



HAL
open science

Réalisation d'un didacticiel sur l'anatomie de la main et du pied du cheval : ostéologie, arthrologie et myologie

Chloé Albert

► To cite this version:

Chloé Albert. Réalisation d'un didacticiel sur l'anatomie de la main et du pied du cheval : ostéologie, arthrologie et myologie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04770875

HAL Id: dumas-04770875

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04770875v1>

Submitted on 7 Nov 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.

ANNÉE 2024 - Thèse n° 52

RÉALISATION D'UN DIDACTICIEL SUR L'ANATOMIE DE LA MAIN ET DU PIED DU CHEVAL : OSTÉOLOGIE, ARTHROLOGIE ET MYOLOGIE

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant l'UFR
de Médecine de l'Université de Nantes

le 16 septembre 2024

par

Chloé ALBERT

Sous la direction de

Eric BETTI

Président du jury : Monsieur Antoine HAMEL

Professeur à l'Unité de Recherche et de Formation de Médecine – Pôle Santé de
Nantes Université

Membres du jury : Monsieur Eric BETTI

Maître de conférences à l'École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de
l'Alimentation – ONIRIS VetAgroBio Nantes

Monsieur Claude GUINTARD

Maître de conférences à l'École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et
de l'Alimentation – ONIRIS VetAgroBio Nantes

ONIRIS - VetAgroBio Nantes
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE,
AGROALIMENTAIRE ET DE L'ALIMENTATION
Site de la Chantrerie
101 route de Gachet
44307 Nantes Cedex 3

La reproduction d'extrait de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- Nom et prénom de l'auteur : Albert Chloé
- Année de soutenance : 2024
- Titre de la thèse : Réalisation d'un didacticiel sur l'anatomie de la main et du pied du cheval : ostéologie, arthrologie, myologie
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire
- Université de soutenance : Faculté de médecine de Nantes
- École de soutenance : Oniris VetAgroBio Nantes
- Nombre de pages : 144 p.

Département **BPSA** Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment

Responsable : **Emmanuel JAFFRES** – Adjointe : **Frédérique NGUYEN**

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

Département **SAESP** Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique

Responsable : **Raphaël GUATTEO** – Adjoint : **Jean-Michel CAPPELIER**

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

Département DSC Sciences cliniquesResponsable : **Catherine IBISCH** – Adjoint : **Marion FUSELLIER**

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

Département GPA Génie des procédés alimentairesResponsable : **Vanessa JURY** – Adjointe : **Cyril TOUBLANC**

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

Département MSC Management, statistiques et communicationResponsable : **Samira ROUSSELIERE** – Adjointe : **Véronique CARIOU**

| | | |
|---|---|--|
| Mathématiques, statistiques, informatique | Chantal THORIN (PRAG) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC stagiaire) | Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC) |
| Economie, gestion, législation | Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) | Jean-Marc FERRANDI (Pr) Sonia MAHJOUB (MC) |

| | | |
|--------------------------|--|--|
| | Florence BEAUGRAND (MC) Sibylle DUCHAINE (MC) | Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.) |
| Langues et communication | Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.) | Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.) |

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, MCC : MC contractuel,

PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole,

HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel, Ens. Cont. : Enseignant Contractuel

Table des matières

| | |
|---|-----|
| INTRODUCTION..... | 14 |
| PREMIÈRE PARTIE : L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE DU CHEVAL PAR LES ÉTUDIANTS VÉTÉRINAIRES..... | 15 |
| I) L'anatomie, une discipline exigeante..... | 16 |
| A) Histoire de l'anatomie et évolution de la transmissions des connaissances..... | 16 |
| B) Place du cheval dans l'anatomie vétérinaire..... | 25 |
| C) Place de l'anatomie en milieu vétérinaire..... | 29 |
| II) Intérêt et limites des supports actuellement à disposition pour l'apprentissage de l'anatomie..... | 37 |
| A) Le choix du format..... | 37 |
| B) Les productions scientifiques au service du savoir anatomique..... | 39 |
| C) Les supports anatomiques en école vétérinaire, exemple d'Oniris VetAgroBio Nantes..... | 45 |
| III) Objectifs d'un support pédagogique anatomique..... | 52 |
| A) Mécanismes de l'apprentissage..... | 52 |
| B) Le support pédagogique, une aide à l'apprentissage..... | 58 |
| DEUXIÈME PARTIE : PRÉSENTATION DU PROJET..... | 77 |
| A) Le sujet..... | 78 |
| B) Le support..... | 79 |
| II) Matériel et méthode..... | 81 |
| A) Dissections anatomiques..... | 81 |
| B) Dessins anatomiques..... | 83 |
| C) Imagerie des membres thoracique et pelvien..... | 84 |
| III) Résultats..... | 86 |
| A) Le contenu..... | 86 |
| B) Mise à disposition des étudiants..... | 97 |
| IV) Discussion..... | 98 |
| A) Un didacticiel qui permet d'optimiser l'apprentissage..... | 98 |
| B) Un outil numérique au service de l'apprentissage de l'anatomie..... | 103 |
| C) Perspectives d'amélioration..... | 105 |
| CONCLUSION..... | 108 |
| Liste des références bibliographiques..... | 109 |
| Annexes..... | 117 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Les chevaux ponctués de la grotte de Pech Merle..... | 16 |
| Figure 2 : Le « cheval chinois » de la grotte de Lascaux..... | 16 |
| Figure 3 : Tête de Cheval, contour découpé, issu du Musée d'Archéologie Nationale.... | 17 |
| Figure 4 : Écorché, Abrégé d'anatomie accommodé aux arts..... | 19 |
| Figure 5 : Ecorché, montrant les os et les muscles du thorax..... | 20 |
| Figure 6 : Buste d'un homme mort ou moribond..... | 20 |
| Figure 7 : Écorché de cheval..... | 21 |
| Figure 8 : Illustrations (p. 25, 173 et 443) issues de Historia animalium..... | 22 |
| Figure 9 : Chérubins et animaux issu de L'Histoire naturelle..... | 23 |
| Figure 10 : Illustration hippiatrice arabe..... | 27 |
| Figure 11 : Musculature du cheval..... | 28 |
| Figure 12 : Le tétraèdre des compétences dans le modèle holistique..... | 30 |
| Figure 13 : Modèle anatomique en bois, réalisé par Felice Fontana en 1795..... | 41 |
| Figure 14 : Modèle anatomique en ivoire représentant des femmes enceintes, produites en Italie ou en France au XVIIIe siècle..... | 41 |
| Figure 15 : Illustration des taxonomies de Bloom et d'Anderson et Krathwohl..... | 52 |
| Figure 16 : Schéma simplifié du processus de mémorisation issu de Khan et al., 2020.. | 56 |
| Figure 17 : Capture d'écran de la page « Phalange distale »..... | 85 |
| Figure 18 : Capture d'écran de la page « Rangée proximale du carpe », après avoir cliqué sur l'icône fiche..... | 85 |
| Figure 19 : Capture d'écran de la page « Phalange distale », après avoir cliqué sur l'icône radiographie..... | 86 |
| Figure 20 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale..... | 87 |
| Figure 21 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône fiche..... | 87 |
| Figure 22 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Surfaces articulaires »..... | 88 |
| Figure 23 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue palmaire, après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Moyens d'union »..... | 89 |
| Figure 24 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône œil de « Moyens d'union »..... | 89 |
| Figure 25 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône cheval de « Mouvement »..... | 90 |
| Figure 26 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt »..... | 90 |

| | |
|--|----|
| Figure 27 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône fiche d'« Insertions »..... | 91 |
| Figure 28 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo d'« Insertions »..... | 91 |
| Figure 29 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Corps »..... | 92 |
| Figure 30 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône œil de « Corps »..... | 92 |
| Figure 31 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône cheval de « Mouvement »..... | 93 |
| Figure 32 : Capture d'écran de la première question du questionnaire de niveau 3, sur l'Ostéologie du membre thoracique..... | 96 |
| Figure 33 : Capture d'écran de la réponse à la première question du questionnaire de niveau 3, sur l'Ostéologie du membre thoracique..... | 96 |

Table des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau I : Application du principe « Entretien de la motivation » dans la création du didacticiel..... | 103 |
| Tableau II : Application du principe « Placer l'élève au centre de son apprentissage » dans la création du didacticiel..... | 104 |
| Tableau III : Application dans le projet du principe « Respecter l'alignement pédagogique » dans la création du didacticiel..... | 105 |
| Tableau IV : Application du principe « Limiter la surcharge cognitive » dans la création du didacticiel..... | 106 |
| Tableau V : Application du principe « Fournir un contenu scientifique » dans la création du logiciel..... | 107 |
| Tableau VI : Application des possibilités du numérique dans la création du didacticiel..... | 108 |
| Tableau VII : Application du principe d'évaluation formative dans le didacticiel..... | 109 |

Table des annexes

| | |
|--|-----|
| Annexe 1 : Liste des compétences, capacités et indicateurs en lien avec la connaissance « Anatomie » dans le Référentiel des compétences vétérinaires..... | 117 |
| Annexe 2 : Liste des UE enseignant l'anatomie à Onirs VetAgroBio Nantes..... | 121 |
| Annexe 3 : Extrait du Guide pédagogique d'Oniris VetAgroBio Nantes pour l'année 2023-2024 (pages 15 à 17)..... | 122 |
| Annexe 4 : Extrait du Guide pédagogique d'Oniris VetAgroBio Nantes pour l'année 2023-2024 (pages 39 à 40)..... | 125 |
| Annexe 5 : Extrait du Guide pédagogique d'Oniris VetAgroBio Nantes pour l'année 2023-2024 (pages à)..... | 129 |
| Annexe 6 : Liste des UE utilisant ou approfondissant des connaissances anatomiques à l'ENVN..... | 130 |
| Annexe 7 : Liste des objectifs d'apprentissage pour les membres thoracique et pelvien, indiqués en début de chaque partie : Ostéologie, Arthrologie et Myologie..... | 136 |

Liste des abréviations

ENVF : Écoles Nationales Vétérinaires Françaises

GES : gaz à effet de serre

MCT : mémoire à court-terme

MLT : mémoire à long-terme

MT : mémoire de travail

QCM : questions à choix multiples

QCD : question à degré de certitude

QRM : questions à réponses multiples

QRU : questions à réponse unique

INTRODUCTION

L'anatomie est une discipline mère en médecine et une compétence essentielle du vétérinaire. Son enseignement débute dès l'entrée en école vétérinaire. Les étudiants rapportent alors des difficultés à son apprentissage, qu'ils estiment complexe. De plus, ils considèrent que l'ancrage de leurs connaissances anatomiques n'est pas durable et peinent à mobiliser leurs connaissances sur leurs années d'étude. Ceci pose la question sur les raisons d'une telle difficulté de mémorisation.

Comme l'apprentissage de l'anatomie est une tâche ardue, de nombreux supports pédagogiques sont à disposition des étudiants vétérinaires, allant de modèles physiques à des simulations en trois dimensions, pour les aider dans ce processus. En effet, depuis l'essor du numérique, les élèves trouvent de plus en plus d'intérêt à utiliser les nouvelles technologies comme soutien à leur apprentissage. Cependant, nous pouvons nous poser la question de la réelle efficacité de la combinaison du numérique et de la pédagogie. Est-ce que l'intérêt des étudiants risque progressivement de disparaître après la phase de nouveauté ou bien les nouvelles technologies ont de réels atouts pour favoriser les processus de mémorisation ? Sont-elles vouées à remplacer l'enseignant ?

Ainsi, le projet de cette thèse est de construire un outil pédagogique numérique, autrement dit un didacticiel, sur l'anatomie en prenant l'exemple de l'anatomie des membres thoracique et pelvien du cheval. En effet, la connaissance précise de l'anatomie du squelette appendiculaire du cheval est indispensable en médecine de la locomotion, une discipline majeure en pratique équine, du fait de la prévalence des boiteries. Dès lors, nous pouvons nous demander quelles sont les caractéristiques idéales d'un support pédagogique pour optimiser l'apprentissage de l'anatomie du cheval ?

Pour répondre à ces questions, nous détaillerons en première partie l'apprentissage de l'anatomie des étudiants vétérinaires, en précisant la place qu'ils accordent à l'anatomie dans leur cursus, en s'appuyant sur l'exemple d'Oniris VetAgroBio Nantes. Puis, nous étudierons les avantages et inconvénients des supports anatomiques actuellement disponibles pour les étudiants vétérinaires. Ensuite, nous présenterons les grandes théories sur les mécanismes d'apprentissage, qui nous serviront de base pour établir les caractéristiques essentielles d'un outil pédagogique efficace.

En deuxième partie, nous justifierons donc les choix faits pour la réalisation de notre didacticiel sur l'anatomie du cheval. Puis, nous détaillerons les méthodes utilisées pour sa mise en place et nous finirons sur une présentation du résultat obtenu, avec quelques exemples à l'appui.

Enfin, nous discuterons des points forts, des points faibles et des axes d'amélioration de notre projet dans une dernière partie.

**PREMIÈRE PARTIE :
L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE
DU CHEVAL PAR LES ÉTUDIANTS
VÉTÉRINAIRES**

I) L'anatomie, une discipline exigeante

A) Histoire de l'anatomie et évolution de la transmissions des connaissances

L'étude de l'anatomie humaine et animale a évolué au travers des âges, débutant tôt dans l'histoire de l'humanité et se poursuivant encore de nos jours. Les premières descriptions anatomiques sont tout d'abord artistiques et rarement scientifiquement correctes mais l'anatomie s'est rapidement imposée comme sujet d'étude indispensable à la compréhension du corps et comme une discipline rigoureuse et exigeante.

1) Premières descriptions anatomiques

L'art pariétal, qui désigne les peintures réalisées sur les murs des grottes, constitue l'une des premières traces de productions anatomiques par les humains. Ces peintures dépeignent souvent des scènes de chasse ou bien des thérianthropes (c'est-à-dire des représentations mi-humaines mi-animales), traduisant la fascination des humains pour les animaux, qu'ils soient une source de nourriture ou un objet de culte. Les plus anciennes œuvres se retrouvent en Europe et datent du Paléolithique supérieur. Par exemple, les peintures découvertes dans la grotte de Leang Bulu' Sipong 4 à Sulawesi, en Indonésie, sont datées d'au moins -40 000 ans (Aubert et al. 2019).

L'art pariétal s'est ensuite développé en utilisant de nombreuses techniques, de la peinture au doigt à la peinture soufflée sur un pochoir, en passant par la gravure au silex. L'attention au détail et au réalisme est tel que, pour les chevaux, les différentes robes étaient retranscrites en peinture. Par exemple, dans la grotte du Pech Merle, en France, les chevaux pommelés sont représentés par des ponctuations (voir figure 1) tandis que, dans la grotte de Lascaux, les chevaux alezans ou noirs sont peints à l'aide de pigments de couleur (voir figure 2), notamment l'oxyde de fer et le dioxyde de manganèse, appliqués à l'aide de pinceaux.

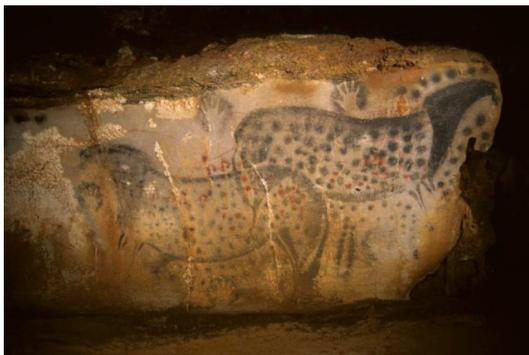


Figure 1 : Les chevaux ponctués de la grotte de Pech Merle (Christian 2011)



Figure 2 : Le « cheval chinois » de la grotte de Lascaux (Lison 2016)

Au Paléolithique supérieur, on retrouve également l'apparition de l'**art mobilier**, c'est-à-dire réalisé sur un matériel transportable. Ainsi, les humains créent des gravures, des sculptures ou des statuettes à l'effigie d'humains, d'animaux, de dieux ou de figures thérianthropiques sur des matériaux tels que le bois de renne, l'os, la pierre ou l'ivoire de mammouth. Les reliefs naturels du support sont source d'inspiration pour créer des pièces d'art. Par exemple l'extrémité dorsale de l'os stylo-hyoïde du cheval évoque la tête de cet animal, comme on peut le voir sur la figure 3.



Figure 3 : Tête de Cheval, contour découpé, issu du Musée d'Archéologie Nationale (Art mobilier 2024)

Cette fascination pour l'anatomie se retrouve jusque dans les sépultures. Des squelettes humains datant du Paléolithique supérieur montrent des traces de trépanation, ainsi que des indices indiquant la survie de ceux ayant subi cette trépanation, soulignant l'intérêt des premiers hominidés pour la connaissance de la structure de la boîte crânienne (Dziedzic et al. 2024).

En Égypte ancienne, on retrouve des traces de solides connaissances anatomiques. En effet, dans le **papyrus** Edwin Smith, 48 cas de médecine chirurgicale sont décrits dont 27 cas de traumatismes crâniens (Wilkins 1964). Il expose ainsi les méthodes de sutures crâniennes, la description des méninges, de la surface externe du cerveau et du liquide cérébro-spinal. Le papyrus Ebers décrit quant à lui les vaisseaux sanguins et le cœur (Standring 2016).

2) La naissance de la médecine et de l'anatomie

En Grèce antique, de nombreux physiciens et **philosophes grecques** sont à l'origine de l'anatomie et de la médecine telle que nous la connaissons de nos jours. Au VI^e siècle avant J.C., Alcmeon a été l'un des premiers à défendre une méthode d'approche empirique pour observer les organismes ou de manière générale tout phénomène naturel (Standring 2016). Pour lui, un bon sens clinique passait tout d'abord par une observation méticuleuse et une connaissance parfaite de l'anatomie. Hippocrate, au V^e siècle, lui succéda et ses premières descriptions anatomiques, bien

qu'incomplètes, sont évocatrices des systèmes connus à présent, tel que le système circulatoire, le système musculo-squelettique, le système nerveux et l'ensemble des viscères (Standring 2016). Par la suite, au IV^e siècle, Aristote publie de nombreux ouvrages sur les animaux tels que *Histoire des animaux*, *Parties des animaux*, *Génération des animaux*, *Marche des animaux* et *Du mouvement des animaux*. Dans *Historiae animalium* (Histoire des animaux), le philosophe grec décrit l'anatomie de nombreuses espèces animales et fait référence à des planches anatomiques *Anatomai*, aujourd'hui disparues. Son immense travail, notamment sur la faune marine, a contribué à poser les bases de la taxonomie animale (Voultsiadou et al. 2017).

À la même époque en Alexandrie, les dissections humaines sont autorisées, ce qui n'était pas le cas auparavant, et l'anatomie humaine est extrapolée à partir de celle d'autres espèces (Standring 2016) Dans l'empire romain, Pline l'Ancien publie au I^{er} siècle, *Naturalis Historia* (Histoire naturelle) dont le troisième tome est dédié à la description des animaux. En outre, Claude Galien, qui a pratiqué en tant de **physicien** et **chirurgien gréco-romain** au II^e siècle, a réalisé de nombreuses vivisections sur différentes espèces animales, montrant ainsi le rôle des nerfs dans les mouvements, le rôle du rein dans la production d'urine et établissant la présence de sept nerfs crâniens qui partent de l'encéphale (Standring 2016). Cependant, malgré sa pratique sur des soldats blessés, sa connaissance de l'anatomie humaine reste incomplète et il extrapole de manière erronée certaines caractéristiques anatomiques humaines à partir de l'anatomie animale (par exemple que le foie humain aurait cinq lobes).

Au Moyen-Age, les écrits des physiciens grecs et romains se sont transmis notamment dans l'Empire perse. Les **physiciens perses** adoptent certaines doctrines et en réfutent d'autres, notamment celles contenant des erreurs. En Europe, en revanche, l'obscurantisme apporté par l'Église chrétienne limite fortement les avancées scientifiques en matière de médecine et d'anatomie, car cette dernière considérait le corps humain comme sacré et la pratique d'expérimentations scientifiques comme de la sorcellerie. De leur côté, les **zoologistes** décrivent plutôt la physiologie, notamment de la reproduction, et l'étude comportementale des animaux que leur anatomie. Toutefois, quelques « bestiaires » voient le jour et comportent la description anatomique d'animaux réels et imaginaires.

Ce n'est qu'à partir du XIII^e siècle, que les écrits des grecs et romains refont surface en Europe et les dissections sont de nouveau autorisées (Standring 2016). La première **dissection publique** à visée pédagogique a été réalisée par Mondino de Luzzi en 1315 à Bologne. Mondino a ensuite rédigé *Anathomia*, un manuel se basant sur ses deux dissections humaines, publié en 1476 et disséminé à travers tout l'Europe. De même, un chirurgien de Bologne, Jacopo Berengario a rédigé un atlas d'anatomie, *Commentaria cum amplissimis additionibus super anatomiam Mundini*, publié en 1521. Ce dernier contient de nombreuses illustrations appuyant les descriptions anatomiques, issues des dizaines de dissections réalisées par son auteur. Il n'hésite pas à soulever les erreurs de Galien en se fondant sur ses propres observations.

3) Le début de l'anatomie moderne

La Renaissance marque le début de l'anatomie moderne. Les anatomistes établissent la dissection comme discipline reine pour la connaissance de l'anatomie.

André Vésale, connu comme le « père de l'anatomie moderne » (Standring 2016), avait un poste d'*explicator chirurgiae* à l'université de Padoue en Italie, c'est-à-dire qu'il était en charge des lectures explicatives sur l'anatomie et la chirurgie, en s'appuyant sur une dissection. Afin de conserver ses enseignements même après la dissection, il décide de produire six tables anatomiques *Tabulae Anatomicae Sex*, décrivant le système veineux porte et cave, le système artériel et le squelette humain. Cependant, durant ses dissections, il note les erreurs de Galien et publie en 1543 *De Humani Corporis Fabrica* (Standring 2016). Bien que son livre ait été vivement critiqué à l'époque, Vesalii a permis d'ancrer l'idée que la vérité tenait dans les faits et les dissections réalisées et non dans les textes anciens qui pouvait être erronés.

Ainsi, le retour des dissections ouvre la voie à la création de nombreux traités illustrés d'anatomie. Les artistes collaborent avec les physiciens pour proposer des illustrations précises et abouties. Un exemple bien connu d'artiste avec une connaissance poussée de l'anatomie est bien sûr Leonardo da Vinci, qui a disséqué plus de 10 cadavres avant de proposer ses illustrations du corps humain (Standring, 2016). Il n'est pas le seul artiste ayant proposé des représentations réalistes de l'anatomie du corps humain, qu'on appelle **écorchés**. Les écorchés sont des corps dépouillés de leur peau et des tissus graisseux pour faire apparaître les structures anatomiques sous-jacentes telles que les muscles, les vaisseaux sanguins etc (voir figure 4).



Figure 4 : Écorché, *Abrégé d'anatomie accommodé aux arts* (Tortebat 1667).

Ils deviennent ensuite un exercice de style pour les artistes de l'époque, leur permettant d'apprendre précisément l'anatomie (figures 5 et 6).



Figure 5 : Écorché, montrant les os et les muscles du thorax (Landseer 1815)

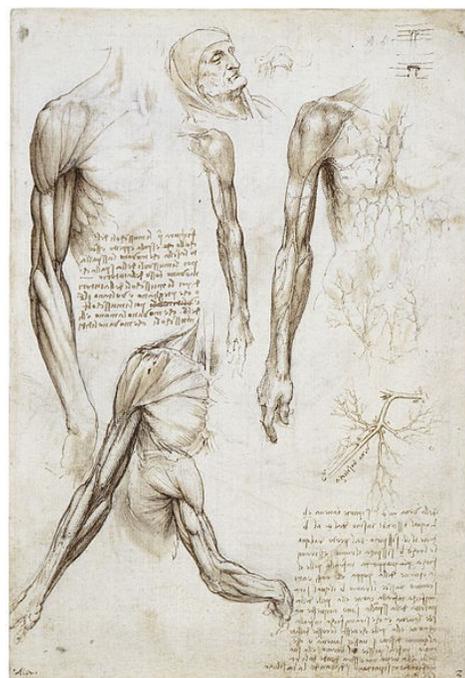


Figure 6 : Buste d'un homme mort ou moribond (da Vinci 1510)

Les écorchés d'animaux existent également, notamment des animaux domestiques. Un exemple d'écorché de cheval est présenté sur la figure 7.

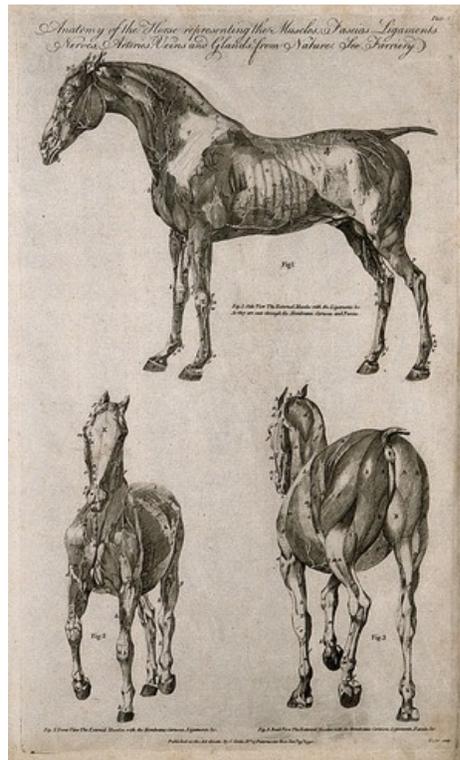


Figure 7 : Écorché de cheval (Taylor 1790).

Tandis que les médecins humains font de l'anatomie comparée avec les espèces domestiques, les **zoologistes** de la Renaissance sont des explorateurs qui parcourent le monde à la découverte de nouvelles espèces animales.

En 1551, Pierre Belon publie *L'histoire naturelle des étranges poissons marins avec la vraie peinture & description du Daulphin & de plusieurs autres de son espèce* et en 1555, *Histoire de la nature des oiseaux*, deux ouvrages sur l'anatomie comparée des animaux marins et des oiseaux.

Conrad Gessner, un professeur suisse, publie entre 1551 et 1558 une encyclopédie intitulée *Historia animalum*, illustrée par Albrecht Dürer, considérée à ce jour comme l'un des ouvrages de zoologie les plus conséquents. Dans cet ouvrage, les animaux sont classés par ordre alphabétique et leur anatomie est illustrée (voir figure 8). L'œuvre de Gessner corrige entre autres les erreurs d'Aristote dans sa précédente description des espèces animales. Cependant le livre contient aussi des erreurs, notamment de classification, et des espèces imaginaires.



Figure 8 : Illustrations (p. 25, 173 et 443) issues de *Historia animalium* (Gessner 1551).

4) De nouvelles publications établissant l'anatomie aujourd'hui reconnue mondialement

C'est John Ray qui proposera au XVII^e siècle, une classification des animaux selon des critères anatomiques et non selon leur comportement ou leur physiologie. Il est considéré à ce jour comme l'un des fondateurs principaux de l'**histoire naturelle** (Ford 2000). Ses nombreux travaux, notamment en botanique mais aussi en ornithologie, établissent les bases de la notion d'espèce, basée sur des observations anatomiques.

En France, les travaux d'**anatomie comparée** sont produits majoritairement par Claude Perrault, qui publie en 1671, *Mémoire pour servir à l'histoire naturelle des animaux*, illustré par Sébastien Leclerc et édité par l'Académie des sciences ; mais aussi par Joseph Guichard Duverney, qui publie des mémoires sur le système cardiorespiratoire des vertébrés.

C'est aussi à cette époque que l'**entomologie**, c'est-à-dire l'étude des insectes, trouve son public. Jan Swammerdam s'intéresse à l'anatomie des insectes et Thomas Muffet publie en 1634 *Theatrum Insectorum* le premier ouvrage dédié à l'anatomie des insectes. L'une des rares femmes naturalistes, Anna Maria Sybilla Merian publie en 1705 *Metamorphosis insectorum Surinamensium*, un ouvrage illustrant notamment la métamorphose des papillons.

Ses travaux et ceux de John Ray inspireront, entre autres, Carl von Linné pour la publication en 1735 de *Systema naturae*, qui établit la **nomenclature binomiale** et la classification en règnes, basé aussi sur des critères anatomiques. La description

anatomique des animaux continue avec Georges Louis Leclerc de Buffon qui publie *L'Histoire naturelle, générale et particulière* et notamment *L'Histoire des animaux quadrupèdes* (12 volumes), illustrée par Jacques de Sève et *L'Histoire des oiseaux* (9 volumes), illustrée par François Nicolas Martinet. Cependant, il lui est reproché de produire des illustrations trop anthropomorphiques et de favoriser l'esthétisme à la réalité, comme on peut le voir sur la figure 9.

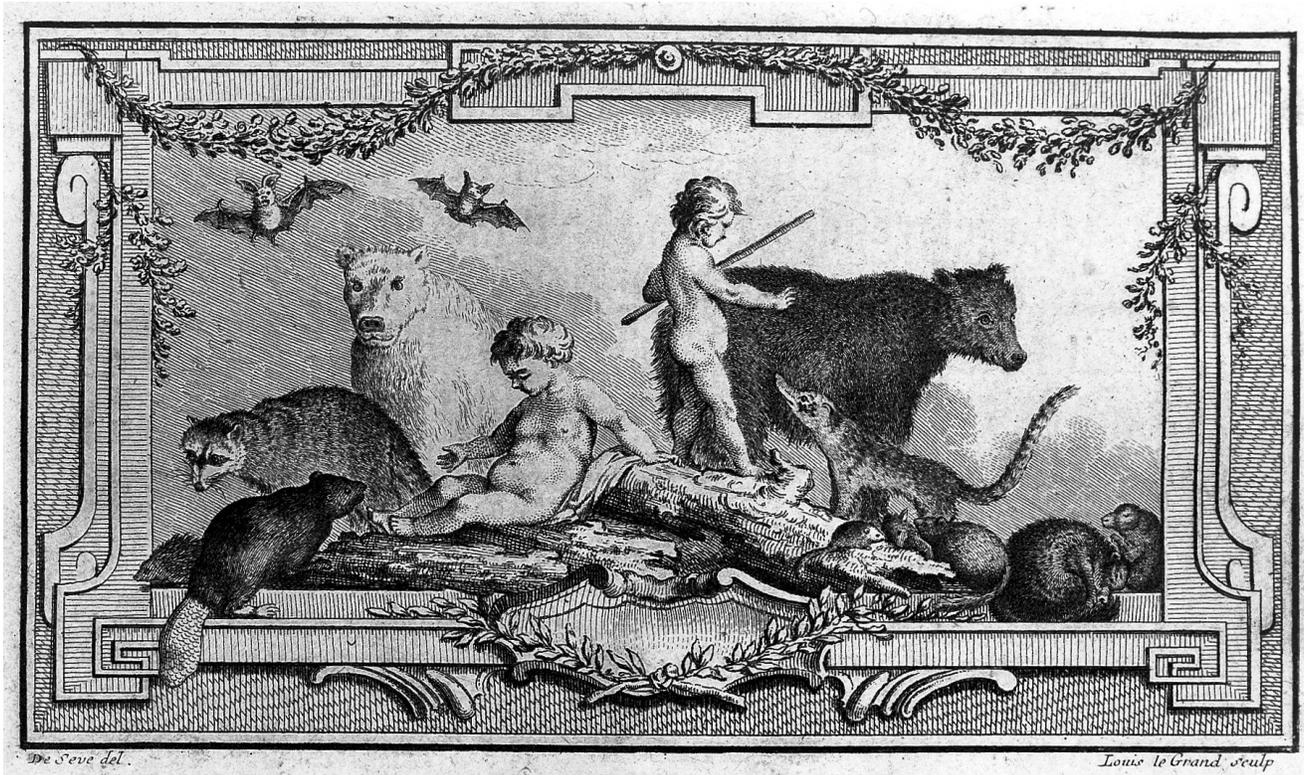


Figure 9 : Chérubins et animaux issu de *L'Histoire naturelle* (Buffon 2014)

Chez les médecins humains, un intérêt fort pour la **neuroanatomie** se développe. Ainsi, Thomas Willis, publie en 1664 *Cerebri Anatome cui Accedit Nervorum Descriptio et Usus* (Anatomie du cerveau et description fonctionnelle des nerfs). Dans son ouvrage, il décrit neuf paires de nerfs crâniens et distingue le cortex cérébral, le cervelet et le corps strié.

Bien que le nom de Thomas Willis soit le plus connu de son époque, d'autres anatomistes ont contribué à l'avancée des connaissances anatomiques. Par exemple, Raymond de Vieussens, un français, publie en 1684, *Neurographia Universalis*, considéré comme la description anatomique « la plus précise et la mieux illustrée du cerveau, de la moelle épinière et des nerfs périphériques » (Standring 2016). En plus de son apport important dans la description du système nerveux central, il publie également *Nouvelles Découvertes sur le Cœur*, contenant une description très complète des vaisseaux sanguins et lymphatiques.

Cette description complète les travaux antérieurs de William Harvey, qui suggère que le sang circule dans un seul sens grâce à la pompe cardiaque, au sein d'un système fermé (et non ouvert comme le pensait Galien). Il explique cette théorie dans *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*, publié en 1628.

En outre, les techniques de dissections s'affinent. Humphrey Ridley, qui publie en 1695, *The Anatomy of the Brain containing its Mechanisms and Physiology*, réalise des dissections fines du système veineux et artériel du cerveau en injectant de la cire chaude ou du mercure.

En parallèle, Marcello Malpighi fait progresser la science en observant en 1661 les capillaires au microscope, complétant la théorie de Harvey sur la structure du système cardiovasculaire. Grâce à ses nombreuses découvertes sur les structures épithéliales (à l'origine du nom « épithélium malpighien »), il deviendra le père de l'anatomie à l'échelle microscopique : l'**histologie** (Pearce 2007). Ses travaux sur le développement embryonnaire ont aussi fortement contribué à l'**embryologie** moderne.

Enfin, en 1946, Pierre-Paul Grassé publie *Traité de zoologie*, une collection de 17 tomes, dont la **phylogénétique** est aujourd'hui incorrecte mais qui représente un projet immense de collecte de données, et notamment de descriptions anatomiques.

5) L'établissement des règles de l'anatomie moderne

De plus, afin de standardiser les noms des éléments anatomiques, les anatomistes vétérinaires ont proposé plusieurs **nomenclatures**. La première, réalisée en 1895, adapte la nomenclature issue de la médecine humaine à la position des quadrupèdes, mais n'est jamais publiée. Après plusieurs textes de révisions jugés insatisfaisants, l'Association internationale des anatomistes vétérinaires (*International Association of Veterinary Anatomists, IAVA*) est fondée en 1955 dans l'objectif de construire une nomenclature internationale. Quelques années de travail plus tard, la première édition de *Nomina Anatomica Veterinaria* est publiée en 1967 et est adoptée comme texte de référence (I.C.V.G.A.N. 2012).

Du côté des manuels d'anatomie, le plus connu en médecine humaine est sans doute *Gray's Anatomy* par Henry Gray et illustré par Henry Vandyke Carter. En médecine vétérinaire, l'ouvrage de référence est *Anatomie comparée des Mammifères domestiques* écrit et illustré par Robert Barone. Cet ouvrage est composé de sept tomes et décrit l'anatomie comparée du chat, du chien, du cheval, du bœuf, du porc, du mouton, de la chèvre et du lapin, au travers de riches illustrations.

Au bilan, l'anatomie des animaux domestiques est relativement bien connue, où chez certaines espèces le niveau de connaissances est presque semblable à l'anatomie humaine. Toutefois, il reste encore des zones d'ombres à explorer sur l'anatomie de nombreuses espèces peu communes.

Pour conclure, de nombreux anatomistes ont exploré l'anatomie, partageant ainsi leurs connaissances avec le grand public au travers d'ouvrages illustrés. Le corps humain et animal a été minutieusement étudié pour en dévoiler tous ses secrets. Parmi les animaux, le cheval se distingue particulièrement en raison de l'importance qu'il occupe dans la société humaine.

B) Place du cheval dans l'anatomie vétérinaire

1) Le cheval, objet de toutes les fascinations

Le **cheval domestique**, tel qu'on le connaît aujourd'hui, appartient au genre *Equus*, à l'espèce *Equus ferus* et à la sous-espèce *Equus ferus caballus*. C'est un mammifère monodactyle ongulé, ayant évolué à partir d'un ancêtre, du genre *Hyracotherium*, de la taille d'un chien et possédant quatre doigts aux membres antérieurs et trois aux postérieurs. Ainsi, chez le cheval, les doigts I, II, IV et V ainsi que les métacarpiens I et V ont progressivement disparu, ne laissant plus que les os métacarpiens II, III et IV et le doigt III. Cette diminution du nombre de doigts peut s'expliquer par un changement d'environnement. En effet, le cheval a migré de la forêt broussailleuse aux grands espaces ouverts des plaines. La nécessité de courir vite pour échapper aux prédateurs a entraîné l'allongement des membres, en adaptation à la vitesse. Il est aussi supposé que cet allongement et la conservation d'un seul os métacarpien est une adaptation à l'augmentation progressive du poids du cheval, afin de limiter les fractures de stress. De plus, le cheval est passé d'une posture digitigrade, avec un coussinet plantaire similaire à celui du chien, à une posture onguligrade. (McHorse, Biewener, Pierce 2017).

Au Paléolithique, le cheval est avant tout une proie, chassée par les premiers hominidés pour sa viande mais aussi pour la peau, les os. Nous l'avons vu précédemment, cet animal était fidèlement représenté dans les grottes préhistoriques. Puis, les humains remarquent le potentiel du cheval, un animal porteur, plus rapide et endurant que le bétail. Sa **domestication** débute dans les steppes du Caucase, plus de 2000 avant J.C. (Librado et al. 2021). Les chevaux de la région sont sélectionnés sur des critères anatomiques et comportementaux, comme la docilité. En outre, la domestication du cheval et l'apparition du chariot à roue permettent le développement du commerce entre l'Est et l'Ouest et la diffusion des langues indo-européennes. Cela montre l'impact du cheval sur l'histoire et la mondialisation de l'homme (Librado et al. 2021). Il faudra quelques siècles au cheval pour remplacer le bœuf comme animal de trait. Par exemple, en Angleterre le cheval passe de 5 % des animaux de trait au XI^e siècle à plus de la moitié des animaux de trait au XIV^e siècle (Smil 2000). Le cheval s'impose alors comme force de travail, avant d'être progressivement remplacé par des machines lors de la mécanisation de l'agriculture.

Au cours des siècles, la morphologie du cheval change et on observe une adaptation « de la forme à la fonction », selon que le cheval doit porter (on parle alors d'animal de bât), tirer (animal de trait) ou parcourir de longues distances (cavalerie légère) (*Rôle du cheval dans la guerre* 2024). Au Moyen-Âge en Europe occidentale, le cheval est un animal lourd, capable de porter les chevaliers en armure ou de tirer les charrues des paysans. Les nobles possèdent en revanche des montures plus légères. Pour les peuples nomades de l'Est, la cavalerie légère est préférée pour parcourir de longues distances et pour les pillages rapides des villes.

Le cheval est également un symbole de statut social élevé. Les nombreuses représentations de chevaux démontrent le respect qu'inspire cet animal. Par exemple, des statuettes ou peintures de chevaux en habits d'apparat, avec un harnachement finement dessiné, ont été retrouvés sur de nombreux sites archéologiques. Par exemple, en Mongolie, les objets archéologiques retrouvés dans les sépultures et lieux de vie des mongols du XIII^e siècle montrent que ces peuples nomades vouaient un véritable culte au cheval (*Exposition Gengis Khan : Comment les Mongols ont changé le monde ?* 2023).

Enfin, à l'ère moderne, plusieurs types de chevaux sont utilisés. Les chevaux lourds permettent de tirer l'artillerie ou le ravitaillement et leur caractère calme est apprécié sur les champs de bataille. Les chevaux plus légers sont utilisés pour la charge par la **cavalerie militaire**, qui accompagne l'infanterie. Impossible alors de remporter un combat armé sans cheval. Buffon disait dans *Histoire naturelle* « Le cheval : La plus noble conquête que l'homme ait jamais faite est celle de ce fier et fougueux animal, qui partage avec lui les fatigues de la guerre et la gloire des combats. ».

Cependant, lors de ces conflits armés, les pertes en chevaux sont parfois équivalentes aux pertes humaines. La médecine des chevaux naît ainsi avec la guerre.

2) La naissance de la médecine équine

L'ancêtre de la médecine vétérinaire équine est l'**hippiatrie** ou « art de soigner les chevaux » (Académie française 1992) Le premier traité d'hippiatrie est sans doute *L'Art de soigner et d'entraîner les chevaux*, publié au XIV^e siècle avant J.C. par l'écuyer hittite Kikkuli. Plus tard, l'hippiatre grec Pélagonius publie au IV^e siècle *Ars veterinaria* et Xénophon rédige *De l'art équestre*, dont la première partie détaille la conformation du cheval. Dans un autre ouvrage grec, *Corpus Hippiatricorum Graecorum*, l'importance des aplombs est soulignée. Par exemple, un des co-auteurs, Apsyrtos, décrit un défaut d'aplomb, les chevaux « droits-jointés », c'est-à-dire avec les paturons verticaux (Menard 2003).



Figure 11 : Musculature du cheval (Ruini 1598).

Ainsi, les connaissances hippiatriques s'améliorent. L'anatomie du pied est notamment bien connue. Bien qu'elle existe depuis l'ère gréco-romaine, la **maréchalerie**, ou l'art de forger et de ferrer les chevaux, se développe à cette époque. Les maréchaux-ferrants deviennent alors les soignants des chevaux puisque la pathologie locomotrice représente les principales affections des chevaux de l'époque. Les traités de maréchalerie se multiplient, du Moyen-Age, période à laquelle Jordanus Rufus publie *Mareschaucie de chevax*, jusqu'à la Renaissance, avec *L'art vétérinaire ou grande maréchalerie* rédigé par Jean Massé (Aveline, Kremer [sans date]).

Le français Claude Bourgelat se sert, entre autres, des bases de la maréchalerie pour créer la **médecine vétérinaire**. Suite à la publication d'*Eléments d'hippiatrique* de 1750 à 1753, il lui est proposé la rédaction de la partie anatomique et chirurgicale dédiée au cheval dans *L'Encyclopédie* d'Alembert et Diderot (Kremer [sans date]). En 1766, Bourgelat publie un ouvrage de référence en anatomie comparée, *Eléments de l'art vétérinaire - Zootomie ou anatomie comparée*. Par ailleurs, alors que la France est touchée par des épizooties, Bourgelat songe à la formation d'une école vétérinaire. Il fonde alors **l'École Vétérinaire Nationale** de Lyon en 1761 et celle d'Alfort en 1766. Dans ces écoles, l'anatomie et la médecine équine sont enseignées, notamment au travers de dissections. La renommée de Bourgelat devient bientôt internationale et ouvre la voie à la fondation de nombreuses autres écoles vétérinaires en Europe. Son héritage est tel qu'il pose les bases de la médecine vétérinaire mais aussi de l'éthique, dont il en reste le serment de Bourgelat, prononcé par tout vétérinaire diplômé.

Ainsi, l'anatomie du cheval est aujourd'hui bien connue. Le cheval était en effet un animal du quotidien pour les humains, au cours des siècles. La nécessité de pouvoir le soigner a donné naissance à la médecine vétérinaire et par conséquent à l'étude de son anatomie. En milieu vétérinaire, l'anatomie est une matière phare du cursus et celle du cheval est enseignée dès la première année. Mais qu'en est-il de l'importance accordée par les étudiants vétérinaires pour cette discipline ?

C) Place de l'anatomie en milieu vétérinaire

L'anatomie est une discipline mère en médecine vétérinaire. On la retrouve à plusieurs échelles dans le milieu vétérinaire, puisqu'elle est enseignée dès la première année en école et est nécessaire pour la pratique quotidienne des vétérinaires diplômés.

1) Une discipline au cœur des compétences du vétérinaire

Le métier de vétérinaire est une profession réglementée par le Code Rural et de la pêche maritime et le Code de la Santé Publique. La formation est uniquement proposée par les Écoles Nationales Vétérinaires de France (ENVF) et, depuis la rentrée 2022, par l'école vétérinaire privée d'UniLaSalle à Rouen.

Afin d'obtenir leur diplôme, les étudiants vétérinaires doivent valider un certain nombre de compétences.

Définir la notion de compétence

Les anglophones distinguent la capacité (*competence*) de la compétence (*competency*) ; la première étant l'habileté à réaliser une tâche et ne dépend que de l'individu tandis que la seconde concerne les conditions à remplir pour un travail et dépend donc du contexte social (Le Deist, Winterton 2005).

Aux États-Unis, il est considéré que les *competences* comme l'intelligence et l'habileté personnelle, sont innées tandis que les *competencies*, telle que la conscience de soi, l'auto-régulation et la sociabilité, sont comportementales et peuvent être apprises et développées par l'entraînement. Les **compétences comportementales** sont très valorisées dans ce modèle, notamment pour la gestion des équipes en entreprise.

Dans le modèle britannique, ce sont les **compétences fonctionnelles** qui sont favorisées. Afin de standardiser à l'échelle nationale les qualifications des travailleurs, le gouvernement a établi une liste d'unités de compétence, sous-divisées en éléments de compétence, auxquels sont attribués des critères de performance associé à des indicateurs pour en guider l'évaluation. Cependant, ce modèle a été vivement critiqué car il n'était pas toujours pertinent, notamment pour évaluer l'acquisition de connaissances.

En France, l'Agence nationale pour l'emploi a également établi un système basé sur les compétences, utilisé par les employeurs et par les académies. Néanmoins, la définition de compétence est plus générale puisqu'elle distingue : le **savoir**, c'est-à-dire les compétences théoriques, le **savoir-faire**, autrement dit les compétences pratiques (les *functional competences* du modèle britannique) et le **savoir-être** ou bien compétences sociales et comportementales (les *behavioural competencies* que l'on retrouve dans le modèle américain). Jacques Tardif, introduit un autre terme puisqu'il définit une compétence comme « un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations » (Université de Sherbrooke 2018). Le **savoir-agir** est une compétence fonctionnelle, qui permet la résolution de problèmes et examine les solutions possibles en choisissant la meilleure. De plus, les ressources internes sont les capacités propres à l'étudiant (intelligence, raisonnement, habileté, etc) tandis que les ressources externes sont les informations à sa disposition (cours, bibliographie, internet, etc). En résumé, dans ce modèle les connaissances, les capacités et le comportement sont les trois dimensions d'une compétence. De plus, les méta-compétences coordonnent l'interaction entre ces trois types de compétences. Ceci est résumé sur la figure 12.

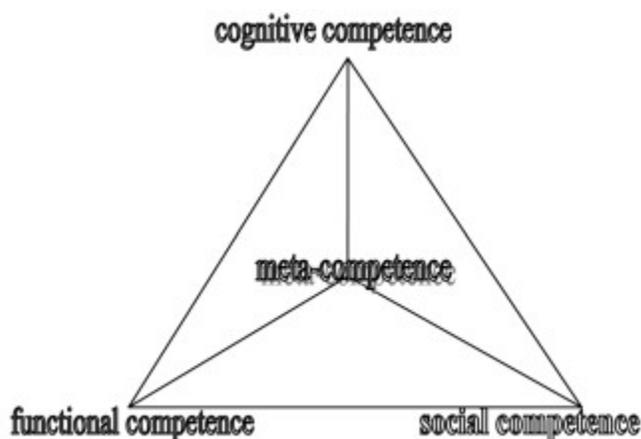


Figure 12 : Le tétraèdre des compétences dans le modèle holistique (Le Deist, Winterton 2005).

Définir les compétences du vétérinaire

Concernant le métier de vétérinaire, le Ministère de l'Agriculture a compilé les **compétences vétérinaires** dans un *Référentiel d'activité professionnelle et de compétences à l'issue des études vétérinaires* (Direction générale de l'enseignement et de la recherche 2017). L'objectif de ce référentiel est de définir précisément le niveau du Diplôme d'Études Fondamentales Vétérinaires, pour répondre aux demandes de la directive européenne 2005/36/EC amendée par la directive 2013/55/EU et son annexe V.4.1, ainsi qu'aux exigences de l'Association Européenne des Établissements d'Enseignement Vétérinaires. Ce niveau est évalué en quatrième année pour tous les étudiants et en cinquième selon la discipline choisie.

Dans le référentiel du Ministère, sont distinguées les **compétences spécifiques** du vétérinaires :

- *Conseiller - Prévenir* : Le vétérinaire a un rôle de conseiller sur la santé individuelle et collective des animaux et sur les mesures de biosécurité.
- *Établir un diagnostic* : Le vétérinaire applique une démarche diagnostique qui repose sur le recueil d'informations, la formulation d'hypothèses et l'établissement d'un diagnostic, à l'aide d'examen complémentaires.
- *Soigner-Traiter* : Le vétérinaire sait soigner et appliquer des traitements, médicaux ou chirurgicaux, dans le respect des enjeux de santé publique et des bonnes pratiques professionnelles.
- *Agir pour la santé publique* : Le vétérinaire, en tant que vétérinaire sanitaire, est le garant de la santé animale, de la sécurité des aliments et des productions animales, dans un contexte d'« une seule santé » (animale, humaine, environnementale).

Et les **compétences transversales** :

- *Travailler en entreprise* : Les compétences d'entrepreneuriat et la communication interne au sein d'une clinique sont essentielles.
- *Communiquer* : Le vétérinaire sait communiquer à l'écrit et à l'oral, avec les clients, ses collègues, les autorités compétentes et le grand public.
- *Agir en scientifique* : Le vétérinaire applique une démarche scientifique en menant des recherches bibliographiques et en pratiquant une médecine vétérinaire fondée sur les preuves.
- *Agir de manière responsable* : Les responsabilités du vétérinaire sont de l'ordre du développement durable et du bien-être animal. La profession étant réglementée, le code de déontologie se doit d'être connu et appliqué.

Ces huit macro-compétences regroupent plusieurs compétences, déclinées ensuite en capacités. Pour chaque capacité, un **niveau de performance** est attendu pour l'étudiant :

- « *a vu* = l'étudiant a vu ou a vu faire et sait expliquer ;
- *a fait* = l'étudiant a fait avec une supervision directe ;
- *sait faire* = l'étudiant est autonome. »

De plus, des **indicateurs** permettent de préciser sur quelles connaissances ou gestes l'étudiant sera évalué.

Le savoir anatomique : une des compétences fondamentales du vétérinaire

Pour chaque compétence, les **connaissances préalables** nécessaires sont citées. Parmi ces connaissances, on y trouve l'anatomie. Les compétences et capacités qui relèvent, entre autres, de l'anatomie, sont résumées en annexe 1. La connaissance

« Anatomie » est citée pour 3 macro-compétences (*Établir un diagnostic, Soigner et traiter et Agir pour la Santé Publique*) et 17 compétences.

Ainsi, il apparaît que l'anatomie est indispensable pour l'acquisition de nombreux savoirs et savoir-faire du vétérinaire. Les savoirs anatomiques sont acquis lors de la formation des étudiants vétérinaires au sein des écoles. Nous allons à présent voir comment cette matière s'intègre tout au long du cursus.

2) Intégration de l'anatomie dans le cursus vétérinaire, exemple de l'École Nationale de Nantes

Afin de répondre à la nécessité d'apprentissage de l'anatomie lors de la formation vétérinaire, les ENVF ont mis en place un enseignement de l'anatomie tout au long des années d'études.

A ONIRIS VetAgroBio Nantes, les matières enseignées sont réparties sous forme d'Unités d'Enseignement (UE), pour chaque semestre, à partir de la première année (après la première année commune aux ENVF ou après le concours Agro-Véto) jusqu'à la troisième année.

L'enseignement de l'anatomie au cours de la première année

Les UE dans lesquelles l'anatomie est enseignée en première année sont détaillées en annexe 2 : en première année, ce sont les UE 034 et UE 044. Les objectifs généraux de l'UE 034 (Anatomie fondamentale) sont précisés en annexe 3 et ceux de l'UE 044 (Topographie des grandes cavités et bases de l'imagerie) en annexe 4. Il est cependant à noter qu'il n'y a pas d'objectifs détaillés.

En revanche les activités pédagogiques sont précisées, ainsi que les temps accordés aux cours magistraux. Dans ces cours, l'apprentissage de l'anatomie se fait appareil par appareil.

Pour l'appareil musculo-squelettique, on distingue plusieurs sections :

- l'**ostéologie**, qui s'intéresse aux os ;
- l'**arthrologie**, qui s'intéresse aux articulations et étudie les surfaces articulaires, les moyens d'union (les ligaments, les capsules articulaires) et les bourses synoviales de chacune d'entre elles ;
- la **myologie**, qui étudie l'ensemble des muscles et de leurs annexes (tendons, aponévrose, bourse tendineuse, fascias et gaines) en précisant leurs insertions et leur rôle dans le mouvement ;

Par ailleurs, l'étude des viscères est appelée **splanchnologie**. Elle détaille :

- l'appareil cardio-vasculaire : le cœur et les vaisseaux sanguins.
- l'appareil respiratoire : des cavités nasales aux poumons ;
- l'appareil digestif : de la bouche à l'anus et ses annexes : foie, pancréas, vésicule biliaire, glandes salivaires ;
- l'appareil urinaire : des reins à la sortie de l'urètre ;
- l'appareil génital : mâle et femelle ;
- le système lymphatique : les organes lymphatiques et les vaisseaux lymphatiques.

Pour chaque viscère, il est précisé sa localisation, sa forme, sa taille et ses relations avec les autres organes ainsi que sa vascularisation et son innervation.

Il est à noter que l'étude du cœur, des vaisseaux sanguins et lymphatiques est appelé **angiologie**.

De plus, l'étude de l'ensemble du système nerveux central et périphérique, appelée **neurologie**, détaille l'encéphale, dont sont issus les nerfs crâniens, et la moelle épinière, point de départ des nerfs spinaux.

Une dernière catégorie, l'**embryologie**, étudie la formation de l'ensemble de ces appareils au cours de l'embryogenèse. Cette organisation précise de l'anatomie favorise un apprentissage par étapes et facilite la mémorisation. De plus, elle permet de retrouver facilement une section ou un organe en particulier lors de révisions ou pour les disciplines des années suivantes (Oddou 2020).

En plus des cours magistraux, des séances de travaux pratiques sont réalisées, notamment de dissection et de manipulation de pièces anatomiques. Des séances en autonomie sont proposées avec des pièces osseuses et des animations sur tablette, en salle Virtual Vet. Au premier semestre, le Lapin est disséqué et au second semestre, les dissections des autres espèces sont réalisées.

L'enseignement de l'anatomie au cours de la deuxième année

La dernière partie de l'enseignement fondamental d'anatomie a lieu en deuxième année au premier semestre, au cours de l'UE 054 (Anatomie régionale), dont les objectifs sont résumés en annexe 5. Des dissections osseuses et musculaires sont également réalisées.

La mobilisation et le renforcement des connaissances anatomiques

Par la suite, en deuxième et troisième année, de nombreuses UE font appel à ces connaissances anatomiques, comme le montre l'annexe 6. Par exemple, avant un cours sur les maladies cardiaques, de brefs rappels sur l'anatomie du cœur sont présentés. Cela permet à l'enseignant d'ancrer durablement les connaissances. En effet, il est montré que des **rappels** au cours du cursus améliorent les performances d'apprentissage (Cheung, Bridges, Tipoe 2021).

À partir de la quatrième année, l'enseignement n'est plus uniquement théorique et les étudiants participent activement au fonctionnement de la clinique de l'école. C'est

l'occasion pour eux de mettre en **pratique** les connaissances acquises au cours des trois premières années. La quatrième année est une année « toutes espèces » où les étudiants parcourent les services de l'hôpital de l'école. La majorité des rotations au sein du centre hospitalier universitaire nécessitent une bonne connaissance de l'anatomie des espèces concernées : pour les autopsies, les chirurgies, l'imagerie, les injections, la pose de cathéter, etc. Les compétences et savoir anatomiques mobilisés lors de ces rotations sont résumés dans l'annexe 6.

En cinquième année équine, l'anatomie du cheval est revue en début d'année, avec une semaine consacrée à la dissection complète d'un cheval, appareil par appareil, et une semaine avec différents travaux pratiques, sur l'échographie abdominale, thoracique et tendineuse, les anesthésies diagnostiques, le signalement d'un équidé, etc. Les compétences et connaissances sont donc renforcées pour l'espèce équine, dans les domaines présentés en annexe 6.

Ainsi, l'anatomie est une discipline qui se doit d'être étudiée tout d'abord dans une matière dédiée, puis dont les connaissances sont transversales tout au long du cursus vétérinaire. Son apprentissage est long et des rappels sont donc faits au cours des cinq années. Ils participent activement à consolider les compétences spécifiques au vétérinaire.

3) La vision de l'anatomie par les vétérinaires

a) Le rapport des étudiants vétérinaires à l'anatomie

Dans un travail de thèse concernant les étudiants de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon, les résultats d'un questionnaire montrent que l'anatomie est considérée par les étudiants comme une matière « importante » et par la majorité (82,4%) comme « utile au quotidien voire indispensable au métier de praticien vétérinaire » (Oddou 2020). En revanche, l'attrait pour l'anatomie est très variable et ne concerne qu'une moitié (46,7%) des étudiants (Oddou 2020).

Par ailleurs, de nombreux étudiants appréhendent l'apprentissage de l'anatomie et certains ont même développé une « phobie » vis à vis de l'anatomie (Hennessy et al. 2016). En effet, une majeure partie des étudiants (89,8%) considère son apprentissage « difficile » (Oddou 2020). Plus de la moitié (55,7 %) considère leurs savoirs « fragiles » et font part de la nécessité de retourner régulièrement consulter leurs cours (Oddou 2020). En médecine humaine, le constat est similaire : les étudiants ne se sentent pas compétents à la fin de leur cursus et estiment ne pas avoir assez ancré les connaissances anatomiques. D'ailleurs, les enseignants sont du même avis et ne trouvent pas les étudiants suffisamment instruits, en anatomie du moins, à la sortie de l'école (Cheung, Bridges, Tipoe 2021).

Dès lors, comment expliquer les difficultés des étudiants à apprendre l'anatomie ? On peut distinguer trois raisons principales : les difficultés de visualisation dans l'espace, la quantité d'information et les méthodes d'enseignement.

Concernant leurs **difficultés de visualisation spatiale**, les étudiants peinent à identifier les structures anatomiques, souvent de petite taille et difficilement discernables. De plus, le passage entre un espace à deux dimensions (les schémas de cours) à un espace à trois dimensions (l'organisme disséqué) est souvent délicat (Cheung, Bridges, Tipoe 2021). Bien qu'ils aient accès à des planches anatomiques, les élèves ne reconnaissent pas les structures observées.

Ensuite, les étudiants rapportent que l'anatomie est difficile à cause de la **quantité d'informations** à appréhender. Par exemple, le système musculo-squelettique, bien qu'il soit perçu comme l'un des plus faciles à apprendre, contrairement au système nerveux, représente un vrai défi (Cheung, Bridges, Tipoe 2021). Il faut en effet, apprendre les noms des muscles, leur taille et leur forme, leurs insertions, leur innervation et leur vascularisation. Nous en reparlons plus tard, mais ce type de discipline provoque souvent une surcharge cognitive trop importante. Cela entraîne une perte de motivation car les étudiants se sentent alors dépassés par le travail à accomplir. L'apprentissage en surface prend alors le dessus sur l'apprentissage en profondeur, ce qui est délétère à l'ancrage durable des connaissances.

Enfin, les **méthodes d'enseignement** de l'anatomie sont souvent mal considérées par les étudiants. En effet, le temps d'apprentissage de cette discipline pourtant complexe est souvent limité. Par exemple, avant la modification de la maquette pédagogique à ONIRIS VetAgroBio Nantes, quasi l'ensemble de l'enseignement était donné sur un semestre en première année. Les étudiants ont rapporté de grosses difficultés à intégrer une telle quantité d'informations en seulement quelques cours. Or, la diminution du temps imparti pour l'apprentissage de connaissances est souvent associé à un niveau insuffisant de connaissances (Cheung, Bridges, Tipoe 2021). De plus, les étudiants regrettent un manque de contexte clinique lors de ce premier apprentissage théorique. Ce n'est que lors de leurs années de pratique clinique que les étudiants attribuent un sens à leurs connaissances anatomiques. C'est d'ailleurs à ce moment qu'elles sont le mieux assimilées (Cheung, Bridges, Tipoe 2021).

En résumé, il apparaît que l'anatomie n'est pas forcément bien vue par les étudiants, ou du moins qu'ils trouvent son apprentissage difficile, bien qu'ils comprennent l'intérêt majeur d'ancrer ces connaissances anatomiques. Par ailleurs, la façon d'enseigner l'anatomie est souvent perçue comme inadaptée pour les étudiants. Il en ressort que les étudiants sortent de l'école avec des connaissances qu'ils estiment fragiles en anatomie.

b) La continuité de l'anatomie en pratique vétérinaire

Pourtant, les connaissances anatomiques sont essentielles à la pratique future. En effet, dans des domaines comme la chirurgie, l'orthopédie ou l'imagerie, l'anatomie est constamment mobilisées. Il est certain que lorsque les praticiens se spécialisent dans un domaine, leur savoir anatomique se développe particulièrement. Par exemple, un chirurgien abdominal aura notamment une très bonne connaissance du système digestif du cheval, tandis qu'un spécialiste en médecine de la locomotion, sera incollable sur l'appareil musculo-squelettique du cheval.

Cependant, les données manquent pour quantifier l'amélioration des connaissances anatomiques chez les praticiens. Certes, la réglementation de la profession vétérinaire impose une obligation de **formation continue** (Ordre national des vétérinaires 2018), c'est-à-dire que les vétérinaires diplômés ont l'obligation de prouver le suivi de formation pour un total de cent heures en cinq ans (deux cents heures pour un vétérinaire travaillant en centre spécialisé ou en centre hospitalier vétérinaire). Toutefois, aucun contrôle de connaissances n'est réalisé, notamment en anatomie. L'amélioration des savoirs anatomiques ainsi que l'évolution de la perception de l'anatomie chez les praticiens serait un sujet d'étude ou de thèse intéressant à développer.

En résumé, l'anatomie est une matière qui a toute sa place dans le cursus vétérinaire et qui profite aux cliniciens dans leur pratique quotidienne. Cependant, elle peut être perçue comme difficile à appréhender, d'où la nécessité de fournir aux étudiants des supports adaptés pour son apprentissage.

II) Intérêt et limites des supports actuellement à disposition pour l'apprentissage de l'anatomie

Il existe une multitude de supports à destination des étudiants, mais chacun présente des avantages et des inconvénients, qui seront développés dans cette partie.

peut classer ces supports selon la vue transmise : ceux qui représentent une vue en deux dimensions de l'élément anatomique et ceux qui utilisent les trois dimensions de l'espace. Ensuite, ces supports peuvent être des supports papiers ou bien des supports numériques.

A) Le choix du format

1) Les supports papiers

Les supports produits uniquement par l'écriture humaine sont souvent limités sur leur format. Le format A4 (21 x 29,7 cm) est le format utilisé préférentiellement par les ouvrages anatomiques. Les formats A3 (29,7 x 42 cm), A2 (42 x 59,4 cm) ou A1 (59,5 x 84,1 cm) sont souvent préférés pour les affiches. Quant au format A5 (14,8 x 21 cm), il est apprécié par les étudiants pour réaliser des fiches de révisions, pratiques à transporter et prenant peu de place. Dans tous les cas, ces formats ne permettent la représentation que de deux dimensions de l'espace.

Il existe de nombreux **atlas illustrés** d'anatomie, comprenant des planches de dessins anatomiques ou bien de schémas. En première partie, nous avons évoqué les premières publications, qui ont été décisives dans l'avènement de l'anatomie illustrée. Au début, il était question d'exposer les structures anatomiques le plus fidèlement possible. Puis, ces encyclopédies illustrées ont commencé à être pensés pour que les étudiants puissent mémoriser ces structures. Ainsi, les ouvrages pédagogiques, basé sur des fiches mémoire ou des schémas à légèrer ou colorier sont accessibles à des prix plus ou moins raisonnables. Ces livres offrent l'avantage d'être plus synthétiques que les ouvrages de référence cités en première partie, dont la lecture peut être dense et fastidieuse.

Cependant, l'inconvénient majeur des ouvrages papiers est leur coût souvent élevé, qui décourage l'achat par les étudiants vétérinaires. Il existe toutefois des versions numériques ou e-books qui sont moins chers et présentent l'avantage d'être transportables facilement et non altérables, puisqu'il suffit de les placer sur une plateforme en ligne de partage de fichiers (Google Drive, Dropbox, etc).

Ainsi, les supports papiers ont longtemps été rois des productions anatomiques, presque considéré comme des œuvres d'art, mais l'ère du numérique risque d'entraîner progressivement leur disparition ou leur numérisation.

2) Les supports numériques

Les supports numériques peuvent intégrer dans leur corps de nombreux formats. Le **format texte** permet évidemment d'insérer des explications, des légendes. On peut donc compiler de nombreuses informations dans un support numérique, sans que l'espace physique occupé soit grand. Ainsi, de nombreux auteurs utilisent un logiciel de traitement de texte pour écrire leurs ouvrages et les publient sous format papier par la suite. Cela offre l'avantage d'un stockage facilité, d'une organisation claire et de pouvoir effacer et recommencer à volonté. D'autres choisissent de mettre leur contenu en ligne, sur des sites internet qui sont consultables à l'infini et ne s'abîment pas. De plus, les logiciels de traitement de texte offrent maintenant la possibilité de créer des diapositives, un support largement utilisé par les équipes enseignantes, comme il sera montré ultérieurement.

Le **format image** est indispensable, surtout en anatomie pour intégrer des clichés de dissections ou bien pour réaliser des dessins et des schémas. Avec l'essor de la photographie, il est devenu facile d'immortaliser un moment qui ne pouvait profiter qu'à quelques personnes et qui est à présent consultable par de nombreuses autres. De plus, on a observé sur le marché le développement de tablettes graphiques, intégrant des logiciels de dessin. Cela a permis d'améliorer grandement la transmission de dessins et schémas anatomiques puisque ces tablettes permettent un stockage sécurisé en ligne ou non, une qualité de dessin non altérable par le temps et une transmission internationale facilitée. C'est une méthode adoptée par la plupart des illustrateurs de nos jours.

Le **format audio** est peu utilisé seul en enseignement de l'anatomie car il lui manque terriblement une image associée. En revanche, il peut être utilisé par les étudiants qui ont une mémoire auditive, pour enregistrer des révisions et les écouter à nouveau pour ancrer les connaissances.

Suite au développement du cinéma puis du petit écran, le **format vidéo** s'est largement répandu sur la toile. Il est fortement apprécié par les utilisateurs car il touche plusieurs sens (la vue pour les images et l'ouïe pour le son). En combinant le format image et audio, il permet de retranscrire une scène d'une longue durée et d'y associer une narration. Cela est utile lorsque l'on souhaite réaliser un cours à distance, visualisable à n'importe quel moment par les étudiants, ou bien une simulation commentée.

L'avantage d'un outil numérique est de pouvoir combiner tous ces formats. On peut ainsi proposer aux étudiants qui préfèrent lire un texte détaillé, expliquant en profondeur les connaissances. Pour les étudiants à mémoire visuelle, et dans tous les cas lors de la description d'un élément anatomique, une image illustrative est associée avec des légendes. Enfin, pour les étudiants qui ne souhaitent pas lire mais préfèrent une voix descriptive, le format vidéo est idéal pour suivre un cours.

En conclusion, le choix du support est souvent conditionné par les préférences de l'étudiant. Les outils en deux dimensions sont faciles à produire, à reproduire et à transmettre, notamment ceux qui sont disponibles en ligne. Cependant, ils trouvent leur limite dans l'absence d'une troisième dimension et de la possibilité de manipuler. C'est là où les outils en trois dimensions, plus proches de la réalité, trouvent toute leur force. De la production de mannequins en bois inspirés des dissections jusqu'à l'avènement des logiciels 3D, leur format a beaucoup évolué.

B) L'évolution des supports anatomiques

1) Les dissections

L'étymologie du mot anatomie, du bas latin *anatomia* et du grec ancien *anatomê*, qui veulent dire « dissection », « incision » (Académie française 1992), nous indique dès son sens premier comment l'anatomie a été étudiée en premier lieu.

Au Moyen-Âge, à cause de croyances religieuses et du fait de leur interdiction, peu de dissections sont réalisées dans un objectif pédagogique. Toutefois, à partir du XIII^e siècle, les dissections sont de nouveau autorisées et un nouvel attrait pour les **dissections publiques** se développe, à tel point que des amphithéâtres entiers leur sont dédiés. Dans un des amphithéâtres de l'université de Padoue, y est gravé *Hic locus est ubi mors gaudet succurrere vitae* (Dans ce lieu, la mort se réjouit d'aider la vie) (Standring 2016), ce qui montre l'objectif de ces cours publics. En effet, dans ces amphithéâtres, il est possible d'assister à la dissection d'un cadavre frais. Bien que les dissections sont à l'époque très décriées, de nombreuses personnes y assistent : des étudiants en médecine mais aussi des citoyens non éduqués. Les corps disséqués sont le plus souvent ceux de condamnés à mort, cependant de nombreux corps sont acquis illégalement par pillage de tombes ou bien via un trafic humain.

Des **dissections animales** ont lieu en parallèle, notamment celles de chiens, plus faciles à se procurer et sur lesquels il était aussi possible de réaliser une vivisection. Ainsi, durant ces cours, l'anatomie comparée entre différentes espèces est étudiée.

Dès la fin XVIII^e siècle, il est acquis que chaque étudiant en médecine doit assister voire réaliser une dissection au moins une fois dans son cursus (Standring 2016) La dissection devient alors une discipline incontournable dans ces études. En effet, la dissection est un outil très complet pour comprendre les relations anatomiques entre les structures de chaque organisme. Elle fait appel aux cinq sens et à la manipulation par l'étudiant, souvent appréciée, et qui fait défaut dans les représentations virtuelles (Lombardi 2014). De même, elle reste une étape essentielle avant toute chirurgie.

Cependant, si la dissection prouve son intérêt dans l'exactitude de sa représentation, il n'est pas toujours aisé de se procurer un cadavre à disséquer, comme

expliqué précédemment. De plus, pour des raisons éthiques, le nombre de cadavre par étudiant est souvent limité. La directive européenne sur la protection animale dans un cadre scientifique (Directive 2010/63/EU remplaçant celle de 1986) insiste en effet sur le principe des « 3 R » : **réduire** le nombre d'animaux, **raffiner** les pratiques afin d'optimiser le bien être animal et limiter ses souffrances de sa naissance à sa mort et enfin **remplacer** par des méthodes qui n'implique pas l'utilisation d'animaux (European Commission 2024). Ainsi, pour toute procédure qui implique la mise à mort d'animaux à des fins scientifiques, une utilisation raisonnée du nombre d'animaux est nécessaire. En outre, l'euthanasie d'animaux sains pour la réalisation de dissections est remise en cause par les étudiants, qui se questionnent sur la justification d'un tel acte paradoxal dans la formation vétérinaire (Chevalier 2021). De plus en plus, les étudiants demandent à pratiquer les dissections sur des animaux dont la mise à mort ne pouvait être évitée, voire était nécessaire au vu de l'état de ces animaux.

La dissection présente d'autres inconvénients : c'est une technique lente, qui nécessite une manipulation prudente des outils (le risque de coupure est non négligeable). La dissection nécessite des conditions de conservation particulières, du matériel spécifique, une salle dédiée et du personnel formé. Certains spécimens peuvent être en mauvais état suite à une mauvaise conservation, ce qui peut rendre la dissection fastidieuse et certaines espèces peuvent être difficiles à se procurer à cause de leur rareté (Thomas et al. 2016). Par ailleurs, la dissection est irréversible contrairement à des modèles qui sont consultables à l'infini.

2) Les modèles synthétiques et vivants

Les modèles créés à partir du vivant

À cause du manque de cadavres et de leur rapide altération, la volonté de produire des modèles immuables est apparue.

Les premiers modèles sont produits dès l'Égypte ancienne, avec les procédés d'**embaumement**, qui permettent de conserver les tissus organiques voués à être détruits par autolyse et putréfaction. Plus tard, au Moyen Âge, des modèles anatomiques sont réalisés à partir de différents matériaux comme la cire, le bois, l'ivoire ou des métaux comme le bronze. Lors de la fabrication des **modèles de cire**, le spécimen vivant est recouvert de plâtre, qui va servir de moule à la cire (le plus souvent de la cire d'abeille). Cette dernière est ensuite recouverte de suif de mouton, d'huile d'olive et de térébenthine de Venise (un durcisseur). Enfin, les modèles sont peints et vernis avant d'être affichés (Olry 2020). Cette méthode permet entre autres une bonne visualisation du système vasculaire.

C'est en se basant sur ce même principe que l'anatomiste français Honoré Fragonard en 1766-1771 fabrique ses fameux **écorchés de Fragonard**, aujourd'hui classés comme Monuments Historiques et exposés au Musée Fragonard à l'École Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort. Son procédé de fabrication est révélé dans une étude (Degueurce et al. 2008) : les vaisseaux sanguins sont injectés de produits de

conservation (suif de mouton, résine de pin et cire d'abeille pour les grands spécimens), de vermillon (un pigment rouge) pour les artères et sans coloration pour les veines. Puis, les spécimens sont disséqués en retirant la peau, les muscles et les vaisseaux sanguins isolés et les viscères difficiles à conserver retirés. Enfin, les corps sont plongés dans l'alcool et séchés dans la position souhaitée pour la présentation, puis recouverts de vernis (la thérébenthine) pour protéger des insectes destructeurs.

Ensuite, des **modèles en bois** voient le jour, dont le plus connu est celui réalisé par l'italien Felice Fontana en 1795, qui est composé de plus de 3 000 pièces amovibles (voir figure 13). Au XVII^e et XVIII^e siècles, des **modèles en ivoire** sont également produits. La plupart représentent des corps féminins dont les parties abdominales et utérines sont amovibles (voir figure 14). Ces modèles sont utilisés pour enseigner aux sage-femmes, notamment sous la direction de la française Angélique du Coudray, qui fabriquait elle même ses mannequins pour illustrer ses propos sur l'anatomie utérine et fœtale. Des modèles de régions très spécifiques comme l'oreille, par Giambattista Verle, sont aussi réalisés.



Figure 13 : Modèle anatomique en bois, réalisé par Felice Fontana en 1795 (Olry 2020).

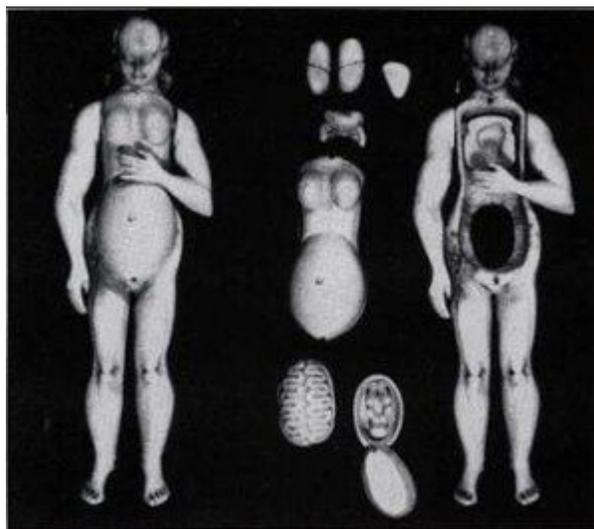


Figure 14 : Modèle anatomique en ivoire représentant des femmes enceintes, produites en Italie ou en France au XVIII^e siècle (Olry 2020).

Au XIX^e siècle, les **modèles en papier mâché** naissent sous la main du normand Louis Thomas Jérôme Auzoux. La force de ces modèles, dits « clastiques », est qu'ils sont démontables à l'infini, ce qui permet à leur utilisateur de manipuler et de comprendre les différentes relations anatomiques entre les structures. On retrouve dans sa collection le cheval d'Auzoux, actuellement exposé au musée Paul Lucien Montané, à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse et qui peut être utilisé par les étudiants pour

apprécier plan par plan les vaisseaux sanguins, les nerfs et les muscles mais aussi les organes thoraciques et abdominaux (Chevalier 2021).

Par la suite, d'autres procédés de conservation de modèles vivants apparaissent. Par exemple, la **plastination**, inventée par l'Allemand Gunther von Hagens et présentée dans son exposition « Body Worlds » en 1977. Bien que son invention soit critiquée pour des raisons éthiques, notamment sur la provenance et la rentabilisation des cadavres (Evin 2009), les modèles plastinés commencent à être utilisés à des fins uniquement pédagogiques. Dans le procédé de plastination, l'eau et les graisses sont remplacées par une matière plastique telle que la résine époxy, le silicone ou le polyester. Les modèles en silicone sont les plus communs et permettent de conserver des organismes entiers tandis que les modèles en époxy ou polyester permettent des coupes très fines (1 à 4 mm d'épaisseur) et donc d'étudier des structures macro et microscopiques. La plastination présente un réel avantage pour l'enseignement, puisque les structures conservées deviennent dures, sans odeur, sans risque biologique et peuvent servir pour plusieurs générations d'étudiants (Sora et al. 2019). Les modèles plastinés sont appréciés des étudiants car ils semblent plus réalistes, les couleurs et les matières sont plus proches de la réalité, la complexité des structures est respectée.

De nouvelles techniques de production de modèles anatomiques

Les techniques présentées ci-dessus ont l'inconvénient d'être fastidieuses et de demander beaucoup de temps et de ressources. Avec l'arrivée des nouvelles technologies, la production en masse de modèles standardisés est devenue possible. Les **impressions 3D** ont l'avantage d'être faciles à produire avec peu d'équipement et sont souvent très fidèles à la réalité et suffisamment détaillés pour l'enseignement scientifique (Thomas et al. 2016). Dans une étude comparant l'étude du sabot du cheval via différents outils, les participants avaient accès à des ouvrages vétérinaires sur le sabot ou bien au Glasshorse (logiciel 3D sur ordinateur) ou bien un modèle 3D du sabot imprimé partir de séquences IRM. Les résultats du questionnaire qui leur était imposé était meilleur dans le groupe ayant eu accès au modèle 3D et sans différence significative entre le groupe ayant lu des ouvrages et celui ayant eu accès au Glasshorse, suggérant un réel intérêt des modèles 3D pour l'apprentissage de l'anatomie (Preece et al. 2013). Dans une autre étude conduite à l'Université de Sao Paulo (Neto, Simones 2023), les participants se voyaient offrir la possibilité d'étudier à l'aide d'un modèle 3D et d'un spécimen réel (groupe I) ou bien uniquement à l'aide d'un spécimen (groupe II). Le groupe I a montré de meilleurs résultats à l'examen pratique, bien que la méthode d'évaluation diffère entre les deux groupes car le groupe I a été évalué sur des modèles 3D et le groupe II sur des spécimens réels. Par ailleurs, les étudiants semblaient montrer un réel intérêt pour ces modèles 3D d'après leurs réponses sur l'échelle de Likert.

Au bilan, les étudiants considèrent que les modèles 3D permettent une compréhension plus rapide d'une anatomie simplifiée (Radzi et al. 2022). En revanche, en comparaison avec les modèles plastinés, les impressions 3D semblent moins réalistes

ou manquent de détail. Avec l'amélioration des techniques d'impression et la réduction des coûts, les objets 3D sont toutefois amenés à se développer pour représenter des structures de plus en plus complexes (AbouHashem et al. 2015).

Les **modèles plastiques** (non issus de l'impression 3D) ont aussi leur rôle à jouer dans l'apprentissage. Dans une étude (Lombardi et al. 2014), les participants se voyaient proposer une représentation plastique à taille réelle d'un cœur ou bien une simulation virtuelle du cœur dans un logiciel ou bien une dissection d'un cœur. Les participants ayant eu entre leurs mains le modèle en plastique ont eu de meilleurs résultats au test qui a suivi que ceux des autres groupes, de manière plus significative pour les questions de physiologie. Les auteurs suspectent néanmoins que la simplification forcée du modèle en plastique aurait grandement aidé à l'apprentissage.

Enfin, la **peinture sur modèle vivant** a montré ses intérêts dans l'enseignement de l'anatomie (Chevalier 2021). En effet, les séances sont décrites par les étudiantes comme « agréables, amusantes et stimulantes », ce qui permet une meilleure implication et l'attention des étudiants est retenue plus longtemps. Comme les étudiants construisent par eux-mêmes le dessin, la mémorisation est améliorée. De plus, le sens clinique et anatomique est fortement développé puisque les étudiants manipulent des structures à taille réelle. Cependant, la grande limite de cette technique réside dans son approche superficielle car les dessins se limitent à la surface de la peau et ne permettent pas d'appréhender la profondeur des structures étudiées.

Ainsi, il existe une multitude de techniques pour produire des modèles synthétiques ou issus du vivant. Afin de maximiser l'apprentissage des étudiants, une approche multimodale avec la possibilité d'avoir accès à différents modèles et matériaux semble la plus intéressante (Radzi et al. 2022) puisque chaque technique présente ses avantages et ses inconvénients et ne semble pas pouvoir se substituer l'une à l'autre ou être utilisée seule.

3) L'essor des technologies

Bien que les nouvelles technologies permettent de produire en masse des modèles physiques, leur stockage et leur transport représentent un obstacle à leur diffusion. Les contenus uniquement numériques ont l'avantage de s'affranchir de cette barrière puisque leur accessibilité est facilitée.

Les différents formats présentés précédemment peuvent être compilés au sein d'un support dont les caractéristiques varient selon le système de lecture, le système d'exploitation et bien sûr l'époque à laquelle ils ont été créés. Les **CD** et **DVD** font partie des premiers supports numériques produits, même s'ils sont à présent désuets et souvent réservés à un usage en centre de documentation. En effet, peu d'étudiants possèdent un lecteur de CD ou de DVD.

Ensuite, les **sites internet** sont devenus des incontournables pour faciliter l'accès à un public très large. Le développement d'applications en ligne offre ainsi un large

choix de modules interactifs, permettant à l'utilisateur de naviguer à sa guise au sein des pages.

Enfin, avec la vectorisation de dessins en deux dimensions en animations trois dimensions (3D), il est devenu possible de représenter des éléments anatomiques au sein de **logiciels 3D**. Néanmoins, leur production est complexe et coûteuse, peu de banques d'images 3D sont réellement et facilement disponibles pour les étudiants. Quelques logiciels payants ou expérimentaux existent pour le Chien (Oddou 2020) mais peu ont été réalisés pour l'espèce équine.

Par ailleurs, d'autres technologies ont été adaptées pour la production de supports scientifiques pédagogiques. Par exemple, la **réalité virtuelle** permet de représenter fidèlement l'anatomie en taille réelle. Accessible via des équipements spécifiques (casque, manettes), elle offre de plus une réelle interactivité, qui permet à l'étudiant d'interagir avec les éléments, de les déplacer, de les disposer à sa guise, d'une manière qui n'est pas possible avec des structures disséquées (Dziedzic et al. 2024). La **réalité augmentée**, qui ajoute des éléments virtuels à un environnement réel (*Réalité virtuelle et réalité augmentée : quelle différence ?* [sans date]), permet quant à elle d'interagir à la fois avec des objets réels et avec des objets créés virtuellement en 3D. Elle permet donc à l'étudiant de garder conscience de son environnement proche et de pouvoir avoir accès en direct aux informations concernant une structure. Les étudiants qui apprennent avec une réalité augmentée ont de meilleurs résultats que ceux qui étudient sur des supports traditionnels (Iwanaga et al. 2021). De plus, les chirurgiens apprécient cet outil comme aide pour les dissections complexes (Ille et al. 2021).

Au bilan, de nombreux outils complémentaires à la dissection se sont développés pour l'apprentissage de l'anatomie. Cependant, la dissection reste un outil formatif indispensable pour la compréhension des structures, réclamé par les étudiants même lorsqu'ils ont accès à des modèles physiques (Iwanaga et al. 2021). Plutôt que de faire une dichotomie entre les différents supports, l'approche de l'enseignement de l'anatomie se doit d'être multimodale.

Ainsi, il existe une grande diversité de supports anatomiques, dont l'accès est plus ou moins facilité et dont le coût varie énormément. Maintenant que nous avons décrits les types de support possibles, nous allons voir ceux qui sont proposés et utilisés en école vétérinaire.

C) Les supports anatomiques en école vétérinaire, exemple d'Oniris VetAgroBio Nantes

1) Les supports fournis par l'équipe enseignante

a) Cours magistraux

Lors des cours d'anatomie à Oniris VetAgroBio Nantes, les enseignants s'appuient sur un **diaporama**, qui contient des clichés de dissection, des schémas légendés et quelques définitions. L'intérêt des diaporamas est d'avoir un support de cours pour illustrer ses propos. Ces supports sont appréciés car ils soutiennent l'attention des étudiants. En outre, la possibilité d'intégrer des images, des graphiques ou des vidéos permet de dynamiser la présentation (Raby et al. 2011). De plus, comme le contenu est synthétique, cela permet à l'enseignant de développer des notions sans noyer les étudiants sous une grande quantité d'informations visuelles. Cependant, cette sobriété peut être à l'origine de pertes d'information (Oddou 2020), si elle n'est pas suivie par une bonne prise de note des étudiants. Par ailleurs, les étudiants estiment que ce type de présentation peut rapidement devenir ennuyeuse si l'enseignant se contente de lire son diaporama sans ajouter d'informations nouvelles ou sans interagir avec son audience (Raby et al. 2011).

Lors des cours magistraux, pour augmenter l'interactivité avec l'auditoire, les enseignants peuvent aussi réaliser des schémas au tableau, en les construisant pas à pas avec les étudiants. Auparavant, les schémas étaient réalisés sur des tableaux à la craie et non conservés à la fin du cours. Depuis l'ère du COVID-19 notamment, la volonté (la nécessité ?) de se tourner vers les nouvelles technologies a offert aux enseignants d'anatomie la possibilité de réaliser leurs schémas sur logiciel, qui permet de projeter le dessin en temps réel puis de l'enregistrer et de le déposer dans l'espace dédié aux étudiants.

b) Travaux pratiques

Il existe plusieurs types de travaux pratiques : les dissections, les prospections et les manipulations de pièces anatomiques.

A Oniris VetAgroBio Nantes, les étudiants peuvent profiter de deux semaines de dissections, en première et deuxième année, dédiées à l'étude approfondie de l'anatomie. Plusieurs espèces sont disséquées, en fonction de la disponibilité, dont le chien, le chat, les petits et grands ruminants, des volailles et des poissons. Les étudiants effectuent une rotation entre plusieurs ateliers de dissection, afin de pouvoir à minima observer chaque espèce. Pour chaque atelier, des planches anatomiques fournies par les enseignants aident les étudiants à se repérer dans leur dissection. Bien qu'un travail de révision en amont soit demandé avant les dissections, ces planches permettent tout de même une meilleure visualisation par les étudiants et font office de piqûre de rappel. À

la fin de ces deux semaines, les étudiants doivent produire un exposé sur un sujet donné. Cela permet aux enseignants de vérifier en partie la bonne compréhension des notions abordées pendant les dissections.

Des séances de **prospection** sont également proposées en première année et dans les années suivantes. Cela permet aux enseignants de présenter soit une espèce particulière soit un organe particulier. Cela limite la quantité de cadavres utilisée. De plus, comme l'enseignant présente une technicité plus élevée que les étudiants, la prospection permet d'offrir une dissection plus fine, en préservant les structures délicates. Une étude menée sur la différence entre dissection et prospection ne montre pas de différence de performance pour les étudiants ayant eu les deux méthodes différentes. Cependant, les étudiants ont réclamé la possibilité de disséquer eux-mêmes, plutôt que de subir un apprentissage passif (Iwanaga et al. 2021).

Enfin, pour la dernière catégorie de travaux pratiques, la séance débute avec un cours appuyé par un diaporama, puis les étudiants manipulent des **pièces anatomiques**. Afin de les aider, des planches anatomiques sont mises à leur disposition. Par ailleurs, une fois la séance terminée, il est possible pour les étudiants de revenir manipuler les pièces osseuses, car elles sont conservables, à des horaires déterminés. Cela permet de laisser de l'autonomie aux étudiants, qui peuvent avancer les révisions à leur rythme. De plus, la manipulation des objets permet une meilleure compréhension de la représentation spatiale et permet d'ancrer durablement les connaissances (Preece et al. 2013).

c) Compilations de supports

Tous les documents présentés en cours sont compilés dans CONNECT, la plateforme numérique de formation initiale d'Oniris VetAgroBio Nantes, dans l'espace dédié à l'anatomie (UE 034, UE 044 et UE 054). D'autres documents sont également mis à disposition sur cette plateforme.

- On y trouve des **polycopiés** avec des descriptions détaillées sous forme de texte principalement. Ils ont l'avantage d'être plus complets que les diaporamas, mais peuvent paraître longs et fastidieux à décortiquer pour les étudiants.
- Des **fiches techniques** de dissection expliquent le matériel (scalpel, pince, ciseaux) et l'équipement (blouse, tablier, bottes, gants) à avoir pour chaque séance de travaux pratiques.
- Les enseignants mettent à disposition des **planches anatomiques** avec des dessins complets et légendés.
- La section contient aussi des liens vers des **thèses** ayant réalisé des sites internet sur l'anatomie comparée.
- Et enfin, des **quiz** de révisions préparent à l'examen final.

Enfin, de nombreuses ressources bibliographiques sont disponibles au centre de documentation, dont les tomes rédigés par Robert Barone. Au vu de leur prix élevé, les élèves apprécient de pouvoir les emprunter gratuitement le temps des révisions.

2) Les supports créés par les étudiants

De leur côté, les étudiants produisent eux même des supports pour leur apprentissage.

a) Productions personnelles

Les étudiants réalisent des fiches de révisions, dont le format diffère en fonction des préférences : du format texte, très descriptif et complet, au schéma synthétique colorisé. De plus, la construction de ces fiches de révisions varie aussi en fonction des moyens mnémotechniques préférés par les étudiants.

Différents formats possibles

Tout d'abord, lors des cours magistraux, la prise de note des étudiants leur permet dans un premier temps de suivre correctement mais aussi d'avoir une trace écrite du cours. Beaucoup d'étudiants reprennent ensuite leurs notes au propre pour créer des **fiches de révisions**. Certains préfèrent produire des fiches au format A4 ou A5, avec l'ensemble des informations ou bien une seulement partie qu'ils ont dûment sélectionnée. D'autres préfèrent utiliser des fiches numériques, comme ce que propose le site Anki, avec des cartes mentales de révisions (Oddou 2020). Dans tous les cas, c'est l'étudiant qui choisit le degré de détail et le niveau d'information affiché.

En plus de la création de fiches de révision au format texte, l'apprentissage de l'anatomie passe par la production de **dessins** et **schémas** détaillés et légendés. La production d'un nouveau schéma à partir des données compilées issues de l'équipe enseignante est un bon exercice pour l'étudiant, puisqu'il nécessite un travail en amont sur la compréhension, il permet de synthétiser les connaissances et de les hiérarchiser par importance.

Construire une fiche pour optimiser la mémoire

Pour optimiser la mémorisation, les étudiants utilisent différents modes de construction des fiches de révisions. Il est très souvent observé que les étudiants réalisent des fiches avec des mots surlignés ou écrits d'une couleur particulière. En effet, l'utilisation d'un système de **couleurs** pour stimuler la mémoire des étudiants a son intérêt. L'association mot-couleur permet aux apprenants de récupérer rapidement des informations associées à une couleur, ce qui augmente la productivité lors de l'apprentissage.

Les couleurs favorisent le processus de mémorisation. En effet, pour qu'une information soit stockée dans la mémoire à long terme, il faut qu'un stimulus environnemental soit suffisamment important pour attirer l'**attention** et faire passer l'information de la mémoire sensorielle à la mémoire à court-terme puis à long-terme.

Les couleurs auraient la capacité d'être un stimulus suffisamment important pour attirer l'attention, contrairement aux formes par exemple (Dzulkifli, Mustafar 2013).

Il semblerait en outre que l'utilisation de couleurs chaudes (rouge, orange, jaune) stimule la mémoire par rapport aux couleurs froides (marron, gris) car elles retiennent l'attention du lecteur en détonant avec le reste de l'environnement (Khan, Liu 2020). Cependant, il semble que l'attrait pour les couleurs dépende aussi du sexe : les femmes préfèrent les couleurs plus froides et douces, notamment le bleu, associé à un sentiment de confort et de sécurité, tandis que les hommes préfèrent les couleurs chaudes et vives, comme le jaune, qu'ils associent à une stimulation forte (Singg, Mull 2017). De plus, l'utilisation d'un fond de couleur (c'est-à-dire non blanc pour des caractères noirs) semble améliorer les performances des apprenants (Dzulkifli, Mustafar 2013). En revanche, l'utilisation de couleurs avec un haut contraste augmente la lisibilité mais n'affecte pas les performances cognitives (Dzulkifli, Mustafar 2013).

Les couleurs favorisent une **reconnaissance** et une **restitution rapide**, car une grande quantité d'information peut être associée à une couleur. Les apprenants associant mot et couleur ont un délai de réponse plus rapide et moins d'erreurs que ceux qui associent mot et couleur de manière illogique ou achromatique (Khan, Liu 2020). Les couleurs permettent aussi de réduire la surcharge cognitive, en mettant en évidence les termes importants à retenir. La lecture d'un texte long est ainsi facilitée et plus rapide lorsque des couleurs sont utilisées (Dzulkifli, Mustafar 2013). De la même manière, si on associe une couleur à une catégorie de mots, les apprenants retiennent plus facilement ces mots (Schmidt, Augustinova, De Houwer 2018).

En outre, de la même manière que les mots en couleur favorisent la mémoire, les images et dessins colorisés permettent un acheminement de l'information au système cognitif plus rapidement que des images en noir et blanc (Khan, Liu 2020). Les schémas réalisés pour l'apprentissage sont donc souvent riches en couleurs avec l'utilisation de codes systématiques pour identifier rapidement à quel type de structure anatomique les étudiants ont à faire. Par exemple, les muscles sont le plus souvent représentés en rouge, les veines en bleu etc. Toutefois, le choix de palette de couleur reste finalement un choix personnel.

Enfin, la construction d'une fiche c'est-à-dire l'organisation du texte, des images, des sons mais aussi la façon de relire la fiche dépend des préférences des étudiants. Ainsi, plusieurs types d'étudiant se détachent. En effet, d'après Howard Gardner, il n'existe pas une unique intelligence mais des **intelligences** multiples (Gachina 2020) :

- Intelligence **verbale ou linguistique** : les étudiants de cette catégorie vont réciter à voix haute leur cours pour mieux l'assimiler.
- Intelligence **musicale** : les étudiants vont apprécier apprendre au travers de comptines et de chansons, comme moyen mnémotechnique. Cette méthode est moins utilisée en enseignement supérieur.
- Intelligence **kinesthésique** : les étudiants apprennent en utilisant leur corps ou une partie. Il leur faut se déplacer et bouger pour réciter leur cours, ils

ressentent le besoin de toucher, manipuler, de sentir, ils peuvent aussi transcrire l'anatomie des animaux sur leur propre corps pour mieux la comprendre.

- Intelligence **visuo-spatiale** : les étudiants visualisent mentalement leurs fiches de révisions, ils produisent des images mentales de haute qualité et précision, reconnaissent avec aisance les formes et les couleurs.
- Intelligence **naturaliste** : ces étudiants ont naturellement un attrait pour la classification et peuvent reconnaître facilement un motif dans un organisme.
- Intelligence **logico-mathématique** : cette dernière catégorie apprécie les fiches rédigées de façon logique et avec une organisation systématique. Leur apprentissage est très codifié (utilisation d'une unique couleur par catégorie, construction d'un plan similaire etc.)

Chaque étudiant a donc ses préférences pour son apprentissage et sa mémorisation d'informations, en fonction de ses capacités cognitives. Ainsi, les fiches sont assez personnelles et répondent aux besoins particuliers de chaque individu. Cependant, grâce aux plateformes de partage en ligne, les étudiants peuvent partager entre eux leurs productions.

b) Production partagées

Polycopiés

Dans les écoles vétérinaires, il existe un système de « **preneurs** » qui ont pour rôle (bénévole) de prendre en note le cours, grâce à une écoute active, de le mettre en page et de le distribuer aux étudiants par la suite. Cela profite à tout le monde puisque les preneurs développent particulièrement leurs connaissances en la matière, qu'ils doivent étudier profondément et avec rigueur, et les étudiants sont soulagés d'une partie du travail.

Cependant, ce système a des inconvénients majeurs. En premier lieu, il favorise l'**absentéisme** (Roche 2015), car les étudiants estiment qu'il n'est pas nécessaire qu'ils assistent aux cours puisqu'ils auront accès au contenu plus tard. Ils préfèrent ainsi travailler chez eux ou au centre de documentation à leur rythme. De plus, il ne favorise pas la relation enseignant-élève puisqu'une distance encore plus grande peut se mettre entre les deux parties. On peut parfois observer un détachement complet des étudiants avec les cours magistraux en amphithéâtre, où ils préfèrent nettement travailler sur leur ordinateur ou avec les photocopiés.

On pourrait penser que l'absence de figure humaine pour l'apprentissage peut gêner les étudiants mais il apparaît que ce n'est pas toujours le cas (Viau [sans date]). Pourtant, l'interaction enseignant-étudiant est essentielle, notamment d'après la théorie du socio-constructivisme, car elle favorise la construction de schémas mentaux et l'ancrage durable. Ainsi, pour contrebalancer ce manque d'attrait pour les cours et pour restaurer une bonne relation avec l'équipe enseignante, les travaux pratiques sont obligatoires pour les étudiants. Ils permettent d'assimiler les connaissances présentées

en cours et de les ancrer plus durablement. C'est aussi l'occasion pour l'élève de poser toutes ses questions et de corriger ses incompréhensions.

Par ailleurs, les photocopiés fournis par les étudiants contiennent parfois des erreurs, contrairement à ceux fournis par les enseignants. Ils sont souvent plus courts et synthétiques, ce qui facilite l'apprentissage pour les étudiants, par rapport à un photocopié dense, mais une perte d'information apparaît nécessairement. En outre, les preneurs peuvent parfois délaissier d'autres matières au profit de celle qu'ils prennent en note, ce qui n'est pas profitable pour eux.

Bien que ce système trouve ses limites, il reste apprécié des étudiants, puisqu'il est présent dans toutes les écoles vétérinaires.

Thèses de Doctorat vétérinaire

Enfin, de nombreuses **thèses** ont permis de produire des supports pédagogiques à destination des étudiants. Ces productions sont souvent de très bonne qualité didactique et ont ouvert la voie à la réalisation d'autres modules pédagogiques.

Nous tenons à souligner le travail d'un étudiant de VetAgroSup sur la création d'un outil pédagogique interactif pour l'apprentissage de l'appareil musculo-squelettique du cheval (Oddou 2020) ou bien la réalisation d'un module CISCOrtho sur les boiteries du cheval par une étudiante nantaise (Michault 2021). Chez le chien, l'excellent travail d'une thèse sur l'anatomie du genou réalisée l'année dernière par une autre étudiante nantaise a servi à la création d'une vidéo pédagogique (Sold 2023). En anatomie comparée, il existe un site internet sur l'ostéologie des mammifères domestiques, des équidés et des bovins, avec de nombreuses photos et descriptions (Rafaelli 2011).

En conclusion, il existe de nombreux supports pédagogiques pour l'apprentissage de l'anatomie. Les intérêts et limites de chacun de ces supports ont été décortiqués. Il en ressort qu'un apprentissage multimodal, est apprécié par les étudiants, en mettant à disposition l'ensemble des ressources, car cela laisse le choix aux étudiants, qui ont chacun leur façon de comprendre, d'apprendre et de retenir, bien qu'ils aient souvent une préférence pour les supports numériques et notamment ceux en 3D.

L'objectif de cette thèse est de proposer un nouveau support pédagogique compilant des ressources visuelles, schématiques et interactives, tout en étant consultable facilement et en autonomie par l'étudiant. La construction de ce didacticiel se doit de respecter quelques principes pédagogiques, que nous allons à présent aborder.

III) Objectifs d'un support pédagogique anatomique

Avant de créer ce nouveau support pédagogique, décortiquons la signification de « support pédagogique ».

Nous avons étudié dans ce début de partie le terme support en détaillant l'ensemble des ressources disponibles pour les étudiants.

L'adjectif « pédagogique », quant à lui, vient du substantif « pédagogie », dont l'étymologie nous indique qu'il provient du grec *paidagôgia*, « direction, éducation des enfants ». Son premier sens est l'« instruction, éducation des enfants ; ensemble de procédés employés pour les instruire et les former en fonction de certaines fins morales et sociales » et son deuxième sens est « discipline théorique visant à définir des méthodes d'enseignement, à déterminer de nouvelles pratiques éducatives » (Académie française 1992). Ainsi, un support pédagogique a pour vocation d'enseigner, de transmettre de nouvelles connaissances en employant diverses techniques pour parvenir à éduquer l'élève. Il fait donc appel à divers mécanismes d'apprentissage, que nous étudierons dans une première partie, et doit satisfaire des objectifs pédagogiques, que nous détaillerons dans une seconde partie.

A) Mécanismes de l'apprentissage

1) Les grandes théories de l'apprentissage

Comment les connaissances sont-elles acquises ? Comment améliorer et optimiser l'apprentissage ? Pour répondre à ces questions, les psychologues ont établi de nombreuses théories, allant du behaviorisme aux mécanismes socio-constructifs, en passant par la construction cognitive. Les théories de l'apprentissage ont un double rôle puisqu'elles permettent d'expliquer les observations faites sur les apprenants et elles permettent d'améliorer les apprentissages. Ainsi, il est décrit plusieurs courants de pensée, qui se sont succédés au XX^e siècle.

Le **behaviorisme** est défini comme « l'étude des comportements observables sans faire appel à des mécanismes internes au cerveau ou à des processus mentaux non directement observables » (Chekour 2015). Le psychologue américain John Waston est à l'origine de ce courant et ses travaux sont inspirés par la théorie du conditionnement établie par Ian Pavlov. De son côté, Fechner considère que l'individu est une « boîte noire », c'est-à-dire que l'on ne sait pas comment mais chaque stimulus produit le même résultat, que l'on peut alors prédire. Cette notion sera à l'origine de la théorie du « stimulus-réponse ». Si l'on applique le behaviorisme à l'enseignement, alors l'apprentissage est « une modification durable du comportement résultant d'un entraînement particulier » (Chekour 2015). L'acquisition de chaque connaissance est conditionnée par du renforcement positif. Dans ce modèle, l'élève est passif et peut ne pas donner de sens à ce qu'il apprend. L'enseignant est quant à lui actif et se doit de

transmettre les connaissances, de vérifier que l'élève donne la réponse attendue par conditionnement et de corriger si nécessaire.

Le **cognitivism** est établi par Miller et Bruner en opposition au behaviorisme. Ils proposent une théorie fondée sur la façon dont l'information est perçue et traitée pour résoudre des problèmes, mais aussi comment elle est mémorisée. Selon eux, il existe trois types de connaissances que l'on peut classer comme (Chekour 2015):

- les connaissances déclaratives, qui répondent à la question « Quoi ? » ;
- les connaissances procédurales, qui répondent à « Comment ? » ;
- et les connaissances conditionnelles, qui répondent à « Quand ? » et « Pourquoi ? ».

L'enseignement doit alors adapter sa stratégie d'apprentissage, car chacune de ces connaissances sera traitée et stockée différemment. L'élève est, dans ce modèle, plus actif car il doit percevoir l'information, la traiter, la mémoriser et la faire ressortir quand cela est nécessaire.

C'est dans le contexte du cognitivism que Benjamin Bloom a proposé une taxonomie, avec six niveaux d'apprentissage selon la difficulté cognitive. Les étages les plus hauts de la pyramide ainsi formée sont des hauts niveaux cognitifs. Cette taxonomie a été révisée par Anderson et Krathwohl, qui passent d'un modèle par objectifs à un modèle par compétences, comme on peut le voir sur la figure 15. L'étudiant retrouve une position dynamique (utilisation de verbes d'action). De plus, cette nouvelle taxonomie ajoute la notion de créativité, ce qui permet à l'élève de choisir son rythme, mais aussi d'utiliser les nouvelles technologies et leurs possibilités infinies (Storey 2022).

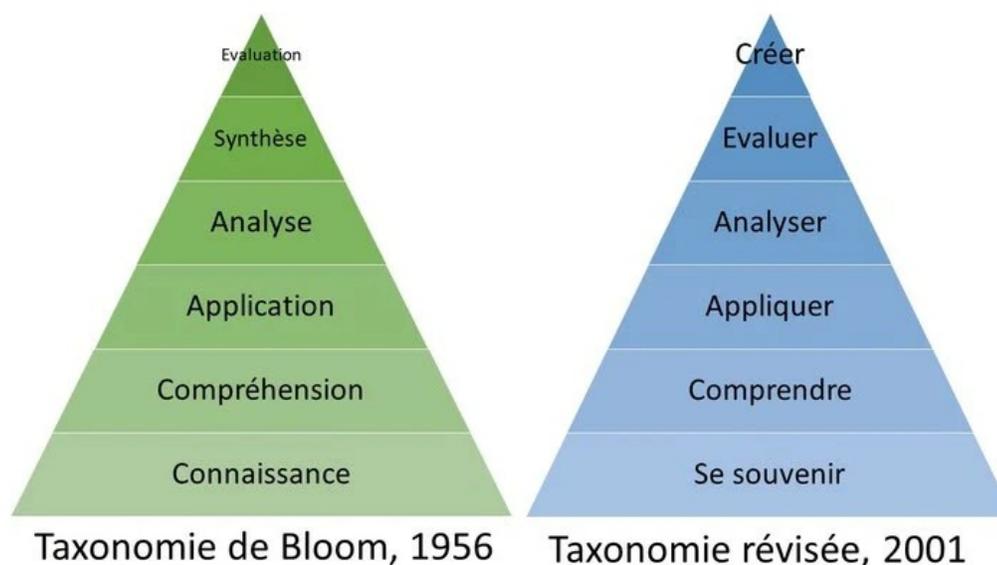


Figure 15 : Illustration des taxonomies de Bloom et d'Anderson et Krathwohl (Storey 2022).

Le **constructivisme** s'oppose lui aussi au behaviorisme. Le psychologue suisse Jean Piaget part du principe que l'apprentissage est basé sur les expériences passées. Ainsi les connaissances ne sont pas ingurgitées sans y mettre du sens mais à chaque nouvelle information, les schémas mentaux sont reconstruits. Piaget parle d'« assimilation » (Chekour 2015): de nouveaux éléments sont ajoutés à une structure qui existait auparavant. Cette théorie assure à l'enseignant un rôle de guide tandis qu'elle s'adapte à l'élève, qui choisit alors la façon dont il réarrange ses connaissances. Les supports pédagogiques assistés par ordinateur, comme les didacticiels, reposent en grande partie sur ce modèle.

Le **socio-constructivisme** ajoute une dimension sociale au constructivisme. D'après le soviétique Lev Vygotski, l'acquisition de connaissances est favorisée par la présence d'un enseignant, qui définit la « zone proximale de développement » (Chekour 2015), dans laquelle l'élève peut confortablement assimiler de nouvelles informations à l'aide de l'enseignant. De plus, ce dernier peut animer des débats et favoriser les interactions entre élèves et entre élèves et enseignants, à l'origine de la motivation des apprenants. Dans cette dimension plus empathique, chaque erreur est aussi utilisée pour rebondir et favoriser un meilleur apprentissage.

Le **connectivisme** est une théorie proposée par George Siemens et Stephen Downes, qui établissent huit notions clés (Siemens 2005):

- « L'apprentissage et la connaissance résident dans la diversité des opinions.
- L'apprentissage est un processus reliant des nœuds spécialisés ou des sources d'information.
- L'apprentissage peut résider dans des appareils non-humains.
- La capacité d'en savoir plus est plus critique que ce que l'on sait actuellement.
- Entretenir et maintenir des connexions est nécessaire pour faciliter l'apprentissage continu.
- La possibilité de voir les liens entre les domaines, les idées et les concepts est une compétence de base.
- Obtenir des connaissances précises avec la capacité de les mettre à jours est l'intention de l'apprentissage basé sur le connectivisme.
- La prise de décision est un processus d'apprentissage en soi. L'importance que l'on donne à une information est variable dans le temps, selon les modifications de l'environnement de cette information »

Dans ce modèle, l'apprentissage n'est pas linéaire mais plutôt à l'image d'un réseau, où le plus important ne sont pas les connaissances mais la capacité à créer de nouvelles connexions. Ce n'est pas un procédé individuel d'acquisition interne mais un véritable développement dans un environnement interconnecté. Ainsi, cette théorie fait une belle place aux nouvelles technologies et à l'intégration d'outils informatiques dans l'apprentissage. Cependant, elle est discutée au sein des théories de l'apprentissage et plutôt considérée comme un principe pédagogique, car le contenant serait plus important que le contenu et n'explique en rien les mécanismes cérébraux de l'apprentissage (Chekour 2015).

Ainsi, plusieurs mouvements ont tenté d'expliquer l'acquisition des connaissances et l'optimisation de l'apprentissage, en passant d'un modèle centré sur l'enseignant et son savoir vers un modèle centré sur l'étudiant et ses capacités d'apprentissage. Parmi ces capacités, le processus de mémorisation joue un rôle central, qu'il convient d'expliquer.

2) Le processus de mémorisation

La mémoire humaine est le processus fascinant et complexe à l'origine de la capacité du cerveau à intégrer, stocker et récupérer des informations pour un usage futur (Khan, Jamil, Sethi 2020).

Intégration des informations

Le premier niveau du processus de mémorisation est la capacité à intégrer des stimulus environnementaux. En théorie, le système nerveux présente différents canaux sensoriels pour intégrer séparément les informations visuelles, acoustiques et sémantiques (Young et al. 2014). Ainsi, en premier lieu, un stimulus sensoriel est acquis par la **mémoire sensorielle**. A cause d'une attention particulière portée à ce stimulus ou bien par répétition, la mémoire sensorielle va alors encoder cette information dans la mémoire à court-terme (Khan, Jamil, Sethi 2020).

Stockage des informations

La **mémoire à court-terme** (MCT) est la capacité à stocker des informations, généralement conservées sur environ trente secondes (Khan, Liu 2020). Parmi cette MCT, on peut distinguer la MCT **phonétique**, qui intègre les informations du langage verbal et des signes, la musique et les sons environnants, et la MCT **visuo-spatiale**, qui intègre les informations visuelles (couleur, forme), spatiales (localisation) et haptiques (kinesthésiques et tactiles). Ces deux types de mémoires se contentent de stocker temporairement des informations et n'ont pas les mêmes capacités de stockage. Par exemple, il a été montré que les apprenants peuvent stocker jusqu'à sept chiffres tandis qu'ils ne peuvent que stocker qu'entre quatre (Ille et al. 2021) et cinq formes (Baddeley 2012). Pour la mémoire phonétique, plus le mot est court plus sa mémorisation est efficace (Khan, Jamil, Sethi 2020).

En revanche, lorsque les informations conservées à court-terme subissent une manipulation, on parle de **mémoire de travail** (MT). Il semblerait que la capacité de stockage de la MT soit de sept éléments, c'est-à-dire sept unités d'informations (Young et al. 2014), tandis qu'elle peut manipuler aux alentours de deux à quatre éléments à la fois (Baddeley 2012). Pour manipuler les informations, la MT fait appel à un ensemble de fonctions exécutives, qui regroupe le contrôle attentionnel, le contrôle inhibitionnel, l'inhibition cognitive et la flexibilité cognitive. Ces fonctions exécutives ont pour rôle de

concentrer l'attention sur un ou plusieurs élément(s), de séparer l'attention en la pondérant entre deux tâches, de pouvoir interchanger l'attention entre deux tâches et enfin de sélectionner les informations qui parviennent à la mémoire à long-terme (MLT) (Baddeley 2012).

La **mémoire à long-terme** concerne les informations retenues après une minute et jusqu'à des années (Khan, Liu 2020). Les informations sélectionnées par la MT lui parviennent dès lors que cette dernière doit traiter plusieurs séquences en parallèle ou qu'elle doit les mettre en relation avec les informations de la MLT. Puis lorsque la MT a fini de manipuler ces informations, elles sont définitivement stockées dans la MLT. Sa capacité de stockage est supposée illimitée mais l'oubli est fréquent au bout d'un certain temps. Afin de limiter ces pertes, il est possible de ré-activer ces connaissances en recevant un stimulus similaire à celui de départ.

Récupération des informations stockées

À tout moment, les informations stockées dans la MLT sont récupérables par la MT, qui va s'en aider pour manipuler les informations en cours. La mobilisation de ces informations peut être automatique ou contrôlée (Khan, Jamil, Sethi 2020). De nombreux exemples de coopération entre la MCT et la MLT existent, comme la nécessité de se souvenir de la phonétique des mots avant de pouvoir les retenir dans un ordre. En revanche, si la MCT et la MT sont plutôt phonétiques, la MLT est plutôt sémantique, ce qui explique que les mots qui ont du sens ou bien qui sont ordonnés au sein d'une phrase sont mieux retenus que des mots abstraits (Norris 2017). Ainsi, une bonne mémorisation repose sur une interaction entre la MCT et la MLT, qui est coordonnée par la MT et ses fonctions exécutives. Ceci est résumé sur la figure 16.

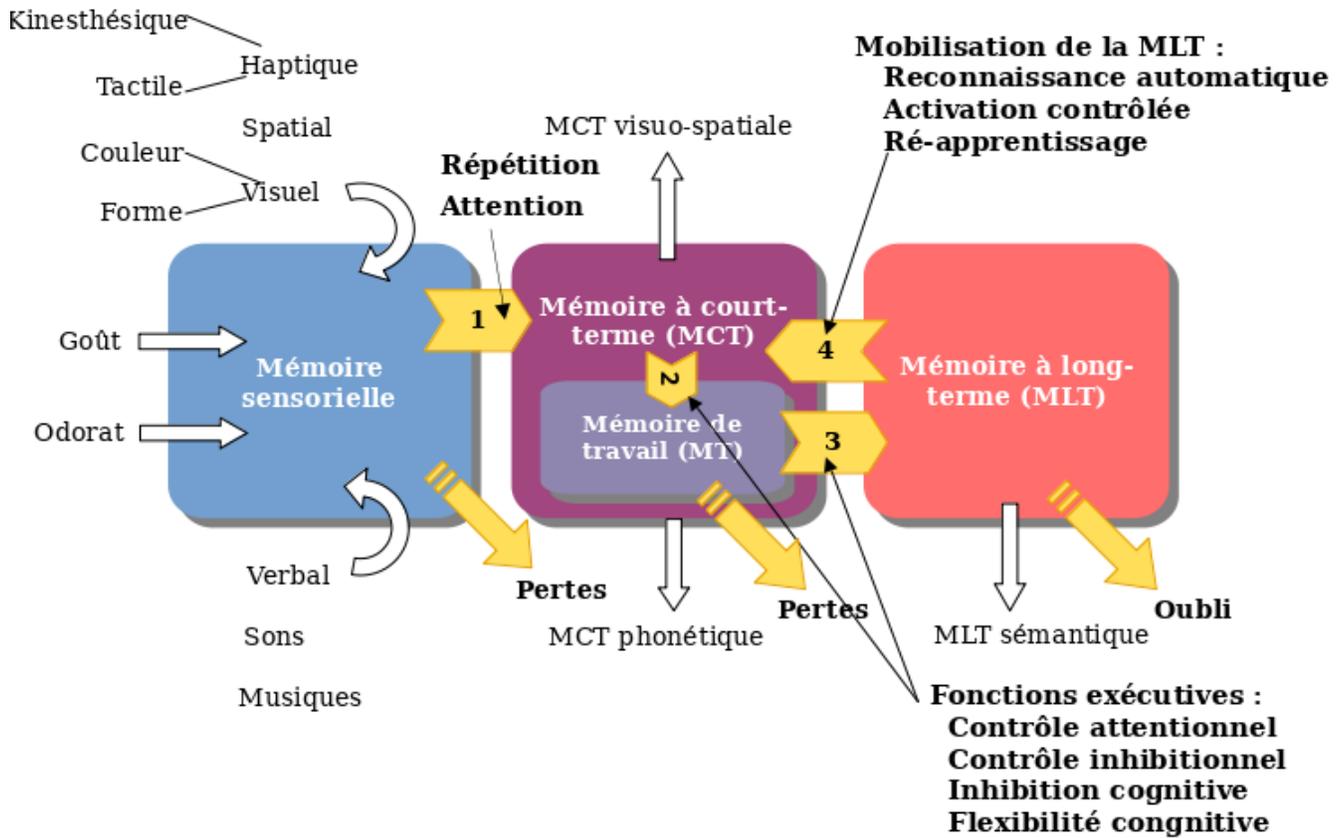


Figure 16 : Schéma simplifié du processus de mémorisation issu de Khan et al., 2020 (production personnelle)

Pour résumer et éclairer ces explications, il est possible de faire l'analogie avec un ordinateur (Young et al. 2014). La MCT et plus précisément la MT correspondent alors à la Random Access Memory (RAM), souvent située aux alentours de 4 à 8 Go et donc limitée dans ses capacités à traiter plusieurs travaux en même (si on ouvre un nombre trop important d'onglets, l'ordinateur a du mal à finir ses tâches). La MLT correspond quant à elle au disque dur de stockage, donc la capacité est bien plus élevée (de 128 Go à 1 To) et dans laquelle on vient piocher les informations nécessaires à l'exécution des tâches.

En résumé, le processus de mémorisation fait partie intégrante des mécanismes d'apprentissage. La MCT permet de traiter rapidement des informations simples, grâce à la MT qui gère l'attention portée à ces informations et les manipule, avant de les stocker dans la MLT. Cette dernière est indispensable pour améliorer le traitement réalisé par la MT, qui pioche dans les connaissances déjà acquises pour les modifier et les ajuster. Ainsi, il est important de créer des fondations solides de connaissances sémantiques avant de pouvoir demander aux étudiants de retenir des informations séquencées. De plus, comme la MT est limitée dans sa taille, il faut veiller à ne pas la surcharger.

Maintenant que nous avons expliqué les mécanismes de l'apprentissage, nous pouvons dès lors comprendre quelles sont les caractéristiques d'un support didactique.

B) Le support pédagogique, une aide à l'apprentissage

1) Caractéristiques d'un support pédagogique

Pour être efficace, un support pédagogique doit répondre à plusieurs caractéristiques (Poumay 2014)

- entretenir la motivation de l'élève
- replacer l'élève au centre de son apprentissage, dans une dynamique pro-active
- aligner les objectifs d'apprentissage, les activités et les évaluations
- éviter la surcharge cognitive pour optimiser l'apprentissage

a) Les déterminants de la motivation

Tout d'abord, il doit entretenir la **motivation** de l'élève. En effet, c'est la première étape à tout apprentissage actif, où l'élève doit venir chercher par lui-même les connaissances. La motivation se définit comme « ce qui meut ; ensemble de motifs » (Académie française 1992) et le motif par la « raison » ou la « cause consciente qui porte à agir, qui entre la détermination d'un acte volontaire » (Académie française 1992). Ainsi, la motivation est la volonté d'initier une tâche et de la maintenir en action.

Il existe différents déterminants à la motivation des étudiants, que l'on peut classer en cinq grandes théories.

Théorie attente-valeur

Dans la théorie attente-valeur (*expectancy-value theory*), la motivation est fonction de « l'espérance de succès et de la valeur perçue » (Cook, Artino 2016). Les apprenants s'attendent donc à réussir s'ils entreprennent la tâche et c'est un moteur de **succès**

plus fort que les performances passées. Mais l'espérance de succès ne suffit pas à créer seule de la motivation, les étudiants s'attendent aussi à un gain personnel. Ainsi, il est important de donner de la **valeur** à leur travail, afin que :

- les étudiants apprécient le sujet, le trouvent intéressant, amusant ou fascinant et montrent un intérêt à réaliser la tâche (valeur intrinsèque) ;
- les étudiants y voient un bénéfice apporté ou une utilité future, et ce notamment dans le métier qu'ils préparent (valeur extrinsèque) ;
- les étudiants y accordent de l'importance personnelle, car ce travail leur permettra de s'accomplir intellectuellement (valeur d'accomplissement) ;
- les étudiants comprennent le temps et l'investissement donné pour ce travail, au détriment d'autres tâches (coûts).

La valeur associée à un travail est renforcée aussi par les expériences passées, de manière positive si le résultat a été un succès. Jouer sur la mémoire affective permet donc de renforcer la motivation à (re)commencer un travail.

Théorie d'attribution

D'après la théorie d'attribution (*attribution theory*), (Cook, Artino 2016), après chaque événement, les apprenants vont chercher des explications aux résultats obtenus. Ces **attributions** dépendent des antécédents personnels mais aussi de facteurs environnementaux. Par exemple, les étudiants peuvent penser que le succès de leur travail est dû à leurs propres capacités intellectuelles, tandis qu'ils peuvent penser que l'échec d'une tâche est lié à une perturbation par les autres étudiants.

De plus, à chaque attribution est associée plusieurs caractéristiques :

- un *locus* c'est-à-dire est-ce que la cause est interne ou externe à l'élève ?
- une stabilité, c'est-à-dire est-ce que la cause peut-elle changer ou est-elle fixe ?
- une contrôlabilité, c'est-à-dire est-ce que l'élève peut influencer sur la cause ?

Par exemple, le succès personnel va plutôt être considéré comme interne, changeable et contrôlable tandis que la mauvaise chance va être interprétée comme externe, fixe et incontrôlable. Si les étudiants pensent que la cause sous-jacente à un événement est sous leur contrôle et modifiable, ils auront tendance à plus persister même après un échec.

De plus, ces attributions vont provoquer des **émotions**, positives ou négatives, qui seront à l'origine de la motivation pour des projets futurs. On peut distinguer les émotions dépendant du résultat (en cas de succès : joie et en cas d'échec : tristesse) et les émotions dépendant directement des attributions, qui sont liées au *locus* (par exemple la fierté personnelle) et à la contrôlabilité (par exemple la colère, la honte ou la gratitude).

Théorie socio-cognitive

La théorie socio-cognitive (*social-cognitive theory*), (Cook, Artino 2016) part du principe que l'auto-efficacité et l'auto-régulation sont les moteurs de la motivation. L'**auto-efficacité** est un jugement subjectif de la capacité à pouvoir performer à un certain niveau. Croire en soi est donc un très fort moteur de motivation positive pour démarrer un travail. Dès lors, l'auto-persuasion (« Je peux le faire ! ») semble permettre aux étudiants de se sentir capables de réussir. Cependant, elle peut être délétère si elle est associée à des résultats décevants (« Je n'y suis pas arrivé la dernière fois donc je ne me sens pas capable »).

D'un autre côté, la théorie socio-cognitive montre que les étudiants respectent un principe d'**auto-régulation**, c'est-à-dire que chaque étudiant se génère lui-même des récompenses ou des contraintes en accord avec ses objectifs à atteindre. Cette auto-régulation s'articule en trois phases :

- l'anticipation, avant la tâche à accomplir, où les étudiants apprécient leurs capacités et ciblent leurs objectifs ;
- la performance, pendant la tâche, où les étudiants ajustent leurs actions ;
- le retour sur soi, après la tâche, où les étudiants concluent sur leurs résultats.

Théorie d'accomplissement

Pour la théorie d'accomplissement (*goal orientation theory*), les apprenants se lancent dans une tâche car ils cherchent à maîtriser un contenu (*mastery goal*) ou parce qu'ils cherchent à faire mieux que les autres (*performance-approach goal*) ou bien pour éviter l'échec (*performance-avoidance goal*) » (Cook, Artino 2016).

Les étudiants basant leur motivation sur des objectifs de **maîtrise** cherchent à devenir meilleurs et leur apprentissage est en croissance permanente (mentalité d'incrémentation ou *growth learning mindset*). Ils ont alors tendance à montrer un plus fort intérêt pour les tâches à effectuer et à cibler un apprentissage profond et durable. Chaque échec est vu comme une possibilité d'apprendre de ses erreurs et les étudiants vont rechercher encore plus de défi. Les étudiants savent que maîtriser un contenu demande du temps et de l'effort. Cette mentalité, pas forcément innée chez tout le monde, peut être acquise, en apprenant que le cerveau est malléable et que ses capacités d'apprentissage sont infinies.

En revanche, les étudiants avec un objectif de **performance** se voient attribuer des meilleures notes tandis que ceux avec un objectif d'**évitement de mauvaise performance** n'ont pas forcément les meilleurs résultats. Ces deux derniers types d'étudiants ont une mentalité d'apprentissage plus fermée (*entity learning mindset*) car leurs capacités sont fixées et les situations non contrôlables (selon eux, l'intelligence est un talent que l'on a ou pas). Ils n'ont pas forcément le goût de l'effort car fournir un travail fastidieux est pour eux synonyme de mauvaises capacités. Pour eux, le plus important est de paraître intelligent par rapport aux autres. C'est une mentalité que l'on

observe rarement chez les plus jeunes enfant, qui montrent plutôt une mentalité d'incrémentation, tandis qu'elle est plus présente chez les adultes, qui subissent une grande pression sociale et accordent plus d'importance au « paraître ».

Théorie d'auto-détermination

Enfin, dans la théorie d'autodétermination (*self-determination theory*), les étudiants ont des motivations intrinsèques (curiosité, maîtrise) et extrinsèques (valeurs sociales) qui dirigent leurs actions (Cook, Artino 2016). Il est à noter que les motivations extrinsèques peuvent être tellement internalisées qu'elles apparaissent intrinsèques. De plus, au début de l'enfance, les motivations sont en général plutôt intrinsèques et dès l'adolescence, des motivations extrinsèques apparaissent au fur et à mesure que la pression sociale s'installe.

Ces deux types de motivation sont entretenues par l'**autonomie**, c'est-à-dire la capacité de contrôler ses propres actions. Cette dernière est favorisée par la capacité de pouvoir choisir, l'absence de jugement, l'encouragement à prendre des responsabilités et la reconnaissance de besoins particuliers. Au contraire, elle est affaiblie lorsqu'un temps limite et des objectifs trop précis sont imposés ou par tout autre forme de contrôle.

De plus, dans la théorie de l'auto-détermination, le sentiment de **compétence** entretient la motivation. Les étudiants perçoivent leur capacité à maîtriser un savoir et à remplir leur objectif comme source de motivation pour continuer. Pour se sentir compétent, chaque étudiant a besoin d'avoir un défi à la hauteur de son niveau et un retour positif sur son action.

Enfin, le sentiment d'**appartenance** est aussi important pour renforcer la connexion avec les autres apprenants. Pour se sentir à l'aise, chaque étudiant nécessite un environnement dans lequel il se sent en sécurité, compris, respecté et inclus.

b) Rendre l'élève maître de son apprentissage

Certaines des théories présentées précédemment rejoignent un modèle un peu plus spécifique : la théorie du « savoir agir autonome » (Georges 2010), dans laquelle il faut faire appel à l'**autonomie** des étudiants pour favoriser leur motivation mais aussi pour qu'ils fassent appel de manière proactive à des mécanismes cognitifs d'apprentissage auto-déterminés et auto-régulés. Ainsi, il est intéressant de favoriser la contribution de l'étudiant à la réflexion, de lui laisser la liberté de choisir son mode d'apprentissage et ses modalités d'évaluation mais aussi de s'engager de manière spontanée dans une mentalité d'apprentissage.

Il semble donc important de placer l'élève et sa motivation au centre des mécanismes d'apprentissage. L'élève n'est plus simplement passif devant des connaissances qui lui sont exposées mais devient celui qui choisit comment apprendre.

Ainsi, rendre l'élève **actif** permet de stimuler l'apprentissage. En effet, cela favorise la motivation, l'élève se sentira plus impliqué, ce qui permet un apprentissage plus profond. Cela nous amène à la notion d'« apprentissage en surface » et d'« apprentissage en profondeur ». Le premier est essentiel pour assimiler des notions de base, il est rapide et efficace mais fait appel le plus souvent à la mémoire à court terme et peut être vide de sens pour l'étudiant. Au contraire, l'**apprentissage en profondeur** développe l'intérêt de l'élève, personnalise les méthodes de travail, donne un sens global en rattachant un apprentissage à un ensemble de compétences et est durablement ancré dans la mémoire (Biggs 1987).

En conclusion, dans un support pédagogique consultable à la guise de l'élève, la prise de décision autonome et l'apprentissage au rythme de l'élève sont favorisés.

c) L'alignement pédagogique

Bien que l'élève reste maître de son apprentissage, la conception du support pédagogique par l'enseignant doit permettre à l'élève de naviguer facilement et de remplir ses objectifs. L'enseignant a donc tout de même un rôle à jouer puisqu'il doit établir les **objectifs d'apprentissage**, le **type d'activité pédagogique** et les **méthodes d'évaluation**.

Objectifs d'apprentissage

En premier lieu, l'enseignant doit cibler des objectifs d'apprentissage pour donner une direction et une fin à l'élève.

Établir des objectifs d'apprentissage est une étape clé de la communication avec l'élève puisque cela permet de délimiter clairement le domaine à enseigner, d'identifier les grandes notions à aborder et d'offrir un guide pour les étudiants (Université de Lausanne [sans date]) De plus, les objectifs d'apprentissage façonnent les méthodes d'enseignement et d'évaluation, mais facilitent aussi l'intégration avec d'autres matières, dans le cadre d'enseignements pluridisciplinaires.

Les objectifs d'apprentissage se doivent d'être (Université de Lausanne [sans date]) :

- « spécifiques » : avec une description précise de ce qui est attendu ;
- « pertinents » : ils doivent correspondre au référentiel de compétences ;
- « atteignables » : le niveau de difficulté et le temps disponible doivent être adaptés ;
- « évaluables » : l'évaluation doit permettre de savoir si l'étudiant a atteint les objectifs ou non.

La **formulation** des objectifs d'apprentissage est meilleure si (Université de Lausanne [sans date]) :

- (1) la durée du temps d'apprentissage indique le temps qui est disponible à l'étudiant ;
- (2) le type d'action est indiqué ;

(3) les conditions de réussite sont précisées.

Par exemple : « l'étudiant doit savoir, à la fin du module d'apprentissage (1), reconnaître l'ensemble des os du carpe du cheval sur un cliché radiographique (2) sans erreur (3) ».

De plus, à chaque objectif, on peut lui associer un **niveau cognitif** (Université de Lausanne [sans date]) :

- savoir « restituer » : c'est-à-dire mobiliser les connaissances apprises. Ce savoir est considéré de bas niveau cognitif.
- savoir « appliquer » : c'est-à-dire analyser en calculant, classant, comparant les informations. Il est de niveau plus élevé.
- savoir « résoudre un problème » : l'étudiant amène une conclusion à la fin de sa réflexion. C'est le plus haut niveau cognitif.

Par exemple : l'objectif « reconnaître l'ensemble des os du carpe du cheval sur un cliché radiographique » est de niveau « restituer » puisqu'il suffit d'apprendre par cœur la liste des os tandis que « donner un pronostic sportif en fonction des images radiographiques de genou d'un cheval » est un savoir « résoudre un problème » puisque l'élève mobilise les connaissances (identifier les os de l'articulation du genou), il compare des données (reconnaître des lésions d'ostéochondrose par rapport à un membre sain) et fournit une conclusion (le pronostic sportif est mauvais).

De manière générale, les objectifs en médecine vétérinaire sont de type « restituer » lors des premières années, où de nombreuses connaissances théoriques sont assimilées, et de type « résoudre un problème » lors des deux dernières années, où l'on fait appel au sens clinique de l'étudiant pour poser un diagnostic et établir un plan de traitement.

Activités pédagogiques

Une fois que l'on a établi les objectifs d'apprentissage, il faut choisir le type d'activité pédagogique.

Dans le cadre de l'apprentissage de l'anatomie, il est important de choisir des activités qui développent le sens **artistique** et de représentation visuo-spatiale. En effet, comme nous l'avons vu en première partie, la difficulté de l'anatomie réside dans la compréhension des structures, ce qui fait appel à des capacités de visualisation mentale mais aussi des processus cognitifs complexes pour reproduire en dessin ce qui est observé. .

Le **dessin d'observation**, souvent réalisé lors de dissection, permet de répondre à cette nécessité de formation. En effet, c'est un outil fort puisqu'il permet à l'étudiant de, tout d'abord, observer et comprendre les formes et les relations entre les structures ; puis, il travaille le degré de précision de retranscription sur papier. De plus, les sessions de dessin d'observation sont appréciées par les étudiants (MacDiarmid, Penrose, Henson 2023), car elles procurent un sentiment de relaxation et renforcent leur

confiance en leurs capacités artistiques. Les étudiants seront alors plus à même de dessiner à nouveau et donc de progresser. En outre, la logique visuo-spatiale implémentée lors de ces moments est profitable pour la pratique future, puisqu'elle développe le sens clinique d'observation (Keenan, Hutchinson, Bell 2017). Enfin, c'est une méthode artistique qui nécessite peu de matériel, une feuille et un crayon suffisent, contrairement à d'autres techniques comme l'impression 3D ou la peinture corporelle.

Il est toutefois possible de créer du contenu artistique avec peu de matériel et à moindre coût. Par exemple, pour réaliser des **modèles physiques**, il est possible d'utiliser de l'argile ou bien de la farine, du sel, de l'eau et des colorants alimentaires. L'avantage de cette activité par rapport au dessin d'observation est qu'elle permet à l'étudiant d'appréhender une troisième dimension, de comprendre la taille et la forme de l'objet, ce qui stimule le sens haptique en plus du sens visuel (Keenan, Hutchinson, Bell 2017).

Quelle que soit la technique choisie, il est important de favoriser le gain de connaissances au-delà de la création esthétique. Pour optimiser ce gain, l'apprentissage doit être **actif** : ce n'est pas l'enseignant qui réalise une démonstration didactique, c'est l'élève qui crée un contenu artistique. De plus, l'activité artistique proposée doit être réalisable par les étudiants et ne pas nécessiter une technicité élevée. Souvent, les étudiants ne se pensent pas capables de dessiner ou bien se concentrent uniquement sur l'aspect esthétique du dessin. En mettant l'accent sur le processus d'apprentissage plutôt que sur la création d'une œuvre d'art, les étudiants valorisent mieux leur travail (Keenan, Hutchinson, Bell 2017). De plus, malgré l'idée communément répandue que savoir dessiner nécessite du talent, il est aussi possible d'améliorer ses techniques de dessin avec de l'entraînement. On peut alors encourager les étudiants ne se sentant pas « artistes » à tout de même dessiner, même si les premières représentations seront incorrectes, la progression sera réelle et profitable au processus d'apprentissage.

Au-delà du côté artistique, il semblerait que plus l'activité est **ludique** plus les étudiants l'apprécient et retiennent. Par exemple, l'apprentissage au travers de mots croisés, de coloriages et d'assemblage d'étiquettes est jugé comme divertissant et permet de mettre en place un environnement propice à l'apprentissage actif, même de sujets complexes comme l'anatomie comparée (Aktan 2023).

Méthodes d'évaluation

Enfin, l'évaluation doit correspondre aux objectifs initiaux et permettre à l'élève de situer son niveau. On distingue deux types d'évaluation : l'évaluation sommative et l'évaluation formative.

Tout d'abord, l'**évaluation sommative** permet d'apprécier si les objectifs d'apprentissage ont été atteints. Elle est souvent un passage obligatoire car elle permet de classer les étudiants selon des notes et déterminer le passage d'une année à l'autre ou bien elle permet l'obtention d'un diplôme (Université de Bourgogne [sans date]).

L'**évaluation formative**, quant à elle, joue un rôle tout particulier dans le processus d'apprentissage. Elle est destinée :

- *Soit l'étudiant lui-même* : on parle d'**auto-évaluation**. Elle permet de rendre l'élève proactif dans son apprentissage et favorise la rétrospection. En effet, l'étudiant peut identifier ses lacunes et les travailler de lui-même. Cependant, lorsque l'on compare avec les notes données par les enseignants avec celles données par les étudiants eux-mêmes, les étudiants ont tendance à surestimer leur performance (Almohaimede 2022).
- *Soit l'enseignant*. Les réponses à une évaluation formative servent à l'enseignant non pas pour noter les élever mais pour adapter son enseignement en fonction des résultats. Il identifie ainsi les lacunes, les difficultés et ajuste le temps disponible ou la difficulté de la tâche. Les enseignants qui décident d'utiliser des évaluations formatives ont des classes avec un meilleur taux de réussite (Wiliam 2006).

Ainsi, l'évaluation formative ne conduit pas forcément à une note mais est elle est rétroactive, car elle permet d'effectuer des changements soit dans la façon d'apprendre de l'élève soit dans la façon d'enseigner du formateur (Université de Bourgogne [sans date]). Ces changements sont effectués suite au retours (*feedbacks*) faits par l'enseignant aux étudiants. Pour que ces retours soient constructifs, ils doivent cibler les points à améliorer mais aussi les points déjà acquis et proposer des pistes d'amélioration.

Dans tous les cas, les étudiants qui ont accès aux évaluations formatives apprennent mieux. En effet, ils apprécient les évaluations formatives, car elles limitent le stress : il n'y a plus de notion d'échec mais uniquement des progrès à faire. De plus, elles renforcent le sentiment de contrôlabilité et de compétence. (Université de Bourgogne [sans date]).

L'évaluation formative peut être réalisée à différentes échelles temporelles : avant le cours, ce sont des « évaluations diagnostiques » tandis que pendant ou après le cours, ce sont les « évaluations ultérieures » (Université de Bourgogne [sans date]). Les **évaluations diagnostiques** permettent de vérifier l'acquisition des pré-requis. Elles sont de plus en plus réalisées à l'aide des outils numériques, tels que les applications Socrative, Kahoot, Tricider, Mentimeter ou Padlet qui proposent de réaliser des sondages en ligne. Les **évaluations ultérieures** permettent de vérifier la compréhension des nouvelles connaissances. Entre chaque cours, les étudiants évaluent l'acquisition de leurs connaissances et peuvent poser leurs questions au cours suivant, s'il y a des incompréhensions. A long terme (sur plusieurs années), les enseignants peuvent aussi évaluer les lacunes des étudiants ou bien les enseignements qui n'ont pas été appréciés et réaliser des ajustements sur les années suivantes (Wiliam 2006) .

Enfin, les évaluations, quelles soient sommatives ou formatives, peuvent être réalisées sous différentes formes. Dans les études supérieures, l'utilisation des

questionnaires à choix multiples (QCM) est très largement répandue. Dans ce type de format, on trouve (Université de Bourgogne [sans date]) :

- des « questions à réponse unique » (QRU), où seule une réponse est correcte parmi les solutions proposées ;
- des « questions à réponses multiples » (QRM), où au moins une réponse correcte parmi les solutions proposées ;
- des « questions avec degré de certitude », où un degré de certitude par rapport à la réponse choisie est demandé.

Pour construire correctement un QCM, il est important de garder quelques principes en tête.

- *Construction de la question* : La question doit être formulée clairement et l'élève doit pouvoir y répondre dans sa tête avant d'avoir lu les réponses proposées. Dans un contexte médical, pour améliorer l'apprentissage en profondeur, il est intéressant de relier la question à un contexte clinique. Ainsi, le rédacteur du QCM peut créer un mini scénario clinique, qui mène ensuite à une interrogation (Coughlin, Featherstone 2017).
- *Construction des réponses* : Il est souvent noté que, comme le rédacteur du QCM porte une plus grande attention à la réponse correcte, elle est souvent plus longue, plus détaillée ou sans faute d'orthographe (Coughlin, Featherstone 2017). Il faut donc veiller à faire des propositions de taille et de construction similaires. De la même manière, il vaut mieux éviter les termes « jamais » et « toujours ». En effet, ils ont plus de chance d'être présents dans les propositions fausses. Enfin, les phrases négatives ou de construction grammaticale complexe doivent être évitées car elles ajoutent une difficulté inutile à l'élève (Coughlin, Featherstone 2017).

Enfin, les QCM sont appréciés par les enseignants car ils permettent une correction rapide voire une automatisation de la relecture par ordinateur (Coughlin, Featherstone 2017).

Alignement pédagogique

Au bilan, nous avons détaillé la construction des objectifs pédagogiques, la réalisation d'activités pédagogiques et la mise en place d'évaluation. Lorsque ces trois catégories sont en cohérence, on parle d'« **alignement pédagogique** (*cognitive alignment*) », une théorie amenée par l'Australien John Biggs. Ainsi, l'enseignant ne se demande pas quelles méthodes il a l'habitude d'utiliser et comment il va faire pour que les élèves les appliquent mais plutôt quels sont les objectifs qu'il souhaite qu'ils atteignent, quelles méthodes il va mettre en place pour y parvenir et comment il va évaluer le succès de cette entreprise (Biggs, Tang, Kennedy 2022).

De plus, il est important de **faire correspondre les objectifs, les activités et les évaluations au même niveau cognitif d'apprentissage** (voir taxonomie de Bloom).

En effet, si les objectifs et les activités sont de haut niveau cognitif mais l'évaluation de bas niveau cognitif, la motivation des étudiants sera perdue. Au contraire, si les activités sont de bas niveau cognitif et l'évaluation de haut niveau cognitif, on risque l'échec de l'élève lors de l'évaluation (Gerard 2015).

d) Optimiser l'apprentissage en limitant la surcharge cognitive

La théorie de la **surcharge cognitive** a été décrite par John Sweller en 1988 (Young et al. 2014), en partant du principe que la mémoire de travail (MT) est responsable du traitement des informations lors d'un apprentissage pour les transmettre ensuite à la mémoire à long-terme (MLT). Tandis que cette dernière est presque infinie, la MT est limitée dans ses capacités : elle ne peut stocker et traiter qu'une faible quantité d'informations visuelles, verbales ou auditives à la fois. Ainsi, elle peut être complètement dépassée par une tâche associée à une charge cognitive trop importante. Dans cet état l'élève ne peut plus rien apprendre (Sewell, Santhosh, O'Sullivan 2020).

Il existe plusieurs types de charge cognitive. La charge cognitive **intrinsèque** ne dépend que de la tâche en elle-même, c'est-à-dire de ses caractéristiques essentielles, et la soulager revient à simplifier la tâche. En revanche, la charge **extrinsèque** dépend des points non essentiels de la tâche. Elle est allégée dès lors que l'on supprime les distractions et dépend donc du mode de présentation. Enfin, la charge cognitive **essentielle** est associée à l'utilisation de schémas mentaux qui permettent le stockage d'informations (Sewell, Santhosh, O'Sullivan 2020).

De plus, la MT est gérée par le **contrôle attentionnel**, que nous avons décrit précédemment comme la capacité à trier les informations qui lui parviennent, choisir entre celles qui sont pertinentes et celles qui ne le sont pas et à maintenir l'attention sur ces informations malgré les distractions (surcharge extrinsèque). Or, la surcharge cognitive interfère avec le contrôle attentionnel et peut donc réduire la capacité de mémorisation (Uus, Seitlinger, Ley 2020).

Par ailleurs, l'apprentissage des professions médicales est long, difficile et la quantité de connaissances à acquérir est souvent astronomique (surcharge intrinsèque). Pour aller plus loin, lors d'un apprentissage en autonomie, les étudiants font appel à plus de mécanismes cognitifs que lors d'un apprentissage traditionnel puisqu'ils doivent planifier l'apprentissage, rechercher des ressources mais aussi évaluer leur stade d'apprentissage eux-même (surcharge essentielle). Dans un environnement déjà soumis à ce type de contraintes, il est donc important de réduire la surcharge cognitive des étudiants lors de leur apprentissage. Pour cela, on peut agir en réduisant la surcharge intrinsèque, extrinsèque ou essentielle.

Réduire la surcharge intrinsèque

On peut réduire aisément la surcharge intrinsèque en augmentant la **facilité** de la tâche. Comme expliqué précédemment, la MT ne peut retenir qu'environ sept éléments et en gérer quatre à la fois. Donc, en réduisant le nombre d'éléments on réduit la charge de travail.

Cependant, au-delà du nombre d'éléments, l'interactivité entre ces éléments ajoute une charge cognitive. Tandis que cette charge augmente proportionnellement avec le nombre d'éléments, elle augmente de manière exponentielle avec l'interactivité (Young et al. 2014). Il est possible de réduire cette surcharge liée à l'interactivité en développant son expertise.

En effet, l'**expertise** est la capacité d'un individu à reconnaître facilement des schémas déjà connus. Ainsi, lorsque l'expertise est élevée, l'apprenant possède déjà un schéma qui regroupe un ensemble d'informations et leurs liens en un seul élément, ce qui permet de diminuer la charge cognitive, en libérant la MT de devoir créer une interactivité entre les informations (Young et al. 2014). Or, avant d'être expert, l'apprenant doit d'abord passer par un travail préparatoire, qui passe par l'acquisition des connaissances essentielles puis du lien entre elles. Ces éléments sont alors stockés dans la MLT pour construire un socle de savoirs mobilisables.

Pour construire progressivement une expertise, l'apprentissage peut se faire dans une démarche « **du simple au compliqué** », c'est-à-dire en démarrant par des tâches faciles jusqu'à arriver vers des tâches de plus en plus complexes. Ensuite, l'accompagnement de l'étudiant peut être progressivement retiré au fur et à mesure de ses progrès. Par exemple, l'enseignant décrit la tâche étape par étape et apporte une correction puis il apporte uniquement une correction puis l'étudiant est complètement autonome. A l'inverse, les modalités de présentations peuvent varier du complexe au simplifié. Au début, l'enseignant présente des supports intégrés multimodaux, par exemple un dessin complet et légendé accompagnés d'explication orales. À la fin, les supports présentés sont unimodaux, avec juste un schéma simplifié, car les élèves le comprennent aisément.

Réduire la surcharge extrinsèque

Les charges cognitives extrinsèques représentent les éléments adjacents à la tâche : elles peuvent servir de guide à l'apprentissage, en incluant un mode de présentation efficace, mais aussi contribuer à la surcharge, en ajoutant du travail à l'étudiant. D'après Sweller, il existe six grands principes pour réduire les surcharges extrinsèques.

Tout d'abord, le mode de présentation est très important. De manière générale, une présentation est visuelle (texte, schéma, image) ou bien auditive (narration). Cela tombe bien, la MT présente deux espaces de travail indépendants : un premier qui se base sur la phonétique et un deuxième sur la visualisation spatiale (Baddeley 2012). Ces deux canaux possèdent une capacité limitée qui leur est propre et chacun peut être saturé

indépendamment (Young et al. 2014). Il est donc intéressant de répartir la charge cognitive sur les deux canaux sans les surcharger. C'est possible en utilisant une **présentation multimodale** c'est-à-dire un format regroupant les informations sur un même support, mais avec des canaux différents (mémoire visuelle et mémoire verbale). On pourrait penser qu'il faudrait séparer les informations sur deux supports différents (un visuel et un auditif), mais cela ajoute de la charge cognitive puisque les étudiants doivent faire le lien entre les deux supports et se souvenir de chaque support en passant de l'un à l'autre. En revanche, quand les deux canaux sont utilisés sur un même support, les élèves sont allégés de la charge de faire le lien entre les informations (Mousavi, Low, Sweller 1995). De la même manière, si on demande aux étudiants de réaliser deux tâches simultanément, l'efficacité est meilleure si les tâches sont présentées sous deux modalités différentes. En apparence, on a augmenté la capacité de la MT en répartissant la charge sur les deux canaux (Mousavi, Low, Sweller 1995).

En résumé, il faut retenir que lorsque l'on cherche à faire intégrer une information verbale, il faut éviter les distractions auditives (musiques, sons étrangers), mais d'autres informations visuelles peuvent être intégrées en même temps et vice-versa. De plus, une même information est d'avantage intégrée si elle est présentée sous deux modalités différentes.

Cependant, à vouloir présenter sous différentes formes, il ne faut pas tomber dans le piège de la **redondance**. On distingue, tout d'abord, la **redondance de contenu**, lorsque la même information est répétée sous deux formes. Par exemple, un texte accompagné d'une narration énonçant les mêmes mots que le texte (Albers et al. 2023). Les deux canaux (visuel et auditif) sont utilisés pour traiter exactement la même information, alors qu'un canal pourrait être libéré pour traiter d'autres informations. A l'inverse, la **redondance de modalité** arrive lorsque des informations différentes sont présentées sous la même forme. Par exemple, un texte et un dessin expliquant deux notions très différentes et dans lesquels les informations ne se recoupent pas (Albers et al. 2023). Dans ce cas, le canal visuel est saturé d'informations.

La redondance est le plus souvent délétère au processus d'apprentissage. Pour éviter la surcharge de modalité, il vaut mieux privilégier des modes de présentation dans lesquels, si les informations sont présentées sous deux formes différentes, il faut qu'elles se recoupent. Pour limiter la surcharge de contenu, il faut limiter la quantité d'informations par canal et donc établir les savoirs prioritaires à transmettre. Pour les étudiants en début d'apprentissage, un contenu peu dense et synthétique, sans multiplication des sources, est alors apprécié. En revanche, pour les apprenants plus avancés (avec de l'expertise) la présence de nombreuses ressources est intéressante car ils sauront facilement faire le lien entre elles. Ainsi, ce dernier type de redondance n'augmente pas forcément la surcharge cognitive et peut augmenter les performances d'apprentissage.

Une autre façon d'agir sur les charges extrinsèques repose sur l'utilisation raisonnée d'exemples pour illustrer le cours et aider à la résolution d'exercice. Pour les étudiants novices, il est important de présenter des **exemples travaillés**, explicités

avant de passer aux exercices. En effet, les méthodes de travail des étudiants novices sont gourmandes en énergie (par essai erreur), c'est pourquoi leur montrer des exemples réduit le risque d'erreur. En revanche, les étudiants experts sont économes, puisqu'ils résolvent ces exercices par analogie avec ceux connus. Ainsi, pour ces derniers les exemples travaillés sont déjà acquis et représentent une surcharge cognitive s'ils sont présentés à nouveau.

De plus, il est intéressant de proposer des **tâches non orientées** (*goal-free tasks*), c'est-à-dire sans but précis. Par exemple, plutôt que de demander de « donner le symptôme le plus fréquent de cette maladie », demander de « donner le plus de symptômes associés à cette maladie » (van Merriënboer, Sweller 2010). Cela permet à l'étudiant de ne pas se sentir bloqué par la question s'il ne parvient pas à donner toute la réponse attendue.

De la même manière, proposer des **tâches complétives** (*completion tasks*) peut permettre de diminuer la charge cognitive des étudiants. En leur permettant de compléter une tâche commencée par l'enseignant, sans avoir à la faire en entier, l'apprentissage se fait progressivement et par étapes (van Merriënboer, Sweller 2010).

Enfin, dans le principe d'**attention divisée**, les informations sont réparties dans l'espace et le temps. Cela permet notamment aux étudiants d'avoir l'information utile au bon moment, et non en avance (van Merriënboer, Sweller 2010). Par exemple, il faut présenter comment réaliser une suture au moment de la fermeture de la peau et non lorsqu'on prépare la table d'opération. De plus, le format de présentation doit être correctement intégré dans l'espace : des informations en lien doivent se situer au même endroit dans le support. Ainsi, séparer ou rassembler les points d'attention permet de limiter le travail de la MT et d'aider le contrôle attentionnel, en sélectionnant les idées pertinentes, en accompagnant le changement d'une idée à l'autre et en faisant des liens entre elles (Uus, Seitlinger, Ley 2020).

Optimiser la charge essentielle

La charge cognitive essentielle apparaît lorsque l'étudiant ne se contente pas de stocker des informations mais a une véritable volonté d'apprendre et construit des schémas mentaux pour faciliter l'acquisition de connaissances. La charge cognitive n'est pas forcément délétère au processus d'apprentissage mais il est essentiel d'optimiser l'utilisation de ces schémas mentaux pour les rendre efficaces et rentables.

Pour favoriser la construction de liens mentaux, on peut augmenter la **variabilité** des tâches, c'est-à-dire présenter la même information associée à des variables différentes. Par exemple, lorsque l'enseignant présente un symptôme d'une maladie, il peut illustrer avec des exemples de patient d'âge, de sexe, d'origine différente... (van Merriënboer, Sweller 2010).

Enfin, pour aider la MT à créer des connexions mentales, l'étudiant peut s'aider du principe d'**auto-explication** (*self-explanation*). En effet, formuler une explication à voix haute ou dans sa tête augmente la charge essentielle bien plus que lorsque l'explication

est donnée par quelqu'un d'autre. Ce processus est encore plus efficace que les exemples travaillés puisqu'il permet à l'élève de se questionner sur sa compréhension (van Merriënboer, Sweller 2010). Une façon d'appliquer ce principe est de demander à l'étudiant d'expliquer un mécanisme avant de donner la réponse.

Ainsi, la théorie de la charge cognitive propose plusieurs pistes pour limiter la surcharge des étudiants. Ces principes sont applicables pour n'importe quel type d'enseignement et ce particulièrement dans le cas des études médicales, très exigeantes.

En résumé, un support pédagogique idéal doit susciter la motivation des étudiants en utilisant divers mécanismes cognitifs. Cela inclut l'attribution d'une valeur au travail de l'étudiant mais aussi le renforcement de l'autonomie et du sentiment d'accomplissement. L'alignement des objectifs, des activités et de l'évaluation est essentiel pour répondre aux attentes des élèves et des enseignants. De plus, le contenu didactique doit réduire la surcharge cognitive en favorisant un apprentissage multimodal et la construction de schémas mentaux. Ces principes s'appliquent à tout support pédagogique, y compris les didacticiels sur l'anatomie vétérinaire. Cependant ces derniers présentent quelques spécificités.

2) Spécificité d'un didacticiel anatomique à destination d'étudiants vétérinaires

Pour cette thèse, la création d'un support numérique sur l'anatomie des membres thoracique et pelvien du cheval a été choisie. On parle ainsi de « didacticiel », un mot-valise qui comprime « didactique » et « logiciel » et qui se définit donc comme un « logiciel destiné à un enseignement ou à un apprentissage » (Académie française 1992). Un didacticiel sur l'anatomie vétérinaire est donc un support pédagogique particulier, qui répond à des demandes spécifiques.

a) Un contenu scientifique

Tout d'abord, il doit apporter des informations anatomiques **précises** et **scientifiquement correctes**. C'est le rôle notamment des clichés de dissections, qui permettent d'avoir accès à une information exacte et directement représentative du réel. C'est aussi le cas des radiographies et des échographies, qui bien que sujettes à interprétations, donnent dans leurs images brutes un reflet exact de la réalité. En revanche, dès lors que la représentation anatomique est produite par quelqu'un suite à l'observation du monde réel, une modification de la réalité peut être faite. Ainsi, les productions artistiques telles que les dessins ou les schémas mais aussi les modèles

plastiques ou modélisations 3D se doivent de porter une attention particulière à reproduire le plus fidèlement la réalité.

Pour rappel, un **dessin** se veut être une représentation passive et fidèle de la réalité, tandis qu'un **schéma** est réorganisé pour transmettre une information simplifiée. Les dessins anatomiques ont donc une vocation plutôt descriptive tandis que les schémas vont plutôt traduire une structure fonctionnelle. Dans tous les cas, ils se doivent de respecter une justesse scientifique.

b) Un format numérique

Avantages des supports numériques

Ensuite, comme le format choisi est dématérialisé, le didacticiel peut exploiter l'ensemble des possibilités offertes par le numérique. On parle de **nouvelles technologies de l'information et de la communication** (TIC). Nous avons déjà détaillé précédemment les ressources numériques disponibles pour les étudiants, en comparant leurs avantages et inconvénients entre elles, expliquons à présent en quoi l'utilisation des TIC s'inscrit dans les mécanismes de l'apprentissage.

Les études semblent montrer un **intérêt** spontané chez les élèves, dès lors que l'enseignant utilise des supports numériques. Or, comme expliqué précédemment, l'intérêt et la fascination sont une source de motivation pour les élèves. Cependant, cela semble dû à un effet de nouveauté, car dès que les étudiants connaissent et s'habituent au support, la motivation baisse (Viau [sans date]). Pour entretenir l'intérêt et donc la motivation, la ressource numérique se doit donc de proposer de nouveaux environnements, de nouvelles informations et de se mettre à jour régulièrement.

En outre, pour être efficace, un support numérique doit exploiter l'**engagement cognitif** des élèves c'est-à-dire la volonté d'explorer l'ensemble du support en détail et la **persévérance**, c'est-à-dire le temps passé sur le support (Viau [sans date]). En effet les supports numériques, notamment les plateformes pédagogiques qui intègrent de nombreuses ressources non développées en cours, offrent la possibilité de pouvoir approfondir les notions choisies. Pour les applications en ligne, leur interactivité repose sur un système d'emboîtement (une page amène à une autre page). L'étudiant peut donc parcourir longuement le support et choisir le niveau de détail. Les TIC favorisent donc l'apprentissage en profondeur, car les étudiants y passent plus de temps (Raby et al. 2011).

Ensuite, les didacticiels sont **interactifs**, ce qui favorise l'apprentissage. En effet, l'élève est stimulé constamment pour la nécessité d'interagir avec le système (ouvrir une page, faire un glisser-déposer, zoomer sur une région, répondre à une question, classer des items etc.). En revanche, l'ajout d'un trop grand nombre d'éléments perturbateurs peut être délétère pour l'apprentissage (Viau [sans date]). Afin de pas perdre les étudiants face à la quantité d'information disponible, il est important d'offrir

un guide pour la navigation au sein du support et d'informer où ils en sont rendus dans la progression.

De la même manière, les TIC puisent leur force dans leur capacité à être **adaptatives**. L'élève peut interagir avec un environnement, qui s'adapte à ses objectifs et son niveau. Le principe d'alignement pédagogique est ainsi respecté. Si les tâches demandées sont du niveau de l'élève, cela renforce aussi son sentiment de compétence. Grâce à une programmation intelligente, les supports numériques sont aussi capables de donner des commentaires directs et de faire un retour rapide sur la performance des étudiants. Le système tolère aussi les erreurs et n'émet pas de jugement, ce qui en fait un environnement sécuritaire pour les élèves (Viau [sans date]). Ils peuvent aussi donner des encouragements, grâce auxquels les étudiants se sentent plus capables de réussir et savent qu'ils naviguent dans un environnement sûr. Ce sont des notions importantes dans la théorie de l'auto-détermination.

Les supports dématérialisés ont de plus l'énorme avantage d'être **accessibles facilement** : en ligne, depuis n'importe quel poste, sans limite de lieu ni de temps (Raby et al. 2011). Cela permet en outre de favoriser l'engagement mais aussi la responsabilisation de l'étudiant, deux notions essentielles dans la théorie de l'auto-détermination.

Grâce à cette accessibilité, les TIC entretiennent l'**autonomie** des étudiants. Ils offrent en outre la possibilité de choisir le rythme d'apprentissage, la durée des pauses, de revenir en arrière. Ils peuvent aussi choisir les éléments qu'ils ont envie de développer, en affichant ou non des informations, et le mode de présentation, s'ils préfèrent un texte, une image ou une vidéo. De plus, comme ils sont disponibles tout le temps, l'étudiant peut y consacrer le temps qu'il souhaite, y revenir plusieurs fois et c'est lui qui initie la démarche de commencer à travailler. Cela renforce le sentiment de contrôle, qui comme nous l'avons expliqué est un des déterminants de la motivation. De plus, cela replace l'étudiant comme maître de son apprentissage.

A l'inverse, dans la théorie du socio-constructivisme, l'**interaction entre étudiants** est très importante dans la construction de l'apprentissage : cela permet de soutenir les fonctions cognitives liée aux interactions sociales et de stimuler l'envie des étudiants de se dépasser. Ainsi, sont apparus les contenus didactiques communautaires, dont l'ancêtre est sans doute le *podcast* ou balado-diffusion en français. Posté sur une plateforme de diffusion en flux continu, il offre un espace commentaire permettant aux internautes d'interagir entre eux mais aussi avec le créateur de contenu, ce qui en fait un espace de partage riche. Cependant, la nouvelle génération d'étudiants semble s'être détournée de ce type de forum, sans doute à cause du long délai de réponse, au profit des réseaux sociaux, où la messagerie est instantanée et rapide. Ainsi, les réseaux sociaux stimulent l'intérêt des étudiants, qui montrent un réel engagement lorsqu'ils les utilisent pour l'apprentissage (Hennessy et al. 2016). En effet, l'avantage des réseaux sociaux est de pouvoir partager son travail (ce qui développe le sentiment de reconnaissance et d'appartenance), de recevoir des commentaires et des critiques en retour (ce qui permet de progresser). De plus, cela promeut une participation équitable

des étudiants où même les plus timides y trouvent un espace de parole (Raby et al. 2011).

Au bilan, les TIC présentent de nombreux avantages puisqu'elles soutiennent les mécanismes d'apprentissage présentés précédemment. Toutefois, elles présentent également des limites, qu'il convient de détailler.

Inconvénients des nouvelles technologies

L'arrivée des TIC a bouleversé le type d'activité pédagogique ainsi que le lien enseignant-étudiant. Ce changement est assez visible dans le domaine des sciences médicales du fait de l'augmentation du nombre d'étudiants (sans augmentation du nombre d'enseignant), le développement rapide des technologies médicales et a été accéléré sans doute par la pandémie due au Covid-19 (Xiao, Adnan 2022). Ainsi, les heures de classes face à l'enseignant se sont progressivement transformées. L'apparition des **cours en distanciel** a été en un sens forcé par la pandémie et par la nécessité de limiter les contacts physiques. Cependant, il semblerait que les cours à distance aient un impact négatif sur les résultats des élèves en comparaison des cours en présentiel (Karnik, Gilbert, Artemiou 2023).

De plus, la dématérialisation des cours a progressivement mené à la création de contenus **asynchrones**, c'est-à-dire des cours enregistrés et déposés sur une plateforme pour visualisation ultérieure par les étudiants. Cependant, il semblerait que les étudiants préfèrent les cours en présentiel, car ils les aident à mieux visualiser les structures anatomiques et leur localisation au sein de l'organisme. De plus, ils trouvent aussi que ces cours sont plus stimulants et sont plus confiants en leur capacité de réussite à l'approche des examens. Toutefois, les cours enregistrés apportent une meilleure optimisation du temps passé à étudier, une meilleure compréhension des points clés et sont associés avec un niveau de stress moins élevé (Potu et al. 2022). Au bilan, les étudiants préfèrent en majorité (57,4%) un enseignement mixte, c'est-à-dire à la fois en présentiel et avec des sessions asynchrones (Potu et al. 2022).

Toutefois, l'inconvénient majeur de ces cours asynchrones est la **perte du lien étudiant-enseignant**. Pourtant, un bon outil pédagogique doit favoriser la communication entre le formateur et les apprenants (Raby et al. 2011). Les étudiants apprécient en général de pouvoir communiquer avec l'enseignant via une boîte courriel, puisqu'elle leur permet d'obtenir une réponse de la part de l'enseignant plus précise et claire qu'à l'oral (Raby et al. 2011). Cependant, pour certains étudiants l'utilisation des courriels est vue comme obsolète et dépassée mais aussi perçue comme lente, contrairement à la messagerie instantanée (Hennessy et al. 2016). De même, la présence d'un forum est appréciée pour le partage des connaissances mais il lui est souvent reproché d'être brouillon et mal organisé. En effet, les réponses se perdent dans tous les commentaires et les retrouver est une perte de temps (Raby et al. 2011).

En outre, pour pouvoir utiliser des outils numériques tels que les plateformes de vidéo-conférence ou les modules interactifs asynchrones, le personnel doit aussi être

formé à l'utilisation des logiciels. Cette utilisation n'est pas toujours évidente. En effet, si pour les *digital natives* (les enfants du numérique, nés avec la technologie entre les mains) manier les nouvelles technologies semble être un jeu d'enfant, pour les *digital migrants* (ceux qui ont dû s'adapter à l'arrivée de la technologie), cela peut être un parcours du combattant. Attention cependant, même pour les générations habituées à la technologie, certains environnements et interfaces nécessitent tout de même d'être expliqués aux étudiants et il reste important de continuer à former les élèves à maîtriser les outils numériques pour les habituer à les utiliser dans le futur. Finalement, l'existence de *digital natives* n'est pas forcément fondée et il faut veiller à vérifier la compréhension de l'outil numérique pour chaque étudiant (Christophe 2019).

De plus, la création de contenu numérique, bien qu'offrant un arsenal riche de possibilités, est parfois complexe et chronophage. Cela peut représenter, pour l'enseignant qui réalise le support en plus de ses cours, une forte **charge de travail** supplémentaire. En effet, l'enseignant doit suivre une phase de prise en main du logiciel avant d'être à l'aise dans son utilisation. Puis, la phase de mise en page et de construction du support est souvent longue et laborieuse.

Par ailleurs, l'utilisation des TIC engendre des **coûts environnementaux** significatifs. Contrairement aux supports physiques qui ne nécessitent qu'un lieu de stockage, les TIC nécessitent un équipement, une connexion Internet stable et des mises à jour fréquentes. Ce matériel numérique, déjà coûteux à l'achat, entraîne une consommation d'énergie supplémentaire. De plus, les TIC ont une empreinte carbone non négligeable tout au long de leur cycle de vie. L'étape de production de matériel est la plus gourmande, car elle épuise les ressources naturelles et se fait souvent dans des pays utilisant de l'électricité issue du charbon. Leur phase d'utilisation représente une consommation électrique importante, puisqu'elle nécessite le fonctionnement permanent de serveurs. En 2019, les TIC représentaient 3,5 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) selon The Shift Project, et cette part continue d'augmenter (Lecareux 2022). Selon GreenIT.fr, les impacts environnementaux du numérique pourraient doubler voire tripler entre 2010 et 2025, passant de 2,5 % à près de 6 % de l'empreinte de l'humanité en quinze ans (Lecareux 2022). En France, la mission sénatoriale sur l'empreinte environnementale du numérique estime qu'en vingt ans, la part du numérique dans des émissions de GES françaises passera de 2 à 7 % (Lecareux 2022). Enfin, la gestion des déchets des appareils numériques pose problème, car peu d'entre eux sont recyclés.

Ainsi, il est important de former les utilisateurs à la **sobriété énergétique**, afin qu'ils soient sensibilisés à des pratiques numériques responsables. Ces « éco-gestes » s'inscrivent plutôt dans une démarche individuelle, notamment dans le cas de renouvellement d'équipement personnel. Ainsi, il faut penser à bien entretenir son matériel et le réparer si nécessaire, voire acheter du matériel reconditionné. Pour les équipements collectifs et l'utilisation de réseaux internet, sensibiliser l'ensemble des utilisateurs au respect de quelques règles permet de diminuer les coûts. Par exemple, il est important d'éteindre les appareils non utilisés. A une échelle plus globale, il est

possible par exemple de recycler la production de chaleur des serveurs ou bien d'utiliser des moteurs de recherches éco-responsables comme Ecosia, qui consacre l'ensemble de ses profits à la plantation d'arbres, ou bien Lilo, qui finance entre autres des associations agissant pour l'écologie.

Enfin, dans un cadre pédagogique, les autres **dangers du numérique** (cyberaddiction, cyberharcèlement, fuite de données personnelles, visualisation de contenu inadaptés) sont normalement évités car le contenu est filtré et adapté, les messages sont modérés par l'équipe enseignante et les données utilisateurs peuvent être anonymisées (cryptage des données). Toutefois, dans le cadre des réseaux sociaux non initialement dédiés à l'enseignement, l'absence de modération peut être un obstacle à leur utilisation. De plus, un inconvénient majeur est qu'ils ne tracent pas de ligne nette entre la vie privée et publique. En effet, bien que certains comptes soient uniquement dédiés à l'apprentissage, certains étudiants peuvent se sentir inconfortables à utiliser des réseaux ayant accès à des données privées ou sur lesquels ils peuvent retrouver leur enseignant (Hennessy et al. 2016).

Au bilan, les TIC sont une aide intéressante à l'apprentissage mais leur réelle efficacité est discutée. C'est surtout la forme du support numérique qui permet d'avoir un vrai apport dans l'enseignement. En effet, un module simple non interactif n'est pas très intéressant, tandis qu'un véritable support intégré, avec une communication possible entre le formateur et les élèves, est beaucoup plus profitable (Turney et al. 2009).

En résumé, un didacticiel sur l'anatomie doit tout d'abord présenter un contenu scientifiquement correct et compréhensible, tout en permettant une utilisation autonome par les étudiants. Le format numérique offre des avantages tels que l'accessibilité, l'interactivité et l'utilisation optimale des différents formats d'apprentissage. Enfin, l'intérêt grandissant pour les TIC est une des nombreuses raisons pour lesquelles ce type de support est souvent choisi.

Parmi les supports offerts par les TIC, les applications pédagogiques en ligne se démarquent. Conçues pour aider les enseignants, elles offrent un environnement sécurisé et anonyme pour les étudiants. Elles facilitent la communication entre enseignants et apprenants tout en préservant l'autonomie des élèves. Leur simplicité, leur intuitivité, leur gratuité et leur accessibilité en font un choix privilégié pour notre projet.

Dès lors, nous allons présenter le didacticiel réalisé en justifiant chaque étape de sa création à partir des principes bibliographiques évoqués jusqu'à présent.

DEUXIÈME PARTIE : PRÉSENTATION DU PROJET

I) Choix des caractéristiques du projet

A) Le sujet

Le but du projet est de créer un didacticiel destiné aux étudiants vétérinaires pour les aider à l'apprentissage de l'anatomie du cheval.

1) Détermination des limites du sujet

Pourquoi avoir choisi l'anatomie de l'appareil musculo-squelettique du cheval ? Nous avons abordé en première partie la place importante du cheval dans les sociétés humaines et le développement de la médecine équine au fil des âges. Dès l'Antiquité, les anatomistes accordent une importance toute particulière au pied du cheval. D'après les hippocrates grecs, "La force du cheval est dans ses pieds" (Theomnestos 1927) à tel point que pour eux, "Pour le corps nous affirmons qu'il faut d'abord observer les pieds" (Xénophon 1978). L'appareil locomoteur du cheval est son atout principal et une attention toute particulière est apportée à ses atteinte. Ainsi, la médecine équine s'est d'abord développée avec la maréchalerie et les soins de pied. Aujourd'hui encore, la **médecine de la locomotion** représente une part importante des motifs de consultation en clinique équine. La connaissance de l'anatomie du pied du cheval est donc une compétence essentielle au vétérinaire, notamment pour celui qui choisit une pratique spécialisée en équine.

Pourtant, et nous l'avons indiqué en première partie, l'apprentissage de l'anatomie est difficile pour les étudiants, malgré les nombreux supports disponibles. L'anatomie des membres du cheval est complexe mais elle doit être maîtrisée par les étudiants. Ainsi, l'idée de créer un support pédagogique, pour aider les étudiants dans leur apprentissage, est apparue.

Il a été décidé de se limiter à l'**autopode** du cheval. Cela correspond donc à la **main** du cheval, c'est-à-dire du carpe aux phalanges pour le membre thoracique, et au **pied** du cheval, c'est-à-dire du tarse aux phalanges pour le membre pelvien. En effet, réaliser un support sur l'ensemble de l'appareil musculo-squelettique aurait été envisageable, mais dans un temps imparti plus large

2) Établissement des objectifs d'apprentissage

Dans la première partie, nous avons évoqué l'importance de l'alignement pédagogique. La première étape de cette théorie est d'établir précisément les **objectifs d'apprentissage** afin que l'étudiant sache ce qu'il est attendu de lui.

Pour chaque partie (Ostéologie, Arthrologie, Myologie), une liste d'objectifs pédagogiques est indiquée avant de débiter le module. Ces objectifs sont formulés selon le principe expliqué en première partie, c'est-à-dire en donnant un objectif à

atteindre, une durée d'apprentissage et les conditions de réussite. La liste complète des objectifs d'apprentissage est présente en annexe 7.

Le didacticiel porte sur l'anatomie des membres thoraciques et pelvien du cheval, en se limitant à l'autopode. Il a pour objectif d'améliorer la compréhension de cette anatomie, mais aussi d'évaluer la mémoire des étudiants à la fin de ce module interactif.

B) Le support

Le projet est disponible via la plateforme GENIALLY, qui est une application hébergée par un site internet, proposant la possibilité de créer des présentations interactives et des quiz avec un retour sur les résultats.

GENIALLY propose un mode édition, avec plusieurs outils sont à notre disposition :

- l'intégration d'**images**, qui permet donc de mettre des clichés radiographiques, échographiques et de dissections ;
- des **ressources**, comme des icônes, des formes modulables, des flèches et des illustrations, qui permettent de créer des formes et de légènder. Cela renforce le côté interactif et ludique, en plus de participer à l'esthétisme du projet ;
- des **éléments interactifs**, comme des boutons qui renvoient vers une page lorsque l'on clique dessus. La navigation est donc imbriquée et non linéaire ;
- des **questions interactives**, c'est-à-dire qui nécessitent à l'étudiant de cliquer ou déplacer des éléments, avec plusieurs modes de questions. Ce type de questions a été inclus dans l'introduction mais aussi dans la partie quiz du module ;
- des *smartblocks* ou **graphiques** intelligents. Par exemple, un graphique peut afficher la progression de l'étudiant au fur à et mesure qu'il avance dans le module ;
- et la possibilité d'insérer des **formats audios ou vidéos**, non utilisés dans ce cours.

De plus, GENIALLY offre la possibilité d'organiser la navigation dans la présentation comme pour un diaporama, une vidéo ou un site internet. Il a été choisi d'imiter un site internet sur lequel l'utilisateur navigue à volonté.

Le choix du support se porte sur un outil numérique interactif, qui favorise la navigation autonome des étudiants. L'application choisie permet d'intégrer facilement des images et l'étudiant peut afficher le niveau de détail souhaité. De plus, des questions avec un retour permettent d'établir les quiz nécessaires à l'évaluation des étudiants.

II) Matériel et méthode

Dans cette partie seront développées les différentes méthodes de production des illustrations anatomiques citées précédemment.

A) Dissections anatomiques

Comme expliqué en première partie, la dissection reste une des meilleures méthodes de visualisation des structures anatomiques in situ.

1) Méthode de dissections

La dissection d'un membre thoracique gauche et d'un membre pelvien gauche issu du même cheval a été réalisée, avec une incision plan par plan des structures anatomiques.

Tout d'abord, la peau a été retirée pour mettre en évidence les tissus conjonctifs et les fascias qui recouvrent les membres.

Ensuite, les premiers fascias superficiels a été retirés tout en conservant les **fascias du carpe, du tarse et du doigt**, ce qui permet de maintenir les muscles et tendons dans leur position physiologique. Ainsi, sur le membre thoracique se détachent :

- les **muscles antébrachiaux crâniens** dans la loge crâniale, qui sont extenseurs du carpe et du doigt ;
- les **muscles antébrachiaux caudaux** dans la loge caudale, qui sont fléchisseurs du carpe et du doigt.

Et sur le membre pelvien, on distingue :

- une **loge crâniale** contenant les fléchisseurs du tarse et extenseurs du doigt ;
- une **loge caudale** contenant les extenseurs du tarse et fléchisseurs du doigt.

Par la suite, les **fascias** de la main et du pied sont incisés afin de visualiser le trajet des tendons au sein de ces **gaines** fibreuses.

Enfin, les tendons et les corps musculaires sont entièrement retirés, ce qui permet de visualiser la **capsule articulaire** et les **ligaments** des articulations d'intérêt. Si nécessaire, la capsule articulaire est incisée pour visualiser les ligaments profonds.

2) Préparation des os

Afin de mettre en évidence les surfaces articulaires ainsi que les insertions musculaires et ligamentaires, les os sont nettoyés et préparés pour la cuisson. Les os suivants sont conservés : radius et ulna, carpe, métacarpe, os sésamoïdes et phalanges pour le membre thoracique et tibia, tarse, métatarse, os sésamoïdes et phalanges pour le membre pelvien.

Les os subissent une cuisson à l'eau chaude pendant 2 à 3 jours, en fonction de la taille de l'os, les os les plus gros nécessitant évidemment une cuisson plus longue. Puis, les os sont séchés au soleil et blanchis à l'eau oxygénée, avant d'être pris en photographie.

3) Prise de clichés

La prise de clichés est réalisée à l'aide de plusieurs appareils photographiques afin de multiplier les angles de vue.

Le premier est un appareil photographique suspendu à un support métallique et relié à un ordinateur permettant de visualiser en temps réel les prises de vues. Les pièces anatomiques sont placées sur une table avec un fond blanc pour faciliter le traitement de l'image. L'appareil photographique ne pouvant être déplacé, ce sont les pièces anatomiques qui sont placées selon l'angle d'approche voulue (vue dorsale, vue palmaire / plantaire, vue latérale, vue médiale, vue proximale ou vue distale). Le deuxième appareil, plus petit et maniable, est utilisé pour des angles des vues non réalisables avec le premier système.

Pour les os, une vue dorsale, une vue palmaire, une vue latérale, une vue proximale et une vue distale sont réalisées. Pour la plupart des articulations, une vue dorsale, une vue palmaire, une vue latérale et une vue médiale sont réalisées. Si nécessaires et réalisables, une vue proximale et une vue distale (les os étant attachés par leurs ligaments à ce stade) sont ajoutées. Pour les muscles, une vue dorsale, une vue palmaire, une vue latérale et une vue médiale sont réalisées en fonction de la localisation du muscle.

4) Traitement des images

Une fois les images acquises, un traitement numérique est réalisé grâce au logiciel CLIP STUDIO PAINT sous Windows ou bien à l'aide du logiciel IBIS PAINT sous Android. Les pièces anatomiques sont détournées et téléchargées au format .png sans fond pour faciliter leur insertion dans un document. Les éléments d'intérêt sont détournés à l'aide de l'outil « Pinceau » et « Remplissage », afin de mieux les délimiter.

Les **légendes** sont ajoutées une fois l'image insérée dans le document GENIALLY. Une flèche indique la structure légendée. De plus, en cliquant sur la légende, l'étudiant peut afficher une **plage de couleur**, qui délimite plus précisément la structure tendineuse ou ligamentaire. En effet, comme les structures sont parfois difficilement discernables, ce travail de délimitation permet de confirmer à l'étudiant les limites réelles de l'élément. Par la suite, l'étudiant peut choisir de ne pas afficher les plages de couleur pour permettre une lecture plus claire et moins surchargée de l'image.

Le même principe est appliqué pour les surfaces articulaires, difficilement délimitables. Une plage de couleur indique clairement les limites de ces surfaces.

Les dissections sont un incontournable de l'apprentissage de l'anatomie. Afin de limiter le nombre de cadavres, la prise de clichés lors de la réalisation d'une dissection unique permet de transmettre l'enseignement à distance à un grand nombre. Les images peuvent être traitées et légendées correctement pour être sûr de la bonne compréhension des structures anatomiques. De plus, une fois la dissection réalisée, les os peuvent être récupérés, cuits et permettre de prendre de nouveaux clichés, eux aussi légendés.

B) Dessins anatomiques

Les dissections montrent leurs limites notamment sur la visualisation des plans profonds, difficilement discernables, ou sur la séparation entre les fibres de différents plans. C'est pourquoi le dessin anatomique trouve tout son intérêt pour apporter des précisions sur les contours de ces éléments.

Les dessins sont réalisés à l'aide du logiciel CLIP STUDIO PAINT. Les planches anatomiques présentées dans les tomes 1 (Ostéologie) et 2 (Arthrologie et Myologie) d'*Anatomie comparée des animaux domestiques*, réalisés par Robert Barone, ainsi que *Myologie du cheval, muscle par muscle*, illustré par Julia Prével sont les principales sources d'inspiration.

En premier lieu, les **os** sont dessinés un à un pour la partie « Ostéologie », bien qu'ils servent aussi de support pour les parties « Arthrologie » et « Myologie ». Les os sont représentés en gris afin de bien les différencier des autres éléments anatomiques.

Ensuite, les **ligaments** des articulations carpiennes, tarsiennes, carpo-métacarpienne, tarso-métatarsienne, métacarpo/métatarso-phalangiennes, interphalangiennes. Des dessins des articulations antébrachio-carpienne et fémoro-tibio-patellaire sont également dessinés car certains muscles de la main et du pied présentent une origine à leur niveau. Dans un souci de compréhension et de lisibilité plus que de réalisme, les ligaments et capsule articulaire sont représentés en bleu, les ménisques en vert.

Enfin, les **muscles** sont ajoutés avec les corps musculaires en rouge sombre et les tendons en blanc rosé. Les **gaines** et les **fascias** sont en bleu tout comme les ligaments, car leur plan sont parfois indiscernables.

Ainsi, comme montré dans la partie bibliographie, l'utilisation d'un système associant une couleur à un type de structure anatomique permet aux étudiants de reconnaître rapidement l'élément et favorise le processus de réactivation de connaissances. De plus, des couleurs vives mais non saturées ont été utilisées, car elles permettent de retenir l'attention des lecteurs sans surcharger la page.

Chaque élément anatomique est enregistré sous le format .png sans fond. Cela permet leur intégration dans le support et de pouvoir interagir avec chaque élément séparément. Le document GENIALLY offre en effet la possibilité de relier chaque élément anatomique sélectionné à la page correspondant à sa description.

En résumé, des dessins anatomiques issus de productions personnelles accompagnent les étudiants tout au long du module. Ils permettent de préciser des formes et des contours difficilement visibles en dissection et leur code couleur permet de favoriser l'apprentissage.

C) Imagerie des membres thoracique et pelvien

1) Intérêt de l'imagerie topographique dans un support anatomique

Comme expliqué en première partie, l'anatomie topographique est une discipline spécifique à l'anatomie mais ses compétences sont transversales avec l'**imagerie**. En effet, des connaissances solides en anatomie sont indispensables à l'interprétation des clichés radiographiques et échographique.

C'est pourquoi il a été décidé d'inclure des **radiographies** et des **échographies** dans le didacticiel. Cela permet aux étudiants de mettre en pratique leurs connaissances acquises : ils doivent pouvoir identifier les éléments en reconnaissant leur forme. De plus, cela permet d'avoir accès en profondeur en position physiologique, contrairement aux dissections qui restent parfois dans les plans les plus superficiels. La radiographie ne permet qu'une visualisation en deux dimensions mais des éléments profonds tandis que l'échographie permet une visualisation presque en trois dimensions. Cela permet d'améliorer d'avantage la compréhension des relations anatomiques entre organes adjacents.

De plus, pour les étudiants ne se destinant pas à une activité de chirurgie, l'imagerie reste la discipline qui mobilise le plus les connaissances anatomiques. En effet, en médecine de la locomotion, l'imagerie des membres est un incontournable lors d'une consultation.

2) Choix des clichés radiographiques et échographiques

Les images sont issues de la base de données du Centre International de Santé du Cheval d'Oniris (CISCO). La base a été parcourue en recherchant les consultations d'orthopédie. Les critères de choix pour les clichés radiographiques sont les suivants :

- *Cheval âgé de plus de 2 ans.* En effet, la fermeture des cartilages de croissance des os de la main et du pied est finie après 30 mois, à l'exception de la tubérosité

calcanéenne dont la fermeture se fait aux alentours des 3 ans (Rogers, Gee, Dittmer 2021).

- *Cheval ne présentant pas de boiterie ou de déformation des membres à l'examen clinique* pour la zone imagée. Cela permet d'exclure les chevaux pouvant avoir une lésion possiblement osseuse, à l'origine d'une boiterie, ou bien ceux ayant une déformation des tissus mous qui modifierait l'aspect normal de la radiographie.
- *Aucune lésion n'a été trouvée à l'imagerie* pour la zone concernée ou bien *les lésions ont été décrites comme légères*. Cela permet d'avoir des images standard non lésionnelles de référence. Cela n'exclut pas la présence de petites lésions, difficilement discernables pour un œil non averti et qui ne gênent pas la lecture globale du cliché.

Les critères de choix pour les clichés échographiques sont les suivants :

- *Cheval ne présentant pas de boiterie ou de déformation des membres à l'examen clinique* pour la zone imagée. Cela permet d'exclure les chevaux pouvant avoir une lésion possiblement tendineuse ou ligamentaire, à l'origine d'une boiterie, ou bien ceux ayant une déformation des tissus mous qui modifierait l'aspect normal de l'échographie.
- *Aucune lésion n'a été trouvée à l'imagerie* pour la zone concernée ou bien *les lésions ont été décrites comme légères*. Cela permet de même d'avoir des images de référence.

Les images sélectionnées ont été anonymisées et intégrées dans le document GENIALLY, avec des légendes pour identifier clairement les structures anatomiques.

L'ajout de clichés radiographiques et échographiques fait l'originalité de ce module. Cela permet de mobiliser des connaissances transverses à l'imagerie médicale et l'anatomie descriptive. De plus, en additionnant un nouveau point de vue, la compréhension et la visualisation spatiale des étudiants est améliorée.

III) Résultats

A) Le contenu

Le projet se présente comme un cours sur l'anatomie des membres thoraciques et pelviens, accompagné d'un quiz pour tester les connaissances et la compréhension des étudiants. Il a été divisé en plusieurs fichiers GENIALLY : un premier avec une page d'accueil permettant d'accéder à un tutoriel, à un cours d'introduction et à des liens utiles, un deuxième qui rassemble le cours sur le membre thoracique et un troisième sur le membre pelvien. Deux fichiers de quiz, un sur le membre thoracique et un sur le membre pelvien, sont également proposés.

1) Tutoriel

Avant de suivre le cours, les étudiants ont la possibilité de suivre un **tutoriel**. Il précise la navigation au sein du GENIALLY et l'interactivité des boutons.

Par ailleurs, tout au long du GENIALLY, une icône de cheval accompagne les étudiants pour donner des explications. En cliquant sur cette icône, une fenêtre apparaît avec des informations écrites. Cela permet d'un côté d'approfondir certains points. De plus, il est également possible de cliquer sur une icône fiche, qui permet d'avoir une version textuelle pour les étudiants qui préfèrent un texte à un dessin. D'un autre côté, cela allège la page, pour les étudiants qui souhaitent uniquement regarder le dessin légendé.

2) Cours d'introduction

Dans la partie cours, les étudiants peuvent choisir de suivre un **cours d'introduction** ou bien de passer directement à l'étude du membre thoracique ou du membre pelvien.

Dans l'introduction, des **rappels** de cours sur l'ostéologie et l'orientation des schémas anatomiques sont proposés. Ils définissent le cadre du sujet, en rappelant les définitions de squelette, d'os longs, des reliefs externes des os, de la structure interne des os. De plus, ils expliquent la division des membres en stylopode, zeugopode et autopode. Des rappels d'orientation sont aussi faits.

De rapides quiz permettent de plus de tester les connaissances anatomiques préalables. Ils évaluent de manière formative les connaissances initiales de l'élève, en lui proposant de replacer sur un schéma les structures qu'il reconnaît.

3) Cours d'anatomie sur le membre thoracique

Le membre thoracique et le membre pelvien sont étudiés dans deux sections séparées, mais toutefois similaires dans leur organisation. Prenons l'exemple du

membre thoracique. Son étude a été divisée en trois parties (Ostéologie, Arthrologie et Myologie), présentées grâce à un sommaire pour permettre une navigation plus fluide.

a) Ostéologie

Pour la section « Ostéologie », des **clichés d'os** sous différentes vues sont proposés avec des légendes pour identifier les reliefs osseux importants. Par exemple, sur la figure 17, les photographies de dissection de la phalange distale sont affichées.

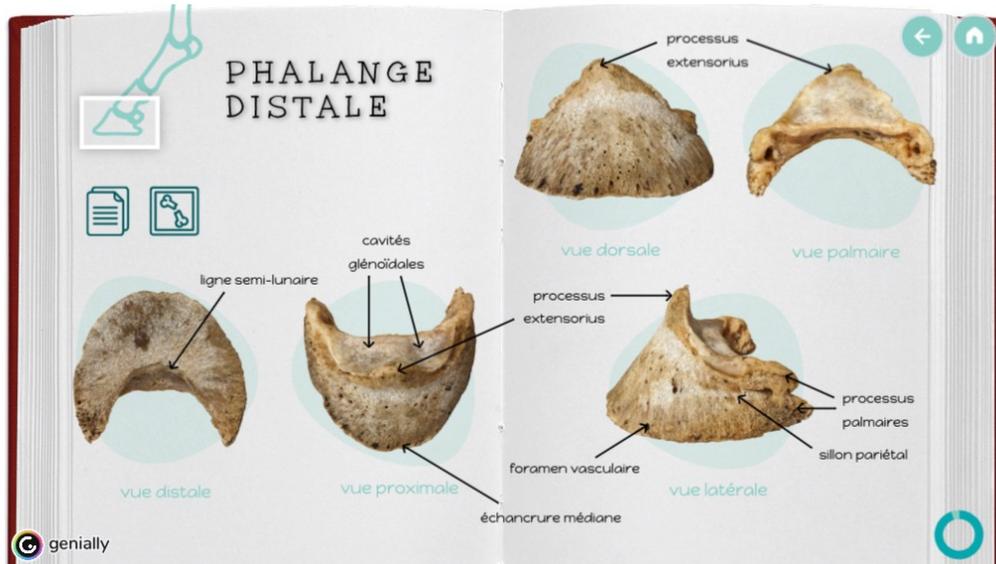


Figure 17 : Capture d'écran de la page « Phalange distale »

En cliquant sur l'icône fiche, les étudiants ont accès à une **description précise des os**. Par exemple, sur la figure 18, les faces de la phalange distale sont explicitées.

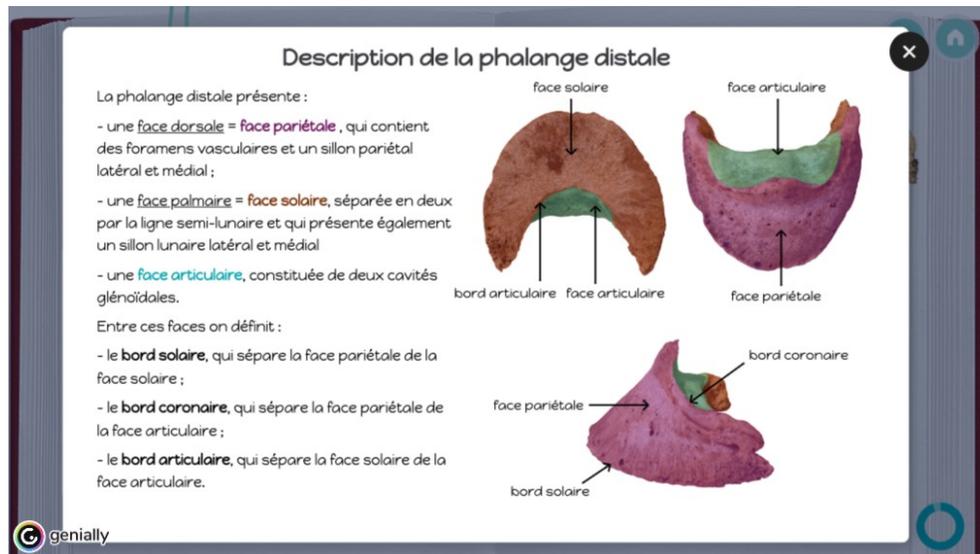


Figure 18 : Capture d'écran de la page « Rangée proximale du carpe », après avoir cliqué sur l'icône fiche

Des **radiographies** de membres sains sont disponibles en cliquant sur l'icône radiographie. Par exemple, sur la figure 19, les vues de face et de profil de la phalange distale sont disponibles.

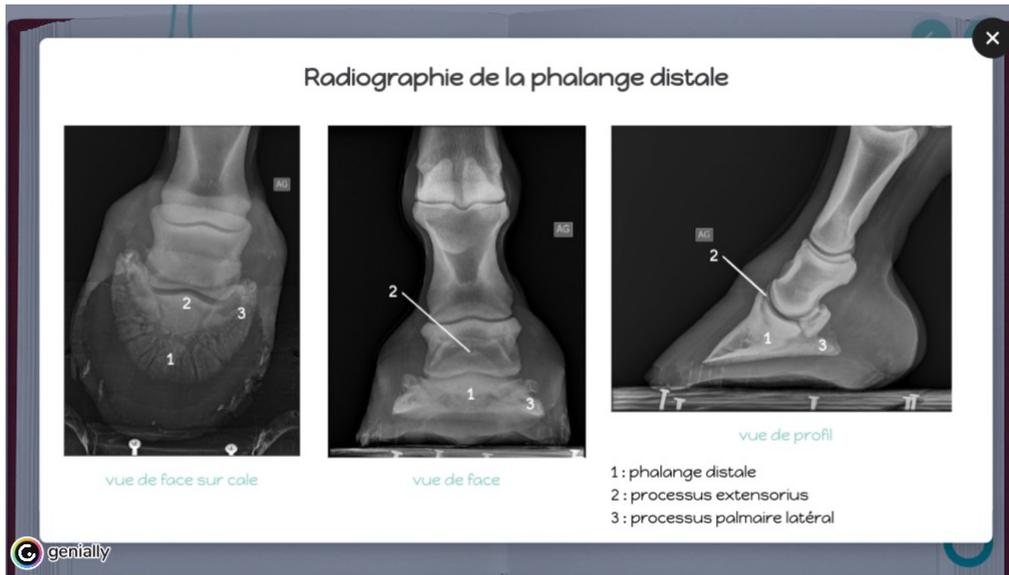


Figure 19 : Capture d'écran de la page « Phalange distale », après avoir cliqué sur l'icône radiographie

b) Arthrologie

Dans la section « Arthrologie », des **dessins anatomiques des ligaments** de chaque articulation sont visibles. Par exemple, sur la figure 20, l'articulation interphalangienne distale en vue latérale est légendée. Une vue palmaire est également disponible en cliquant sur l'icône « vue palmaire ».

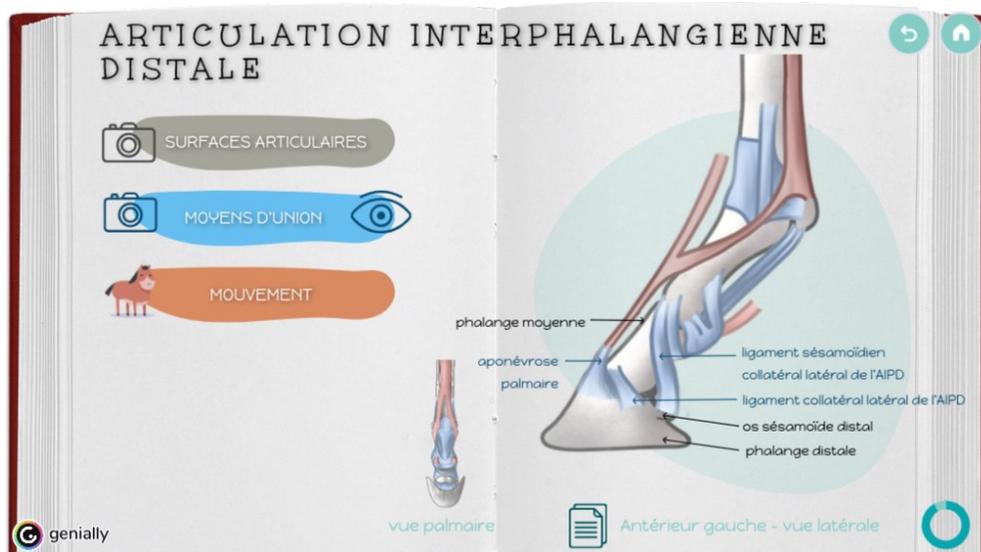


Figure 20 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale

De même, en cliquant sur l'icône fiche, la **description de l'ensemble des ligaments** de l'articulation est accessible, dans une fenêtre latérale. En fonction de la taille de la fenêtre, la position de cette dernière peut permettre de visualiser en même temps le dessin anatomique. Cela permet aux étudiants de pouvoir comparer la description textuelle à la description imagée. Une liste complète de l'ensemble des ligaments est en effet parfois nécessaire car certains ligaments ne sont pas visibles sur les dessins anatomiques fournis. Un exemple sur l'articulation interphalangienne distale est présenté en figure 21.



Figure 21 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône fiche

Les **photographies des surfaces osseuses** sont visibles en cliquant sur l'icône appareil photo de « Surfaces articulaires ». Par exemple, sur la figure 22, les surfaces articulaires de l'articulation interphalangienne distale sont délimitées par des plages de couleur.

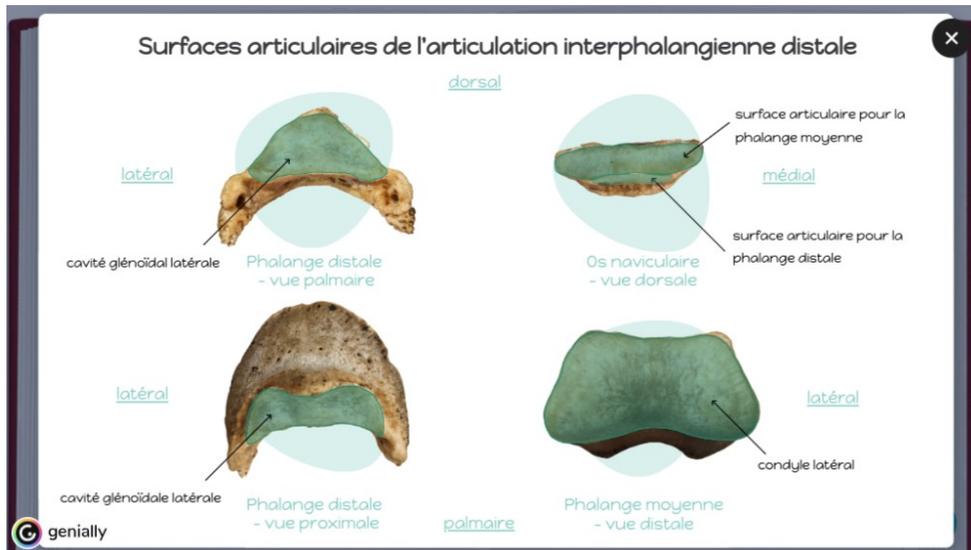


Figure 22 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Surfaces articulaires »

En cliquant sur l'icône appareil photo de « Moyens d'union », les **ligaments** listés dans la description écrite et ceux dessinés sur la page principale sont légendés sur une **photographie de dissection**. Par exemple, sur la figure 23, les ligaments de l'articulation interphalangienne sont légendés en vue latérale, avec la possibilité d'identifier leurs limites par des plages de couleur

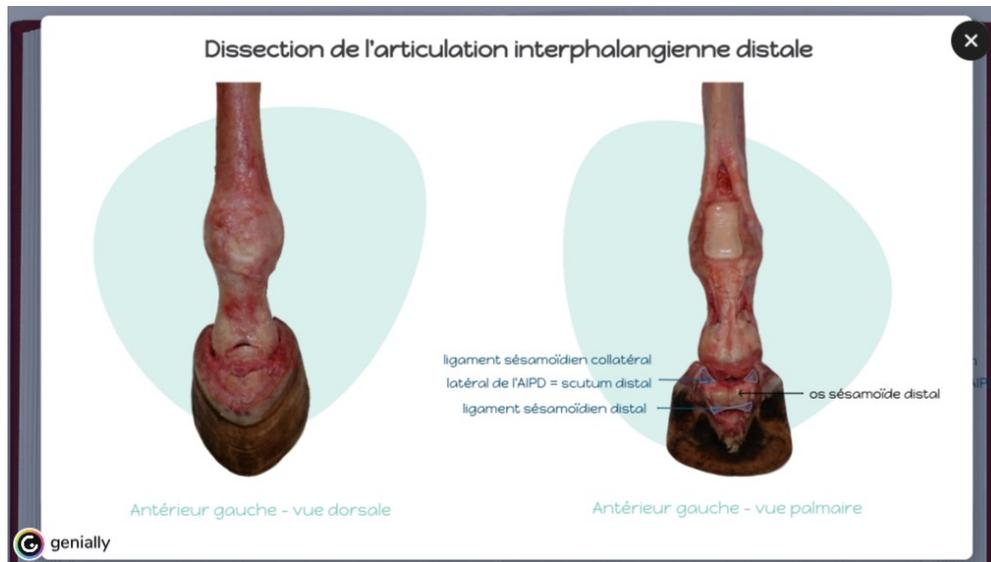


Figure 23 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue palmaire, après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Moyens d'union »

De plus, des **clichés échographiques** légendés sont disponibles en cliquant sur l'icône œil de « Moyens d'union ». Ainsi, comme montré sur la figure 24, les ligaments de l'articulation interphalangienne distale sont visibles par échographie.

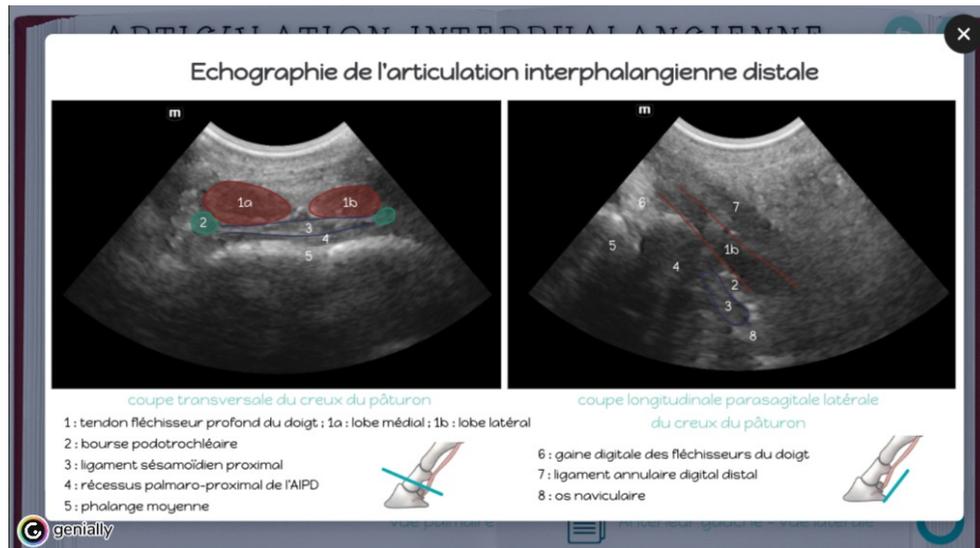


Figure 24 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône œil de « Moyens d'union »

Et enfin, les **mouvements** possibles de l'articulation sont précisés. Par exemple, sur la figure 25, les mouvements de l'articulation interphalangienne distale sont explicités dans une fenêtre centrale.



Figure 25 : Capture d'écran de la page « Articulation interphalangienne distale » en vue latérale, après avoir cliqué sur l'icône cheval de « Mouvement »

c) Myologie

En dernier lieu, pour la section « Myologie », des **dessins anatomiques des muscles et tendons** sont réalisés pour chaque élément musculaire. Par exemple, sur la figure 26, le tendon fléchisseur profond du doigt en vue latérale est dessiné et légendé.

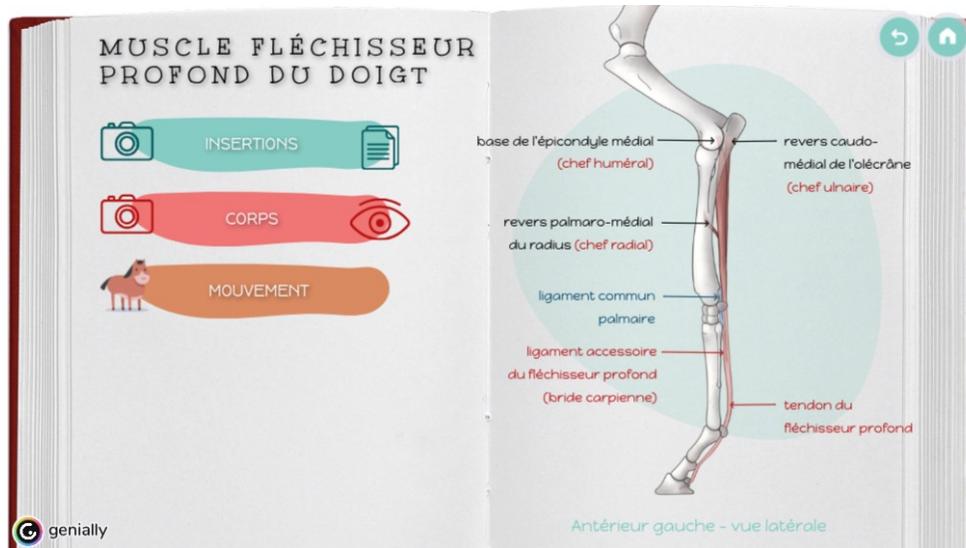


Figure 26 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt »

Une description sous forme de texte des **origines** et des **terminaisons** de certains muscles. En effet, cela permet de préciser les insertions et les éléments anatomiques particuliers, tels que les ligaments accessoires. Par exemple, les insertions proximales et distales du fléchisseur profond du doigt sont visibles sur la figure 27. Pour les autres muscles, il a été estimé que le dessin anatomique se suffisait à lui-même et qu'ajouter une description textuelle aurait été une surcharge pour l'étudiant.



Figure 27 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône fiche d'« Insertions »

Des **clichés de dissections** mettant en évidence les **zones d'insertion osseuses** sont disponibles en cliquant sur l'icône appareil photo d'« Insertions ». Par exemple, les insertions du fléchisseur profond du doigt sont visibles sur la figure 28.

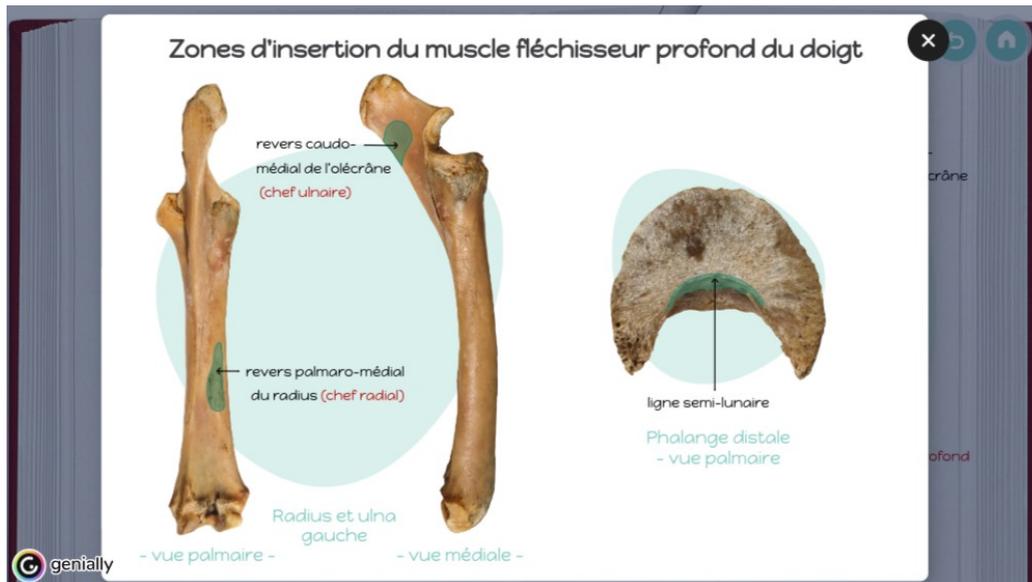


Figure 28 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo d'« Insertions »

Les corps musculaires et les tendons sont visibles sur des **clichés de dissection** légendés, comme par exemple sur la figure 29, où les différentes parties du fléchisseur profond du doigt sont délimitées par une plage de couleur.

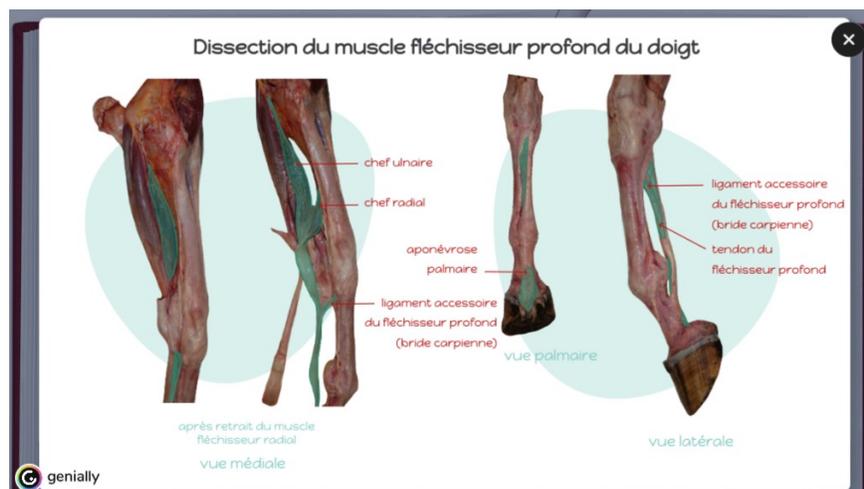


Figure 29 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône appareil photo de « Corps »

De plus, des **clichés échographiques** des corps musculaires, des tendons et éventuellement des insertions sont observables en cliquant sur l'icône œil de « Corps ». Par exemple, sur la figure 30, le tendon fléchisseur profond du doigt est visible en coupe longitudinale et transversale de la région métacarpienne moyenne. Les échographies présentées concerne en majorité les muscles mobilisant le doigt, et non les muscles antébrachiaux ou jambiers, car les échographies de ces derniers sont plus rares et la base de données du CISCO ne contenait pas d'images non lésionnelles.

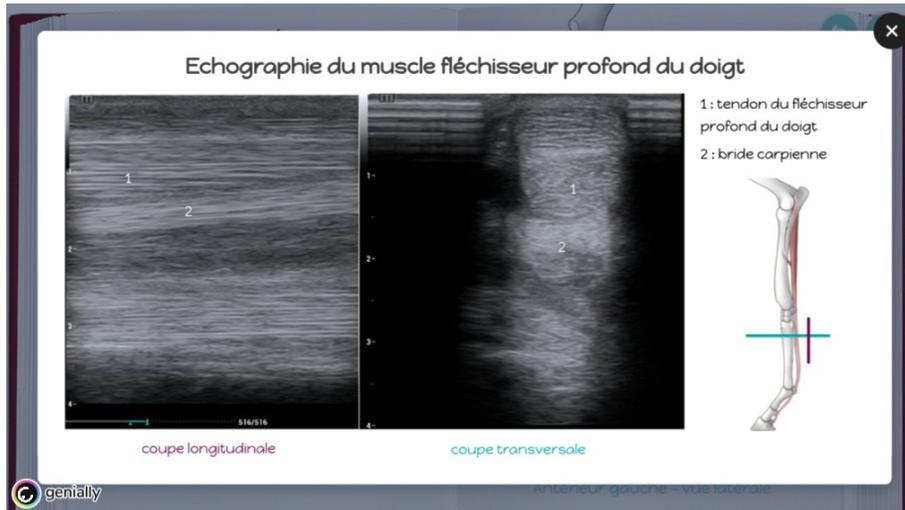


Figure 30 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône œil de « Corps »

Enfin, chaque muscle rend possible un ou plusieurs **mouvement(s)** d'une articulation. Sur la figure 31, le rôle dans le mouvement du fléchisseur profond du doigt est précisé ainsi que sur quelle articulation il agit.

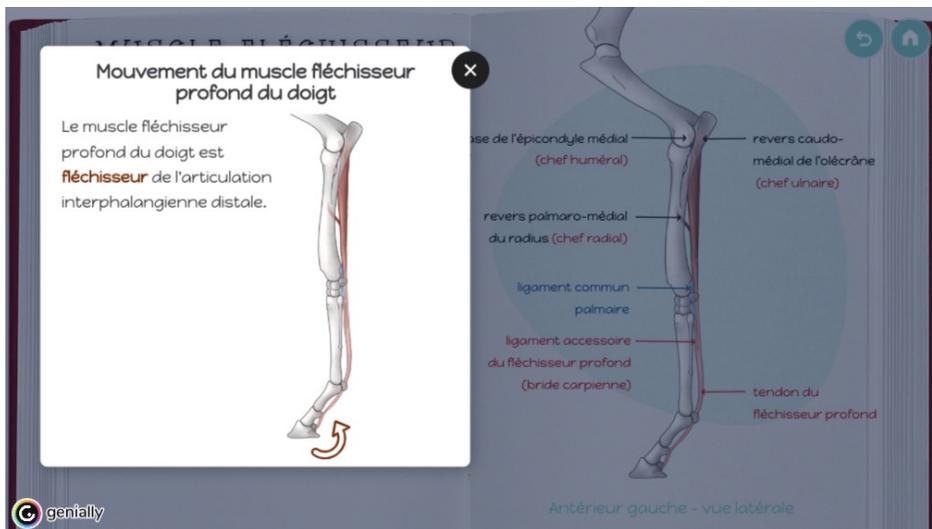


Figure 31 : Capture d'écran de la page « Fléchisseur profond du doigt », après avoir cliqué sur l'icône cheval de « Mouvement »

Au bilan, le cours est construit en trois parties (Ostéologie, Arthrologie et Myologie) pour les membres thoracique et pelvien, toutes illustrés par des dessins anatomiques. Pour la partie Ostéologie, des radiographies sont ajoutées tandis que pour les parties Arthrologie et Myologie des échographies complètent les descriptions.

3) Liens utiles

Dans cette section, l'étudiant se voit proposer divers liens vers d'autres supports anatomiques chez le cheval.

- Le site internet vet-Anatomy, qui présente des modèles anatomiques 3D, plan par plan, d'espèces différentes. Pour le cheval, seuls les clichés radiographiques sont disponibles en version gratuite.
- Le site internet « Ostéologie Comparée des Carnivores Domestiques, des Équidés et des Bovins » de l'unité d'anatomie de l'ENVA, issu d'une thèse (Rafaelli 2011)
- La section « CISCORTHO » sur le site internet CONNECT d'ONIRIS, issu d'une thèse sur l'évaluation des boiteries du cheval (Michault 2021).

4) Quiz

Lorsque l'étudiant a fini de lire et de mémoriser le cours, il a la possibilité de réaliser plusieurs quiz pour tester sa compréhension et sa mémoire.

Choix du type de questions

Le quiz est constitué de plusieurs types de question :

- **Vrai/Faux** : Les questions Vrai/Faux permettent de tester des connaissances précises sur l'anatomie (niveau cognitif « restituer ») en posant des questions fermées. Ce type de question nécessite que l'étudiant se souvienne parfaitement de la réponse. La répétition de ces questions permet l'automatisation de la réponse et sa mémorisation à terme.
- **QCM** : Les questions à choix multiples (QCM) font appel à davantage de réflexion. On reste dans un niveau cognitif « restituer », mais l'étudiant doit peser le pour et le contre de chaque proposition, ce qui s'approche d'un niveau cognitif « appliquer ». L'étudiant a le choix entre des questions à réponses uniques (QRU), des questions à réponses multiples (QRM) ou des questions à degré de certitude (QDC).
- **Radiographies et échographies à légender** : La mémoire de l'étudiant est testée sur des radiographies et échographies de membres sains (niveau cognitif « restituer»). Ce sont les mêmes radiographies et échographies que celles

présentées dans la partie cours, pour simplifier la tâche à l'étudiant et automatiser la lecture.

Construction du quiz

Le quiz a été divisé en deux parties, une sur le membre thoracique et une sur le membre pelvien pour alléger le travail de l'étudiant, qui peut commencer un des quiz une fois qu'il a terminé le cours concerné. De plus, cela évite les confusions entre les deux membres.

Ensuite pour chaque membre, les questions ont été classés dans les catégories « Ostéologie », « Arthrologie » et « Myologie », tout comme dans le didacticiel. Ainsi, à la fin de chacune de ces parties du didacticiel, l'étudiant peut tester ses connaissances.

Au sein des catégories, les questions sont réparties sous trois types, les questions du type Vrai/Faux/QCM, les radiographies à légender et les échographies à légender.

Pour chaque question, un **niveau de difficulté** lui est attribué :

- *Niveau 1* : les connaissances anatomiques fondamentales. Elles correspondent aux savoirs à acquérir en fin de première année après les cours d'anatomie. Par exemple, savoir que l'affirmation « Le carpe est composée de 6 os. » est fausse.
- *Niveau 2* : les connaissances plus complexes à appréhender mais qui ont une application pratique. Par exemple, savoir que « La surface abaxiale des os sésamoïdes proximaux est convexe » est vraie. Ces savoirs correspondent à un niveau attendu en quatrième année pour un étudiant se destinant à une pratique équine ou en cinquième année équine.
- *Niveau 3* : les connaissances difficiles, qui relève plus de la spécialisation. Ces questions sont plus adressées à des étudiants souhaitant aller plus loin et parfaire leurs savoirs anatomiques.

Le questionnaire Vrai/Faux/QCM propose à l'étudiant de choisir entre des questions de niveau 1, 2 ou 3. Les radiographies sont considérées comme du niveau 2, car il est nécessaire que l'étudiant ait des notions d'imagerie pour pouvoir lire une radiographie. Les échographies sont considérées de niveau 2 ou 3, en fonction de la difficulté. Par exemple, des échographies de la gaine des fléchisseurs en région métacarpienne doivent être comprises par les étudiants de cinquième année (niveau 2) tandis qu'une échographie de bourse trochléaire sera plus probablement réalisée par un spécialiste (niveau 3).

Enfin, chaque question est associée à un unique **objectif d'apprentissage**. En effet, cela permet à l'étudiant, dans le cadre d'une évaluation formative, de se concentrer sur son processus d'apprentissage. Les questions mélangeant les objectifs d'apprentissage nécessitent une vision globale de l'anatomie et relèvent plutôt de l'évaluation sommative, une fois que l'étudiant a bien assimilé et compris les connaissances.

Prenons un exemple pour illustrer nos propos. La figure 32 présente la question « Associer les noms des faces de la phalange distale à leur description ». C'est une QDC, où l'élève doit associer les réponses qui lui semblent correspondre avec un certain degré de certitude. Cette question est de niveau 3, comme indiqué par les trois étoiles, et elle est associée à l'objectif d'apprentissage MTO3 (voir annexe 7). On la trouve dans le questionnaire Vrai/Faux/QCM de la partie Ostéologie du membre thoracique.

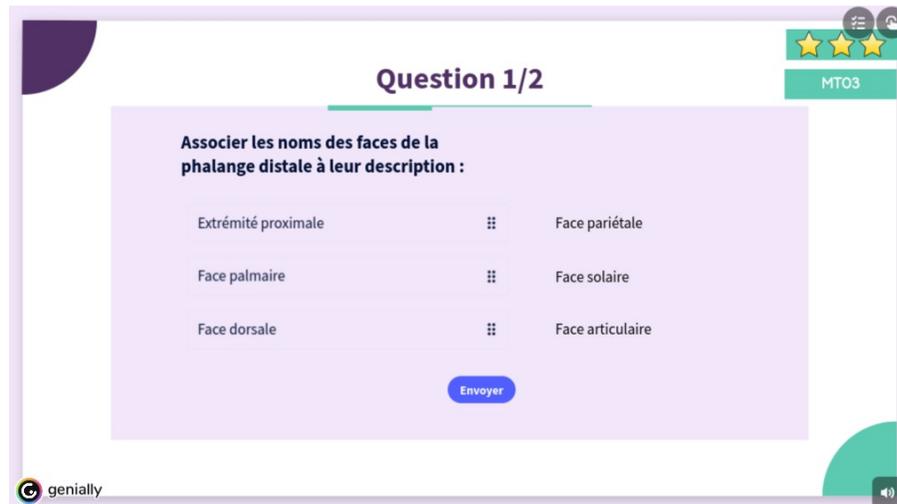


Figure 32 : Capture d'écran de la première question du questionnaire de niveau 3, sur l'Ostéologie du membre thoracique

Ensuite, la page suivante, sur la figure 33, présente la correction. Une partie du cours est rappelée que l'étudiant ait donné une réponse correcte ou non. Cela permet d'ancrer plus durablement les connaissances.

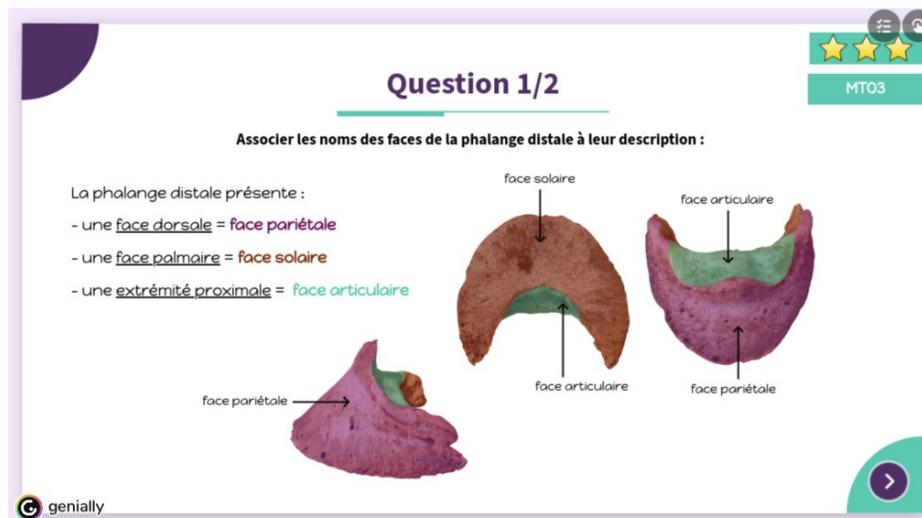


Figure 33 : Capture d'écran de la réponse à la première question du questionnaire de niveau 3, sur l'Ostéologie du membre thoracique

La partie quiz permet de tester la mémoire de l'étudiant, en proposant un questionnaire écrit mais aussi des radiographies et échographies à légender. L'étudiant peut choisir de réaliser ces quiz à n'importe quel moment du didacticiel et peut adapter le niveau de difficulté à son année d'étude ou à son avancée dans le didacticiel.

B) Mise à disposition des étudiants

Le projet est disponible sur la plateforme interne à ONIRIS, appelée CONNECT, dans la section « Supports transversaux ». Cette section est accessible à tous les étudiants ayant des codes d'accès à la plateforme CONNECT.

De plus, les fichiers sont accessibles aux liens suivants :

- Cours d'introduction :

<https://view.genially.com/669e8971c6210fcb57a28432/presentation-menu-principal>

- Cours sur le membre thoracique :

<https://view.genially.com/669e88e3c6210fcb57a22289/presentation-cours-sur-le-membre-thoracique>

- Cours sur le membre pelvien :

<https://view.genially.com/6440e90a4d69ff00186decc7/presentation-cours-sur-le-membre-pelvien>

- Quiz sur le membre thoracique :

<https://view.genially.com/653677631c3e7b001132de33/interactive-content-membre-thoracique-quizz>

- Quiz sur le membre pelvien :

<https://view.genially.com/66d435949c5024c4c067766d/interactive-content-membre-pelvien-quizz>

IV) Discussion

L'objectif du projet est de produire un support pédagogique à destination des étudiants vétérinaires pour aider à l'apprentissage de l'anatomie. Nous allons voir à présent si le projet final respecte bien les principes exposés en première partie. De plus, pour chaque point non respecté, nous proposerons des pistes d'amélioration.

A) Un didacticiel qui permet d'optimiser l'apprentissage

En premier lieu, d'après les mécanismes cognitifs de l'apprentissage, un support pédagogique idéal doit entretenir la **motivation** de l'élève. Le tableau I résume l'application dans le projet de chaque déterminant de la motivation.

Tableau I : Application du principe « Entretien de la motivation » dans la création du didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|--|---|
| Donner de la valeur au travail de l'élève | Replacer l'anatomie comme une compétence essentielle du vétérinaire * Faire le lien avec une utilisation future ** |
| Attribuer des émotions positives au succès | L'élève est responsable de son propre succès : forte stabilité et contrôlabilité Retour positif en cas de succès |
| Promouvoir l' auto-efficacité | Encourager l'élève (rôle de l'icône cheval) |
| Laisser l'élève en auto-régulation | Présence d'objectifs d'apprentissage avec possibilité de sélectionner ceux intéressants Libre choix de passer des séquences |
| Favoriser le sentiment d' accomplissement | Donner des objectifs de maîtrise Favoriser la performance absolue et non relative (pas de possibilité de se comparer aux autres) |
| Promouvoir le sentiment de compétence et d' appartenance | Proposer un défi adapté au niveau de l'élève *** Donner un retour positif Environnement calme et respectueux |

* Il à noter que le didacticiel ne replace pas de lui-même l'anatomie au centre des compétences vétérinaires. Ce rôle est néanmoins rempli par les explications données, en première partie bibliographique, sur la place de l'anatomie au sein du cursus vétérinaire.

** Les connaissances apportées par le support ne font pas réellement le lien avec une pratique en clinique. En effet, notamment pour les clichés radiographiques et échographiques, aucune information sur les signes cliniques du cheval ne sont données. L'idée de ce support reste d'offrir des connaissances de base en anatomie et imagerie topographique, mais ne donne pas de piste pour le diagnostic de boiterie.

*** Dans la partie cours, il n'y a pas d'adaptation au niveau de l'élève. Nous pensons notamment à la forte différence de compréhension de l'anatomie équine entre les étudiants de première année, qui découvrent l'anatomie, et les étudiants de cinquième année équine, qui cherchent à se spécialiser. Au vu de la quantité d'informations et de la présence d'images radiographiques et échographiques, le support de cours est sans doute plus adapté à un niveau de quatrième ou cinquième année. Toutefois, dans la partie quiz, les questions ont été adaptées en fonction du niveau de l'étudiant.

Ensuite, dans une optique d'**apprentissage actif**, le support pédagogique doit placer l'élève au centre de son apprentissage. Le tableau II résume l'application dans le projet des principes d'apprentissage actif.

Tableau II : Application du principe « Placer l'élève au centre de son apprentissage » dans la création du didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|---|--|
| Rendre l'élève actif | Navigation libre Rythme non imposé |
| Promouvoir l'apprentissage en profondeur | Motivation favorisée Méthodes de travail personnalisées Rattachement à un ensemble de connaissances * |
| Favoriser l'autonomie de l'élève | Pas de nécessité de supervision par l'enseignant Choix du mode de présentation : possibilité de n'afficher que les éléments choisis Choix du mode d'évaluation : auto-évaluation grâce à des quiz |

* De la même manière qu'expliqué pour le tableau I, le support pédagogique ne fait pas de lien avec le diagnostic des maladies, ni sur l'imagerie lésionnelle et reste uniquement ciblé sur des connaissances anatomiques fondamentales.

En outre, lors de la construction d'un support dédié à des étudiants, il est important de respecter l'**alignement pédagogique**. Le tableau III résume l'application dans le projet des principes de cet alignement pédagogique.

Tableau III : Application dans le projet du principe « Respecter l'alignement pédagogique » dans la création du didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|---|---|
| Présenter des objectifs d'apprentissage | <p>(1) Pas d'indication de date limite : c'est l'étudiant que se fixe une date *</p> <p>(2) Définition précise des connaissances à acquérir</p> <p>(3) Pas d'indication de condition de réussite : c'est l'étudiant qui se fixe un pourcentage de réussite **</p> |
| Adapter les activités pédagogiques | <p>Niveau cognitif « restituer » : présentation des connaissances à acquérir</p> <p>Niveau cognitif « appliquer » : pas de présentation de lésions ***</p> |
| Adapter les méthodes d'évaluation | <p>Niveau cognitif « restituer » : vrai/faux (nommer et quantifier les structures, connaître leurs relations) et légendes (nommer et reconnaître les structures), radiographies et échographies (reconnaître les structures)</p> <p>Niveau cognitif « appliquer » : absence</p> <p>Niveau cognitif « évaluer » : absence</p> |

* Aucune échéance limite n'est indiquée. Cela laisse à l'étudiant la liberté de choisir le temps qu'il lui est nécessaire pour finir le module. Toutefois, la progression au sein de chaque module est indiquée à l'étudiant, pour qu'il puisse suivre son avancée.

** Aucune note à atteindre pour les quiz n'est indiquée. Ainsi, l'étudiant se fixe lui-même une note minimale à atteindre, correspondant au niveau qu'il estime satisfaisant. Cela renforce le principe d'auto-détermination.

*** Il a été choisi de ne présenter que des radiographies et échographies de membres sains. En effet, le didacticiel est déjà long et son objectif est uniquement de présenter des éléments anatomiques en taille, forme et position physiologique. Ainsi, pour ce didacticiel, on reste au niveau cognitif « restituer », mais les connaissances à restituer sont déjà suffisamment

nombreuses. Pour augmenter de niveau cognitif, autrement dit passer au niveau « appliquer », il faudrait présenter les images lésionnelles, ou bien aller vers le niveau « évaluer », il faudrait y associer un diagnostic et un pronostic.

Par ailleurs, nous avons expliqué qu'un bon support pédagogique limite la **surcharge cognitive** en agissant sur ses trois composantes (intrinsèque, extrinsèque et essentielle), comme le résume le tableau IV.

Tableau IV : Application du principe « Limiter la surcharge cognitive » dans la création du didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|---|---|
| Limiter la charge intrinsèque | Du simple au compliqué : commencer par la description des structures, puis leur relations anatomiques et finir par leur rôle dans le mouvement |
| Limiter la charge extrinsèque | Présentation multimodale ? pas d'utilisation du canal auditif * Redondance de contenu ? informations recoupées entre un schéma et un texte présent sur la même page ** Redondance de modalité ? si informations différentes, elles sont présentées sous la même modalité Exemples travaillés ? absence *** Tâches non orientées ? absence **** Tâches complétives ? quiz Attention divisée ? découpage de l'information au niveau temporel |
| Agir sur la charge essentielle | Variabilité ? uniquement chez le cheval adulte ***** Auto-explication ? il est demandé à l'étudiant de chercher la réponse à la question avant de la donner |

* Le canal auditif n'est pas exploité dans ce support : aucune narration n'est proposée à l'étudiant. La question d'ajouter de la musique s'est posée, car cela été décrit dans certains cas comme relaxant par les étudiants, mais dans d'autres cas cela représentait une distraction, voire cela agaçait les étudiants. Il a donc été choisi de ne pas utiliser de musique. Cependant, quelques animations sonores sont présentes dans la partie quiz pour dynamiser la présentation et la rendre plus ludique.

** Dans ce didacticiel, il existe une forte redondance de contenu. Comme nous l'avons montré, pour les étudiants en début de cursus, ce type de redondance peut provoquer une forte surcharge cognitive, tandis que les étudiants plus avancés apprécient d'avoir une compilation de sources différentes. Cependant, le mode de présentation permet de pallier ce problème. En effet, l'étudiant doit cliquer sur les icônes pour afficher des informations supplémentaires, ce qui fait que la page principale est peu chargée en éléments. Donc, l'étudiant peut uniquement regarder le schéma synthétique s'il le souhaite.

*** En anatomie, il n'y a pas d'exercices à réaliser en application du cours. C'est uniquement en imagerie topographique qu'il y a une application clinique (trouver des lésions). Comme expliqué dans le tableau III, il a été choisi de ne pas faire de cours sur les lésions radiographiques et échographiques ni d'exemples associés.

**** Dans la plupart des cas, les objectifs sont très orientés, par exemple citer le nombre exact d'os dans le tarse. Pourtant, proposer une tâche non orientée, par exemple citer le maximum d'os dans le tarse, est plus gratifiant pour l'élève. Toutefois, comme l'objectif est que l'élève sache citer précisément le nombre d'os, ce n'est pas une activité adaptée.

***** Pour les photos de dissection, le cheval disséqué était un cheval adulte. Il n'y a pas de photographie d'une dissection d'un jeune cheval ou d'un poulain dans le didacticiel. De plus, le cheval disséqué est assez âgé et présente des fortes lésions de prolifération osseuses. Cela modifie un peu l'aspect des os, mais les reliefs majeurs sont conservés.

Enfin, un support anatomique à destination des étudiants vétérinaires se doit fournir un **contenu scientifique**, comme résumé dans le tableau V.

Tableau V : Application du principe « Fournir un contenu scientifique » dans la création du logiciel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|---|--|
| Donner des informations correctes | Dessins inspirés de planches anatomiques |
| Donner des informations précises et complètes * | Réalisme des dessins anatomiques Photos issues de dissections fines |

* Le titre du didacticiel est « Anatomie de la main et du pied du cheval » donc le sujet se limite à l'autopode. Cela est précisé en début de module.

Au bilan, le didacticiel rassemble la majorité des caractéristiques idéales d'un support pédagogique : il entretient la motivation de l'élève, qu'il place au centre d'un apprentissage actif et dynamique, tout en limitant la surcharge cognitive. L'alignement pédagogique est respecté car les objectifs sont énoncés clairement et les activités permettent de répondre à ces objectifs. Enfin, la rigueur scientifique a été le mot d'ordre lors de la construction de ce didacticiel afin de fournir un contenu anatomique fidèle et complet.

B) Un outil numérique au service de l'apprentissage de l'anatomie

Nous avons fait le choix d'un support dématérialisé, il se doit donc exploiter au mieux les possibilités du **numérique**. Le tableau VI résume les avantages d'un support numérique.

Tableau VI : Application des possibilités du numérique dans la création du didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|--|---|
| Provoquer de l'intérêt et de l'engagement cognitif | Nombreuses ressources disponibles Augmentation du temps passé à explorer le support |
| Stimuler l'interactivité | Navigation provoquée par l'utilisateur Boutons interactifs Présence régulière de questions Pas de stimulation du sens haptique * |
| Être facilement accessible | Disponible en ligne Nécessite uniquement une connexion internet Pas disponible pour les étudiants des autres écoles vétérinaires ** |
| Savoir s'adapter | Différentes modalités de présentation proposées Pas d'adaptation en fonction du niveau de l'étudiant |
| Promouvoir l'autonomie | Pas de nécessité de supervision par l'enseignant |

| | |
|--|---|
| | Quiz permettant l'auto-évaluation Libre choix de passer des séquences |
| Permettre un lien avec le formateur et avec les autres étudiants | Pas de forum ni d'adresse courriel *** |
| Inclure la formation de l'étudiant à son utilisation | Présence d'un tutoriel en début de module |
| Limiter le surcoût énergétique | Nécessite un ordinateur et une connexion internet **** Pas d'autre matériel nécessaire |

* L'absence de visualisation et de manipulation en trois dimensions fait défaut dans le projet. Avec les outils dématérialisés, l'étudiant ne peut pas toucher les éléments anatomiques ni les faire s'emboîter entre eux.

** L'inconvénient des travaux de thèse partagés sur les plateformes numériques des écoles est qu'ils ne sont accessibles qu'aux étudiants vétérinaires des écoles concernées. De plus, l'accès se fait uniquement au cours de leur cursus et il est impossible une fois sorti d'école. L'audience de ces thèses reste finalement limitée.

*** Le lien enseignant-étudiant et l'interaction étudiant-étudiant ne sont pas favorisés car il n'y a pas de possibilité de communiquer entre étudiants et avec le formateur. Cependant, le didacticiel est inclus sur la plateforme CONNECT sur laquelle un forum existe. De plus, les étudiants ont toujours la possibilité de poser leur question aux enseignants lors des cours magistraux.

**** Une des seules véritables limites de ce didacticiel est qu'il nécessite d'être équipé avec du matériel informatique. De plus, le format étant issu d'une application en ligne, une bonne connexion internet est nécessaire, notamment pour permettre une navigation fluide. A l'heure actuelle, la plupart des foyers sont équipés en ordinateurs et, le cas échéant, le centre de documentation met à disposition des postes informatiques.

Enfin, l'avantage d'un support numérique est qu'il est possible d'intégrer des questionnaires d'**évaluation formative**, qui peuvent donner un retour rapide car leur correction est automatisée. Le tableau VII résume les caractéristiques idéales d'une évaluation formative.

Tableau VII : Application du principe d'évaluation formative dans le didacticiel (production personnelle)

| D'après la bibliographie, le projet se doit de ... | Est-ce le cas ? Vert = oui, Rouge = non |
|---|---|
| Présenter une évaluation formative | Questionnaire réalisable en autonomie |

| | |
|--|--|
| | Pas de note minimale à obtenir Présence d'évaluations diagnostiques et ultérieures |
| Donner un retour constructif | Feedback pour chaque question : la réponse correcte est donnée + des justifications sont apportées Pas de lien direct avec l'enseignant * |
| Limiter le stress et encourager le sentiment de compétence | Environnement respectueux et sans jugement de valeur |
| Adapter au niveau de l'étudiant | Classement des questions par niveau |
| Construire un QCM | Questions claires à la forme affirmative Répartition homogène et aléatoire des questions Pas de contexte clinique ** Propositions de taille et de construction similaires |

* Comme expliqué dans le tableau V, il n'y a pas de contact direct avec l'enseignant. Les retours donnés sont le plus précis possibles mais ils ne remplacent pas les explications orales d'un enseignant. Ce dernier peut apporter des précisions, en s'appuyant sur des schémas complémentaires ou faire une démonstration avec des pièces anatomiques.

** Comme expliqué dans le tableau I, il a été fait le choix de ne pas inclure de données cliniques pour limiter la surcharge de contenu.

La particularité de ce support est d'être dématérialisé et donc d'être facilement accessible. Ses caractéristiques essentielles en font un support interactif, sécuritaire et favorisant l'apprentissage en autonomie de l'anatomie. L'intégration d'une évaluation formative avec des retours constructifs est également un atout majeur du projet. Toutefois, certaines potentialités sont encore à explorer.

C) Perspectives d'amélioration

1) Adapter le contenu

Tout d'abord, il est possible d'améliorer d'avantage le contenu du didacticiel. En effet, les informations sont quasi complètes sur la partie autopode du cheval mais cela laisse la porte ouverte à compléter ce module en réalisant le même travail pour le stylopode et le zeugopode. De plus, il pourrait être intéressant de produire un support

pédagogique qui présente les éléments anatomiques différents entre les jeunes et les chevaux âgés. Il serait de même très instructif de réaliser une anatomie comparée avec l'âne.

De plus, les **gainnes synoviales** n'ont pas été détaillées, à part la bourse podotrochléaire, car c'est un élément anatomique spécifique au cheval. Il a été envisagé d'inclure dans le projet une description des gainnes synoviales, accompagnée d'une dissection de ces gainnes, avec injection de produit pour les mettre en évidence. Toutefois, n'ayant eu à notre disposition qu'un seul membre thoracique et un seul membre pelvien, il a été décidé de ne pas injecter les bourses.

Ensuite, nous avons mis en évidence que le projet ne s'adaptait pas systématiquement au **niveau** de l'étudiant. Il serait intéressant de pouvoir intégrer au didacticiel une section préliminaire, qui demanderait à l'étudiant d'indiquer son niveau (en année universitaire). De cette manière, le didacticiel pourrait proposer une densité de contenu et un niveau de détail adapté au niveau de l'élève. De même, le quiz pourrait proposer des questions de niveau adapté à l'année universitaire.

2) Exploiter toutes les possibilités du numérique

En outre, bien que le didacticiel propose une large variété de modalités d'apprentissage (photographies, dessins, textes), la visualisation en trois dimensions manquent à l'appel. L'intégration d'une **animation en vidéo** pourrait permettre aux étudiants d'avoir une représentation virtuelle d'un membre de cheval en mouvement.

Dans la continuité de l'utilisation des nouvelles technologies, il serait intéressant de développer un **logiciel** pédagogique dans lequel l'étudiant a la possibilité de visualiser plan par plan les structures en déplaçant le membre sur un axe tri-dimensionnel. Il pourrait sélectionner une structure et obtenir des informations sur sa taille, sa forme etc. De plus, il pourrait manipuler le membre afin de savoir quelles structures sont impliquées dans tel ou tel mouvement. Il existe peu voire pas de logiciels gratuits sur l'anatomie du cheval qui permettent ces possibilités. La création d'un logiciel demande en effet des fonds financiers. Cela pourrait cependant constituer un travail intéressant de thèse, pour peu que la personne souhaitant le réaliser ait déjà des connaissances en codage informatique ou bien se fasse aider par un expert. En effet, la modélisation en trois dimensions est complexe et chronophage. Elle avait été envisagée au début de la création du projet, mais rapidement abandonnée par manque de temps et de compétences. Elle constitue toutefois une perspective d'avenir intéressante.

Par ailleurs, il n'y a pas de **narration** dans ce didacticiel. Pour convenir aux étudiants qui apprécient les informations orales, un commentaire audio pourrait être ajouté sur une animation visuelle. Une autre possibilité serait que les étudiants aient le choix entre une description audio ou une description textuelle lorsqu'ils cliquent sur l'icône fiche d'un élément. Les informations seraient alors réparties entre le canal visuel et auditif.

De plus, le sens haptique n'est pas touché de ce support. Or, nous l'avons montré en première partie, les élèves apprécient manipuler, car cela améliore leur visualisation spatiale et favorise le processus de mémorisation. L'idéal serait de pouvoir laisser des pièces anatomiques à disposition des étudiants, pour qu'ils puissent les manipuler en parallèle du support explicatif. Cela leur permettrait de se rendre compte de l'emboîtement des pièces osseuses entre elles, du mouvement possible pour chaque articulation. Un **mannequin** avec des pièces osseuses qui peuvent bouger, avec par exemple des cordes pour représenter les muscles et le mouvement qu'ils provoquent, pourrait être une idée de projet.

Enfin, il serait possible de proposer des « **fiches résumés** » par éléments anatomique, qui condensent les informations concernant ces éléments en une page. Les étudiants pourraient alors les imprimer, pour une révision ultérieure. Cette option a été envisagée, cependant, il est ressorti qu'il serait sans doute plus bénéfique de favoriser l'étudiant à produire de lui-même sa propre fiche de révision. En effet, il peut alors la construire comme il le souhaite et le simple fait de réfléchir à son organisation favorise le processus de mémorisation.

3) Intégration du didacticiel sur une échelle plus large

L'une des limites du didacticiel est de ne pas s'intégrer dans un **contexte clinique et pathologique**. L'intégration d'un cours sur les maladies ostéo-articulaires et les images lésionnelles associées pourrait constituer un projet futur. Par la suite, le quiz pourrait alors contenir des questions intégrées dans un cas clinique.

De plus, le projet est pour le moment uniquement disponible pour les étudiants nantais. Ce problème récurrent pourrait ouvrir la voie à la création d'une **plateforme pédagogique** partagée entre les quatre écoles vétérinaires. De plus, il serait idéal d'inclure la possibilité de continuer à la consulter après la sortie d'école. Il est vrai que les étudiants prennent souvent l'initiative de se partager des fiches de révisions via des plateformes de partage en ligne mais elles n'offrent pas toujours la possibilité d'interagir entre utilisateurs. Par ailleurs, les informations stockées dans ces fiches sont rarement corrigées ou révisées. Une plateforme éducative commune aux écoles vétérinaires pourrait permettre de mettre à disposition des outils pédagogiques mis à jour régulièrement par les équipes enseignante. Elle permettrait aux étudiants de conserver le contact avec les formateurs mais aussi d'interagir avec les étudiants des autres écoles.

Cependant, bien que ce projet semble très alléchant, une limite majeure se dessine. En effet, la réalisation d'un didacticiel est très **chronophage** : pour le support présenté dans cette thèse, cela représente des semaines entières dédiées uniquement à sa production. De plus, si un forum est inclus dans le support, cela demande du temps supplémentaire pour répondre aux étudiants, modérer les discussions du forum et mettre à jour les informations.

Toutefois, les interrogations que nous avons soulevées précédemment peuvent ouvrir la porte à la discussion sur une intégration à large échelle des outils pédagogiques numériques en écoles vétérinaires, sur l'anatomie mais aussi pour l'ensemble des autres matières enseignées.

Au bilan, il serait très profitable au projet d'avoir un retour de la part des étudiants sur les modalités d'apprentissage proposées. Bien qu'il soit impossible de produire un support pédagogique qui convienne à l'ensemble des étudiants, cela permettrait de savoir si le didacticiel proposé répond aux attentes des étudiants, s'ils ont trouvé son utilisation facile, quels sont les points à améliorer etc. Ce retour pourrait se faire via un questionnaire distribué aux étudiants ayant utilisé le support ou bien au sein d'un forum mis à disposition dans la même section.

CONCLUSION

L'anatomie est une discipline fascinante mais exigeante en termes de compréhension et de représentation spatiale mais aussi de mémoire. La richesse et la variété des éléments anatomiques et des relations qu'ils entretiennent entre eux participent à la difficulté de son apprentissage et au fréquent découragement des étudiants. Le rôle de l'enseignant en anatomie est de les aider à mieux visualiser et de leur fournir des outils pour améliorer leur mémoire. Avec l'ère du numérique, il est devenu maintenant possible de réaliser des supports pédagogiques interactifs pour aider l'enseignant dans cette tâche.

En effet, les modules numériques ont l'avantage de pouvoir se diffuser facilement et de compiler un ensemble de données en un seul support. De plus, ils favorisent l'autonomie et la motivation des étudiants, ce qui est nécessaire à l'heure où les classes sont de plus en plus remplies et où l'enseignant ne peut répondre aux besoins spécifiques de chaque élève. En proposant des activités ludiques et variées, chacun y trouve son compte et progresse à son rythme. Loin de remplacer l'enseignant, ces supports pédagogiques sont un véritable soutien pour ce dernier et viennent en complément de leur enseignement fourni.

Ainsi, la réalisation d'un module interactif sur l'anatomie des membres du cheval permet aux étudiants de travailler leurs connaissances sur ces structures anatomiques en parallèle de leur cursus. Ce support pédagogique a été construit en s'appuyant sur les principes théoriques de l'apprentissage et de l'alignement pédagogique, tout en plaçant les élèves au centre de leur propre formation. Il propose une navigation autonome au sein d'un environnement interactif. Le contenu scientifique s'appuie sur des dessins anatomiques, des photographies de dissection et des clichés radiographiques et échographiques légendés et commentés. De plus, la présence d'un quiz permet de tester la mémoire des apprenants, à la fin du module, mais aussi tout au long de leurs années d'étude. C'est donc un support qui s'inscrit tout à fait au sein de l'enseignement d'une école vétérinaire.

A terme, il serait intéressant de compléter le support produit pour les parties des membres non abordées, mais aussi de continuer à produire le même type de module pour l'ensemble de l'anatomie du cheval. Par exemple, un module numérique sur l'anatomie digestive du cheval serait notamment extrêmement profitable pour les étudiants. En effet, la connaissance de cette dernière est indispensable à la gestion des coliques, un autre domaine de la médecine équine tout aussi important que les affections locomotrices.

Liste des références bibliographiques

ABOUHASHEM, Yousef, DAYAL, Manisha, SAVANAH, Stephane et ŠTRKALJ, Goran, 2015. The application of 3D printing in anatomy education. *Medical Education Online*. 1 janvier 2015. Vol. 20, n° 1, pp. 29847. DOI 10.3402/meo.v20.29847.

ACADÉMIE FRANÇAISE, 1992. *Dictionnaire de l'Académie française* [en ligne]. 9. Disponible à l'adresse : <https://www.dictionnaire-academie.fr/> [Consulté le 25 avril 2024].

AKTAN, Ilknur, 2023. Playful learning trial in learning comparative anatomy. In : *Sustainable Veterinary Education*. Edinburgh, Ecosse. 7 juillet 2023.

ALBERS, Fabian, TRYPKE, Melanie, STEBNER, Ferdinand, WIRTH, Joachim et PLASS, Jan L., 2023. Different types of redundancy and their effect on learning and cognitive load. *British Journal of Educational Psychology*. 2023. Vol. 93, n° S2, pp. 339-352. DOI 10.1111/bjep.12592.

ALMOHAIMEDE, Amal A., 2022. Comparison between students' self-evaluation and faculty members' evaluation in a clinical endodontic course at King Saud University. *European Journal of Dental Education*. 2022. Vol. 26, n° 3, pp. 569-576. DOI 10.1111/eje.12733.

Art mobilier, 2024. *Hominides* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.hominides.com/art-prehistorique/art-mobilier/> [Consulté le 15 juillet 2024].

Art mobilier - Les objets gravés ou sculptés de la préhistoire en os, en bois, en pierre, en ivoire, décorés de figures animales, humaines...

AUBERT, Maxime, LEBE, Rustan, OKTAVIANA, Adhi Agus, TANG, Muhammad, BURHAN, Basran, HAMRULLAH, JUSDI, Andi, ABDULLAH, HAKIM, Budianto, ZHAO, Jian-xin, GERIA, I. Made, SULISTYARTO, Priyatno Hadi, SARDI, Ratno et BRUMM, Adam, 2019. Earliest hunting scene in prehistoric art. *Nature*. décembre 2019. Vol. 576, n° 7787, pp. 442-445. DOI 10.1038/s41586-019-1806-y.

AVELINE, Philippe et KREMER, Gilles, [sans date]. L'hippiatrie : de l'Antiquité à Bourgelat - Claude Bourgelat, pionnier de la médecine vétérinaire (3/4). *Gallica* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/blog/14022023/lhippiatrie-de-lantiquite-bourgelat?mode=desktop> [Consulté le 26 avril 2024].

BADDELEY, Alan, 2012. Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*. 2012. Vol. 63, pp. 1-29. DOI 10.1146/annurev-psych-120710-100422.

BIGGS, John B., 1987. *Student Approaches to Learning and Studying*. Research Monograph. [en ligne]. Australian Council for Educational Research Ltd., Radford House, Frederick St., Hawthorn

3122, Australia. ISBN 978-0-85563-416-2. Disponible à l'adresse : <https://eric.ed.gov/?id=eD308201> [Consulté le 25 avril 2024].

BIGGS, John, TANG, Catherine et KENNEDY, Gregor, 2022. *Teaching for Quality Learning at University*. 5e. McGraw-Hill Education (UK). ISBN 978-0-335-25083-7.

BUFFON, 2014. Chérubins et animaux. In : *Histoire Naturelle* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buffon,_cherubs_and_animals_in_%22Histoire_naturelle%22_Wellcome_L0012683.jpg [Consulté le 14 juillet 2024].

CHEKOUR, Mohammed, 2015. L'évolution des théories de l'apprentissage à l'ère du numérique. [en ligne]. 2015. Disponible à l'adresse : <https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1502b.htm#BPAGE> [Consulté le 25 avril 2024].

CHEUNG, Chun Chung, BRIDGES, Susan M. et TIPOE, George L., 2021. Why is Anatomy Difficult to Learn? The Implications for Undergraduate Medical Curricula. *Anatomical Sciences Education*. novembre 2021. Vol. 14, n° 6, pp. 752-763. DOI 10.1002/ase.2071.

CHEVALIER, Camille, 2021. *Dessins anatomiques sur cheval : apports pédagogiques et intérêts pratiques en formation initiale dans les études vétérinaires - appareil locomoteur et système nerveux* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Disponible à l'adresse : <https://oatao.univ-toulouse.fr/28312/> [Consulté le 25 avril 2024].

CHRISTIAN, 2011. Chevaux de la grotte du Pech Merle : réalistes et non symboliques ? *Hominides* [en ligne]. 9 novembre 2011. Disponible à l'adresse : <https://www.hominides.com/chevaux-de-la-grotte-du-pech-merle-realistes-et-non-symboliques/> [Consulté le 15 juillet 2024].

CHRISTOPHE, Jean, 2019. Les Digital Natives existent-ils vraiment ? *Le Soir* [en ligne]. 11 mars 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.lesoir.be/279518/article/2019-03-11/les-digital-natives-existent-ils-vraiment> [Consulté le 25 avril 2024].

COOK, David A. et ARTINO, Anthony R., 2016. Motivation to learn: an overview of contemporary theories. *Medical Education*. octobre 2016. Vol. 50, n° 10, pp. 997-1014. DOI 10.1111/medu.13074.

COUGHLIN, P. A. et FEATHERSTONE, C. R., 2017. How to Write a High Quality Multiple Choice Question (MCQ): A Guide for Clinicians. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 1 novembre 2017. Vol. 54, n° 5, pp. 654-658. DOI 10.1016/j.ejvs.2017.07.012.

DA VINCI, Leonardo, 1510. *A Dead or Moribund Man in Bust Length* [en ligne]. 1510. Collection Royale de la Reine d'Angleterre. Disponible à l'adresse : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_Dead_or_Moribund_Man_in_Bust_Length.jpg [Consulté le 25 avril 2024].

DEGUEURCE, Christophe, DHUI, Sung Vo, BLETON, Jean, HUGON, Paulette, CADOT, Laure et TCHAPLA, Alain, 2008. Un mystère : la technique de conservation mise en oeuvre par Honoré Fragonard pour ses famueux écorchés. *Bulletin de la Société Française d'Histoire de la Médecine et des Sciences Vétérinaires*. 2008. Vol. 8, pp. 40-57.

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE, 2017. *Référentiel d'activité professionnelle et de compétences à l'issue des études vétérinaires - Annexe de l'arrêté ministériel du 20 avril 2007 relatif aux études vétérinaires* [en ligne]. 2017. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Disponible à l'adresse : <https://www.agreenium.fr/page/le-referentiel-national-de-formation-veterinaire> [Consulté le 2 mai 2024].

DZIEDZIC, Martyna, OSTROWSKI, Patryk, GHOSH, Sanjib Kumar, BALAWENDER, Krzysztof, KOZIEJ, Mateusz et BONCZAR, Michał, 2024. Exploring the evolution of anatomy: From historical foundations to modern insights. *Translational Research in Anatomy*. 1 juin 2024. Vol. 35, pp. 100286. DOI 10.1016/j.tria.2024.100286.

DZULKIFLI, Mariam Adawiah et MUSTAFAR, Muhammad Faiz, 2013. The Influence of Colour on Memory Performance: A Review. *The Malaysian Journal of Medical Sciences : MJMS*. mars 2013. Vol. 20, n° 2, pp. 3-9.

EUROPEAN COMMISSION, 2024. Animals in science. [en ligne]. 22 avril 2024. Disponible à l'adresse : https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/animals-science_en [Consulté le 25 juin 2024].
EU actions for the protection of animals used for scientific purposes

EVIN, Florence, 2009. L'exposition anatomique « Our body, à corps ouvert » est suspendue à Paris. *Le Monde.fr* [en ligne]. 22 avril 2009. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/culture/article/2009/04/22/l-exposition-anatomique-our-body-a-corps-ouvert-est-suspendue-a-paris_1183942_3246.html [Consulté le 25 avril 2024].

Exposition Gengis Khan : Comment les Mongols ont changé le monde ?, 2023. *Le Voyage à Nantes* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.levoyageanantes.fr/evenements/gengis-khan/> [Consulté le 26 avril 2024].

FORD, Brian J., 2000. Shining through the centuries: John Ray's life and legacy. *Notes and Records of the Royal Society ...* [en ligne]. 1 janvier 2000. Disponible à l'adresse : https://www.academia.edu/1300865/Shining_through_the_centuries_John_Rays_life_and_legacy [Consulté le 25 avril 2024].

GACHINA, Laëtitia, 2020. *La place de l'intelligence kinesthésique dans les apprentissages en classe de CE2* [en ligne]. Mémoire de Master MEEF. Université de Sorbonne. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02976082> [Consulté le 3 mai 2024].

GEORGES, François, 2010. *Mieux comprendre le savoir-agir autonome - Développement et analyse d'usages d'un environnement d'apprentissage destiné aux élèves de 10 à 15 ans* [en ligne]. Université de Liège. Disponible à l'adresse : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/118212> [Consulté le 28 août 2024].

GERARD, Laetitia, 2015. L'alignement pédagogique: un concept clé en pédagogie universitaire. *Consulting en Education* [en ligne]. 25 août 2015. Disponible à l'adresse : <https://cooperationuniversitaire.com/2015/08/25/lalignement-pedagogique-le-concept-cle-en-pedagogie-universitaire/> [Consulté le 25 avril 2024].

- GESSNER, Conrad, 1551. *Historia animalium* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/gesner_home.html [Consulté le 28 août 2024].
- HENNESSY, Catherine M., KIRKPATRICK, Emma, SMITH, Claire F. et BORDER, Scott, 2016. Social media and anatomy education: Using twitter to enhance the student learning experience in anatomy. *Anatomical Sciences Education*. novembre 2016. Vol. 9, n° 6, pp. 505-515. DOI 10.1002/ase.1610.
- I.C.V.G.A.N., 2012. *Nomina Anatomica Veterinaria* [en ligne]. 5e. Hanover (Allemagne), Columbia, MO (Etats Unis.), Ghent (Belgique), Sapporo (Japon) : Editorial Committee. Disponible à l'adresse : https://www.wava-amav.org/downloads/nav_2012.pdf [Consulté le 5 mars 2024].
- ILLE, Sebastian, OHLERTH, Ann-Katrin, COLLE, David, COLLE, Henry, DRAGOY, Olga, GOODDEN, John, ROBE, Pierre, ROFES, Adrià, MANDONNET, Emmanuel, ROBERT, Erik, SATOER, Djaina, VIEGAS, Catarina Pessanha, VISCH-BRINK, Evy, VAN ZANDVOORT, Martine et KRIEG, Sandro M., 2021. Augmented reality for the virtual dissection of white matter pathways. *Acta Neurochirurgica*. 1 avril 2021. Vol. 163, n° 4, pp. 895-903. DOI 10.1007/s00701-020-04545-w.
- IWANAGA, Joe, LOUKAS, Marios, DUMONT, Aaron S. et TUBBS, R. Shane, 2021. A review of anatomy education during and after the COVID-19 pandemic: Revisiting traditional and modern methods to achieve future innovation. *Clinical Anatomy*. 2021. Vol. 34, n° 1, pp. 108-114. DOI 10.1002/ca.23655.
- KARNIK, Priti, GILBERT, Robert et ARTEMIOU, Elpida, 2023. Does in person vs synchronous remote attendance impact academic achievement ? In : *Sustainable Veterinary Education*. Edinburgh, Ecosse. 6 juillet 2023.
- KEENAN, Iain D., HUTCHINSON, Joseph et BELL, Kathryn, 2017. Twelve tips for implementing artistic learning approaches in anatomy education. *MedEdPublish*. 20 juin 2017. Vol. 6, pp. 106. DOI 10.15694/mep.2017.000106.
- KHAN, Jahangeer et LIU, Chengyu, 2020. The impact of colors on human memory in learning English collocations: evidence from south Asian tertiary ESL students. *Asian-Pacific Journal of Second and Foreign Language Education*. 10 septembre 2020. Vol. 5, n° 1, pp. 17. DOI 10.1186/s40862-020-00098-8.
- KHAN, Muhammad Junaid, JAMIL, Brekhna et SETHI, Ahsan, 2020. Learning Based On Principles Of Cognitivism. *Journal of Ayub Medical College, Abbottabad: JAMC*. 2020. Vol. 32, n° 4, pp. 585-587.
- KREMER, Gilles, [sans date]. Claude Bourgelat (1712-1779) : aux sources de la médecine vétérinaire - La série : Claude Bourgelat, pionnier de la médecine vétérinaire (2/4). *Gallica* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/blog/20122022/claude-bourgelat-1712-1779-aux-sources-de-la-medecine-veterinaire?mode=desktop> [Consulté le 26 avril 2024].
- LANDSEER, Charles, 1815. *Ecorché, montrant les os et muscles du thorax* [en ligne]. 1815. Disponible à l'adresse : <https://wellcomecollection.org/works/cxcjytj> [Consulté le 28 août 2024].

LE DEIST, Françoise Delamare et WINTERTON, Jonathan, 2005. What Is Competence? *Human Resource Development International*. 1 mars 2005. Vol. 8, n° 1, pp. 27-46.
DOI 10.1080/1367886042000338227.

LECAREUX, Agnès, 2022. *Impact du numérique sur l'environnement : le difficile chemin de la sobriété pour les Digital Natives* [en ligne]. Mémoire de Master 2. Université de Sorbonne. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04075778> [Consulté le 25 avril 2024].

LIBRADO, Pablo, KHAN, Naveed, FAGES, Antoine, KUSLIY, Mariya A., SUCHAN, Tomasz, TONASSO-CALVIÈRE, Laure, SCHIAVINATO, Stéphanie, ALIOGLU, Duha, FROMENTIER, Aurore, PERDEREAU, Aude, AURY, Jean-Marc, GAUNITZ, Charleen, CHAUVEY, Lorelei, SEGUIN-ORLANDO, Andaine, DER SARKISSIAN, Clio, SOUTHON, John, SHAPIRO, Beth, TISHKIN, Alexey A., KOVALEV, Alexey A., ALQURAISHI, Saleh, ALFARHAN, Ahmed H., AL-RASHEID, Khaled A. S., SEREGÉLY, Timo, KLASSEN, Lutz, IVERSEN, Rune, BIGNON-LAU, Olivier, BODU, Pierre, OLIVE, Monique, CASTEL, Jean-Christophe, BOUDADI-MALIGNE, Myriam, ALVAREZ, Nadir, GERMONPRÉ, Mietje, MOSKAL-DEL HOYO, Magdalena, WILCZYŃSKI, Jarosław, POSPUŁA, Sylwia, LASOTA-KUŚ, Anna, TUNIA, Krzysztof, NOWAK, Marek, RANNAMÄE, Eve, SAARMA, Urmas, BOESKOROV, Gennady, LÕUGAS, Lembi, KYSELÝ, René, PEŠKE, Lubomír, BĂLĂȘESCU, Adrian, DUMITRAȘCU, Valentin, DOBRESCU, Roxana, GERBER, Daniel, KISS, Viktória, SZÉCSÉNYI-NAGY, Anna, MENDE, Balázs G., GALLINA, Zsolt, SOMOGYI, Krisztina, KULCSÁR, Gabriella, GÁL, Erika, BENDREY, Robin, ALLENTOFT, Morten E., SIRBU, Ghenadie, DERGACHEV, Valentin, SHEPHARD, Henry, TOMADINI, Noémie, GROUARD, Sandrine, KASPAROV, Aleksei, BASILYAN, Alexander E., ANISIMOV, Mikhail A., NIKOLSKIY, Pavel A., PAVLOVA, Elena Y., PITULKO, Vladimir, BREM, Gottfried, WALLNER, Barbara, SCHWALL, Christoph, KELLER, Marcel, KITAGAWA, Keiko, BESSUDNOV, Alexander N., BESSUDNOV, Alexander, TAYLOR, William, MAGAIL, Jérôme, GANTULGA, Jamiyan-Ombo, BAYARSAIKHAN, Jamsranjav, ERDENEBAATAR, Diimaajav, TABALDIEV, Kubatbeek, MIJIDDORJ, Enkhbayar, BOLDGIV, Bazartseren, TSAGAAN, Turbat, PRUVOST, Mélanie, OLSEN, Sandra, MAKAREWICZ, Cheryl A., VALENZUELA LAMAS, Silvia, ALBIZURI CANADELL, Silvia, NIETO ESPINET, Ariadna, IBORRA, Ma Pilar, LIRA GARRIDO, Jaime, RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, Esther, CELESTINO, Sebastián, OLÀRIA, Carmen, ARSUAGA, Juan Luis, KOTOVA, Nadiia, PRYOR, Alexander, CRABTREE, Pam, ZHUMATAYEV, Rinat, TOLEUBAEV, Abdesh, MORGUNOVA, Nina L., KUZNETSOVA, Tatiana, LORDKIPANIZE, David, MARZULLO, Matilde, PRATO, Ornella, BAGNASCO GIANNI, Giovanna, TECCHIATI, Umberto, CLAVEL, Benoit, LEPETZ, Sébastien, DAVOUDI, Hossein, MASHKOUR, Marjan, BEREZINA, Natalia Ya, STOCKHAMMER, Philipp W., KRAUSE, Johannes, HAAK, Wolfgang, MORALES-MUÑIZ, Arturo, BENECKE, Norbert, HOFREITER, Michael, LUDWIG, Arne, GRAPHODATSKY, Alexander S., PETERS, Joris, KIRYUSHIN, Kirill Yu, IDERKHANGAI, Tumur-Ochir, BOKOVENKO, Nikolay A., VASILIEV, Sergey K., SEREGIN, Nikolai N., CHUGUNOV, Konstantin V., PLASTEEVA, Natalya A., BARYSHNIKOV, Gennady F., PETROVA, Ekaterina, SABLIN, Mikhail, ANANYEVSKAYA, Elina, LOGVIN, Andrey, SHEVNINA, Irina, LOGVIN, Victor, KALIEVA, Saule, LOMAN, Valeriy, KUKUSHKIN, Igor, MERZ, Ilya, MERZ, Victor, SAKENOV, Sergazy, VARFOLOMEYEV, Victor, USMANOVA, Emma, ZAIBERT, Viktor, ARBUCKLE, Benjamin, BELINSKIY, Andrey B., KALMYKOV, Alexej, REINHOLD, Sabine, HANSEN, Svend, YUDIN, Aleksandr I., VYBORNOV, Alekandr A., EPIMAKHOV, Andrey, BEREZINA, Natalia S., ROSLYAKOVA, Natalia, KOSINTSEV, Pavel A., KUZNETSOV, Pavel F., ANTHONY, David, KROONEN, Guus J., KRISTIANSSEN, Kristian, WINCKER, Patrick, OUTRAM, Alan et ORLANDO,

- Ludovic, 2021. The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. *Nature*. octobre 2021. Vol. 598, n° 7882, pp. 634-640. DOI 10.1038/s41586-021-04018-9.
- LISON, Céline, 2016. Lascaux, la « “chapelle Sixtine de la préhistoire” ». *National Geographic* [en ligne]. 15 décembre 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.nationalgeographic.fr/histoire/lascaux-la-chapelle-sixtine-de-la-prehistoire> [Consulté le 15 juillet 2024].
- LOMBARDI, Sara A., HICKS, Reimi E., THOMPSON, Katerina V. et MARBACH-AD, Gili, 2014. Are all hands-on activities equally effective? Effect of using plastic models, organ dissections, and virtual dissections on student learning and perceptions. *Advances in Physiology Education*. mars 2014. Vol. 38, n° 1, pp. 80-86. DOI 10.1152/advan.00154.2012.
- LOMBARDI, Sarah A., 2014. Are all hands-on activities equally effective? Effect of using plastic models, organ dissections, and virtual dissections on student learning and perceptions. *Advances in Physiology Education*. 2014. Vol. 38, n° 1, pp. 1-107. DOI doi:10.1152/advan.00154.2012.
- MACDIARMID, Rosie, PENROSE, Fay et HENSON, Eddie, 2023. Art for Anatomy: Investigating the benefits of observational drawing in undergraduate veterinary students. In : *Sustainable Veterinary Education*. Edinburgh, Ecosse.
- MCHORSE, Brianna K., BIEWENER, Andrew A. et PIERCE, Stephanie E., 2017. Mechanics of evolutionary digit reduction in fossil horses (Equidae). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 30 août 2017. Vol. 284, n° 1861, pp. 20171174. DOI 10.1098/rspb.2017.1174.
- MENARD, Diane, 2003. Traduction et commentaires de fragments des Hippiatrica. *Bulletin de la Société Française d'Histoire de la Médecine et des Sciences Vétérinaires* [en ligne]. 2003. Vol. 2, n° 1. Disponible à l'adresse : http://sfhmsv.free.fr/SFHMSV_files/Textes/Activites/Bulletin/Txts_Bull/B2/Menard_B2.pdf [Consulté le 26 avril 2023].
- MICHAULT, Cécile et Caroline, 2021. *Création de CISCORTHO : Outil pédagogique sur l'évaluation des boïteries à partir de données des chevaux présentés au CISCO*. Oniris - VetAgroBio Nantes.
- MOUSAVI, Seyed, LOW, Renae et SWELLER, John, 1995. Reducing Cognitive Load by Mixing Auditory and Visual Presentation Modes. *Journal of Educational Psychology*. 1 juin 1995. Vol. 87, pp. 319-334. DOI 10.1037/0022-0663.87.2.319.
- NETO, Antonio Assis et SIMONES, Felipe, 2023. Using 3D models as an anatomical educational tool. In : *Sustainable Veterinary Education*. Edinburgh, Ecosse. 6 juillet 2023.
- NORRIS, Dennis, 2017. Short-Term Memory and Long-Term Memory are Still Different. *Psychological Bulletin*. septembre 2017. Vol. 143, n° 9, pp. 992-1009. DOI 10.1037/bul0000108.
- ODDOU, Doris, 2020. *Réalisation d'un outil pédagogique interactif d'aide à l'apprentissage et à la révision de l'anatomie de l'appareil musculosquelettique appliqué au cheval* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. VetAgro Sup Lyon. Disponible à l'adresse : <https://doc-veto.oniris-nantes.fr/Record.htm?idlist=9&record=19327569124911457419> [Consulté le 15 juillet 2024].

OLRY, Regis, 2020. Wax, Wooden, Ivory, Cardboard, Bronze, Fabric, Plaster, Rubber and Plastic Anatomical Models : Praiseworthy Precursors of Plastinated Specimens. *International Society for Plastination*. 31 juillet 2020. Vol. 15, n° 1, pp. 30-35. DOI <https://doi.org/10.56507/MGBO9609>.

ORDRE NATIONAL DES VÉTÉRINAIRES, 2018. La formation continue vétérinaire. [en ligne]. 30 octobre 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.veterinaire.fr/je-suis-veterinaire/mon-exercice-professionnel/les-fiches-professionnelles/la-formation-continue-veterinaire> [Consulté le 16 juillet 2024].

PEARCE, J. M. S., 2007. Malpighi and the discovery of capillaries. *European Neurology*. 2007. Vol. 58, n° 4, pp. 253-255. DOI 10.1159/000107974.

POTU, B.K., ATWA, H., NASR EL-DIN, W.A., OTHMAN, M.A., SARWANI, N.A., FATIMA, A., DEIFALLA, A. et FADEL, R.A., 2022. Learning anatomy before and during COVID-19 pandemic: Students' perceptions and exam performance. *Morphologie*. septembre 2022. Vol. 106, n° 354, pp. 188-194. DOI 10.1016/j.morpho.2021.07.003.

POUMAY, Marianne, 2014. Six leviers pour améliorer l'apprentissage des étudiants du supérieur. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur* [en ligne]. 7 avril 2014. Vol. 30, n° 1. DOI 10.4000/ripes.778. [Consulté le 25 avril 2024].

PREECE, Daniel, WILLIAMS, Sarah B., LAM, Richard et WELLER, Renate, 2013. "Let's Get Physical": Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2013. Vol. 6, n° 4, pp. 216-224. DOI 10.1002/ase.1345.

RABY, Carole, KARSENTI, Thierry, MEUNIER, Hélène et VILLENEUVE, Stéphane, 2011. Usage des TIC en pédagogie universitaire : point de vue des étudiants. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*. 2011. Vol. 8, n° 3, pp. 6-19. DOI 10.7202/1006396ar.

RADZI, Shairah, CHANDRASEKARAN, Ramya, PEH, Zhen Kai, RAJALINGAM, Preman, YEONG, Wai Yee et MOGALI, Sreenivasulu Reddy, 2022. Students' learning experiences of three-dimensional printed models and plastinated specimens: a qualitative analysis. *BMC Medical Education*. 28 septembre 2022. Vol. 22, n° 1, pp. 695. DOI 10.1186/s12909-022-03756-2.

RAFAELLI, Mélanie, 2011. *Réalisation d'un site internet à visée pédagogique consacré à l'ostéologie comparée des carnivores domestiques, des équidés et des bovins* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Disponible à l'adresse : <https://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=1110> [Consulté le 28 août 2024].

Réalité virtuelle et réalité augmentée : quelle différence ?, [sans date]. *Futura* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/tech/questions-reponses/multimedia-realite-virtuelle-realite-augmentee-difference-1962/> [Consulté le 25 avril 2024].

ROCHE, Marine, 2015. *Les étudiants, le numérique et la réussite universitaire* [en ligne]. Mémoire de Master 2. Université de Nantes : UFR Lettres et Langues. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01347809> [Consulté le 3 mai 2024].

ROGERS, Chris W., GEE, Erica K. et DITTMER, Keren E., 2021. Growth and Bone Development in the Horse: When Is a Horse Skeletally Mature? *Animals*. décembre 2021. Vol. 11, n° 12, pp. 3402. DOI 10.3390/ani11123402.

Rôle du cheval dans la guerre, 2024. *Wikipédia* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%B4le_du_cheval_dans_la_guerre&oldid=212494544 [Consulté le 26 avril 2024].

RUINI, Carlo, 1598. Horse musculature. In : *Anatomia del Cavallo* [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horse_musculature_Carlo_Ruini_c_1598.jpg [Consulté le 26 avril 2024].

SCHMIDT, James R., AUGUSTINOVA, Maria et DE HOUWER, Jan, 2018. Category learning in the color-word contingency learning paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*. 1 avril 2018. Vol. 25, n° 2, pp. 658-666. DOI 10.3758/s13423-018-1430-0.

SEWELL, Justin L., SANTHOSH, Lekshmi et O'SULLIVAN, Patricia S., 2020. How do attending physicians describe cognitive overload among their workplace learners? *Medical Education*. 2020. Vol. 54, n° 12, pp. 1129-1136. DOI 10.1111/medu.14289.

SIEMENS, George, 2005. Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International journal of instructional technology and distance learning*. 2005. Vol. 2, n° 1, pp. 3-10. DOI http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm.

SINGG, Sangeeta et MULL, Chris, 2017. Effect of Color on Information Retention by Young Men and Women. *Juniper Online Journal of Case Studies* [en ligne]. 31 mars 2017. Vol. 2. DOI 10.19080/JOJCS.2017.02.555591. [Consulté le 28 août 2024].

SMIL, Vaclav, 2000. Horse power. *Nature*. mai 2000. Vol. 405, n° 6783, pp. 125-125. DOI 10.1038/35012175.

SOLD, Emma, 2023. *Développement d'un outil pédagogique vidéo pour optimiser l'apprentissage et l'enseignement de l'anatomie vétérinaire : exemple du genou du chien* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. Oniris - VetAgroBio Nantes. Disponible à l'adresse : <https://doc-veto.oniris-nantes.fr/Record.htm?idlist=1&record=19341887124911690699> [Consulté le 15 juillet 2024].

SORA, Mircea-Constantin, LATORRE, Rafael, BAPTISTA, Carlos et LÓPEZ-ALBORS, Octavio, 2019. Plastination—A scientific method for teaching and research. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 2019. Vol. 48, n° 6, pp. 526-531. DOI 10.1111/ah.12493.

STANDRING, Susan, 2016. A brief history of topographical anatomy. *Journal of Anatomy*. 6 septembre 2016. Vol. 229, n° 1, pp. 32-62. DOI <https://doi.org/10.1111/joa.12473>.

STOREY, Emily, 2022. Pourquoi utiliser la version révisée de la Taxonomie de Bloom ? *NELL & ASSOCIÉS* [en ligne]. 5 avril 2022. Disponible à l'adresse : <https://nell-associes.com/blog/pourquoi-utiliser-la-version-revisée-de-la-taxonomie-de-bloom/> [Consulté le 25 avril 2024].

TAYLOR, Henry, 1790. *Ecorché de cheval* [en ligne]. 1790. Disponible à l'adresse : <https://wellcomecollection.org/works/fkknnguye> [Consulté le 28 août 2024].
Welcome Collection Gallery

THEOMNESTOS, 1927. *Corpus Hippiatricorum Graecorum*. E.Oder. et K.Hoppe.

THOMAS, Daniel B., HISCOX, Jessica D., DIXON, Blair J. et POTGIETER, Johan, 2016. 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education. *Journal of Anatomy*. 2016. Vol. 229, n° 3, pp. 473-481. DOI 10.1111/joa.12484.

TORTEBAT, François, 1667. *Ecorché* [en ligne]. 1667. Abregé d'anatomie, accommodé aux arts. Disponible à l'adresse : <https://wellcomecollection.org/works/gg377wkr> [Consulté le 28 août 2024].

Traité des chevaux, sans titre ni nom d'auteur., 1670. [en ligne]. manuscrit. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8406168v> [Consulté le 26 avril 2024].

TURNEY, Chris, ROBINSON, David, LEE, Maria et SOUTAR, A., 2009. Using technology to direct learning in higher education: The way forward? *Active Learning in Higher Education*. 1 mars 2009. Vol. 10, pp. 71-83. DOI 10.1177/1469787408100196.

UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE, [sans date]. Ressources pédagogiques du CIPE. *Inspé de Bourgogne* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://inspe.u-bourgogne.fr/cipe-ressources-pedagogiques> [Consulté le 16 juillet 2024].

UNIVERSITÉ DE LAUSANE, [sans date]. Les objectifs d'apprentissage et l'alignement pédagogique. *Ecole de médecine* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.unil.ch/ecoledemedecine/fr/home/menuguid/enseignante/preparer-et-donner-mon-cours/objectifs--alignement.html> [Consulté le 25 avril 2024].

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 2018. Compétence (selon Jacques Tardif, 2006; 2017). *Perspectives SSF* [en ligne]. 1 décembre 2018. Disponible à l'adresse : <https://perspectivesssf.espaceweb.usherbrooke.ca/2018/12/01/competence-selon-jacques-tardif-2006-2017/> [Consulté le 2 mai 2024].

UUS, Õnne, SEITLINGER, Paul Christian et LEY, Timo Tobias, 2020. Cognitive capacity in self-directed learning: Evidence of middle school students' executive attention to resist distraction. *Acta Psychologica*. 1 septembre 2020. Vol. 209, pp. 103089. DOI 10.1016/j.actpsy.2020.103089.

VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G. et SWELLER, John, 2010. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical Education*. janvier 2010. Vol. 44, n° 1, pp. 85-93. DOI 10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x.

VIAU, Rolland, [sans date]. 12 questions sur l'état de la recherche scientifique sur l'impact des TIC sur la motivation à apprendre. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/LME/lombard/motivation/viau-motivation-tic.html> [Consulté le 25 avril 2024].

VOULTSIADOU, Eleni, GEROVASILEIOU, Vasilis, VANDEPITTE, Leen, GANIAS, Kostas et ARVANITIDIS, Christos, 2017. Aristotle's scientific contributions to the classification, nomenclature and distribution of marine organisms. *Mediterranean Marine Science*. 2017. Vol. 18, n° 3, pp. 468-478. DOI 10.12681/mms.13874.

WILIAM, Dylan, 2006. Formative Assessment: Getting the Focus Right. *Educational Assessment*. 1 novembre 2006. Vol. 11, pp. 283-289. DOI 10.1207/s15326977ea1103&4_7.

WILKINS, Robert H., 1964. Neurosurgical Classic—XVII. *Journal of Neurosurgery*. 1 mars 1964. Vol. 21, n° 3, pp. 240-244. DOI 10.3171/jns.1964.21.3.0240.

XÉNOPHON, 1978. *De l'art équestre*. Les Belles Lettres. Paris : traduction E. Delebecque.

XIAO, Junhua et ADNAN, Sharmeen, 2022. Flipped anatomy classroom integrating multimodal digital resources shows positive influence upon students' experience and learning performance. *Anatomical Sciences Education*. 2022. Vol. 15, n° 6, pp. 1086-1102. DOI 10.1002/ase.2207.

YOUNG, John Q., VAN MERRIENBOER, Jeroen, DURNING, Steve et TEN CATE, Olle, 2014. Cognitive Load Theory: implications for medical education: AMEE Guide No. 86. *Medical Teacher*. mai 2014. Vol. 36, n° 5, pp. 371-384. DOI 10.3109/0142159X.2014.889290.

Annexes

Annexe 1 : Liste des compétences, capacités et indicateurs en lien avec la connaissance « Anatomie » dans le Référentiel des compétences vétérinaires (production personnelle)

| Macro-compétence | Compétence | Capacité | Indicateurs | |
|------------------------------|--|---|--|---|
| <i>Établir un diagnostic</i> | D.2 Conduire une démarche diagnostique pour un animal ou un groupe d'animaux | D.2.2. Réaliser et interpréter un examen clinique général | Réalisation d'un examen clinique général puis orienté | |
| | | D.2.3. Réaliser et interpréter un examen clinique par appareil | | |
| | D.3. Effectuer, conditionner et transporter des prélèvements biologiques, choisir et réaliser ou prescrire les tests diagnostiques appropriés et les interpréter | D.3.2. Effectuer un prélèvement biologique | Maîtrise des gestes de prélèvements biologiques Maîtrise de la technique d'autopsie | |
| | | D.4. Prescrire, réaliser et interpréter un examen d'imagerie | D.4.2. Réaliser un cliché radiographique | Qualité de la description des structures anatomiques, des anomalies morphologiques et des lésions observées |
| | | | D.4.3. Réaliser un examen échographique | |
| | D.4.4. Décrire une image radiographique et échographique (orientation, | Reconnaissance des artefacts techniques et des variants anatomiques | | |

| | | | |
|---------------------------|--|--|--|
| | | formations anatomiques normales et anormales, variations anatomiques, artefacts techniques) | |
| | D.5. Pratiquer un examen post-mortem | D.5.1. Pratiquer un examen post-mortem en disséquant tous les organes internes, en préservant leur intégrité | Technique d'autopsie (respect de l'intégrité des organes, exhaustivité) |
| | | D.5.2. Repérer et décrire les anomalies morphologiques de chaque organe ; émettre des hypothèses diagnostiques raisonnées et prescrire les examens complémentaires éventuels | Utilisation d'une terminologie pertinente / rigueur scientifique de la description |
| <i>Soigner et traiter</i> | ST.1. Élaborer et adapter une stratégie thérapeutique et administrer un traitement | ST.1.4 Administrer un traitement médicamenteux à un animal ou à un groupe d'animaux selon les bonnes pratiques | Respect de la réglementation du médicament et des bonnes pratiques d'administration, notamment l'usage prudent et raisonné des antibiotiques et antiparasitaires |
| | ST.3. Pratiquer en toute sécurité une | ST.3.2. Réaliser une sédation et en | Gestes aisés lors de la mise en œuvre |

| | | | |
|---|---|--|--|
| | sédation, une anesthésie générale et une anesthésie loco-régionale | assurer le suivi | de la sédation |
| | | ST.3.3. Réaliser une anesthésie générale et en assurer le suivi | Gestes aisés lors de la réalisation d'une anesthésie générale |
| | | ST.3.4. Réaliser une anesthésie loco-régionale et en assurer le suivi | Gestes aisés lors de la réalisation d'une anesthésie loco-régionale |
| | ST.4. Élaborer un protocole chirurgical et réaliser une intervention chirurgicale adaptée à l'animal, à l'affection et au contexte d'intervention | ST.4.2 Préparer une intervention chirurgicale (préparation du matériel, de l'animal, du chirurgien) | Préparation adéquate du matériel, de l'animal et du chirurgien et organisation pertinente de l'environnement opératoire (biosécurité, ergonomie) |
| | | ST.4.3. Réaliser une intervention chirurgicale en respectant les règles de la chirurgie atraumatique, de l'hémostase et de l'asepsie | Maîtrise et efficacité des gestes lors de l'intervention |
| | | ST.4.4. Réaliser la prise en charge thérapeutique des plaies simples et de leurs complications | Soins post-opératoires adéquats, réalisés avec des gestes adaptés |
| ST.4.5. Réaliser le suivi post-opératoire (examens, soins | | Mesures péri et post-opératoires adaptées au contexte | |

| | | | |
|-----------------------|---|---|---|
| | | postopératoires y compris pansements, rééducation fonctionnelle d'un animal opéré) | d'intervention, à l'espèce et à l'intervention |
| <i>Santé publique</i> | SP.4. Promouvoir et contrôler la sécurité des aliments et des aliments pour animaux | SP.4.1 Effectuer un examen post mortem des carcasses et viscères des animaux producteurs de denrées en situation d'abattage-habillage | Identification pertinente des lésions et anomalies représentant un risque pour la santé publique et hiérarchisation des risques |

Annexe 2 : Liste des UE enseignant l'anatomie à Onirs VetAgroBio Nantes (production personnelle)

| Année | UE | Cours enseignés | Espèces |
|---|---|---|---|
| <i>Première année - premier semestre</i> | UE 034 - Bases de l'anatomie, anatomie fondamentale | Anatomie extérieure Ostéologie Arthrologie Myologie Appareil digestif Appareil cardio-respiratoire Appareil uro-génital Angiologie | Chien Chat Cheval Bovin Lapin |
| <i>Première année - deuxième semestre</i> | UE 044 - Topographie des grandes cavités et bases de l'imagerie | Splanchnologie Neurologie Dents Mamelles Œil Glandes endocrines Anatomie topographique Embryologie Euthanasie | Chien Chat Cheval Bovin Lapin Volaille Poissons |
| <i>Deuxième année - premier semestre</i> | UE 054 - Anatomie régionale | Appareil musculo-squelettique des membres thoracique et pelvien Ostéologie Myologie Neurologie | Chien Cheval |

| UE 034 : Anatomie I Base de l'Anatomie – Anatomie Fondamentale | | |
|--|---------------------------------------|--|
| Responsable Pédagogique : Claude GUINTARD | | Département SC |
| Semestre 3 | | |
| CM 37 h | TD 18h | TP 0h |
| Enseignements obligatoires distanciels (Os à disposition, salle 411-412) 4 h | | |
| Travaux de groupe 0h | Ateliers VirtualVet 1h | Gardes/astreintes 0h |
| Nb Polycopiés : 3 | Mise en situation professionnelle : 0 | ECTS 4 |
| Équipe pédagogique | | |
| Enseignants Oniris BETTI Eric GUINTARD Claude NEUNLIST Margarida | | Intervenants extérieurs BORVON Aurélia |
| Objectifs généraux | | |
| l'UE 034 met en place les bases de l'anatomie générale (systématique [ostéologie, myologie, arthrologie, splanchnologie, angiologie et neurologie] et extérieure [régions et robes]). Cette UE développe la présentation théorique de l'anatomie des viscères des grandes cavités. Une approche pratique est proposée sous la forme d'une dissection des organes des cavités thoracique et abdominale du Lapin. | | |
| Contribution aux compétences : <i>(Référentiel de compétences à l'issue des études vétérinaires)</i> | | |
| L'anatomie est un pré-requis à de nombreuses disciplines (physiologie, histologie, anatomie pathologie et l'ensemble des sciences cliniques) | | |
| UE prérequis : - | | Mots-clés : Anatomie comparée, ostéologie, myologie, arthrologie, splanchnologie, angiologie et neurologie, régions, robes du Chien et du Bœuf |

UE

034

Éléments de contenu et modalités pédagogiques

Cette ue présente les bases de l'anatomie, en mettant l'accent sur l'ostéologie et l'anatomie des grandes cavités. Elle se déroule pour la partie en présentiel, de septembre à octobre, avec 5 cours et une à deux séances de TD par semaine. Les séances d'autoformation sont situées, elles, en octobre, novembre et décembre.

Organisation générale d'un mammifère : les bases de l'anatomie

6 CM

Ostéologie :

1 CM, 4 séances de TD,

2 séances e-learning (os du squelette à disposition Salle 411-412), 1 séance Virtual-Vet (Sur tablette, vertèbres). Activités placées respectivement en octobre, novembre et décembre.

Arthro-myologie :

3 CM

Splanchnologie :

- appareil respiratoire : 7 CM
- appareil digestif : 3 CM
- appareil urogénital : 6 CM

Angiologie :

6 CM

Dissection du lapin :

2 séances de TD

Anatomie extérieure :

3 CM , 3 séances de TD

| Modalités d'évaluation | | | | | |
|---|-------|--------------|------|-------|---|
| intermédiaire - continue | | | | | |
| Semaine calendaire proposée | écrit | informatique | oral | autre | commentaires |
| Lors des séances Virtual-Vet | | | | | Validation obligatoire de ce module pour l'obtention de l'ue |
| | | | | | |
| | | | | | |
| finale - lors de la session des examens | | | | | |
| | écrit | informatique | oral | autre | commentaires |
| | X | | | | 1h30 Format de l'interrogation : schémas légendés, QCM, QCROC, Rédaction, etc. |
| | | | | | |
| | | | | | |

Si un écrit et un oral : préciser l'ordre

UE
034

| UE 044 : Anatomie II Topographie des grandes cavités et bases de l'imagerie | | |
|---|---|----------------------|
| Responsable Pédagogique : Eric BETTI | Département SC | Semestre 4 |
| CM 26h | TD 26h | TP 0h |
| Enseignements obligatoires distanciels (préparation dossier dissection et power-point) 6 h | | |
| Travaux de groupe 0h | Ateliers VirtualVet 2h | Gardes/astreintes 0h |
| Nb Polycopiés 0 | Mise en situation professionnelle : 0 | ECTS 4 |
| Équipe pédagogique | | |
| Enseignants Oniris BETTI Eric FUSELLIER Marion GUINTARD Claude NEUNLIST Margarida | Intervenants extérieurs BORVON Aurélia | |
| Objectifs généraux | | |
| Après l'UE 044 qui met en place les bases de l'anatomie générale, cette UE approfondit la topographie des viscères des grandes cavités et les bases de l'imagerie médicale . Elle complète la description des organes non encore abordée lors de l'UE 034 (mamelles, glandes endocrines, œil, etc.) et met en place l'anatomie de base d'un téléostéen et d'un oiseau en vue des dissections correspondantes. Cette UE est avant tout pratique et repose sur la dissection et la 3D. | | |
| Contribution aux compétences : <i>(Référentiel de compétences à l'issue des études vétérinaires)</i> | | |
| L'anatomie est un pré-requis à de nombreuses disciplines (physiologie, histologie, anatomie pathologie et l'ensemble des sciences cliniques) | | |

UE
044

UE

044

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|------------------------|---|--|--|---|
| <p>UE prérequis : UE 034</p> <p>Le contenu de l'enseignement Ue 034 doit pouvoir être mobilisé à tout instant, y compris lors des contrôles de connaissances de l'Ue 044.</p> | <p>Mots-clés :</p> <p>Anatomie comparée (mammifères domestiques, oiseaux, poissons), embryologie, anatomie extérieure, Neurologie, glandes endocrines, mamelles, œil, dents Splanchnologie, Imagerie</p> | | | | | | | | | |
| <p>Éléments de contenu et modalités pédagogiques</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Tous les cours de cette Ue (hormis l'imagerie, la neurologie et l'embryologie) doivent être prévus avant les semaines de dissections, tout comme les 6h d'autoformation pour la préparation des dossiers de dissection.</p> <p>Les semaines de dissection doivent se réaliser par demi-promotion, et sont à placer courant mars. Les dissections se faisant du mardi au jeudi.</p> | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Imagerie anatomique : 6CM (1h Claude, 1h Eric, 4h Marion)</td> </tr> <tr> <td>Anatomie des poissons : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia</td> </tr> <tr> <td>Anatomie des oiseaux : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia</td> </tr> <tr> <td>Anatomie des mammifères domestiques - 20h dissections (dont 2h de préparation durant les trois jours de dissection) Claude, Margarida, Eric <ul style="list-style-type: none"> • splanchnologie : 4CM = Margarida • neurologie : 2CM Eric • glandes endocrines : 2CM Eric • mamelles : 2CM (1h Margarida, 1h Claude) • œil : 1CM Eric • dents : 1CM Claude + une séance TD Claude, Eric </td> </tr> <tr> <td>Embryologie : 3CM Eric</td> </tr> <tr> <td>Euthanasie : 1CM Claude + 2h dissections Claude, Eric</td> </tr> <tr> <td>dossier dissection : 6h en autoformation (heures à placer avant les dissections)</td> </tr> <tr> <td>VirtualVet - tablette membre thoracique 1h</td> </tr> <tr> <td>VirtualVet - tablette membre pelvien 1h</td> </tr> </table> | | Imagerie anatomique : 6CM (1h Claude, 1h Eric, 4h Marion) | Anatomie des poissons : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia | Anatomie des oiseaux : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia | Anatomie des mammifères domestiques - 20h dissections (dont 2h de préparation durant les trois jours de dissection) Claude, Margarida, Eric <ul style="list-style-type: none"> • splanchnologie : 4CM = Margarida • neurologie : 2CM Eric • glandes endocrines : 2CM Eric • mamelles : 2CM (1h Margarida, 1h Claude) • œil : 1CM Eric • dents : 1CM Claude + une séance TD Claude, Eric | Embryologie : 3CM Eric | Euthanasie : 1CM Claude + 2h dissections Claude, Eric | dossier dissection : 6h en autoformation (heures à placer avant les dissections) | VirtualVet - tablette membre thoracique 1h | VirtualVet - tablette membre pelvien 1h |
| Imagerie anatomique : 6CM (1h Claude, 1h Eric, 4h Marion) | | | | | | | | | | |
| Anatomie des poissons : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia | | | | | | | | | | |
| Anatomie des oiseaux : 2CM Claude + une séance de TD (semaine de dissection) Margarida + Aurélia | | | | | | | | | | |
| Anatomie des mammifères domestiques - 20h dissections (dont 2h de préparation durant les trois jours de dissection) Claude, Margarida, Eric <ul style="list-style-type: none"> • splanchnologie : 4CM = Margarida • neurologie : 2CM Eric • glandes endocrines : 2CM Eric • mamelles : 2CM (1h Margarida, 1h Claude) • œil : 1CM Eric • dents : 1CM Claude + une séance TD Claude, Eric | | | | | | | | | | |
| Embryologie : 3CM Eric | | | | | | | | | | |
| Euthanasie : 1CM Claude + 2h dissections Claude, Eric | | | | | | | | | | |
| dossier dissection : 6h en autoformation (heures à placer avant les dissections) | | | | | | | | | | |
| VirtualVet - tablette membre thoracique 1h | | | | | | | | | | |
| VirtualVet - tablette membre pelvien 1h | | | | | | | | | | |

Modalités d'évaluation

intermédiaire - continue

| Semaine calendaire proposée | écrit | informatique | oral | autre | commentaires |
|-----------------------------|-------|--------------|------|-------|---|
| TDs Virtual vet | | X | | | <i>Validation obligatoire de ce module pour l'obtention de l'ue</i> <i>2 coefficients sur 10</i> <i>(diagnose + présentation orale)</i> |
| Dissections début mars | | | X | | |
| | | | | | |

finale - lors de la session des examens

| | écrit | informatique | oral | autre | commentaires |
|--|-------|--------------|------|-------|--|
| | X | | | | 1h30, 8 coefficients sur 10 Format de l'interrogation : schémas légendés, QCM, QCROC, Rédaction, etc. |

Si un écrit et un oral : préciser l'ordre

UE
054

| UE 054 : Anatomie III Anatomie régionale | | |
|---|---------------------------------------|--|
| Responsable Pédagogique : Eric BETTI | | Département SC |
| CM 19h | TD 22h | TP 0h |
| Enseignements obligatoires distanciels (Préparation dossier dissection) 6 h | | |
| Travaux de groupe 0h | Ateliers VirtualVet 1h | Gardes/astreintes 0h |
| Nb Polycopiés 0 | Mise en situation professionnelle : 0 | ECTS 4 |
| Équipe pédagogique | | |
| Enseignants Oniris BETTI Eric GUINTARD Claude NEUNLIST Margarida | | Intervenants extérieurs BORVON Aurélia |
| Objectifs généraux | | |
| Cette ue apporte les bases d'anatomie régionale nécessaires aux enseignements de chirurgie, de médecine interne et de neurologie. A côté de l'apport théorique indispensable, des séances d'ostéologie et de dissection contribuent à renforcer l'acquisition de ces connaissances. | | |
| Contribution aux compétences : <i>(Référentiel de compétences à l'issue des études vétérinaires)</i> | | |
| L'anatomie est un pré-requis à de nombreuses disciplines (physiologie, histologie, anatomie pathologie et l'ensemble des sciences cliniques notamment ici la chirurgie et l'imagerie) | | |
| UE prérequis : UE 034, UE 044 Le contenu de l'enseignement des Ue 034 et 044 doit pouvoir être mobilisé à tout instant, y compris lors des contrôles de connaissances de l'Ue 054. | | Mots-clés : Anatomie régionale (mammifères domestiques), Ostéologie, myologie, neurologie |

Éléments de contenu et modalités pédagogiques

Tous les cours de cette Ue (hormis l'imagerie, la neurologie et l'embryologie) doivent être prévus avant les semaines de dissections, tout comme les 6h d'autoformation pour la préparation des dossiers de dissection.

Les cours, les td et les séances de dissection sont à placer en fin de semestre après les séances d'enseignement de l'ue 034 afin que les enseignants d'anatomie (et la salle d'anatomie (404) soient libres.

Les semaines de dissection doivent se réaliser par demi-promotion, et sont à placer en décembre. Les dissections se faisant du lundi au mardi pour une demi-promotion, et du jeudi au vendredi pour la seconde demi-promotion).

| | |
|--|--|
| Membre thoracique : 9 CM Claude | 16 heures de dissection Margarida + Aurélia, Eric, Claude |
| Membre pelvien : 9 CM Eric | |
| Neurologie : 1 CM Eric + 2 heures td Claude, Margarida, Eric | |
| Td ostéologie comparée : 2 heures td Claude, Margarida, Eric | |
| Td ostéologie – myologie : 2 heures td Claude, Margarida, Eric | |
| dossier dissection : 6h en autoformation (heures à placer avant les dissections) | |
| VirtualVet - tablette tête : 1h | |

Modalités d'évaluation

| intermédiaire - continue | | | | | commentaires |
|-----------------------------|-------|--------------|------|-------|-----------------------------------|
| Semaine calendaire proposée | écrit | informatique | oral | autre | |
| Dissections début décembre | | | | X | 2 coefficients sur 10 Diagnose |
| | | | | | |

| finale - lors de la session des examens | | | | | commentaires |
|---|-------|--------------|------|-------|--|
| | écrit | informatique | oral | autre | |
| | X | | | | 1h30, 8 coefficients sur 10 Format de l'interrogation : schémas légendés, QCM, QCROC, Rédaction, etc. |
| | | | | | |
| | | | | | |

Si un écrit et un oral : préciser l'ordre

Annexe 6 : Liste des UE utilisant ou approfondissant des connaissances anatomiques à l'ENVN (production personnelle)

| Année | UE | Cours | Espèces | Compétence |
|---|---|---|----------------------------------|--|
| <i>Première année - deuxième semestre</i> | UE 046 - Physiologie intégrée des grandes fonctions | Appareil digestif Appareil cardio- respiratoire Appareil uro- général Système nerveux | Mammifères | D.2.2 D.2.3 |
| <i>Deuxième année - premier semestre</i> | UE 56 - Propédeutique médicale | Radiographie Échographie Anatomie palpatoire | Bovins Chien Chat | D.2.2 D.2.3 D.3.2 D.4.2 D.4.3 D.4.4 |
| | UE 59 - Maladie du cheval 1 | Appareil digestif Appareil cardio- respiratoire Système nerveux Identification | Cheval | D.2.2 D.2.3 D.3.2 |
| <i>Deuxième année - deuxième semestre</i> | UE 61 - Maladie des ruminants 1 | Appareil digestif Foie Appareil urinaire Appareil locomoteur | Bovin Petits Ruminants | D.2.2 D.2.3 D.3.2 |

| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| | UE 62 - Sémiologie et physio- pathologie intégrée | Appareil digestif Appareil cardio- respiratoire Appareil uro- génital Système nerveux | Mammifères | D.2.2 D.2.3 |
| | UE 68 - Reproduction | Appareil génital | Chien Chat Cheval Bovin Petits Ruminants Porc | D.2.2 D.2.3 D.3.2 |
| | UE 610 - Techniques chirurgicales | Appareil cutané Appareil musculo- squelettique Appareil uro- génital Viscères thoraciques et abdominales Dents | Chien Chat Bovin | ST.4.2 ST.4.3 ST.4.4 ST.4.5 |
| <i>Troisième année - premier semestre</i> | UE 71 - Maladie des ruminants 2 | Appareil cardio- respiratoire Système nerveux | Bovin | D.2.2 D.2.3 D.3.2 |
| | UE 74 - Production avicole et | Appareil digestif | Volaille Poissons | D.2.2 D.2.3 |

| | | | | |
|--|---|--|--|---|
| | aquacole | Appareil cardio-respiratoire Appareil urogénital Glandes endocrines | | D.3.2 D.5.1 D.5.2 |
| | UE 75 - Obstétrique | Appareil génital | Chien Chat Cheval Bovin Porc | D.2.3 ST.4.3 |
| | UE 76 - Pathologie chirurgicale | Appareil cutané Appareil musculo-squelettique | Chien Chat Cheval Bovin | ST.4.2 ST.4.3 ST.4.4 ST.4.5 |
| | UE 77 - Pathologie des Carnivores 1 | Glandes endocrines Appareil urinaire Appareil respiratoire Yeux Système nerveux Appareil cutané | Chien Chat | D.2.3 D.3.2 |
| <i>Troisième année - deuxième semestre</i> | UE 083 - Production et médecine porcine et cunicole | Appareil digestif Appareil cardio-respiratoire Appareil uro- | Porc Lapin | D.2.2 D.2.3 D.3.2 D.5.1 D.5.2 |

| | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------------------------------------|
| | | génital | | |
| | UE 082 - Urgences, soins intensifs et anesthésie des carnivores | Appareil cardio-respiratoire Appareil cutané | Chien Chat | ST.3.2 ST.3.3 ST.3.4 |
| | UE 084 - Maladie du cheval 2 | Appareil cardio-vasculaire Appareil respiratoire Appareil digestif Appareil musculo-squelettique Appareil cutané | Cheval | D.2.3 ST.3.2 ST.3.3 ST.3.4 |
| | UE 087 - Pathologie des Carnivores 2 | Appareil digestif Appareil respiratoire Glandes endocrines Appareil cardio-vasculaire | Chien Chat | D.2.3 D.4.2 D.4.3 D.4.4 |
| <i>Quatrième année - semestre Animaux de production</i> | UE 93 - Hygiène et qualité des aliments | Appareil digestif Appareil cardio-respiratoire Appareil uro-génital Appareil | Bovin Petits ruminants | SP.4.1 |

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| | | musculo-cutané Appareil squelettique Foie | | |
| | UE 96 - Faune Sauvage | Appareil digestif Appareil digestif Appareil cardio-respiratoire Appareil uro-génital Appareil musculo-cutané Appareil squelettique | Oiseaux sauvages Petits mammifères sauvages | D.2.2 D.2.3 D.3.2 D.4.2 D.4.3 D.4.4 D.5.1 D.5.2 |
| <i>Quatrième année - semestres Animaux de Compagnie</i> | UE 099 - Imagerie | Viscères thoraciques et abdominales | Chien Chat | D.4.2 D.4.3 D.4.4 |
| | UE 101 - Anesthésie, Analgésie, Réanimation | Appareil cardio-respiratoire Appareil vasculaire | | ST.3.2 ST.3.3 ST.3.4 |
| | UE 102 - Médecine Préventive | Appareil cutané | Chien Chat | ST.1.4 |
| | UE 103 - Médecine interne | Appareil digestif Appareil cardio-respiratoire Appareil uro- | Chien Chat | D.2.2 D.2.3 D.3.2 ST.1.4 |

| | | | | |
|--|---|--|---------------------------------|--|
| | | génital | | |
| | UE 105 - Dermatologie | Appareil cutané Oreilles | Chien Chat | D.2.3 D.3.2 ST.1.4 |
| | UE 106 - Chirurgie | Appareil musculo-cutané Appareil squelettique Viscères thoraciques et abdominale | | ST.4.2 ST.4.3 ST.4.4 ST.4.5 |
| | UE 107 - Urgence, soins intensifs, hospitalisation | Appareil cardio- respiratoire Appareil digestif Appareil uro- génital | Chien Chat Lapin | D.2.2 D.2.3 D.4.2 D.4.3 ST.1.4 |
| | UE 108 - Autopsie des Carnivores domestiques et des Équidés | Ensemble des appareils | Chien Chat Cheval | D.5.1 D.5.2 |
| | UE 109 - Reproduction | Appareil génital | Chien Chat | D.2.3 ST.4.2 ST.4.3 ST.4.5 |
| <i>Quatrième année - clinique équine</i> | | Appareil locomoteur Appareil digestif Appareil cardio- respiratoire | Cheval | D.2.2 D.2.3 D.4.2 D.4.3 |

| | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
| <i>Cinquième année - clinique équine</i> | | Appareil locomoteur | Cheval | D.2.2 |
| | | | | D.2.3 |
| | | Appareil digestif | | D.3.2 |
| | | | | D.4.2 |
| | | Appareil cardio- respiratoire | | D.4.3 |
| | | | | D.4.4 |
| | | Appareil musculo-cutané | | ST.1.4 |
| | | ST.3.2. | | |
| | Appareil vasculaire | ST.3.3 | | |
| | | ST.3.4 | | |

Annexe 7 : Liste des objectifs d'apprentissage pour les membres thoracique et pelvien, indiqués en début de chaque partie : Ostéologie, Arthrologie et Myologie (production personnelle)

| | Membre thoracique | Membre pelvien |
|--------------------|---|--|
| <i>Ostéologie</i> | <p>Pour les os du carpe aux phalanges :</p> <p><u>MTO1</u>. Savoir les nommer et dénombrer</p> <p><u>MTO2</u>. Savoir les orienter</p> <p><u>MTO3</u>. Connaître les caractéristiques majeures des reliefs osseux</p> <p><u>MTO4</u>. Savoir les reconnaître d'après une photographie</p> <p><u>MTO5</u>. Savoir les reconnaître sur un cliché radiographique</p> | <p>Pour les os du tarse aux phalanges :</p> <p><u>MPO1</u>. Savoir les nommer et dénombrer</p> <p><u>MPO2</u>. Savoir les orienter</p> <p><u>MPO3</u>. Connaître les caractéristiques majeures des reliefs osseux</p> <p><u>MPO4</u>. Savoir les reconnaître d'après une photographie</p> <p><u>MPO5</u>. Savoir les reconnaître sur un cliché radiographique</p> |
| <i>Arthrologie</i> | <p>Pour les articulations de la main :</p> <p><u>MTA1</u>. Savoir dénombrer et nommer les os qui composent chaque articulations</p> <p><u>MTA2</u>. Savoir orienter et légènder les surfaces articulaires</p> <p><u>MTA3</u>. Savoir dénombrer et nommer les ligaments</p> <p><u>MTA4</u>. Savoir lister les insertions des ligaments</p> <p><u>MTA5</u>. Savoir reconnaître les ligaments sur une photographie</p> | <p>Pour les articulations du pied :</p> <p><u>MPA1</u>. Savoir dénombrer et nommer les os qui composent chaque articulations</p> <p><u>MPA2</u>. Savoir orienter et légènder les surfaces articulaires</p> <p><u>MPA3</u>. Savoir dénombrer et nommer les ligaments</p> <p><u>MPA4</u>. Savoir lister les insertions des ligaments</p> <p><u>MPA5</u>. Savoir reconnaître les ligaments sur une photographie</p> |

| | | |
|-----------------|---|--|
| | <p><u>MTA6</u>. Savoir reconnaître les ligaments sur un cliché échographique</p> <p><u>MTA7</u>. Décrire les mouvements articulaires</p> | <p><u>MPA6</u>. Savoir reconnaître les ligaments sur un cliché échographique</p> <p><u>MPA7</u>. Décrire les mouvements articulaires</p> |
| <i>Myologie</i> | <p>Pour les muscles mobilisant la main :</p> <p><u>MTM1</u>. Savoir dénombrer et nommer les muscles antébrachiaux crâniiaux et caudaux</p> <p><u>MTM2</u>. Savoir nommer leurs insertions</p> <p><u>MTM3</u>. Savoir reconnaître ces muscles sur une photographie</p> <p><u>MTM4</u>. Savoir reconnaître ces muscles sur un cliché échographique</p> <p><u>MTM5</u>. Décrire le mouvement provoqué par ces muscles</p> <p><u>MTM6</u>. Savoir nommer les fascias et gaines de la main</p> | <p>Pour les muscles mobilisant le pied :</p> <p><u>MPM1</u>. Savoir dénombrer et nommer les muscles de la loge crâniale et caudale</p> <p><u>MPM2</u>. Savoir nommer leurs insertions</p> <p><u>MPM3</u>. Savoir reconnaître ces muscles sur une photographie</p> <p><u>MPM4</u>. Savoir reconnaître ces muscles sur un cliché échographique</p> <p><u>MPM5</u>. Décrire le mouvement provoqué par ces muscles</p> <p><u>MPM6</u>. Savoir nommer les fascias et gaines du pied</p> |

Chloé ALBERT

**RÉALISATION D'UN DIDACTICIEL SUR L'ANATOMIE DE LA MAIN ET DU PIED
DU CHEVAL : OSTÉOLOGIE, ARTHROLOGIE ET MYOLOGIE**

PRODUCTION OF AN EDUCATIONAL TOOL ON THE ANATOMY OF THE HORSE'S
HAND AND FOOT : OSTEOLOGY, ARTHROLOGY AND MYOLOGY

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 16/09/2024

RÉSUMÉ

L'anatomie, discipline fondamentale en médecine vétérinaire, suscite des difficultés d'apprentissage pour les étudiants, qui trouvent sa mémorisation complexe et l'ancrage de leurs connaissances peu durable. Face à cela, divers supports pédagogiques, ont été créés pour optimiser l'apprentissage et notamment des outils numériques qui soulèvent des questions sur leur efficacité. Le projet de cette thèse vise à créer un didacticiel sur l'anatomie, en se concentrant sur la main et le pied du cheval. Pour cela, une étude bibliographique a tout d'abord été menée pour établir les caractéristiques idéales de ce type de support et l'intérêt des nouvelles technologies au service de la pédagogie. Au final, le support choisi est un didacticiel accessible aux étudiants en ligne, contenant des photographies de dissections, des clichés radiographiques et échographiques, accompagnés de dessins de dissections légendés et annotés. Par ailleurs, un quiz est également disponible pour tester la compréhension et la mémoire des étudiants.

MOTS CLÉS :

-CHEVAL

-ANATOMIE

-MEMBRE THORACIQUE

-MEMBRE PELVIEN

-OSTÉOLOGIE

-ARTHROLOGIE

-MYOLOGIE

-OUTIL PÉDAGOGIQUE

-APPRENTISSAGE

DATE DE SOUTENANCE : 16/09/2024