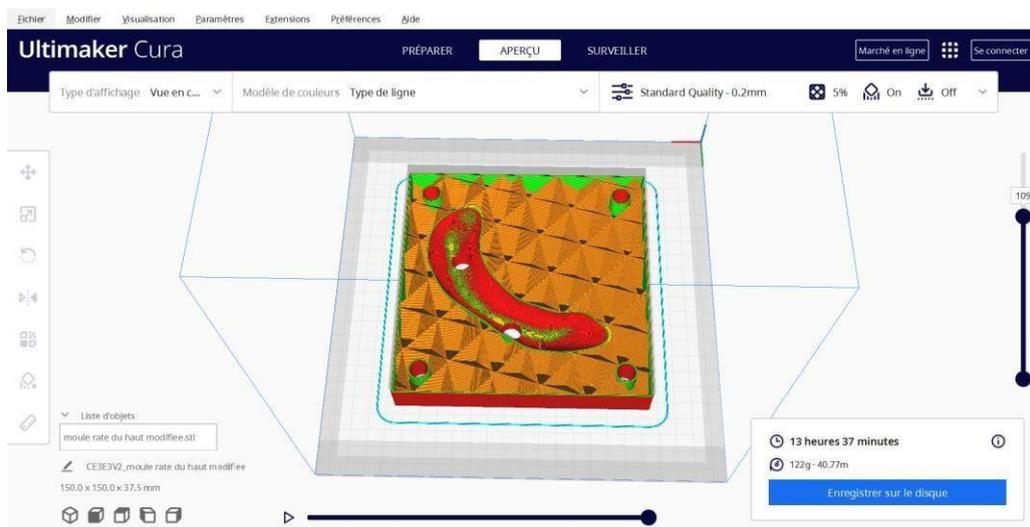


Fig. 17: Visualisation de la simulation de l'impression du moule supérieur de la rate et de ses mailles qui la composent. Source Ultimaker Cura®

c) L'impression du moule de la rate

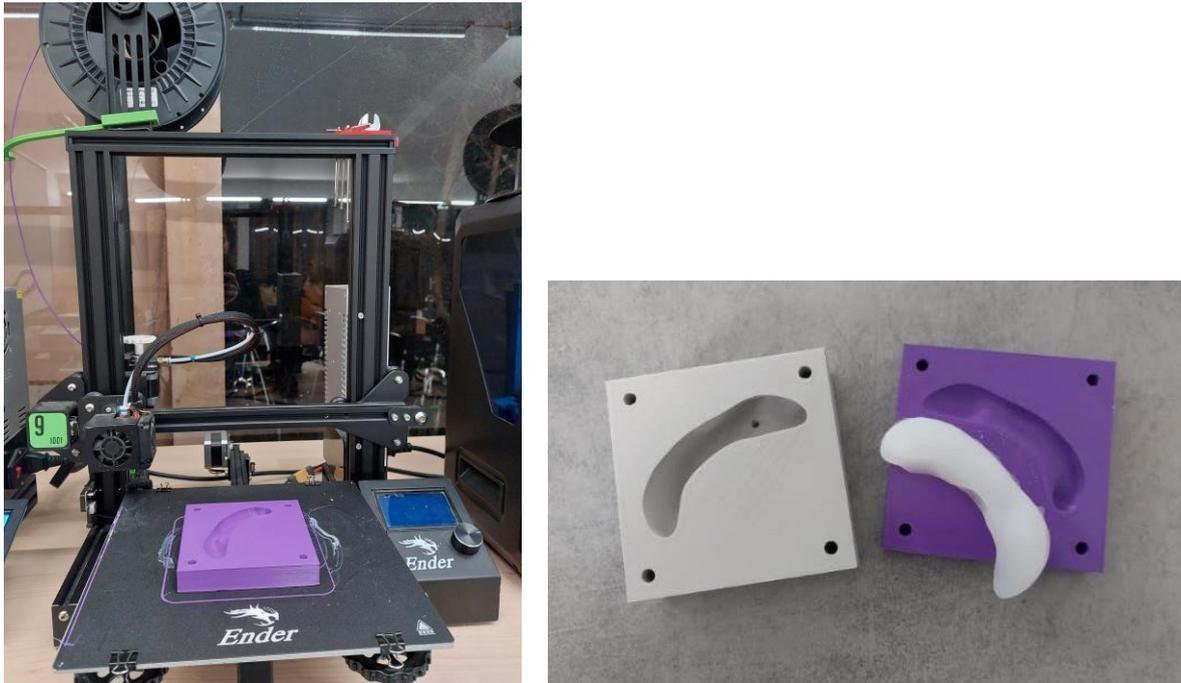


Fig. 18: Photographie de la partie inférieure du premier moule imprimé au Fablab Artilect de Toulouse (à gauche) et des deux parties du moule avec la rate en silicone (à droite). Source personnelle

Le logiciel Ultimaker Cura® permet de passer d'un **format STL à GCode** qui est le format nécessaire pour l'impression 3D. Par la suite, nous coulons le silicone dans le premier moule pour voir si des ajustements sont nécessaires. En effet, il a fallu augmenter le nombre de cheminées sur le moule pour obtenir une rate concave au lieu d'une plate. Le moule possédant plus de cheminées n'est pas réimprimé par la suite par souci d'économie de matière et de moyens car celui-ci est déjà fonctionnel avec ses quatre cheminées trouées à la perceuse. Le fichier Openscad est tout de même modifié et peut-être dès à présent imprimé comme un moule avec six cheminées (Fig. 19).

Nous imprimons de nouveau un moule cette fois à la taille proportionnelle du chien final. Pour cela on mesure la taille du thorax ainsi que celle de la rate sur le scanner du chien modèle grâce à 3D Slicer® modèle et en parallèle on mesure la taille fictive du thorax directement sur le mannequin. On obtient donc par le calcul de proportion, la taille de la rate correspondant au mannequin que l'on reporte sur le fichier dans Ultimaker Cura® et qui modifie de manière proportionnelle le moule associé.

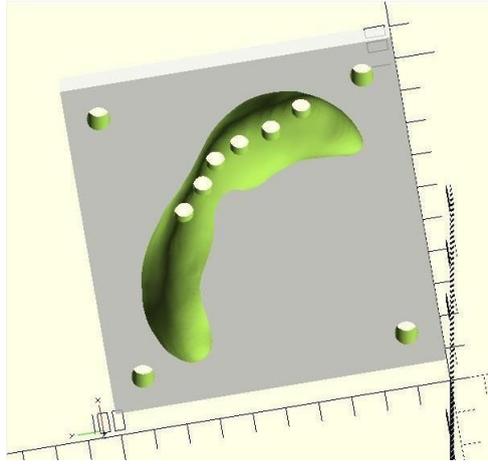
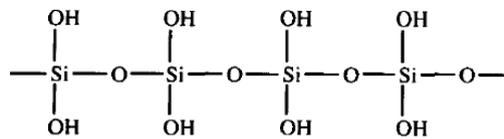


Fig. 19: Visualisation 3D de la partie supérieure du moule modifié avec six cheminées. Source logiciel Openscad®

## 2. L'usage du silicone pour imiter la texture de la rate

Au cahier des charges global pour la maquette s'ajoute le cahier des charges propre à chaque organe. Il doit être constitué d'une **matière reproduisant la texture d'une vraie rate pouvant se couler dans le moule, sécher et se démouler sans complication**. Le choix se tourne alors vers des matières telles que les gels, gélatine ou silicone. Ce dernier est un polymère inorganique avec une répétition d'atomes de silicium et d'oxygène (Fig. 20). Cette structure lui confère élasticité et résistance face à l'usure et à la température ambiante (13).



Polysilicic acid

Fig. 20: Structure du silicone

**Le silicone** paraît être le choix le plus adéquat pour représenter la rate car il est résistant aux manipulations comme j'ai pu le constater en manipulant le mannequin de palpation abdominale présent du CHU de Toulouse (Fig. 21). Ce matériau se démarque comme **mimant le plus fidèlement les tissus de mannequins** destinés à s'entraîner avant de réaliser une chirurgie, voire même sur la confection de **biomatériaux** et greffes d'organes. Le silicone est utilisé comme substituant la peau et des organes artificiels. Effectivement, il est utile pour

reproduire un rein en impression 3D afin d'entraîner les chirurgiens avant une néphrectomie (14), ou même en prothèses humaines (15) (16) ce qui prouve qu'il imite la consistance des vrais organes. Le silicone va jusqu'à être directement imprimable en 3D puis légèrement modifié pour devenir un biomatériau non rejeté par le système immunitaire du corps humain. Il peut par exemple remplacer un ménisque du tibia (15) ou une prothèse faciale grâce à ses propriétés similaires à l'organe qu'il remplace : **résistance, durabilité et flexibilité** (16).



Fig. 21: Photo du mannequin de palpation abdominale humaine présent à l'institut toulousain de simulation en santé (ITSIMS) au CHU de Toulouse. Source site <https://limbsandthings.com/global/products/60000/60000-abdominal-examination-trainer>

La caractéristique de résistance peut être également appelée **dureté** ou *shorenness*. C'est grâce à cette caractéristique que le silicone imite des organes plus ou moins malléables ou plus ou moins durs à la palpation, allant de la peau à la vessie. C'est une mesure qui est intrinsèque au silicone et qui est utilisée comme caractéristique pour les différencier lors des études sur ce matériau. La dureté est liée à **l'élasticité et viscosité**. (17) On peut décrire l'élasticité d'un matériau comme étant sa faculté à pouvoir subir une déformation qui cesse après la suppression de l'effort de manière réversible et instantanée. Son **élasticité lui permet de mimer les tissus biologiques**. La viscosité quant à elle, est la faculté à subir une déformation instantanée suivie d'une déformation différée, appelée déformation élastique. Pour cette déformation, ce phénomène est réversible (chargement, déchargement) mais elle est dépendante du temps c'est-à-dire qu'au bout d'un moment le matériau va se déformer.

Pour ses raisons, le silicone a été retenu pour reproduire les organes du mannequin de palpation canine en le choisissant selon sa dureté. On la mesure grâce à un **duromètre** (Fig. 22). Le pointeur situé à l'intérieur du duromètre est posé contre la surface du matériau dont on veut mesurer la dureté. Au contact de la surface, il se rétracte contre une roue en polyuréthane qui indique, par le biais de l'aiguille visible sur le cadran une **mesure de Shore entre 0 et 100**. La

profondeur d'enfoncement détermine la dureté. Autrement dit, si le pointeur s'enfonce peu, il indique un Shore faible (proche de 0) ce qui signifie que le matériau est malléable.

La dureté est une donnée chiffrée précisée sur chaque notice de silicone, donc en la mesurant sur les organes et comparant celles des notices on pourrait ainsi choisir le silicone adapté à chaque organe plein.

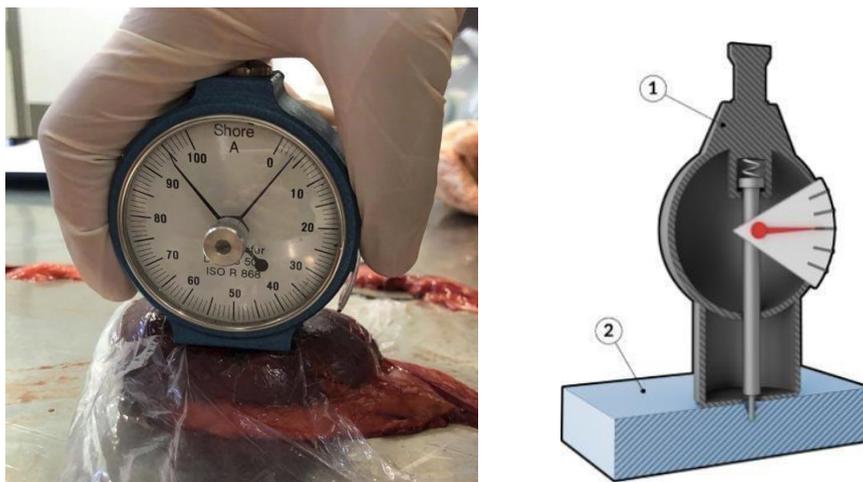


Fig. 22: Photographie de la mesure de la dureté ou du shorenness sur un rein de chien autopsié (à gauche) Schéma de fonctionnement d'un duromètre (à droite) avec 1. Duromètre 2. Surface du matériau à mesurer Source photo personnelle et site <https://www.manufacturingguide.com/en/shore-test>

L'aiguille et la mesure de la dureté qu'elle indique est propre à chaque duromètre. Il existe trois unités de shore : 00, A ou D. Ces unités permettent de mesurer de manière plus précise la dureté. Ainsi, on parle en shore 00 pour les matériaux le plus malléables et en shore D pour les matériaux les plus durs (Fig. 23).

Chaque mesure, en plus d'être propre à chaque duromètre, est propre à chaque force et chaque durée appliquée lorsque l'on pose le duromètre sur une surface. Les mesures sont ainsi seulement comparables entre elles si elles sont réalisées par le même opérateur à l'aide du même duromètre (17).



Nous précisons que l'organe est protégé par un papier film transparent par biosécurité et pour ne pas endommager l'outil de mesure.

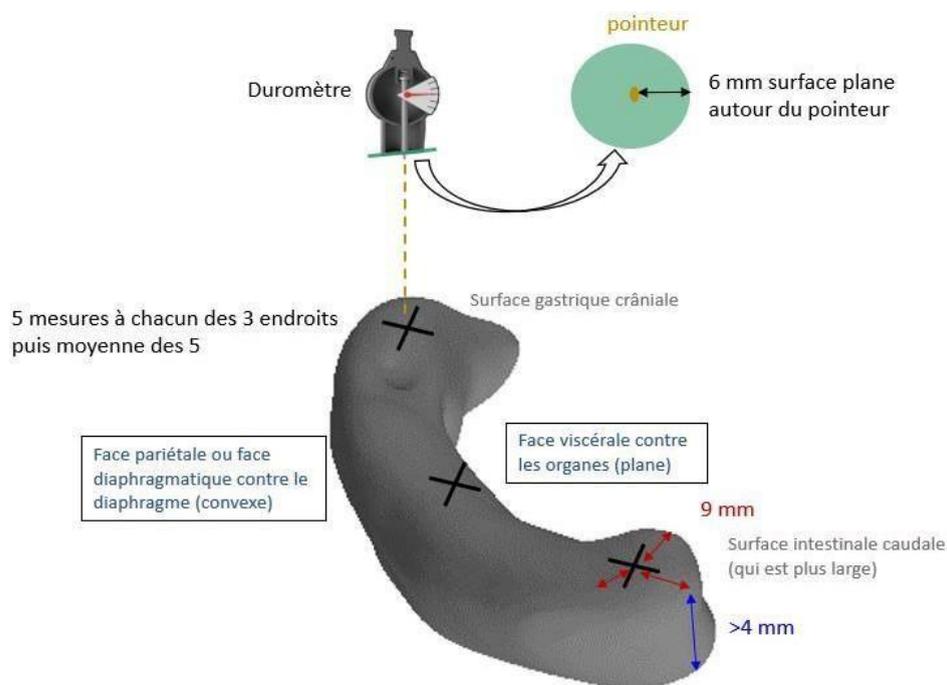


Fig. 24: Schéma représentant l'utilisation du duromètre et des zones des mesures de dureté de rate de chien. Source personnelle

	Foie		Rate		Rein	
	Shore A	Shore 00	Shore A	Shore 00	Shore A	Shore 00
Moyenne sur 5 mesures pour le Chien n°1	2	10	3	10	4	30
Moyenne sur 5 mesures pour le Chien n°2	5	20	3	7	6	25
Moyenne sur 5 mesures pour le Chien n°3	4	15	0	6	5	16
Moyenne sur chaque organe	3,7	15	2	7,7	5	23,7
Moyenne sur chaque organe arrondie à l'unité	4	15	2	8	5	24

Tableau 4: Tableau des résultats de mesures des duretés de foie, rate et rein de chiens autopsiés mesurées par deux duromètres différents. Source personnelle

Les mesures sont réalisées sur des **organes sortis de l'abdomen et posés sur une table** pour respecter les étapes d'autopsie d'individualisation des organes et garder le duromètre en position verticale (Fig. 22). Or, la sensation de palpation d'un organe dépend de sa localisation

et de son environnement proche. Les mesures devraient dans l'idéal être effectuées sur les organes en place dans l'abdomen (17).

Une autre difficulté réside dans le fait que les **organes mesurés s'avèrent être très malléables**. Donc pour effectuer les mesures de manière rigoureuse il faudrait utiliser un duromètre indiquant les shores en unité 00 puisque celui-ci est plus précis pour les matériaux malléables. Or, les shores indiqués sur les notices des silicones que nous avons à disposition sont référencés en shore A, en partie dû au fait que ce soit historiquement le premier shore utilisé. Nous décidons donc de garder les mesures en shore A.

Il faut dans un premier temps couler différents silicones retenus avec des shores A faibles dans des béchers en plastique à des volumes égaux pour obtenir des échantillons en forme de cylindre (Fig. 25). Nous suivons les précautions lors du coulage du silicone indiquées pour le manipulateur comme le port de gants en vinyle et le port de lunettes de protection. Également, nous évitons de mettre en contact direct le silicone et un moule contenant du sel d'étain, le soufre (pâte à modeler) ou les amines qui inhiberaient la confection ou le durcissement du silicone (18). Nous remarquons qu'il se décolle aisément du plastique des béchers sans précaution au préalable donc que le silicone est un bon candidat pour être coulé dans un moule en plastique en forme de rate. Il faut ensuite palper les cylindres de silicone afin de vérifier la concordance entre l'échelle annoncée par les shores au préalable de chaque notice et la sensation perçue puis grader les textures obtenues pour savoir si l'on peut se fier au shore de la notice pour choisir précisément le silicone comme résumé dans le Tableau 5.

Nous expérimentons également si l'ajout d'excipient type huile, durcisseur ou catalyseur permettent d'abaisser le shore, afin d'atteindre les shores très faibles que nous avons comme objectif, sans modifier pour autant la texture du silicone.

Par exemple le silicone « RTV 121 20% d'huile » est un polydimethylsiloxane, appelé RTV car il se polymérise *at room temperature* (Room-Temperature Viscosity) (16), est un silicone auquel on ajoute 20% d'huile pour diminuer son shore. L'ajout de ce pourcentage d'huile lui accorde en théorie un shore A inférieur à 11 alors qu'il donne une sensation à la palpation d'un silicone plus dur que le silicone Eco flex <sup>TM</sup> de Shore compris entre 0 et 20. Cela souligne les limites de l'ajout d'huile pour atteindre la dureté du silicone que l'on veut obtenir.

Nom du silicone	RVT 121 20% (d'huile)	RVT 121 10% (d'huile)	Eco flex <sup>TM</sup> 00:20	RTV 3325	RTV 148 A/147 B	Silicone marine yachtcare
Shore A indiqué sur la notice	Moins de 11	11 à 16	0 à 20	25	40	22

Tableau 5: Tableau indiquant les Shore A des silicones présents sur les notices. Source personnelle

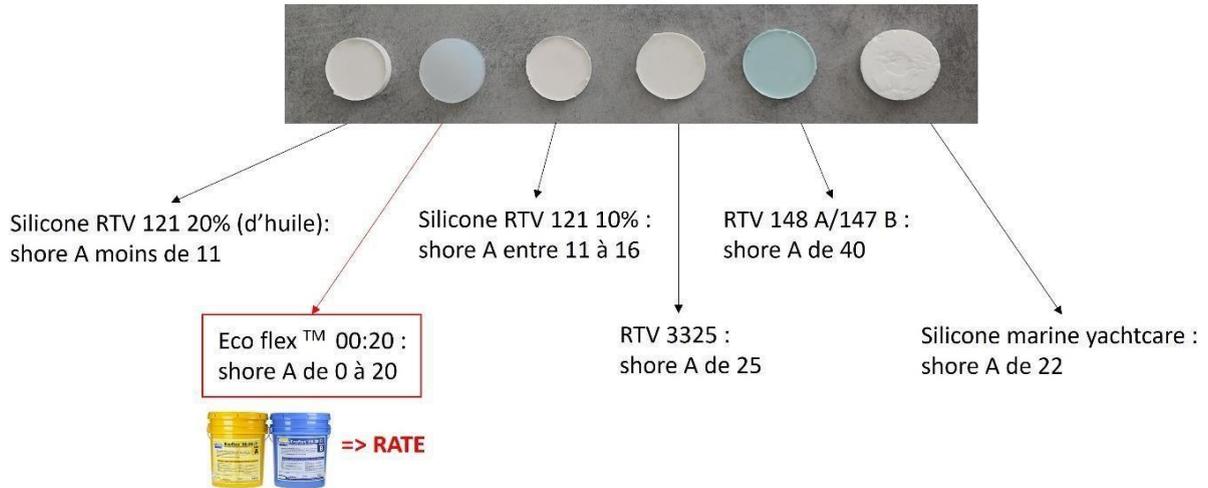


Fig. 25: Photographie des essais de silicones avec leur shore A présent sur les notices. Source personnelle



Fig. 26: Photographie du premier moule imprimé en PBS à taille réduite par rapport au mannequin et du coulage de silicone. Source personnelle

Finalement la texture reste inchangée sur des volumes plus grands c'est-à-dire sur la rate en moule PBS à taille réduite (Fig. 26) ou sur la rate à taille réelle donc on choisit définitivement le silicone Eco flex<sup>TM</sup> 00:20 pour la texture de la rate.

### 3. La fabrication des attaches de la rate dans l'abdomen

Plusieurs solutions d'attaches sont envisagées pour attacher la rate dans l'abdomen. L'une d'entre elles est d'inclure un matériau dans la rate au moment du coulage de silicone. Celui-ci doit **s'inclure dans le silicone** sans modifier la texture et tout en ayant une surface suffisamment grande **pour soutenir la rate sans modifier sa forme**. De plus, il ne doit **pas être trop épais** pour ne pas décoller les deux parties du moule lors du coulage de silicone et éviter qu'il fuite. Et finalement, il doit être **facile d'attacher et détacher**, et sans être trop lourd puisqu'il doit **s'attacher sur la colonne et les côtes** qui sont en plastique PLA. Ce choix sera expliqué plus tard.

Après plusieurs essais, la solution retenue est **d'inclure une tubulure de perfusion composée de deux morceaux de tuyaux perpendiculaires au sein desquels deux fils de fer fins en sortent** (Fig. 27 et Fig. 30). L'un des tuyaux est de la même longueur que la rate, soit 17cm, avec une encoche coïncidant à la hauteur d'une des deux cheminées présentes sur le premier modèle et se trouve inclus dans le silicone de la rate. Le deuxième tuyau de tubulure, cette fois de 10cm, est relié au premier pour être perpendiculaire et vertical. Il se trouve donc à la fois inclus dans la rate et à la fois à l'extérieur par une des cheminées du moule. Avant de relier les deux tuyaux nous avons fait passer les deux fils de fer dans chacun des tuyaux puis nous relierons les tuyaux en les collant. Ensuite il faut placer le tuyau vertical dans une des cheminées (Fig. 28) et au sein du moule inférieur en laissant dépasser les fils de fer du moule. Il ne reste plus qu'à rassembler les deux parties du moule, avec une corde ajustée pour rapprocher le plus possible les deux parties du moule (Fig. 29) et éviter que le silicone ne s'échappe.

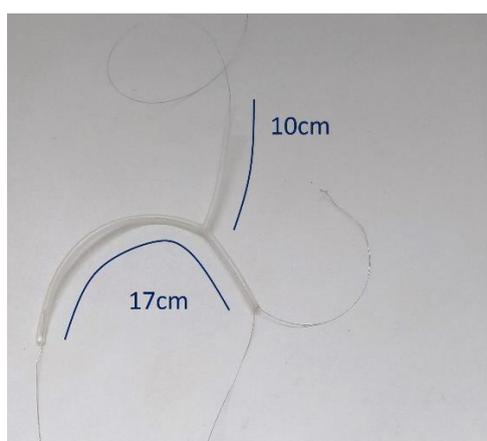


Fig. 27: Photographie du dispositif d'attache de la rate à l'abdomen en tubulure et fil de fer avant de l'inclure dans le silicone. Source personnelle



Fig. 28: Photographie du dispositif d'attache de la rate placé dans le moule et prêt à être inclus dans le silicone. Source personnelle

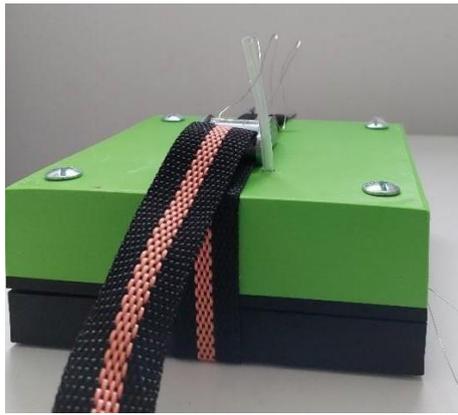


Fig. 29: Photographie du moule de rate à taille finale en cours de séchage, incluant le dispositif d'attache dans le silicone. Source personnelle



Fig. 30: Photographie de la rate à taille finale avec le système d'attache inclus. Source personnelle

## D. La conception des éléments extra abdominaux

L'étape suivante est la confection des éléments extra-abdominaux du mannequin pour aboutir à un chien réaliste en position debout.

### 1. De la palpation de tissu de peluche à la palpation d'une peau de chien

#### *a) La transformation du tissu en fausse peau*

La première étape pour réaliser un mannequin de chien réaliste est **d'améliorer le tissu de la peluche pour obtenir une fausse peau réaliste** puisque c'est le premier élément que rencontre tactilement l'opérateur lors de la palpation.

La peau est une barrière mécanique qui protège le corps, constituée de trois couches : l'épiderme, le derme et l'hypoderme. Du point de vue biomécanique la peau est non linéaire, tendue et viscoélastique entre 0,5 et 5mm d'épaisseur avec une épaisseur généralement plus fine au niveau de l'abdomen (19).

La peluche choisie pour la maquette (Fig. 12) ne peut pas représenter de manière parfaite la peau décrite comme ci-dessus. Il n'est pas faisable de reproduire toutes les couches protégeant les organes (peau, muscles, tissu adipeux) par souci d'espace disponible dans la peluche et par manque d'instruments disponibles pour mesurer les propriétés mécaniques des matériaux. En effet, nous n'avons pas d'instrument disponible à l'ENVT pour mesurer l'élasticité du tissu adipeux ou de la peau donc il n'est pas possible de choisir un matériau de la même manière que pour la mesure de dureté des silicones. L'objectif est donc **que la maquette permette une sensation de palpation de la peau.**

Pour imiter la peau nous expérimentons le silicone et le latex (Fig. 31) sur un morceau de tissu d'une autre peluche d'abord de manière isolée. Le latex intervient comme alternative puisque celui-ci est simple d'utilisation car il se coule comme un liquide sans traverser les pores du tissu contrairement au silicone. Il paraît prometteur pour représenter la sensation de peau car il est déjà connu et utilisé pour reproduire des fausses peaux pour des maquillages d'humains.

Nous faisons attention aux potentielles allergies au latex pour les étudiants utilisant la maquette mais le problème ne se pose pas pour notre maquette étant donné que le latex se trouve à l'intérieur de la peluche donc jamais en contact direct lors de la palpation.

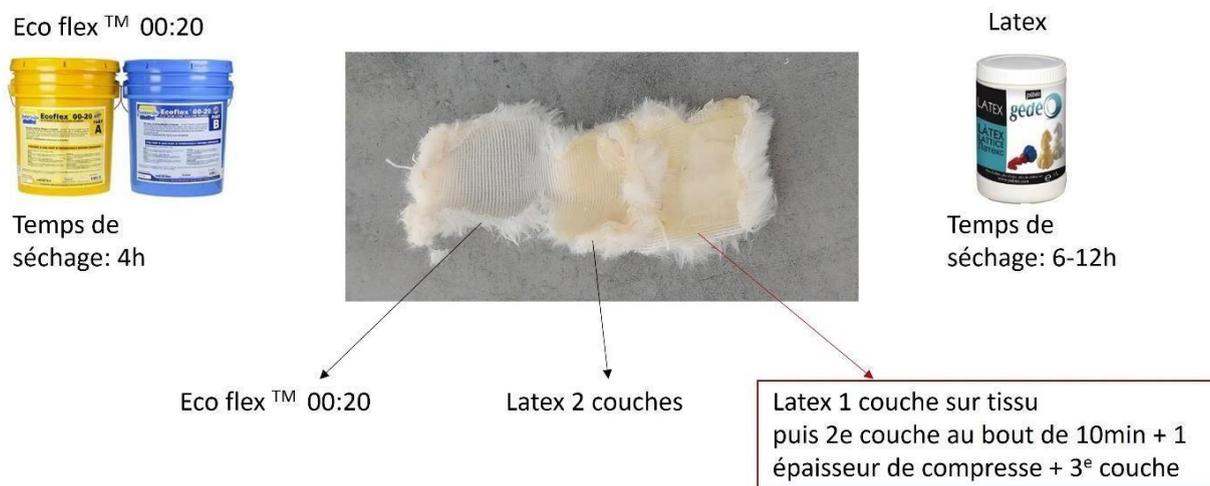


Fig. 31: Photographie des premiers essais de fausse peau entre Eco flex™ 00 :20 et latex sur tissu de peluche isolé. Source personnelle

La combinaison retenue est le latex avec une compresse de gaze pour reproduire la sensation de peau. Après des essais pour conserver l'élasticité initiale de la peluche et l'élasticité latérale de la peau sans qu'elle se rétracte, nous coulons le **latex sur la compresse** (Fig. 32) et posons le tout sur un tissu 100% coton.

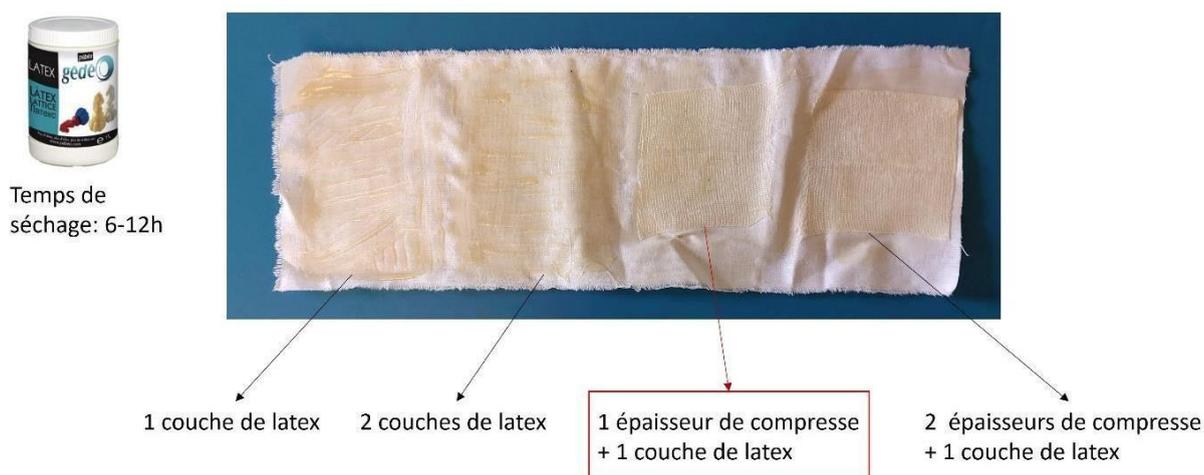


Fig. 32: Photographie des essais de fausse peau avec latex et compresses apposés sur un tissu 100% coton. Source personnelle

Pour réaliser le derme de la peau il suffit de placer une épaisseur de compresse (soit une compresse dépliée entièrement) puis une couche de latex à l'aide d'un pinceau sur un tissu 100% coton (Fig. 33).

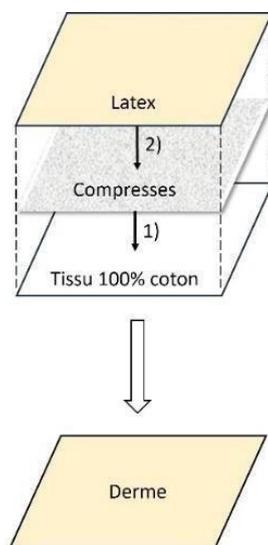


Fig. 33: Schéma des étapes chronologiques permettant d'obtenir le « derme » du mannequin. Source personnelle

Maintenant que nous avons le derme, il faut le **coudre à l'intérieur de la peluche**. On découpe des lambeaux de ce « derme » de tailles adaptées au chien (Fig. 34). Ensuite le tissu est cousu de manière que le latex se retrouve entre le tissu coton et le tissu de la peluche. Il se situe donc au plus proche de la main qui palpe sans être en contact avec les organes abdominaux (Fig. 35 et Fig. 36) au risque de rester collé aux organes et les endommager.

Par choix de simplicité pour la compréhension des étapes de confection du mannequin et des patrons, ceux-ci sont orientés dans le sens des photos et non le sens anatomique.

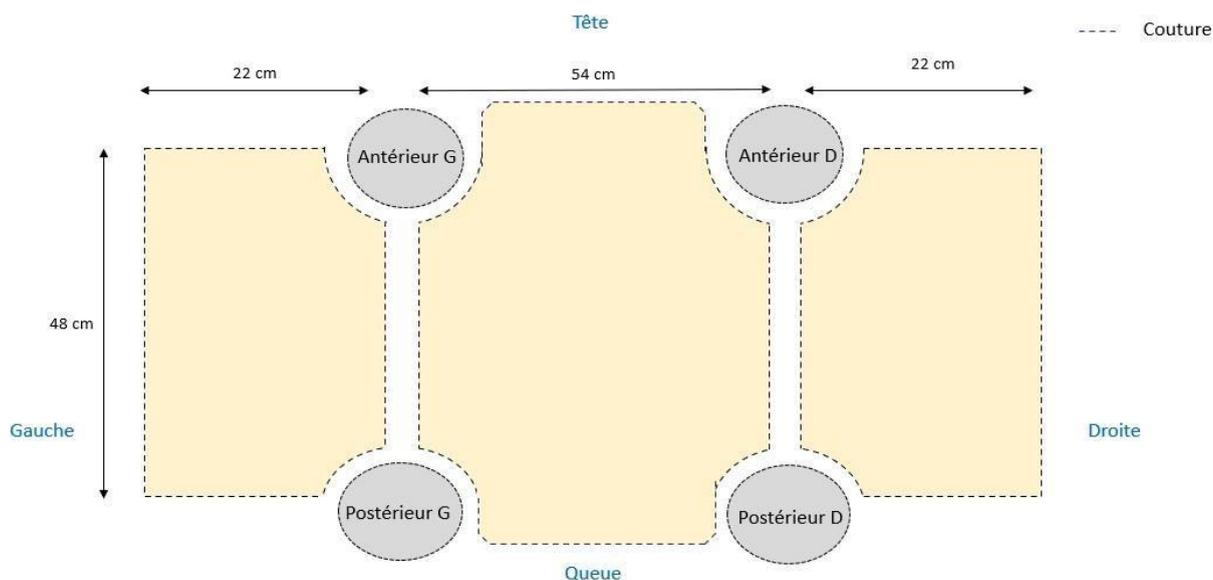


Fig. 34: Patron du "derme" prêt à être cousu à l'intérieur de la peluche. Source personnelle

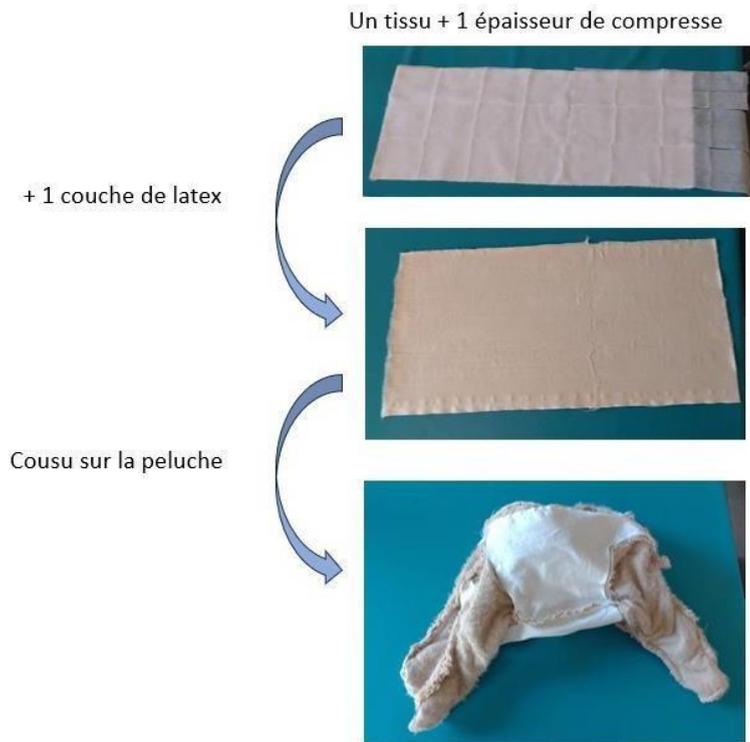


Fig. 35: Schéma représentant les étapes de la fausse peau. Source personnelle



Fig. 36: Photographie de la peau du mannequin. Source personnelle

*b) La mise en place des volets d'ouverture sur l'abdomen*

Pour aboutir à un mannequin qui s'ouvre et se ferme à l'infini nous choisissons de coudre des fermetures éclairs sur des zones précises. Cela permet de visualiser le positionnement des organes avant et après l'exercice de palpation.

Le mannequin possède **cinq fermetures éclairs** qui ne sont **pas localisées sur les zones de palpation abdominale** (Fig. 37). Parmi les cinq fermetures, il y en a une « séparable » en

regard de la colonne vertébrale qui mesure 25 cm et quatre « non séparables » de 17cm chacune, perpendiculaires à la première. Les cinq se rejoignent et forment un « H » permettant l'ouverture du dos et des flancs (Fig. 38).

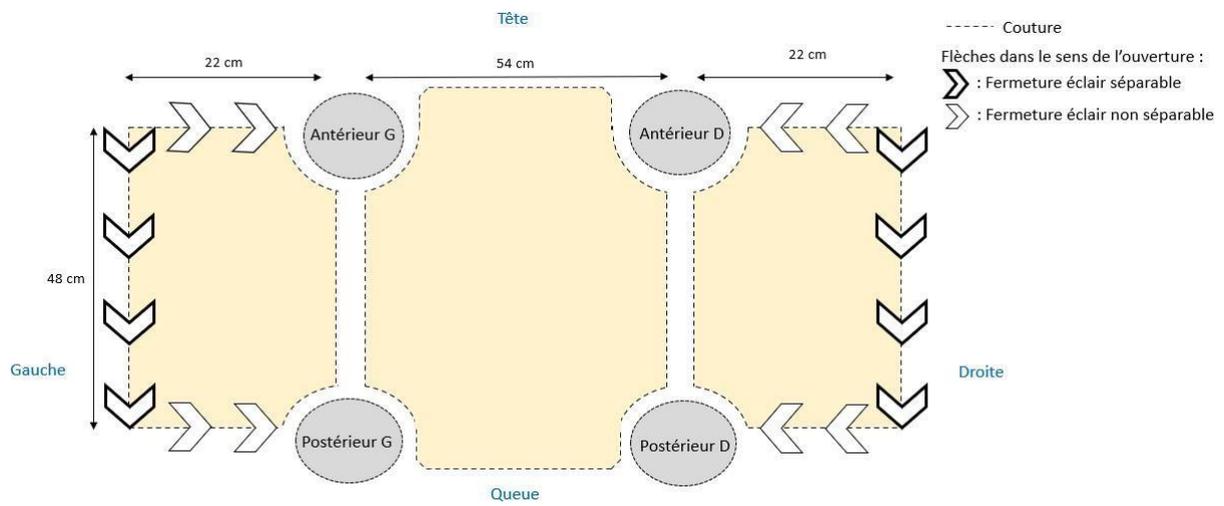


Fig. 37: Patron du derme et emplacements des fermetures éclairs ainsi que leur sens d'ouverture. Source personnelle



Fig. 38: Photographies des fermetures éclair "en H" permettant l'ouverture en "volets" du mannequin. Source personnelle

*c) Imitation du tissu adipeux*

La dernière étape pour atteindre la perception de la peau est l'ajout d'une substitution de tissu adipeux composé par un **tissu voilage polyester et de la ouate**. Le voilage est découpé en rectangles et **cousu** sur les trois lambeaux de tissu en laissant un côté non cousu du voilage (Fig. 39 et Fig. 40). La ouate permet d'obtenir une irrégularité de la peau permettant de se rapprocher d'une peau réaliste. De plus, le côté non cousu du tissu de voilage permet d'ajouter ou enlever la quantité de ouate et donc d'imiter un animal avec plus ou moins de tissu adipeux. Le choix du tissu voilage est pour ses caractéristiques de maillage fin et léger ce qui évite de diminuer le volume restant et disponible à l'intérieur de la cage abdominale pour les organes.

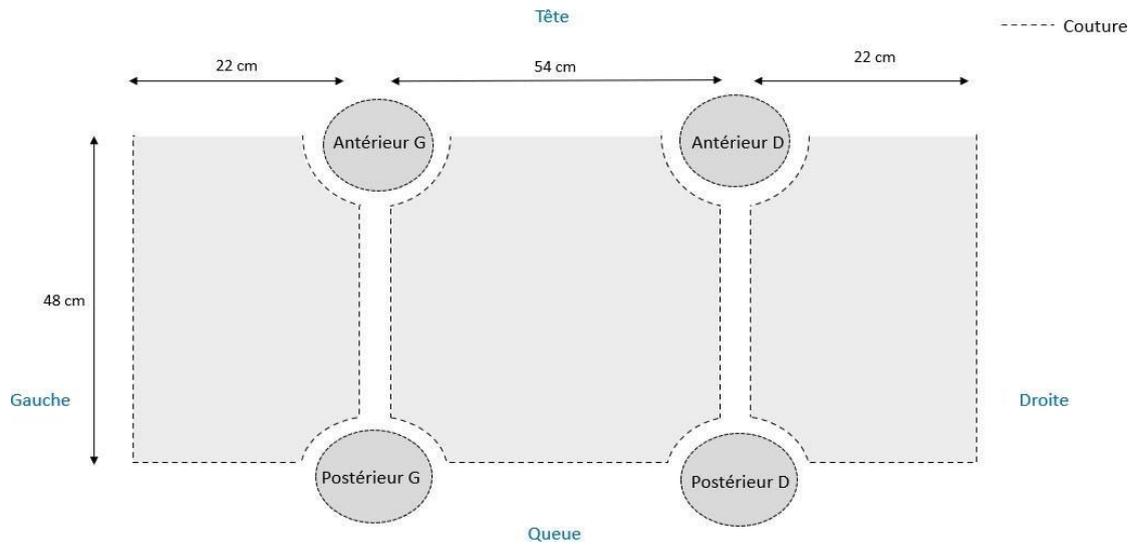


Fig. 39: Patron de la couche représentant le tissu adipeux. Source personnelle



Fig. 40: Photographies du mannequin avec la peau finale. Source personnelle

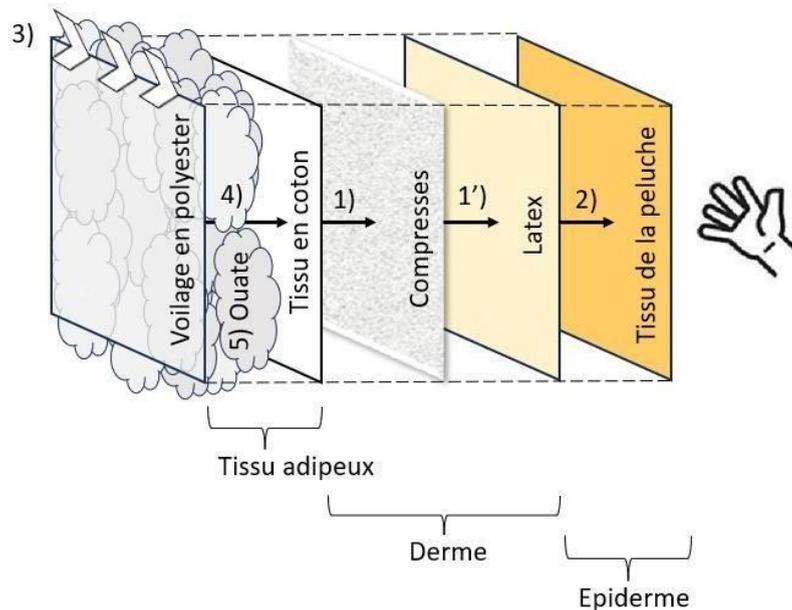


Fig. 41: Schéma représentant la chronologie et les matériaux de la peau du mannequin. Source personnelle

## 2. De la palpation de la peluche couchée à la palpation du chien debout

### a) La fabrication du squelette appendiculaire

La première étape pour permettre au mannequin de tenir debout est de fabriquer des pattes dans un matériau économique, de poids médian toujours dans l'objectif de transporter le mannequin entier et de le garder dans le temps.

Chaque membre est composé de trois couches (Fig. 42) qui sont placées à l'intérieur des pattes de la peluche pour s'approcher visuellement des pattes d'un chien.

Les **pattes sont en PVC** (Fig. 43) afin d'être amovibles et remplaçables. Elles sont articulées en trois parties pour représenter les deux ceintures scapulaire et pelvienne tout en soutenant la colonne vertébrale qui sera détaillée par la suite.

A l'intérieur des pattes en PVC se trouvent des **poïds** (Fig. 44) qui sont des sacs en tissu contenant du riz pour rendre la patte plus lourde donc plus stable.

A l'extérieur des pattes en PVC nous plaçons des « **guêtres** » (Fig. 45) de tissus cousus et contenant de la ouate pour l'aspect esthétique.

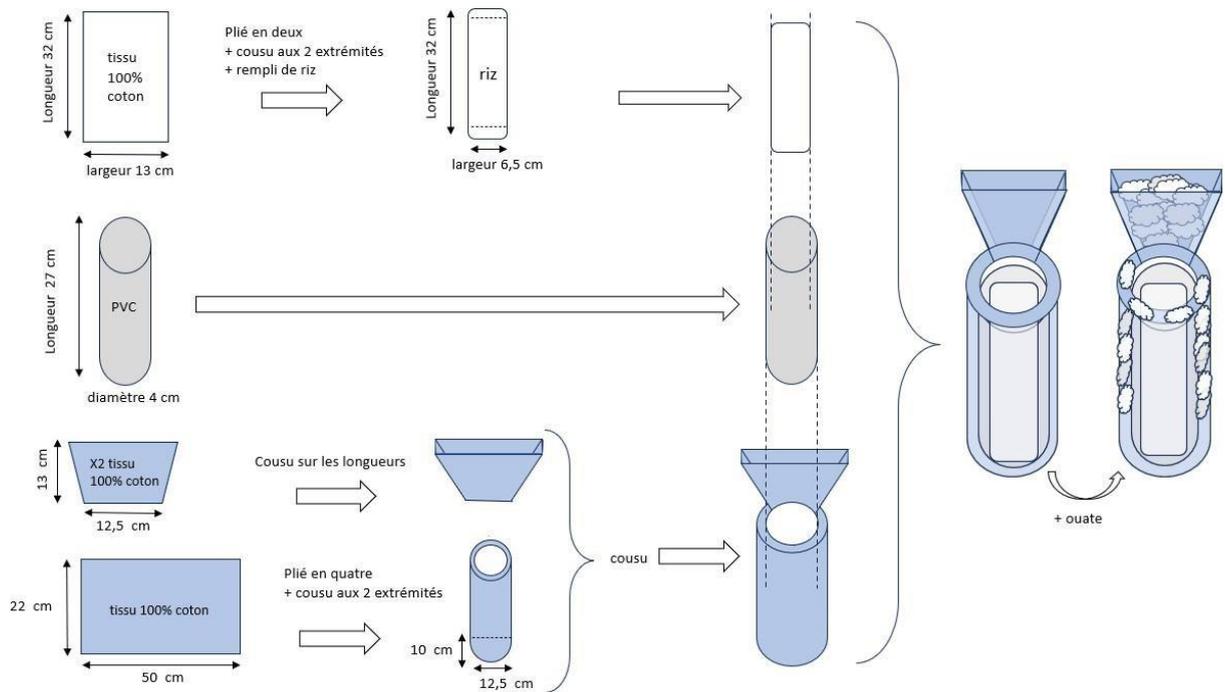


Fig. 42 : Schéma de la confection des pattes avec poids, guêtre et ouate. Source personnelle

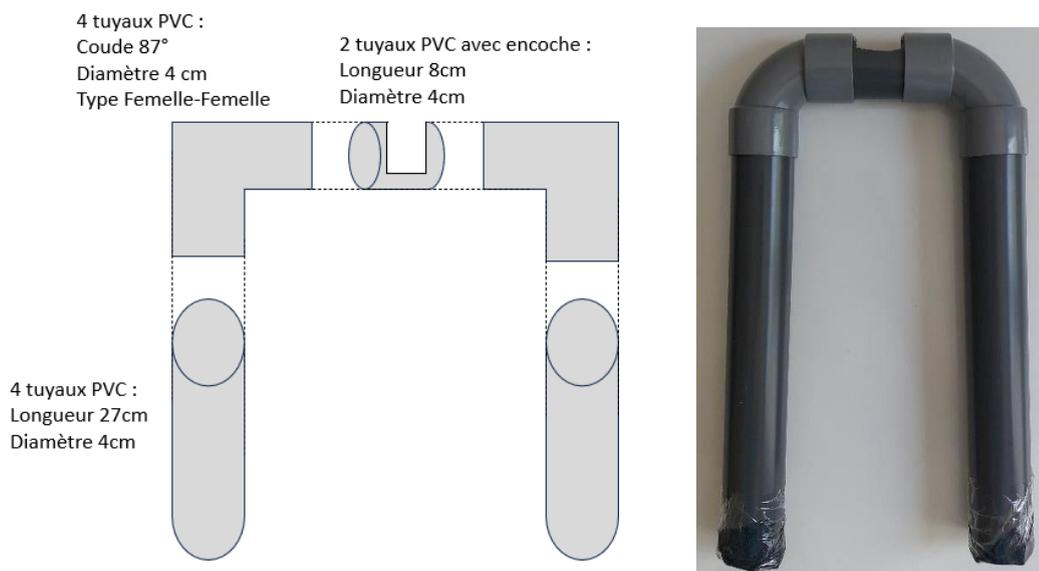


Fig. 43: Schéma et photographie des pattes antérieures ou postérieures. Source personnelle



Fig. 44: Photographies des pattes en PVC avec leur poids à l'intérieur. Source personnelle



Fig. 45: Photographies des guêtres en tissus et des pattes en PVC avec une guêtre. Source personnelle

#### b) La fabrication du squelette axial

Le squelette axial est constitué du crâne et de la colonne vertébrale ainsi que la cage thoracique pour permettre de maintenir le mannequin debout, d'avoir une sensation de palpation de côtes et d'accrocher la rate.

L'impression en 3D de la colonne et de la cage thoracique est réalisée à partir du scanner initial de chien, en plastique PLA en utilisant notamment le logiciel OsiriX® (Fig. 46). Le fichier initial est retravaillé pour ajuster la taille entre celle du scanner initial et celle de la peluche. La taille de la cage thoracique est diminuée de 65% et les côtes au niveau de la scapula et les

dernières côtes sont enlevées (Fig. 46 et Fig. 48). Le but est de conserver une proportion entre le thorax et l'abdomen tout en gardant le volume suffisant pour permettre une palpation d'abdomen. Après impression et vérification avec les autres éléments de la maquette, d'autres côtes sont enlevées puisque la peluche n'est pas proportionnée comme un chien physiologique et l'about distal des deux dernières restantes est coupé pour reproduire la sensation des dernières côtes flottantes possédant une partie osseuse plus courte que le reste des autres côtes.

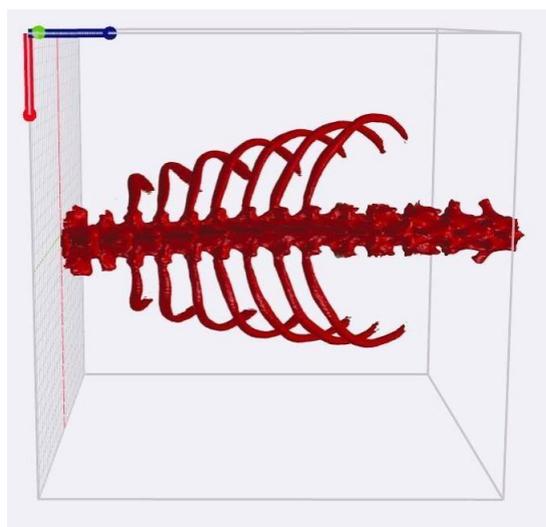
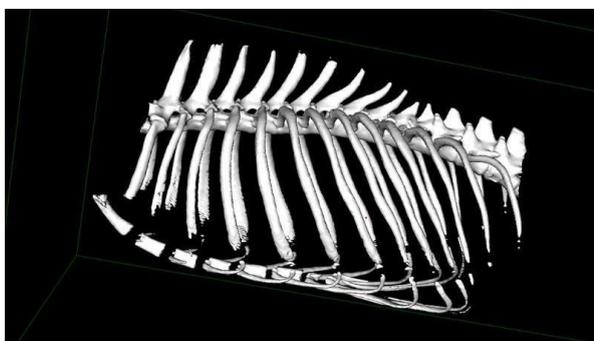


Fig. 46: Fichier de la cage thoracique provenant du scanner de chien au format STL (à gauche). Source logiciel OsiriX®  
Fichier de la cage thoracique après ajustement de la taille et du nombre de côtes (à droite). Source logiciel OsiriX®

La géométrie des côtes du thorax nécessite d'imprimer au même temps ses supports en PLA (Fig. 47). Cela est nécessaire puisque l'impression 3D se fait par dépôt de couches de PLA les unes sur les autres. Il est donc nécessaire d'ajouter des supports qui supportent les couches de matériau suivantes et sont décrochés manuellement à la fin de l'impression.

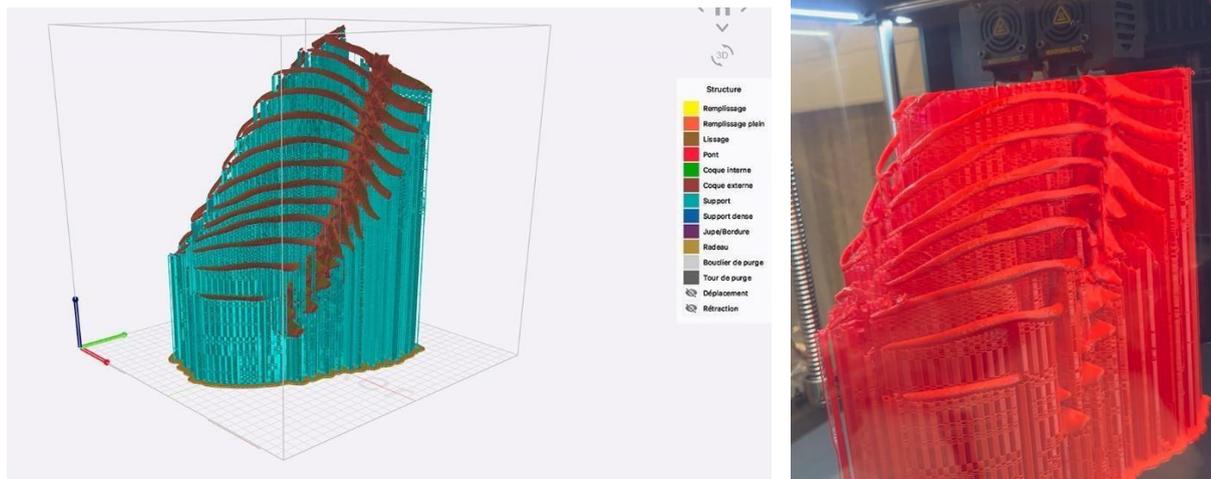


Fig. 47: Capture d'écran de la cage thoracique et de ses supports générés par le logiciel Ideamaker® 4.2.1 (à gauche). Photographie lors de l'impression de la cage thoracique et de ses supports par l'imprimante 3D Raise 3D Pro 3® (à droite).  
Source des photos : Sophie Palierne

Pour l'étape de finition, la cage thoracique est poncée au grain 80 puis 180 et enfin vernie (Fig. 48). Cette étape a pour but de diminuer la rugosité qui est déjà limitée auparavant par les paramètres de l'impression 3D, afin d'éviter d'endommager le tissu de voilage qui se trouve au contact des côtes.

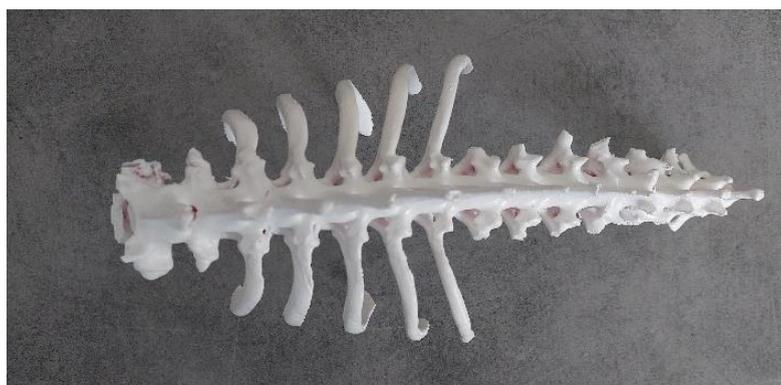


Fig. 48: Photographie du thorax imprimé en 3D après retouches. Source personnelle

### 3. De la peluche instable au chien immobile

Le mannequin possède une ossature lui permettant de tenir debout mais n'est pas encore maintenu immobile. Nous fixons de manière non permanente le mannequin sur un socle en bois à l'aide de quatre équerres en acier de base carrée 4 cm et possédant des trous permettant le passage de fil de fer (Fig. 49).



*Fig. 49: Photographie du mannequin Scraps sur son socle. Source personnelle*

### **III. Synthèse des étapes de fabrication du mannequin de palpation abdominale Scraps**

#### **A. La mesure du shoreness sur organes pour une bonne fidélité du silicone**

La réflexion sur les silicones ainsi que les mesures de shoreness ont été réalisées grâce à Maëleenn AUFRAY (maître de conférence au CIRIMAT et professeure à l'ENSIACET), grâce au service d'autopsie de l'ENVT et enfin grâce à Armelle DIQUELOU (professeure de médecine interne à l'ENVT).

#### **B. L'obtention du moule de rate à partir d'un scanner**

Le début du codage du moule a été permis par David GROSSIN (maître de conférence au CIRIMAT et professeur à l'ENSIACET).

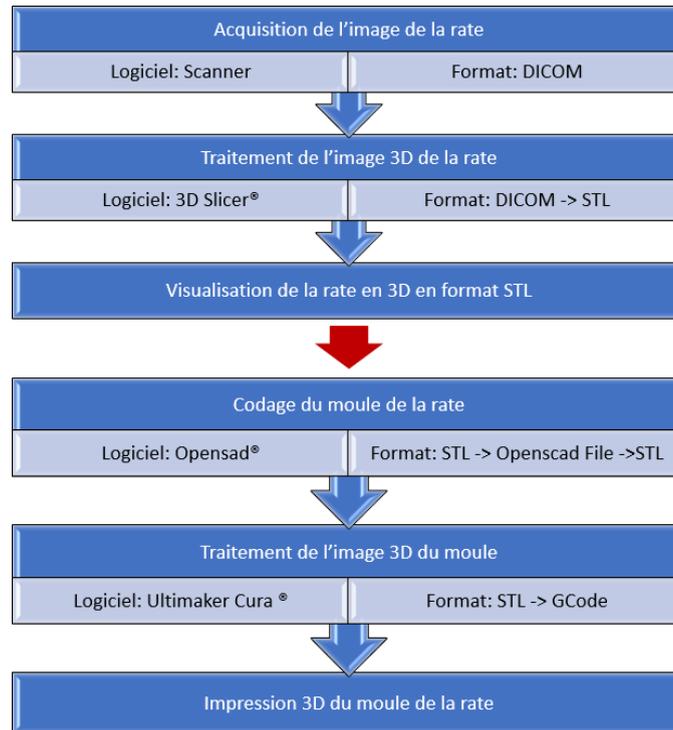


Fig. 50: Schéma synthétisant les étapes de fabrication de la rate avec les logiciels et formats associés. Source personnelle

### C. L'impression 3D du thorax à partir d'un scanner

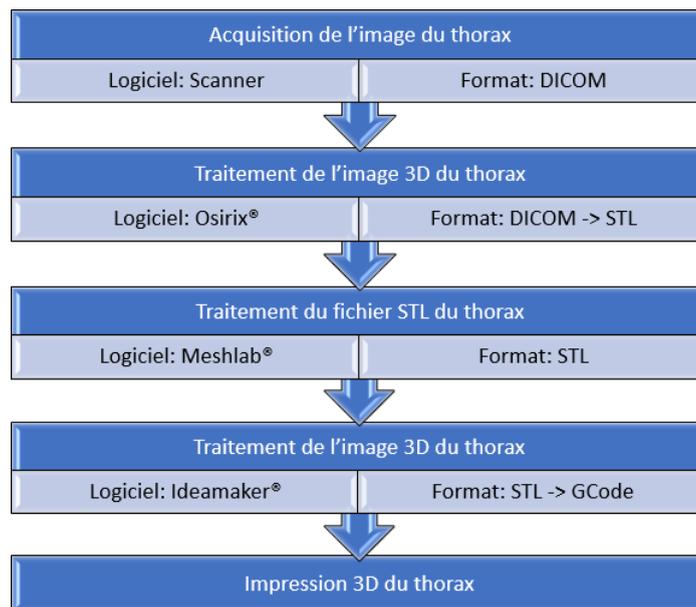


Fig. 51: Schéma synthétisant les étapes de fabrication du thorax. Source personnelle

L'impression du thorax a été réalisée avec l'aide de Sophie PALIERNE (professeure de chirurgie à l'ENVT).

#### D. Le résultat final : le mannequin Scraps



Fig. 52: Photographies du mannequin Scraps avec sa peau, son squelette, sa rate et son socle. Source personnelle

## IV. Discussions

Chaque choix durant la confection du mannequin a été fait en anticipant l'entretien ou le remplacement futur de certaines pièces du mannequin. En effet, celui-ci est voué à être **réutilisable** mais nécessite tout de même un **renouvellement des organes** à une fréquence adaptée à leur vitesse d'usure. Nous devons prendre également en compte le **critère financier** et la **disponibilité des matériaux**.

Tous ces éléments sont à prendre en compte simultanément et à chaque étape de fabrication du mannequin.

### A. Le choix des différents matériaux

La réalisation d'un **mannequin fidèle de palpation présente plusieurs défis**. L'un d'eux réside dans le choix des matériaux composant le mannequin. En effet, le **manque d'informations sur les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des organes abdominaux** rend difficile sur le choix du matériau pour la fabrication d'organes synthétiques et demande donc des recherches en amont de la confection du mannequin.

Le premier travail de recherche consiste à répertorier les **matériaux qui composent les mannequins déjà existants** en médecine vétérinaire ou humaine, les **méthodes employées** pour fabriquer les organes et enfin les **rétrospectives d'utilisation de ces matériaux**.

En résumé, actuellement les mannequins en médecine humaine sont couramment fabriqués et vendus sans pour autant divulguer les méthodes et matériaux utilisés, ni leurs propriétés mécaniques obtenues. Il nous est donc impossible d'utiliser les informations sur la composition des mannequins de simulation humain ni de les transposer aux mannequins animaux. Donc la solution serait de **mesurer les propriétés mécaniques des vrais organes abdominaux canins** afin d'acquérir des données précises sur lesquelles s'appuyer pour choisir des matériaux synthétiques (6).

Il est possible de mesurer d'autres propriétés **d'autres propriétés** du silicone grâce à des tests (6) ou des équations comme le module de Young (20) comme le résume le Tableau 6. Mais la dureté reste la caractéristique la plus représentative de la texture de l'organe et qui peut être évaluée de manière rigoureuse grâce aux mesures effectuées par le duromètre en suivant les normes de mesures (17). De plus, les mécanorécepteurs humains ne détectent pas avec autant de précision des différences de texture

donc l'utilisation d'autres valeurs que le shore ou d'équations ne paraît pas apporter de précision pour la maquette.

Propriété (unité de la propriété)	Type de propriété	Choisie ou non pour le matériau	Justification
Dureté (shore)	Mécanique	Oui	Représente la dureté qui se mesure facilement avec l'instrument duromètre et se retrouve sur les notices de silicones
Résistance (MPa)	Mécanique	Non	Lors de la palpation les organes ne sont pas soumis à un étirement très conséquent
Allongement à la rupture (%)	Mécanique	Non	Lors de la palpation les organes ne sont pas soumis à un étirement très conséquent
Conductivité thermique (W)	Physique	Non	Un organe chaud ne l'est pas assez pour que la palpation à travers la peau fasse ressentir une anomalie de chaleur
Densité (sans unité)	Caractéristique	Non	N'influe pas la texture perçue à la palpation de l'organe
Viscosité (Pa.s)	Caractéristique	Non	Influe la texture perçue à la palpation de l'organe mais n'est pas facile à intégrer dans le choix de matériaux pour la fabrication de l'organe

Tableau 6: Tableau du choix de la propriété de l'organe à mesurer pour déterminer le silicone qui le composera. Source personnelle

## B. Le choix des types de modélisation et du moule

Le deuxième travail de recherche, effectué en parallèle du recueil des informations sur les matériaux, est le choix des **méthodes de modélisation et moulage** des organes. En plus de choisir le type de fixation des organes au sein du mannequin.

Il faut trouver un moule permettant de renouveler les organes régulièrement. D'autant plus que le silicone n'a pas une durée de vie illimitée et va perdre sa texture après les palpations répétées. Il faut veiller à ne pas l'exposer au soleil, à bien fixer les organes et ne pas fabriquer deux organes en contact dans des matériaux qui peuvent fondre afin d'éviter qu'ils s'endommagent mutuellement.

Après avoir finalisé la confection du mannequin on obtient un modèle inerte, immobile, qui ne réagit pas à la palpation donc ne montre ni de signes de douleurs ni contractions musculaires abdominales.

### C. Les avantages du modèle inerte et immobile

La caractéristique de mannequin inerte a des avantages non négligeables notamment celui de faciliter l'apprentissage de la **palpation** en permettant d'aiguiser son sens tactile **sans devoir s'adapter aux réactions de l'animal** dans un premier temps.

Il présente également un avantage **éthique**. En effet, le but principal est de développer un outil à visée des étudiants vétérinaires pour qu'ils n'apprennent pas sur animaux vivants lors de leur premier geste technique (6). Cela peut éviter un stress physique et mental pour le chien palpé durant les travaux pratiques d'apprentissage de palpation abdominale. Les étudiants progressent plus rapidement avec une maquette presque auto-évaluative lors des palpations. Ils sont donc plus rapides et plus efficaces lors d'une vraie palpation. L'étudiant a ainsi plus de chances de palper l'abdomen profond sur une maquette inerte que sur un animal qui se crispe. Finalement, nous améliorons le bien-être des chiens car nous pouvons les traiter plus rapidement et efficacement pour l'affection qu'ils présentent.

On aborde également une perspective **environnementale** puisque le mannequin est réutilisable (6). Il n'y a pas de déchet après chaque entraînement de palpation mais seulement lorsque l'on remplace les pièces usées ce qui représente une partie négligeable en comparaison avec le mannequin en entier, notamment car son squelette reste intact. Le polyester par exemple n'a pas besoin d'être remplacé. Le chlorure de vinyle et polycarbonate sont des plastiques recyclables.

Finalement mannequin Scraps présente **un intérêt économique** puisqu'il reste moins onéreux qu'un mannequin acheté auprès d'une entreprise (6).

### D. Les inconvénients du modèle inerte et immobile

Le choix d'une peluche unique permet aux étudiants de montrer **qu'une seule taille et forme d'abdomen**. Or, bien que l'anatomie abdominale soit la même chez tous les chiens, toutes les races ne présentent pas des aspects d'abdomen identiques notamment certaines possèdent des abdomens plus ou moins profonds (6).

De plus une maquette inerte **ne permet pas l'adaptation aux réactions** physiques et comportementales **de l'animal** lors de la palpation.

Enfin, **les organes sont fixés au sein du mannequin, ce qui empêche tout mouvement.** Or, lors d'une palpation en situation réelle, les organes ont des légers mouvements entre eux ou sous la main de l'opérateur (physiologiquement, à cause de la présence de tissu adipeux ou à cause de pathologies...). L'opérateur peut également rencontrer des difficultés à individualiser certains organes par exemple à cause de la présence de tissu adipeux autour ou d'une masse profonde avec une forme difficile à individualiser. Toutes ces situations demandent une certaine dextérité, qui se développe après entraînements, pour être capable de s'adapter. L'autre risque de fixer des organes dans le mannequin est que **les étudiants retiennent l'emplacement des organes de ce mannequin.** Ils associeront rapidement la sensation toujours identique de l'organe de ce mannequin. A l'avenir, comme chaque chien est différent, il faudra être capable de s'adapter à chaque sensation de palpation d'organe qui est légèrement différente, d'autant plus que chaque chien réagit différemment. Ici c'est une question d'expérience qui s'acquiert en répétant le geste sur plusieurs chiens différents que le mannequin peut difficilement surmonter car cela demanderait la fabrication de multiples mannequins.

## V. Conclusion et perspectives

“ Abdominal palpation is a complex, an open-ended task that seeks an undefined solution. (2) ”

« La palpation abdominale est un geste technique complexe et sans fin qui cherche une réponse pour le moment à un problème inconnu ». En effet, elle n'est jamais maîtrisée parfaitement d'autant plus que souvent on ne connaît pas à l'avance l'organe douloureux avant d'effectuer la palpation. C'est pourquoi le mannequin d'abdomen de chien permet de relever certains défis notamment de permettre aux **étudiants de répéter le geste de palpation et de progresser sur les connaissances anatomiques, topographiques et sur les textures physiologiques des organes de chien** de taille moyenne avant la mise en situation réelle. Même si un mannequin ne permet pas de s'entraîner à adapter la technique de palpation à

chaque animal puisque le mannequin n'a ni de réaction, ni ne présente les différentes morphologies, il permet tout de même une première approche d'un geste difficile à acquérir et pourtant essentiel à maîtriser pour chaque vétérinaire.

## A. Les perspectives à court terme sur le mannequin Scrops

### 1. L'ajout d'un capteur de pression sur Scrops

Une des premières perspectives à court terme en vue d'améliorer et continuer le mannequin serait d'y apporter des **capteurs de pression Loomia®** (Fig. 53). D'abord d'en placer un sur un circuit extérieur isolé sous une rate posée sur la table et relié à un écran qui indiquerait la pression exercée par l'étudiant palpant la rate isolée.



Fig. 53: Photographie du capteur de pression Loomia®. Source site <https://www.loomia.com/samples/p/mini-pressure-matrix>

L'autre capteur serait placé sous la rate du mannequin avec l'écran visible en dehors du mannequin. L'idée serait que les étudiants s'entraînent à exercer une pression correcte sur la rate isolée avant de passer sur la palpation de la rate dans le mannequin. Cela pourrait permettre de pallier le manque de retour lors de l'apprentissage de la palpation sur leur manière de palper ou d'exercer une pression.

### 2. La fabrication de rates pathologiques

La deuxième perspective serait de fabriquer des rates pathologiques, avec des textures plus ou moins fermes, ou avec des anomalies de conformations comme des tumeurs. Les étudiants devraient alors deviner seulement avec la palpation l'anomalie que présente le chien. Cela permettrait de **palper un organe pathologique sur mannequin** avant de rencontrer un cas présentant la maladie. En effet cela reste rare de rencontrer lors de son cursus d'étude vétérinaire chaque maladie existante sur tous les chiens qui pourraient se déceler par palpation. Donc les

sentir une première fois sur mannequin permet de compléter la formation étudiante et donc d'éviter les risques de ne pas déceler une anomalie de conformation d'un organe en situation réelle. De plus le mannequin permettrait de s'entraîner sur des maladies au stade précoce. C'est d'autant plus crucial qu'une maladie au stade précoce est difficile à palper car ce sont des changements subtils sur l'organe voire un animal asymptomatique. Cela permet également d'augmenter le bien-être des animaux car palper un animal douloureux engendrerait un stress inutile.

### 3. L'ajout ou l'amélioration des d'éléments extra-abdominaux de Scrops

La troisième idée serait d'améliorer la maquette actuelle en ajoutant un **sternum**, **diaphragme** ou encore une **peau** qui pourrait être plus **élastique** pour représenter la tension de la peau abdominale lors de la palpation.

### 4. L'affinage lds mesures liées au matériau composant Scrops

La dernière proposition serait de **mesurer la durée de vie**, résistance ou température ou lumière après manipulations des organes pour connaître et optimiser le moment de remplacements des organes.

## B. Les perspectives à long terme sur le mannequin Scrops

### 1. La confection de tous les organes abdominaux

La première perspective est d'avoir un **abdomen complet** avec tous les organes et leurs déclinaisons pathologiques avec des moules ou fichiers réutilisables. Ceux-ci pourraient être accessibles par les autres écoles vétérinaires en vue d'une mise en commun des connaissances et avancées dans la fabrication des mannequins de simulation.

### 2. L'amélioration du capteur de pression

Une autre idée dans la continuité du capteur de pression serait d'avoir des organes **qui renvoient la pression contre les mains** avec un ordinateur qui simule une résistance et des scénarii de pathologies. Cela pourrait pallier les problèmes du mannequin inerte qui ne possèdent que des organes physiologiques. Cette idée vient du mannequin en médecine

humaine au Texas AbSim (Fig. 54 et Fig. 55) qui mesure la profondeur, localisation et précision de l'opérateur lors de la palpation abdominale. Il indique, par le biais d'un écran et un code couleur, la pression exercée : gris indique une pression légère et bleu indique une plus forte. Le mannequin réémet la pression au contact de la main de l'opérateur ce qui permet d'avoir plusieurs scénarii possibles. Ce modèle fait partie des plus complets puisqu'il offre des retours tactiles, visuels sur l'écran et auditifs avec une alarme qui se déclenche lors de pressions trop fortes (21).

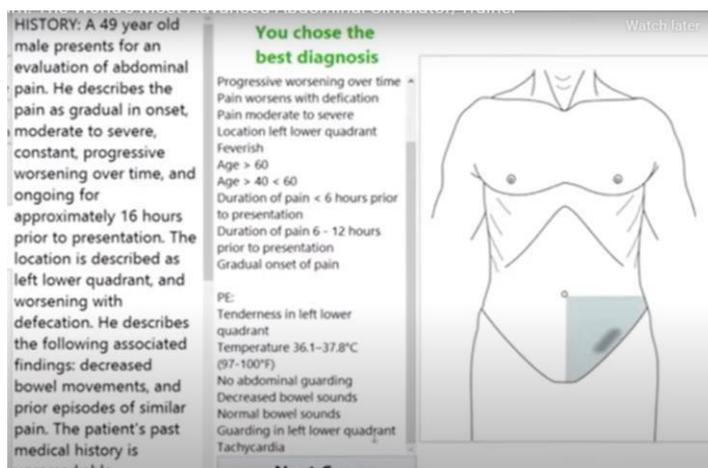


Fig. 54: Exemple de cas clinique sur le mannequin AbSim. Source <https://www.acdet-absim.com/>

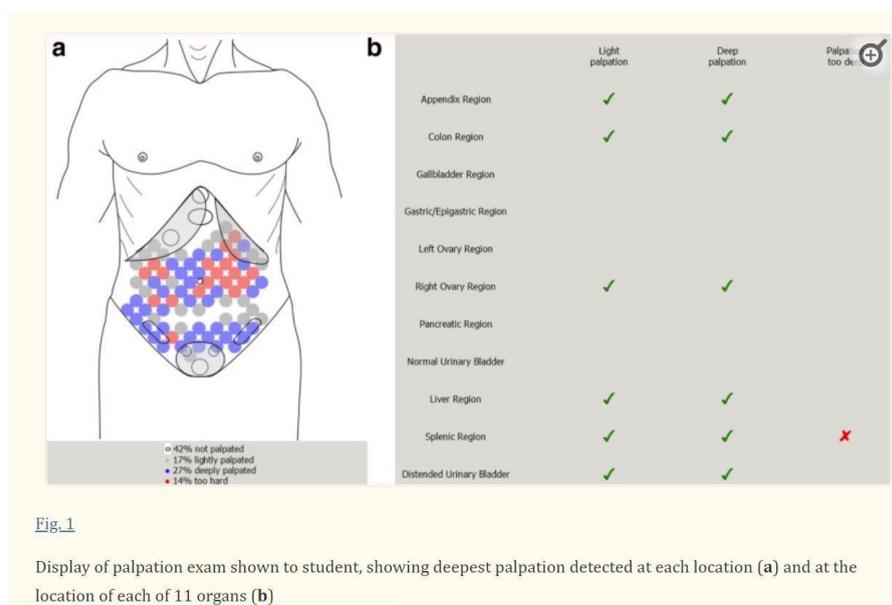


Fig. 55: Ecran présentant les retours sur la palpation sur le mannequin AbSim. Source <https://www.acdet-absim.com/>

Il faut garder en tête qu'aussi complexe soit le modèle, il faudra néanmoins palper un organisme vivant pour maîtriser la technique.

En conclusion, la confection de la maquette inerte de palpation abdominale de chien Scraps a pu débiter grâce à des liens inter-disciplinaires et une alternance d'usage de techniques et logiciels. A la communication et entraide entre les domaines de la médecine humaine, vétérinaire, de l'ingénieries et de l'informatique ainsi qu'à l'utilisation de scanner et de logiciels tels que 3D Slicer® et Openscad®.

Scraps n'est pas parfait mais ne demande qu'à être continué et amélioré.

Finalement, le but du mannequin est d'apporter **une plus-value dans la formation des étudiants** lors de l'apprentissage de la technique de palpation **et d'améliorer le bien-être des chiens** en leur permettant d'avoir des diagnostics et traitements plus précoces (6).

## Bibliographie

1. ETTINGER, Stephen J., FELDMAN, Edward C. et COTE, Etienne. *Textbook of Veterinary Internal Medicine*. Elsevier health sciences. 2016.
2. AUBIN, Andrée, GAGNON, Karine et MORIN, Chantal. The seven-step palpation method: A proposal to improve palpation skills. *International Journal of Osteopathic Medicine*. mars 2014. Vol. 17, n° 1, pp. 66-72. DOI 10.1016/j.ijosm.2013.02.001.
3. DOUART, Claire. *Mémoires anatomie vétérinaire: thorax et abdomen*. Issy-les-Moulineaux (92442) : Elsevier-Masson, 2013. ISBN 978-2-294-72750-4. A.03.00-DOU-M (2)
4. SINGH, Baljit et DYCE, K. M. *Dyce, Sack, and Wensing's textbook of veterinary anatomy*. 5e édition. St. Louis, Missouri : Elsevier, 2018. ISBN 978-0-323-44264-0. A.01.00-SIN-D
5. ASADIPOUR, Ali, DEBATTISTA, Kurt, PATEL, Vinod et CHALMERS, Alan. A technology-aided multi-modal training approach to assist abdominal palpation training and its assessment in medical education. *International Journal of Human-Computer Studies*. mai 2020. Vol. 137, pp. 102394. DOI 10.1016/j.ijhcs.2020.102394.
6. PRICE, Alexandra Susanne, HARRIS, Anne Frances, PELLEGRINI, Elizabeth Marie et MURPHY, Sean David. Canine Abdominal Palpation Training Device.
7. DARMAILLACQ, Anne-Sophie, DICKEL, Ludovic, AVARGUES-WEBER, Aurore, DUBOSCQ, Julie, DUFOUR, Valérie et JOZET-ALVES, Christelle. *Cognition animale: Perception, raisonnement et représentations*. . Dunod, 2018. ISBN 978-2-10-078497-4. Google-Books-ID: Vy1iDwAAQBAJ
8. Canine Abdominal Surgical Model | SynDaver. [en ligne]. [Consulté le 5 novembre 2023]. Disponible à l'adresse: <https://syndaver.com/product/canine-abdominal-surgical-model/>
9. WILLIAMSON, J. A., HECKER, K., YVORCHUK, K., ARTEMIOU, E., FRENCH, H. et FUENTEALBA, C. Development and validation of a feline abdominal palpation model and scoring rubric. *Veterinary Record*. août 2015. Vol. 177, n° 6, pp. 151-151. DOI 10.1136/vr.103212.
10. *ODV-ATLAS-NATIONAL-2021.pdf*. [en ligne]. [Consulté le 30 novembre 2023]. Disponible à l'adresse: <https://www.veterinaire.fr/system/files/files/2021-11/ODV-ATLAS-NATIONAL-2021.pdf>
11. FORSTER, Bettina, CAVINA-PRATESI, Cristiana, AGLIOTI, Salvatore M. et BERLUCCHI, Giovanni. Redundant target effect and intersensory facilitation from visual-tactile interactions in simple reaction time. *Experimental Brain Research*. avril 2002. Vol. 143, n° 4, pp. 480-487. DOI 10.1007/s00221-002-1017-9.

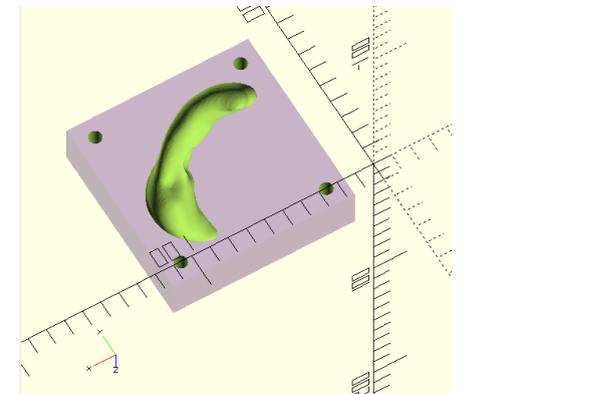
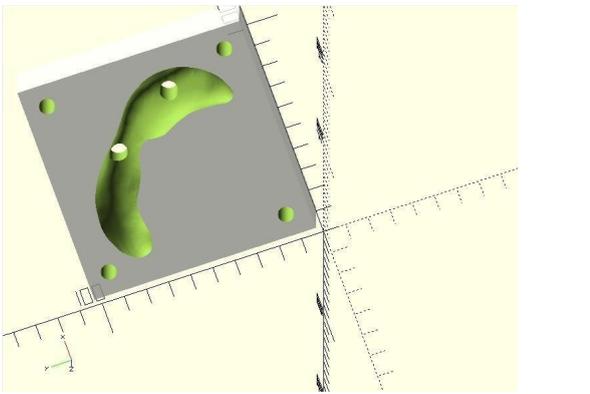
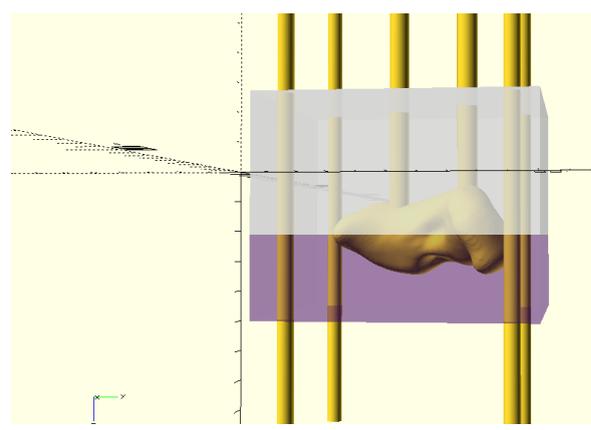
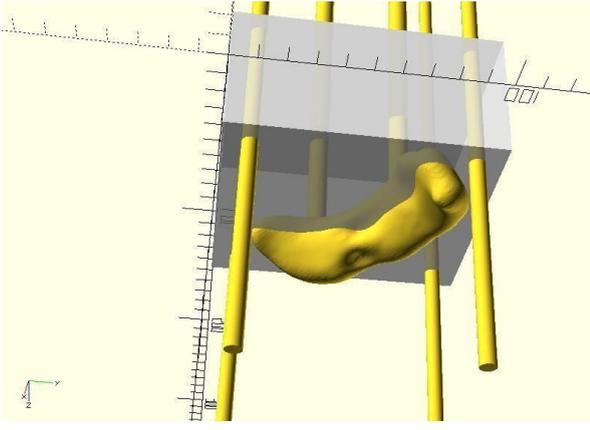
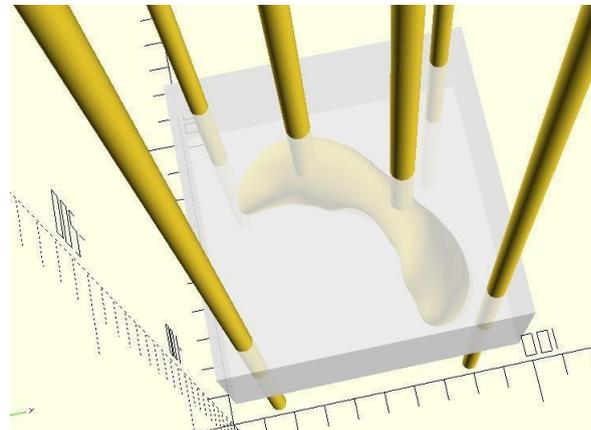
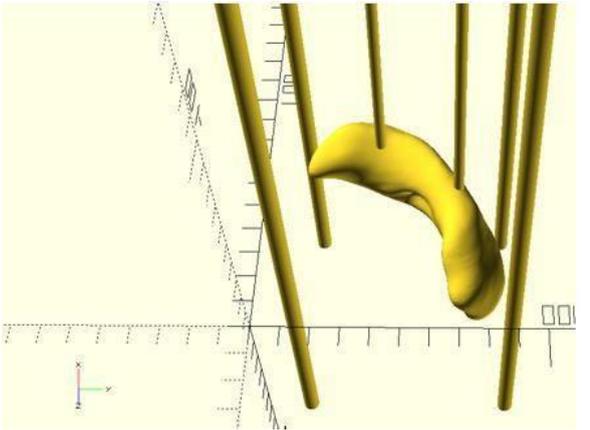
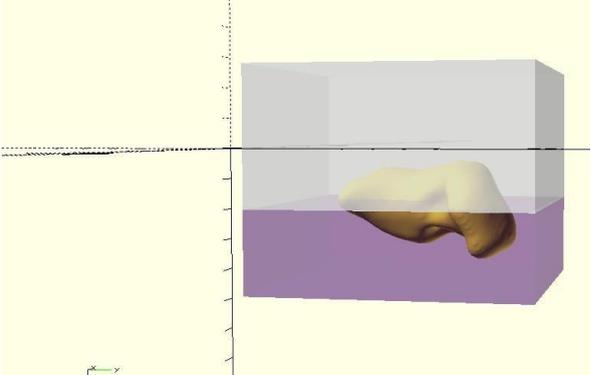
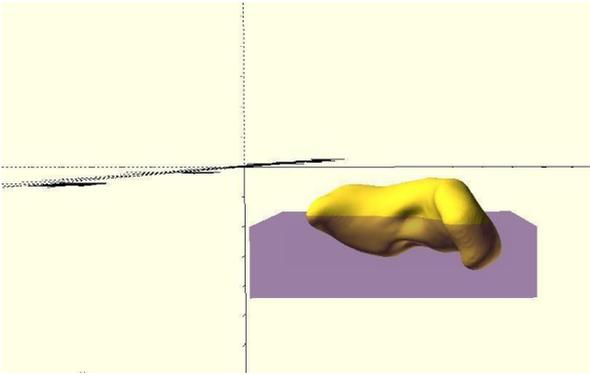
12. RENGIER, F., MEHNDIRATTA, A., VON TENGG-KOBLIGK, H., ZECHMANN, C. M., UNTERHINNINGHOFEN, R., KAUCZOR, H.-U. et GIESEL, F. L. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. juillet 2010. Vol. 5, n° 4, pp. 335-341. DOI 10.1007/s11548-010-0476-x.
13. LEVIER, Robert R., HARRISON, Myron C., COOK, Ralph R. et LANE, Thomas H. What is silicone? *Journal of Clinical Epidemiology*. 1 avril 1995. Vol. 48, n° 4, pp. 513-517. DOI 10.1016/0895-4356(94)00207-7.
14. *BJU International - 2016 - Rundstedt - Utility of patient-specific silicone renal models for planning and rehearsal of.*
15. LUIS, Eric, PAN, Houwen Matthew, BASTOLA, Anil Kumar, BAJPAI, Ram, SING, Swee Leong, SONG, Juha et YEONG, Wai Yee. 3D Printed Silicone Meniscus Implants: Influence of the 3D Printing Process on Properties of Silicone Implants. *Polymers*. 18 septembre 2020. Vol. 12, n° 9, pp. 2136. DOI 10.3390/polym12092136.
16. GUIOTTI, Aimée Maria, GOIATO, Marcelo Coelho et DOS SANTOS, Daniela Micheline. Evaluation of the Shore A Hardness of Silicone for Facial Prosthesis as to the Effect of Storage Period and Chemical Disinfection. *Journal of Craniofacial Surgery*. mars 2010. Vol. 21, n° 2, pp. 323-327. DOI 10.1097/SCS.0b013e3181cf5fa4.
17. *International standard, Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).*
18. *Technical overview of Ecoflex.*
19. BISMUTH, Camille, GERIN, Clothilde, VIGUIER, Eric, FAU, Didier, DUPASQUIER, Florence, CAVETIER, Laurent, DAVID, Laurent et CAROZZO, Claude. The biomechanical properties of canine skin measured in situ by uniaxial extension. *Journal of Biomechanics*. 21 mars 2014. Vol. 47, n° 5, pp. 1067-1073. DOI 10.1016/j.jbiomech.2013.12.027.
20. VAICEKAUSKAITE, Justina, MAZUREK, Piotr, VUDAYAGIRI, Sindhu et SKOV, Anne Ladegaard. Silicone elastomer map: design the ideal elastomer. In : *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXI*. [en ligne]. SPIE, 13 mars 2019. pp. 297-305. [Consulté le 13 février 2024]. DOI 10.1117/12.2515305.
21. HAMM, Robert M., KELLEY, David M., MEDINA, Jose A., SYED, Noreen S., HARRIS, Geraint A. et PAPA, Frank J. Effects of using an abdominal simulator to develop palpatory competencies in 3rd year medical students. *BMC Medical Education*. décembre 2022. Vol. 22, n° 1, pp. 63. DOI 10.1186/s12909-022-03126-y.

## Annexes

### ANNEXE 1 : Liste du matériel et coûts associés pour la fabrication de Scraps

Description	Prix (€)	Lien
Peluche	20	<a href="https://www.ikea.com/fr/fr/p/gosig-golden-peluche-chien-golden-retriever-10132788/">https://www.ikea.com/fr/fr/p/gosig-golden-peluche-chien-golden-retriever-10132788/</a>
Moule de la rate en plastique PLA	15	Fait au fablab « Artilect » à Toulouse et à l'ENVT au service de chirurgie
Silicone eco flex 00:20	26	<a href="https://www.smooth-on.com/products/ecoflex-00-20/">https://www.smooth-on.com/products/ecoflex-00-20/</a>
Tubulure + fil de fer bijoux	0	<a href="https://www.amazon.fr/PandaHall-Rouleau-Metallique-Enfiler-Creation/dp/B01CRUN8I6/ref=sr_1_9?keywords=Fil+de+Fer+pour+Bijoux&amp;qid=1705826441&amp;sr=8-9">https://www.amazon.fr/PandaHall-Rouleau-Metallique-Enfiler-Creation/dp/B01CRUN8I6/ref=sr_1_9?keywords=Fil+de+Fer+pour+Bijoux&amp;qid=1705826441&amp;sr=8-9</a>
1m de Fermeture éclair + 1 fermeture éclair séparable + 4 curseurs + 2m de tissu crème coton + 2m tissu bleu coton	25	<a href="https://www.mondialtissus.fr/fermeture-eclair-au-metre-blanche-sans-curseur-22171.html?queryID=09d75caa0904acb184c81dcbeae1f0a4&amp;objectID=34745&amp;indexName=production_v2_m2_fr_fr_products">https://www.mondialtissus.fr/fermeture-eclair-au-metre-blanche-sans-curseur-22171.html?queryID=09d75caa0904acb184c81dcbeae1f0a4&amp;objectID=34745&amp;indexName=production_v2_m2_fr_fr_products</a>
1m de tube PVC + 4 coudes	15	<a href="https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-tube-pvc-m1-diametre-40-mm-x-4-ml-interplast-228895">https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-tube-pvc-m1-diametre-40-mm-x-4-ml-interplast-228895</a>
Latex	3	<a href="https://www.pebeo.com/catalogue/gedeo-latex-1-l-1-l-766335">https://www.pebeo.com/catalogue/gedeo-latex-1-l-1-l-766335</a>
Compresses + voilage + ouate	0	Récupérés ou ouate dans le chien
1kg riz	3,5	Supermarché
Cage thoracique PLA + vernis + ponçage	10	<a href="https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-verniss-universel-en-aerosol-satin-400-ml-julien-1112068">https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-verniss-universel-en-aerosol-satin-400-ml-julien-1112068</a>
4 équerres métalliques	6	<a href="https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-equerre-d-assemblage-40-x-40-x-40-mm-222697">https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-equerre-d-assemblage-40-x-40-x-40-mm-222697</a>
Socle en bois	10	Achat en magasin de bricolage
TOTAL	133,5	

ANNEXE 2 : Etapes de fabrication des deux parties du moule de la rate sur le logiciel Openscad®



## **Réalisation et apport pédagogique d'un mannequin de simulation pour l'apprentissage de la palpation abdominale du chien**

Chloé BUI

### **Résumé :**

La palpation abdominale est une étape importante de l'examen clinique du chien. Elle est difficile à maîtriser et à enseigner et il n'existe aucun mannequin réaliste et inerte, à ce jour. Ce travail de thèse consiste à fabriquer un modèle réaliste, reproductible et à moindre coût. Les stimuli tactiles, visuels ainsi que la répétition possible aident à la mémorisation. Le mannequin Scraps est une peluche debout possédant peau et squelette permettant la reconnaissance anatomique et la texture des organes. Le premier organe fabriqué est la rate à partir d'un scanner de chien sain. L'image est traitée avec 3D Slicer® et récupérée en format STL pour concevoir un moule en deux parties sur Openscad®, par la suite imprimé en 3D avec Ultimaker®. Le choix du silicone a été réalisé à partir de mesures du shoreness sur des rates de chiens autopsiés. Scraps n'est ni parfait ni abouti pour l'instant mais permet une approche et un apport non négligeable à l'enseignement de la palpation abdominale.

**Mots clefs :** Palpation abdominale – chien - mannequin réaliste - scanner d'abdomen - impression 3D – silicone

## **Development of a canine abdominal palpation model using 3D printing and CT scan data**

BUI Chloé

### **Abstract:**

Training in canine abdominal palpation, a crucial step in physical examination, is necessary during veterinary studies. For ethical reasons, a realistic simulation model is needed to train the students. Therefore, we aimed to create an anatomically accurate, durable and affordable model imitating the organs' texture and location, combining both visual and tactile stimuli. The spleen was chosen as the first organ displayed. The model named Scraps is a standing dog with legs, ribs and spleen. The latter was obtained from CT scan image datas, then processed by 3D Slicer®, transformed into an STL file, processed for prototyping a 3D 2-parts-mold on OpenSCAD®, which was finally printed in 3D using Ultimaker®. This mould was filled with silicon measured by Shore durometer in adequation with the ones measured on spleens of freshly necropsied dogs. This model is not perfect but allow students to exert their palpation skills by identifying the anatomy and texture of the canine spleen.

**Key words:** Abdominal palpation - dog - Palpation training devices - realistic device – CT scan - 3D printing - silicon