



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/27355/>

Lamoly, Amélie . *L'application de l'intelligence artificielle au service de la nutrition individualisée*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2020, 113 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ANNEE 2020 THESE : 2020 – TOU 3 – 4084

L'APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DE LA NUTRITION INDIVIDUALISEE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

LAMOLY Amélie, Marie-Anne
Née, le 08/07/1994 à SAINT-LOUIS (974)

Directeur de thèse : Mme Sylvie CHASTANT-MAILLARD

JURY

PRESIDENT :

M. Xavier DE BOISSEZON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESSEURS :

Mme Sylvie CHASTANT-MAILLARD
M. Hubert BRUGERE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

M. Grégory SANTANER

Docteur en Médecine Vétérinaire

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

Directeur: Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 1°
CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

**PROFESSEURS 2°
CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

**PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT
AGRICOLE**

Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

**MAITRES DE CONFERENCES HORS
CLASSE**

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

**MAITRES DE CONFERENCES (classe
normale)**

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales réglementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

M. **BOLON Pierrick**, *Production et pathologie aviaire*
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

**ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES
VETERINAIRES**

Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

Mise à jour au 01/06/2020

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
- M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

REMERCIEMENTS

Au président de thèse,

A Monsieur le Professeur Xavier DE BOISSEZON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse,
Praticien hospitalier,
Médecine Physique et de Réadaptation

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommage respectueux et sincères remerciements.

Au jury de thèse,

A Madame le Professeur Sylvie CHASTANT-MAILLARD,

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Reproduction

Qui m'a accompagnée et conseillée tout au long de ce travail,
Pour votre disponibilité, votre réactivité et votre implication.
Sincères remerciements

A Monsieur le Professeur Hubert BRUGERE,

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale

Qui a très aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse,
Pour l'intérêt porté à mon travail,
Sincères remerciements.

A Monsieur le Dr Grégory SANTANER,

Docteur vétérinaire
VetoNetwork, Anicoon Vétérinaires

Qui m'a conseillée tout au long de mon travail,
Pour les échanges stimulants et les conseils avisés.
Sincères remerciements.

Autres remerciements

Remerciements à Vet IN tech. Tous mes remerciements à Mme Annick Valentin Smith, M. Raphaël Guatteo, M. Jean-Luc Chambrin et à toute l'équipe pour votre confiance et vos conseils avisés.

Remerciements à Royal Canin. Tous mes remerciements à Mme Eva Clerc, Mme Marie-Agnès Peigney-Le Coz, M. Laurent Houssais et M. Claude Ecochard pour votre disponibilité et vos conseils avisés.

Remerciements à Mme Françoise Lemoine et M. Thimothé Audouin pour votre implication et vos conseils avisés.

Remerciements à mes parents et à mon frère pour votre patience et votre tolérance si précieuses. Merci de m'avoir écoutée, soutenue, aidée, conseillée et supportée. Parce que je ne vous remercierai jamais assez. Bien affectueusement.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES TABLEAUX	15
LISTE DES ANNEXES	17
INTRODUCTION	21
PARTIE 1 : S'APPROPRIER LE CONCEPT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	23
1. Techniques d'Intelligence Artificielle	23
2. IA faible et IA forte	25
3. Données de masse ou big data, une notion indissociable de l'IA	26
PARTIE 2 : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET INDIVIDUALISATION DE LA MEDECINE HUMAINE ET VETERINAIRE	29
1. Entrée de l'IA dans le secteur de la santé humaine : vers une médecine de plus en plus individualisée et précise	30
2. Collecte des données de santé	30
3. Regroupement des données en santé	32
4. Applications de l'IA dans le secteur de la santé humaine	33
4.1. IA d'aide au diagnostic médical rapide chez un individu.....	33
4.2. IA d'aide au triage.....	34
4.3. IA d'aide à la prise en charge individualisée.....	35
4.4. IA d'aide à la consultation à distance : télésanté.....	36
4.5. IA d'aide à la précision et à l'individualisation des soins hospitaliers.....	37
5. Applications de l'IA dans le secteur de la santé animale	38
5.1. Chez les animaux d'élevage	38
5.2. Chez les animaux de compagnie	40
6. Problématiques de l'IA en médecine	43
6.1. Problématiques techniques : les biais en IA.....	43
6.2. Problématiques éthiques : confiance, responsabilités de l'IA	44
6.3. Problématiques légales et certification des applications de santé	45

PARTIE 3 : IA ET NUTRITION INDIVIDUALISEE	49
1. Données en nutrition individualisée	49
2. Nutrition individualisée	50
2.1. Nutrition de catégories	50
2.2. Nutrition de personnalisation et de précision.....	50
3. Applications de l'IA en nutrition individualisée humaine	51
4. Applications de l'IA en nutrition individualisée animale	52
4.1. En médecine rurale.....	52
4.2. Chez les animaux de compagnie	54
PARTIE 4 : L'APPLICATION DE L'IA A LA NUTRITION INDIVIDUALISEE VUE PAR LES VETERINAIRES ET LES ELEVEURS CANINS/FELINS	61
1. Objectifs du sondage	61
2. Matériels et méthodes	61
2.1. Conception du questionnaire	61
2.2. Diffusion du questionnaire.....	63
2.3. Saisie et traitement des données	63
3. Résultats	64
3.1. Description de la population étudiée	64
3.1.1. Age.....	64
3.1.2. Profession	65
3.1.3. Localisation géographique	65
3.2. Pratiques, intérêt, opportunités et limites de l'application de l'IA à la nutrition individualisée animale chez les éleveurs canins/félins	66
3.2.1. Localisation géographique	67
3.2.2. Caractéristiques des élevages.....	67
3.2.3. Importance quantitative et qualitative de la nutrition en santé animale chez les éleveurs	68
3.2.4. Choix d'une alimentation	68
3.2.5. Intérêt pour la nutrition individualisée et la premiumisation	70
3.2.6. Attrait pour l'IA et impact des technologies (applications smartphones, objets connectés etc.) sur la pratique en élevage.....	70
3.2.7. Connaissance du concept d'IA	70
3.2.8. Intérêt pour la collecte de données d'activité chez le chien ou le chat en vue d'améliorer la précision des rations	70

3.3. Pratiques, intérêt, opportunités et limites de l'application de l'IA à la nutrition individualisée animale chez les vétérinaires canins/félins	71
3.3.1. Localisation géographique	71
3.3.2. Caractéristiques de la population des vétérinaires participants .	72
3.3.3. Importance quantitative et qualitative de la nutrition en santé animale chez les vétérinaires canins/félins et leur clientèle	72
3.3.4. Choix d'une alimentation.....	73
3.3.5. Pratiques en matière de nutrition chez les vétérinaires canins/félins : formations, services proposés, difficultés, valorisation .	74
3.3.6. Attrait pour l'IA et impact des technologies (applications smartphones, objets connectés etc.) sur la pratique en clinique	77
3.3.7. Connaissance du concept d'IA	77
3.3.8. Intérêt pour la collecte de données d'activité chez le chien ou le chat en vue d'améliorer la précision des rations	77
3.3.9. Intérêt pour l'IA en nutrition individualisée : gain de temps, valorisation d'un service de nutrition.....	78
4. Discussion	78
4.1. Choix des méthodes	78
4.2. Caractéristiques de la population	79
4.3. Attrait pour l'IA en nutrition	80
4.4. Intérêt de l'IA en nutrition individualisée	82
4.5. Opportunité de l'IA en nutrition individualisée : le e-commerce	83
CONCLUSION	85
BIBLIOGRAPHIE	87
ANNEXES	95

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Machine Learning et Deep Learning, des sous-domaines de l'IA (Jean, 2019).....	24
Figure 2 : Distinction IA faible - IA forte (André, 2019 ; Jean, 2019)	25
Figure 3 : Profusion de données en science (André, 2019 ; www.wikipedia.org)	27
Figure 4 : Type de données collectées chez un chien (Ecochard, 2020 ; www.pixabay.com)	31
Figure 5 : Les applications d'IA dans le domaine de la santé humaine : tour d'horizon des startups à surveiller (CB Insight, 2019)	33
Figure 6 : Représentation de l'algorithme d'IA RADLogics® similaire à l'IA CT Imaging Analytics Solution® calculant le ratio volume affecté/ volume total pulmonaire (score corona) sur des images de scanners de patients atteints de la COVID-19 au cours du temps (Radlogics Inc., 2020).....	34
Figure 7 : Plateforme de l'algorithme Eko® permettant de visualiser des anomalies cardiaques à distance, de détecter et prévenir précocement le médecin et son patient des anomalies (Med Tach inc., 2020).....	37
Figure 8 : Détection des mammites subcliniques par Ida® (Ida, 2020).....	39
Figure 9 : Impacts de l'IA en médecine vétérinaire (Rademaker, 2020)	42
Figure 10 : Exemple de certification privée en santé animale (MedAppcare,2020)...	46
Figure 11 : Processus de recommandation d'alimentation JustRight® pour les propriétaires d'animaux de compagnie (www.justrightpetfood.com)	59
Figure 12 : Processus de recommandation d'alimentation Individualis® réservé au vétérinaire (www.individualis.com ; Houssais, communication personnelle).....	60
Figure 13 : Répartition de la population (%) selon l'âge (n=835).....	64
Figure 14 : Localisation géographique des participants (n=835)	65
Figure 15 : Localisation géographique des éleveurs (n=210)	66

Figure 16 : Répartition (%) des éleveurs canins (à gauche) et félins (à droite) selon le nombre de femelles reproductrices (n=210)	67
Figure 17 : Avis des éleveurs (%) sur l'importance de la nutrition en santé animale (n=210)	68
Figure 18 : Avis des éleveurs (%) sur leur recours à Internet pour l'achat d'alimentation animale (n=210).....	69
Figure 19 : Avis des éleveurs (%) sur leur intérêt à participer à une collecte de données d'activité anonymisée chez leur animal de compagnie via un collier capteur d'activité permettant d'améliorer la précision des rations (n=238).....	71
Figure 20 : Localisation géographique des vétérinaires (n=528).....	71
Figure 21 : Proportion de vétérinaires (%) en fonction de leur domaine d'activité clinique (n=528).	72
Figure 22 : Avis des vétérinaires (%) sur l'intérêt de leur clientèle pour la nutrition animale (n=528)	73
Figure 23 : Proportion de vétérinaires (%) proposant un calcul de ration en fonction de l'état physiologique ou pathologique d'un animal (n=362).....	75
Figure 24 : Temps passé (minutes) à l'élaboration d'une ration alimentaire chez les vétérinaires proposant un calcul de ration (n=362).....	76
Figure 25 : Prix du service de calcul de ration (n=362 vétérinaires).....	76
Figure 26 : Avis des vétérinaires (%) sur leur intérêt à participer à une collecte de données d'activité sur chien ou chat via un collier capteur d'activité permettant d'améliorer la précision des rations alimentaires (n=597)	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des 3 parties du questionnaire d'enquête (annexe 2).....	62
Tableau 2 : Races et effectifs de chiens ou chats cités par les éleveurs (n=210).....	67
Tableau 3 : Classement des critères de choix d'une alimentation chez les éleveurs du sondage (n=210).....	69
Tableau 4 : Classement des critères de choix d'une alimentation chez les vétérinaires du sondage (n=597).	74
Tableau 5 : Comparaison de l'offre et de la demande en nutrition individualisée des animaux de compagnie (Houssais et Clerc, communication personnelle)	81

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Projets d'IA et objectifs en médecine des ruminants en Europe (Internet of food and farm, 2019)	95
Annexe 2 : Questionnaire d'enquête.....	101
Annexe 3 : Relevé exhaustif des commentaires sur la sous-exploitation de la nutrition en santé animale (n=102).....	111

LISTE DES ABBREVIATIONS

ABAU : Affection du Bas Appareil Urinaire

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

APSoReN : Amélioration du Parcours de Soins du patient traumatisé crânien par le développement d'un Réseau de Neurones appliqué à des jeux de données massives

BARF : Biologically Appropriate Raw Food ou Nourriture crue biologiquement appropriée

Bpi : Banque publique d'investissement

CGU : Charte Générale d'Utilisation

CCSI : Concentration en Cellules Somatiques Individuelles

CMT : California Mastitis Test

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CNOM : Conseil National de l'Ordre des Médecins

COVID-19 : Coronavirus Disease 2019

DAC : Distributeur Automatique des Concentrés

DCP : Données à Caractère Personnel

DL : Deep Learning

DME : Dossier Médical Electronique

ECG : Electrocardiogramme

FACCO : Fédérations des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres animaux familiers

GAFAM : Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft

IA : Intelligence Artificielle

Idele : Institut de l'Elevage

INC : Incorporation

LOF : Livre des Origines Français

LOOF : Livre Officiel des Origines Félines

ML : Machine Learning

MRC : Maladie Rénale Chronique

NACRe : Réseau National Alimentation Cancer Recherche

PNNS : Programme National Nutrition Santé

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

RPC : Rapport Protido-Calorique

SCC : Société Centrale Canine

SNDS : Système National des Données de Santé

SNGTV : Société Nationale des Groupements Techniques Vétérinaires

VPH : Veterinary Public Health ou santé publique vétérinaire

INTRODUCTION

La nutrition est aux fondements de la médecine : « Tu feras de ton alimentation ta seule médecine », disait Hippocrate au Vème siècle avant J-C. C'est de là que naît le concept de nutrition-santé. L'objectif visé est de réduire l'incidence de pathologies et de permettre une vie active plus longue grâce à l'alimentation. En tant que vétérinaire, notre obligation de moyens nous pousse à proposer un accompagnement le plus individualisé et à jour possible à notre patient et client. Le domaine de la nutrition n'y échappe donc pas.

Néanmoins à l'heure actuelle notre environnement de travail s'avère de plus en plus complexe : multitude d'informations provenant de publications scientifiques en tous genres, essais cliniques réalisés ou en cours, données patients en constante évolution etc. Là où le cerveau humain n'est pas adapté pour gérer une telle quantité d'informations, l'Intelligence Artificielle (IA) pourrait prendre le relais.

L'IA se déploie et s'impose dans de nombreux domaines de nos vies privées et professionnelles : jeux vidéo, automobile, aéronautique, techniques médicales, etc. Depuis quelques années, les géants du GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) investissent massivement pour en doter leurs produits et de nouvelles start-ups se créent tous les jours autour des applications de l'IA.

L'objectif de cette thèse est de sensibiliser le vétérinaire, au travers d'exemples, au concept de l'IA appliquée au domaine de la nutrition individualisée. Il est important que les vétérinaires se familiarisent à ces technologies pour « s'assurer d'avoir la liberté de choisir <leurs> outils numériques » dans un monde qui évolue très rapidement (Roder, 2019). L'IA leur permettra d'assurer une prise en charge encore plus précise et individualisée de leurs patients et clients. Nous nous focaliserons sur la médecine canine et féline mais des parallèles seront effectués avec le monde rural et la médecine humaine où les révolutions numériques sont un peu plus avancées.

Dans une première partie, nous définirons les notions clés en IA. Ainsi nous pourrons, dans une seconde partie, porter notre attention sur le concept d'individualisation qu'apporte cette technologie en santé humaine et animale. Cette mise en contexte nous aidera à comprendre dans un troisième temps, les différentes retombées de l'IA

en nutrition individualisée. Enfin un sondage réalisé auprès de vétérinaires et d'éleveurs canins et félins montrera sur le terrain les ressentis des professionnels quant à l'intérêt, les opportunités, les limites de l'IA appliquée à la nutrition individualisée.

PARTIE 1 : S'APPROPRIER LE CONCEPT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'intelligence artificielle (IA) au singulier est un abus de langage. Il existe en réalité plusieurs intelligences artificielles aux approches techniques distinctes qui s'avèrent plus ou moins « intelligentes » : Machine Learning (ML), méthodes statistiques bayésiennes, régression logistique, analyse discriminante linéaire, arbres de décision etc. Un point commun est toutefois à l'origine des actions de la machine : l'algorithmique.

1. Techniques d'Intelligence Artificielle

Ainsi pour se familiariser à l'IA, il nous faut avoir une compréhension au moins succincte du concept d'**algorithme**. En réalité la tâche est facile puisque ce concept nous est familier. Vous avez « votre » méthode et l'appliquez toutes les semaines au marché pour choisir le plus vite possible et sans erreur le plus gros melon de l'étal du marché (Jean, 2019) ? C'est un algorithme : « Un ensemble de règles opératoires dont l'application permet de résoudre un problème énoncé au moyen d'un nombre fini d'opérations » (Larousse, 2019). Il faut donc aussi noter qu'il n'existe pas un algorithme unique pour résoudre un problème donné et que tout algorithme dépend en partie de la vision du monde des individus qui le développent (Jean, 2019). Les étapes suivies sont :

- Définir le problème ;
- Recueillir des données ;
- Chercher des solutions au problème ;
- Choisir la meilleure solution ;
- Appliquer la solution choisie au problème ;
- Valider la justesse de la solution choisie.

Nous entrons dans le monde de l'IA à proprement parler lorsque ces cheminements algorithmiques sont réalisés par un ordinateur, dans le monde virtuel. Ces algorithmes qualifiés de numériques seraient alors irréalisables à la main de par leur complexité. L'objectif de l'IA est d'amener à la résolution rapide et juste (ou à une erreur connue et acceptée) d'un problème du monde réel à partir d'un jeu de données précis dans un contexte précis (Jean, 2019).

Les deux techniques principalement utilisées en IA sont le Machine Learning (ML) ou « apprentissage automatique » et le Deep Learning (DL) ou « apprentissage profond » (Figure 1) (Jean, 2019).



Figure 1 : Machine Learning et Deep Learning, des sous-domaines de l'IA (Jean, 2019)

Tout comme un jeune enfant enrichit son intelligence à l'aide d'un nombre limité d'associations image-nom, ces techniques vont faire de même à partir de millions d'images de manière supervisée pour le ML ou non supervisée pour le DL (Alexandre, 2017).

Celles-ci « apprennent » d'elles-mêmes à formuler des règles pour une tâche précise comme par exemple « reconnaître un chat », à partir d'analyses statistiques de bases de données de grandes tailles évoluant au fil du temps. Les résultats fournis sont des recommandations ou prédictions avec une probabilité d'erreur (Jean, 2019 ; Gené, 2020).

2. IA faible et IA forte

Ces techniques ML et DL appartiennent à l'IA dite « faible » car elles n'effectuent que des tâches programmées dans un environnement bien déterminé (Figure 2) (André, 2019 ; Jean, 2019).

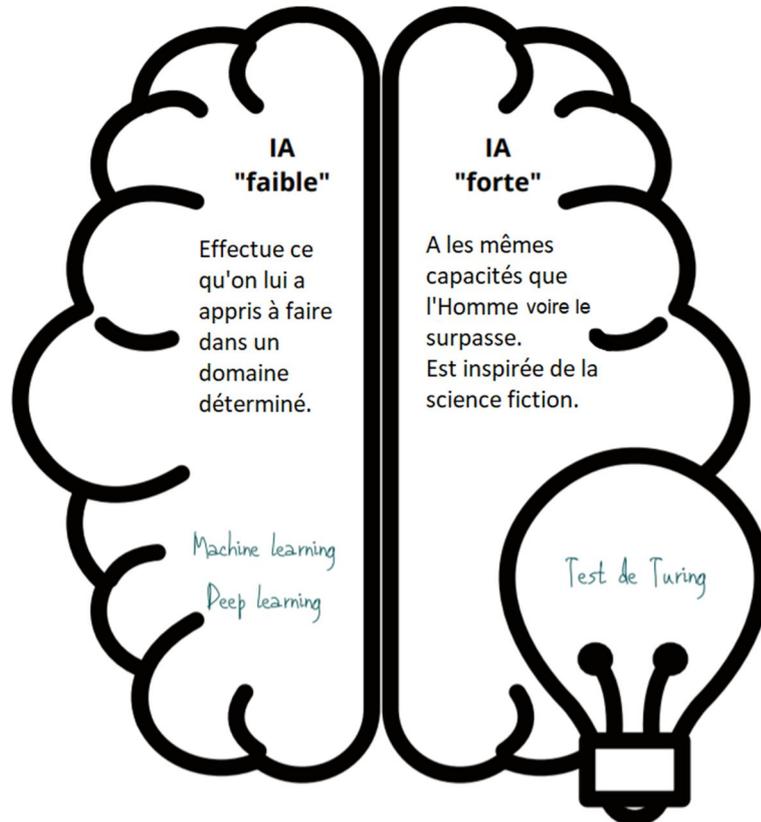


Figure 2 : Distinction IA faible - IA forte (André, 2019 ; Jean, 2019)

L'IA « faible » est présente dans de nombreux domaines de notre quotidien principalement sous forme de :

- systèmes experts avec des tâches de diagnostic, de prospection minière, de surveillance et détection de pannes, spams de courriels ;
- robots acquérant des informations à l'aide de capteurs pour se mouvoir dans des environnements diversifiés ;
- applications de traduction automatique, de compréhension de langage oral et écrit ;
- application de reconnaissance de formes (images, clichés radiographiques etc.) (Jean, 2019 ; Perrin, 2019).

L'IA « forte » relève quant à elle de la capacité d'une machine à penser, à avoir conscience d'elle-même, à comprendre ses raisonnements. La machine pourra alors réussir le fameux test d'imitation ou test de Turing qui consiste à placer un humain dans une conversation verbale où ce dernier doit déterminer s'il converse avec une machine ou un humain. Alan Turing a inventé ce test dans le but de répondre à une question conceptuelle : « une machine peut-elle penser ? » (André, 2019 ; Jean, 2019).

3. Données de masse ou big data, une notion indissociable de l'IA

A partir des années 2000, le développement d'internet et la puissance des ordinateurs ont permis l'accumulation et l'analyse de grandes quantités de données. L'IA a ainsi amorcé une accélération fulgurante. En effet, plus une IA reçoit de données, plus elle apprend et plus elle devient précise.

Il a été estimé que l'humanité produira chaque semaine plus de 1 000 milliards de milliards de données numériques en 2020 (Alexandre, 2017). On parle alors de données massives ou de big data. Il est estimé que 88 % du big data produit n'est actuellement pas exploité (Visiativ, 2015 ; Alexandre, 2017). Idriss Aberkane souligne que « la connaissance croît trop vite pour que l'expertise reste individuelle. Il devient en effet difficile pour un cerveau humain d'intégrer toutes les notions, d'établir des liens et donc de tirer profit de cette profusion d'informations » (Aberkane, 2016).

Le domaine des sciences et de la santé n'y échappent pas (André, 2019 ; www.wikipedia.org) (Figure 3).

A l'heure actuelle, l'IA est une thématique qui ne cesse de gagner en intérêt et en utilisation dans de nombreux domaines. En matière de médecine humaine et vétérinaire, une masse croissante de données est disponible et exploitable. C'est donc l'un des domaines où le potentiel d'utilisation de l'IA est très prometteur. Les applications actuelles en médecine se concentrent principalement sur la précision et l'individualisation.



Figure 3 : Profusion de données en science et difficultés à se maintenir à jour (André, 2019 ; www.wikipedia.org)

PARTIE 2 : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET INDIVIDUALISATION DE LA MEDECINE HUMAINE ET VETERINAIRE

L'IA excelle à identifier des schémas et à extraire des informations sur des systèmes complexes à partir de nombreuses données (signes cliniques, historiques médicaux, résultats de recherches fondamentales, effets secondaires signalés etc.).

Dans les prochaines années, la santé sera le secteur le plus impacté par l'utilisation de l'IA. En France, l'Etat compte investir 1,5 milliards d'euros d'ici 2022 pour le développement de l'IA et la santé serait l'un des secteurs prioritaires (PricewaterhouseCoopers, 2017).

De nombreuses applications de plus en plus sophistiquées voient le jour : robotique (aide aux personnes âgées, aide aux personnes à mobilité réduite, etc.), veille sanitaire épidémiologique (anticipation d'une épidémie, pharmacovigilance), prédiction de la réponse aux traitements administrés, conception de médicaments, perfectionnement d'interprétation d'images pour le diagnostic de certaines pathologies, modélisation de tumeurs, chirurgie assistée (alerte prévenant le chirurgien en cas de geste « risqué » ou non attendu ou non conforme au regard de cas mémorisés). Néanmoins les applications les plus communes aujourd'hui concernent la médecine individualisée et de précision aussi bien au stade du pronostic que de celui du diagnostic (Bateman, 2014 ; Benz, 2018).

Nous nous attacherons à montrer dans cette partie l'évolution de l'IA en santé humaine et vétérinaire (plus d'individualisation et de précision) et nous développerons ses impacts sociétaux, économiques et éthiques.

1. Entrée de l'IA dans le secteur de la santé humaine : vers une médecine de plus en plus individualisée et précise

Le médecin est le premier personnel de santé à s'être intéressé à l'IA dans les années 1960-1970 au travers d'applications de type système expert d'aide au diagnostic. Ces applications sont construites en confrontant les données du patient (données génomiques, paramètres biochimiques et hématologiques, microbiome, régime alimentaire, activité physique etc.) à une masse de données issues d'autres patients et à des bases de connaissances, de façon à établir une marche à suivre thérapeutique précoce, précise et individualisée (André, 2019). Les données médicales sont transformées en connaissance afin de mieux accompagner les praticiens lors de la prise en charge de leurs patients et clients. « On parle de personnel de santé augmenté. Néanmoins l'humain reste au cœur du processus et surtout il en garde le contrôle » (Fernández, 2020).

Mais pour que l'IA puisse s'appliquer en médecine, de manière individualisée et précise, de grandes quantités de données médicales doivent pouvoir être collectées, sélectionnées et analysées.

2. Collecte des données de santé

Les données de santé sont définies comme les « Données à Caractère Personnel (DCP) relatives à la santé physique ou mentale d'une personne physique, y compris la prestation de services de soins de santé, qui révèlent des informations sur l'état de santé de cette personne. Ces DCP incluent toute information concernant, par exemple, une maladie, un handicap, un risque de maladie, les antécédents médicaux, un traitement clinique ou l'état physiologique ou biomédical de la personne concernée, indépendamment de sa source » (CNIL, 2019).

Dans le monde animal, le plus grand nombre de données de santé est actuellement collecté chez la vache. En élevage, 70 % des éleveurs de bovins et 40 % des éleveurs de petits ruminants utilisent des outils numériques de collecte de données (Vetintech, 2020). L'Institut de l'Élevage (Idele) a référencé plus de 80 modèles de monitoring (capteurs pour prévenir chaleurs et vêlage, robot de traite etc.) (www.idele.fr).

La collecte et l'analyse de données permettent de traiter précocement certaines pathologies, de faire des économies d'intrants, d'optimiser le travail, de se comparer (benchmarking) et de faire émerger les pratiques les plus performantes (Siné, 2019).

Actuellement chez les animaux de compagnie, les colliers capteurs d'activité (ou activité-mètres) WHISTLE® (Mars Petcare®, Etats-Unis) ou VETRAX® (Hill's®, Etats-Unis) collectent des données pour proposer des solutions d'IA permettant de répondre à certains besoins médicaux. Chez le chien, le projet PET INSIGHT® (Mars Petcare®, Etats-Unis) a collecté à ce jour, 11 millions de jours avec des informations comportementales (50 données/secondes via les colliers capteurs d'activité Whistle®) et des milliards de données cliniques (via les vétérinaires partenaires de la chaîne vétérinaire Banfield Hospital® aux Etats-Unis) (Figure 4) (Santaner, communication personnelle).



BILL

Le vétérinaire collecte

- poids, âge, stade physiologique
- antécédents médicaux
- résultats d'analyses, d'exams complémentaires
- pathologies diagnostiquées
- traitements mis en place et efficacité
- ration alimentaire
- etc.

Le collier collecte des mouvements dans le temps et l'espace quotidiennement

- Temps de repos
- Activité : minutes d'activité, calories brûlées
- Temps passé à se gratter/ lécher
- etc.

Figure 4 : Type de données collectées chez un chien par le collier du projet PET INSIGHT® (Ecochard, 2020 ; www.pixabay.com)

3. Regroupement des données en santé

La coordination des personnels de santé dans l'organisation de collectes et le regroupement de données médicales en vue de leur exploitation sont reconnus aujourd'hui comme des éléments essentiels de la qualité de la prise en charge médicale individuelle. C'est en ce sens qu'en médecine humaine, la ministre française des Solidarités et de la Santé a annoncé la création officielle le 1er décembre 2019 d'une plateforme de données de santé (*Health Data Hub*), plateforme sécurisée de partage entre producteurs et utilisateurs de données de santé (CNIL, 2020 ; www.health-data-hub.fr). L'objectif est d'organiser le travail collaboratif et d'assurer juridiquement qu'aucune information ne soit reprise à titre privé. En effet, les informations peuvent être utilisées par tous, mais personne ne peut s'en attribuer la propriété. Les enjeux majeurs sont, pour les acteurs qui s'en servent, de stocker et de rendre exploitables ou visualisables les données médicales.

En médecine vétérinaire, une plateforme de partage de données mondiales en santé publique vétérinaire a vu le jour en janvier 2020 sous le nom d'*Hub VPH* (Veterinary Public Health). L'enjeu est de prévenir et de mieux contrôler la propagation des maladies d'origine animale via le suivi individuel (Hub VPH, 2019). Plus récemment en septembre 2020, un partenariat a été signé entre Vétoquinol® (France), Farmvetsystems® (Angleterre) et la Société Nationale des Groupements Techniques Vétérinaires (SNGTV) (France) pour la mise en commun des données sanitaires d'élevage (résultats d'analyses biologiques, informations épidémiologiques, contrôle de performance et données de reproduction, etc.). Le vétérinaire pourra y avoir accès en permanence à la clinique comme au sein des élevages et pourra ainsi « renforcer ses processus de décision dans la prescription et dans la valorisation de <ses> actes » (Valentin Smith, 2020).

Grâce à l'IA qui est capable d'analyser de façon transversale, d'interpréter, de faire correspondre entre elles de nombreuses données, la santé en général est dans un nouveau cycle d'innovation (CNIL, 2020).

4. Applications de l'IA dans le secteur de la santé humaine

L'IA connaît un fort développement dans le secteur de la santé humaine ; plus de 80 % de ce marché est développé par des startups (Figure 5) (CB Insight, 2019).

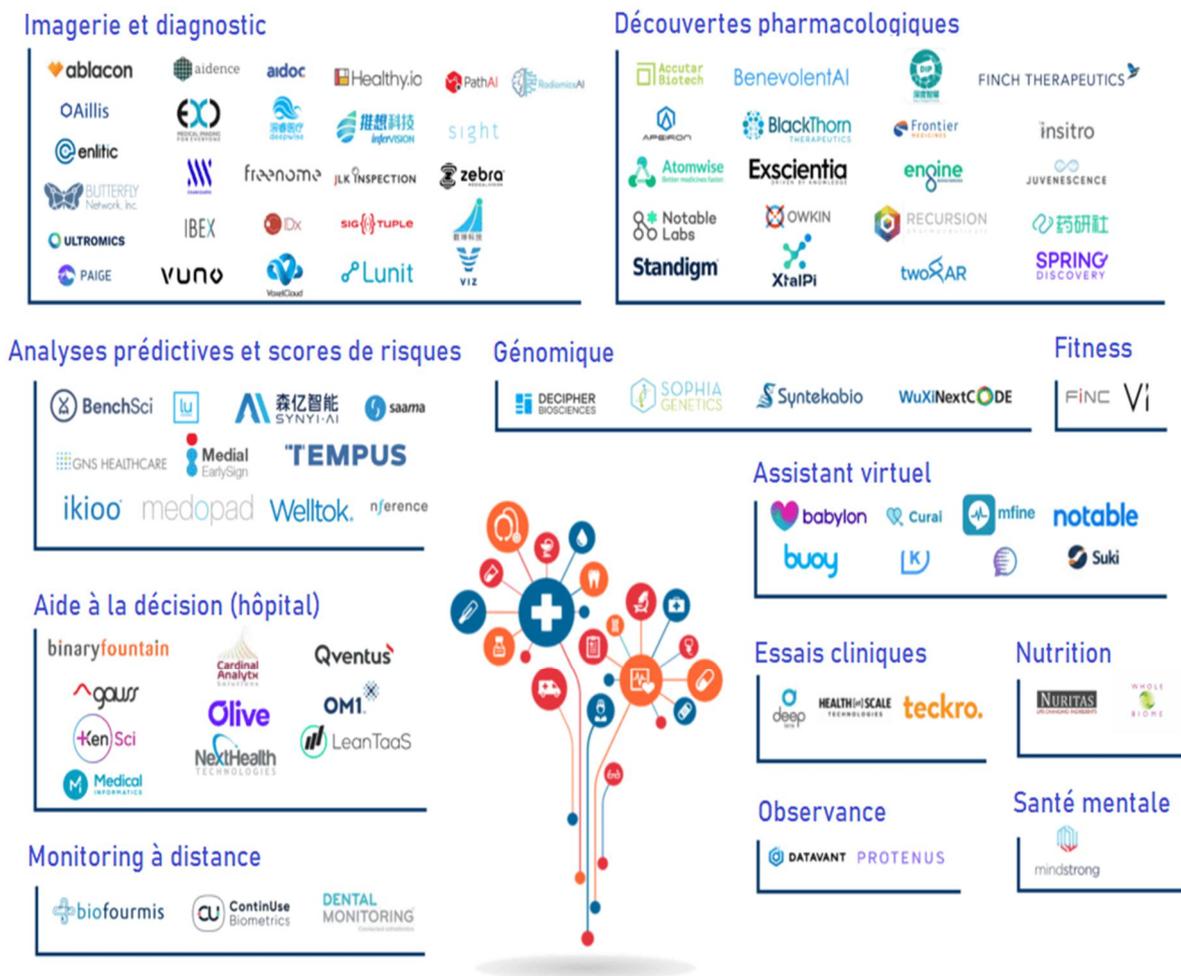


Figure 5 : Les applications d'IA dans le domaine de la santé humaine : tour d'horizon des startups à surveiller (CB Insight, 2019)

4.1. IA d'aide au diagnostic médical rapide chez un individu

Un diagnostic rapide et/ou précoce est un facteur majeur de réussite de prise en charge d'un individu. L'un des cas d'utilisation le plus largement référencé d'IA dans ce domaine concerne l'aide au diagnostic d'imagerie médicale. L'IA et en particulier le DL donnent en effet des résultats très probants dans la segmentation et la classification rapides des images de scanner (Rouger, 2020).

A titre d'exemple CT Imaging Analytics Solution® (ALIBABA®, Chine) possède des algorithmes de DL qui pourraient, d'après des images de tomodensimétrie, évaluer la probabilité de différents types de pneumonie dont celle associée à la COVID-19 (Coronavirus Disease 2019) (avec une sensibilité et une spécificité de 98 %, F1-score de 97 %) et calculer un « score corona » (ratio du volume pulmonaire affecté par rapport à l'ensemble du volume pulmonaire) (Figure 6). Le mécanisme de DL ne dure que 20 secondes au maximum (ce qui le rend 60 fois plus rapide que la lecture par l'Homme) et détecte des anomalies de l'ordre du pixel (Ko et al., 2020).

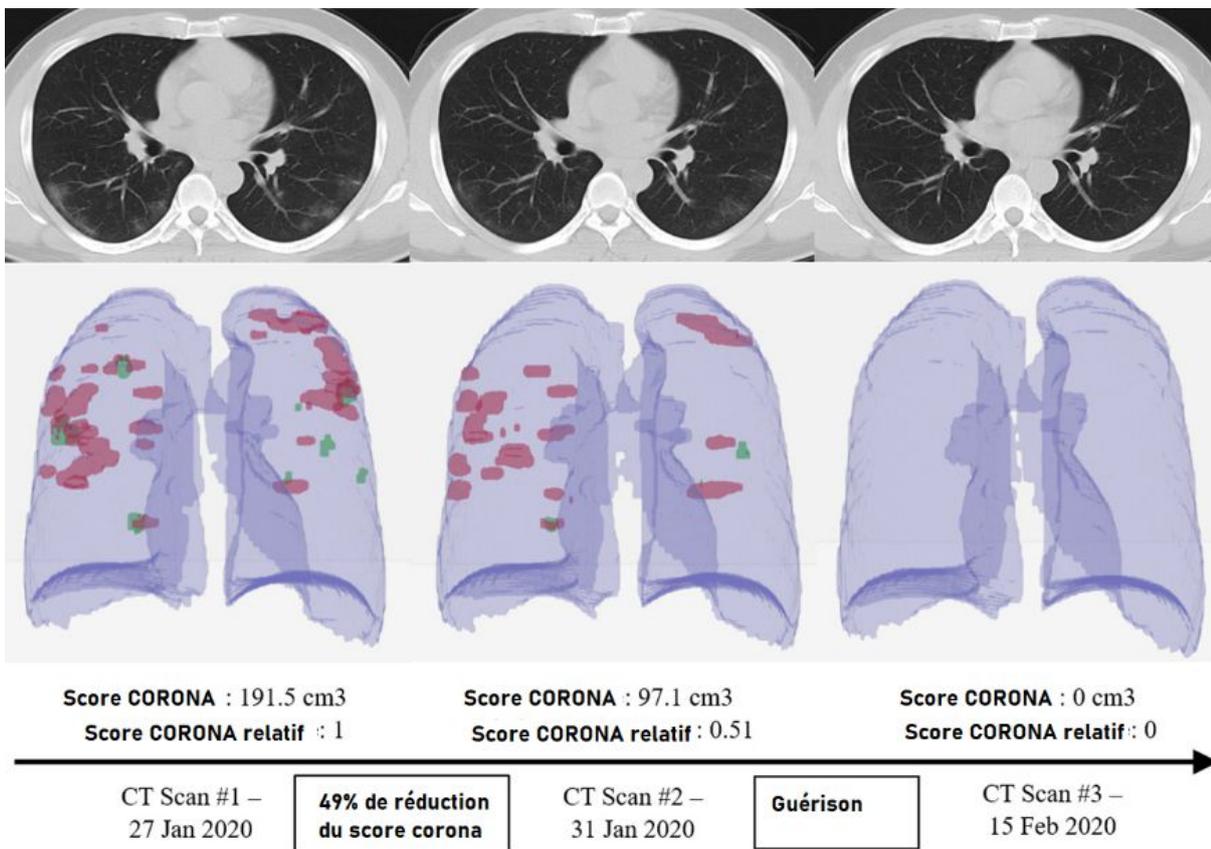


Figure 6 : Représentation de l'algorithme d'IA RADLogics® similaire à l'IA CT Imaging Analytics Solution® calculant le ratio volume affecté/ volume total pulmonaire (*score corona*) sur des images de scanners de patients atteints de la COVID-19 au cours du temps (Radlogics Inc.,2020)

4.2. IA d'aide au triage

La création d'interfaces conversationnelles nommées *chatbot* et basées sur l'IA peut automatiser le dépistage des patients et faciliter la navigation dans les soins de manière individualisée (triage).

Le mastodonte de cette catégorie est Babylon Health® (Etats-Unis) avec son application d'IA Babylon - Healthcheck, video appointments & more® qui, mise au point avec l'aide de médecins, interprète les symptômes d'un utilisateur afin de lui fournir le diagnostic le plus probable et de lui donner des conseils individualisés sur les mesures à prendre (programmation d'une consultation vidéo avec un médecin, renseignement auprès d'un pharmacien, intervention d'une infirmière etc.). Pour cela, l'utilisateur doit sélectionner une partie du corps et répondre à une série de questions à choix multiples. L'algorithme « collecte » alors les choix, élimine les résultats non adéquats et propose le diagnostic le plus probable et les mesures à prendre en priorité (Middleton et al., 2016).

La technologie sous-jacente est un algorithme de DL utilisant un graphique de connaissances. Ce graphique fonctionne comme une encyclopédie numérique de médecine. Il permet d'établir des relations entre diverses pathologies, symptômes et facteurs de risque. Le DL permet d'interpréter rapidement les messages des patients du *chatbot* et accélère la tâche de collecte de toutes les combinaisons possibles de symptômes, de maladies et de facteurs de risque qui pourraient correspondre à chaque cas de patient (Hsu, 2019).

4.3. IA d'aide à la prise en charge individualisée

A l'heure actuelle, l'amélioration des parcours de soins est limitée car l'essentiel des données médicales est constitué de textes libres (compte-rendus hospitaliers, opératoires, courriers, observations médicales, etc.), rendant presque impossible leur analyse à grande échelle. Le CHU de Toulouse et le Collective Thinking, société française spécialisée en IA, allient leurs expertises autour du projet APSoReN (Amélioration du Parcours de Soins du patient traumatisé crânien par développement d'un modèle d'intelligence artificielle en Réseau de Neurones appliqué à des jeux de données massives) pour analyser le contenu textuel de dossiers médicaux de patients traumatisés (CHU Toulouse et Collective Thinking, 2020). Le traumatisme crânien est une pathologie grave à fort enjeu de santé publique avec 150 000 nouveaux cas/an en France dont 20 % garderont des séquelles. Le parcours de soin de ces patients est assez complexe car n'ayant pas de tout temps conscience de leurs troubles (anosognosie), ils peuvent échapper au parcours de soin durant plusieurs années

(Santé publique France, 2019). Les objectifs de ce projet sont de générer un jeu de données pertinent, de repérer les facteurs de mauvais pronostic pour permettre d'établir des recommandations de prévention et de prise en charge personnalisée. Cette IA utilisera du DL et du traitement de langage naturel pour analyser les informations cliniques contenues sous forme textuelle dans les dossiers médicaux du CHU de Toulouse couplées aux données du Système National des Données de Santé (SNDS) (CHU Toulouse et Collective Thinking, 2020). Ce projet viendra enrichir le catalogue de données du *Health Data Hub* en cours de constitution.

4.4. IA d'aide à la consultation à distance : télésanté

L'épidémie de la COVID-19 a considérablement accéléré l'adoption de la télésanté, c'est-à-dire la prestation de services cliniques aux patients à distance plutôt qu'en personne à l'aide d'outils numériques. L'IA offre aux praticiens la possibilité d'être disponibles auprès de leurs clients 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 ainsi que l'accès à des services spécialisés (lecture de radiographies, de tracés d'électrocardiogramme (ECG), de lames d'examen cytologiques etc.) (André, 2019). Le parcours du patient et client est simplifié, les coûts optimisés, la prise en charge améliorée.

L'algorithme d'IA de type DL Pro Telehealth Plan[®] (Eko[®], Etats-Unis) permet de détecter, chez les personnes âgées, les anomalies cardiaques et notamment les fibrillations atriales intermittentes sur ECG grâce à l'utilisation à distance d'un stéthoscope connecté. Son but : alerter le médecin et diagnostiquer précocement les accidents vasculaires cérébraux chez un individu de cette population à risque. Actuellement il est difficile de dépister une fibrillation auriculaire intermittente sur un tracé d'ECG, puisque l'examen peut être réalisé à un moment où la fréquence cardiaque est normale. Une surveillance longue et coûteuse via l'implantation d'un appareil est nécessaire. Environ 450 000 tracés collectés entre 1993 et 2017 et réalisés durant 10 secondes lors d'un rythme sinusal normal avec ou sans fibrillation atriale ont été analysés et ont permis à l'algorithme de DL d'Eko[®] d'établir une signature ECG des fibrillations atriales intermittentes (Figure 7). Sur un seul ECG, l'algorithme identifie la présence d'une fibrillation atriale intermittente avec une

précision globale de 79,4 %. Lorsque tous les tracés ECG réalisés pour un même malade dans un délai d'un mois sont collectés, la précision globale atteint les 83,3 % (Attia et al., 2019).

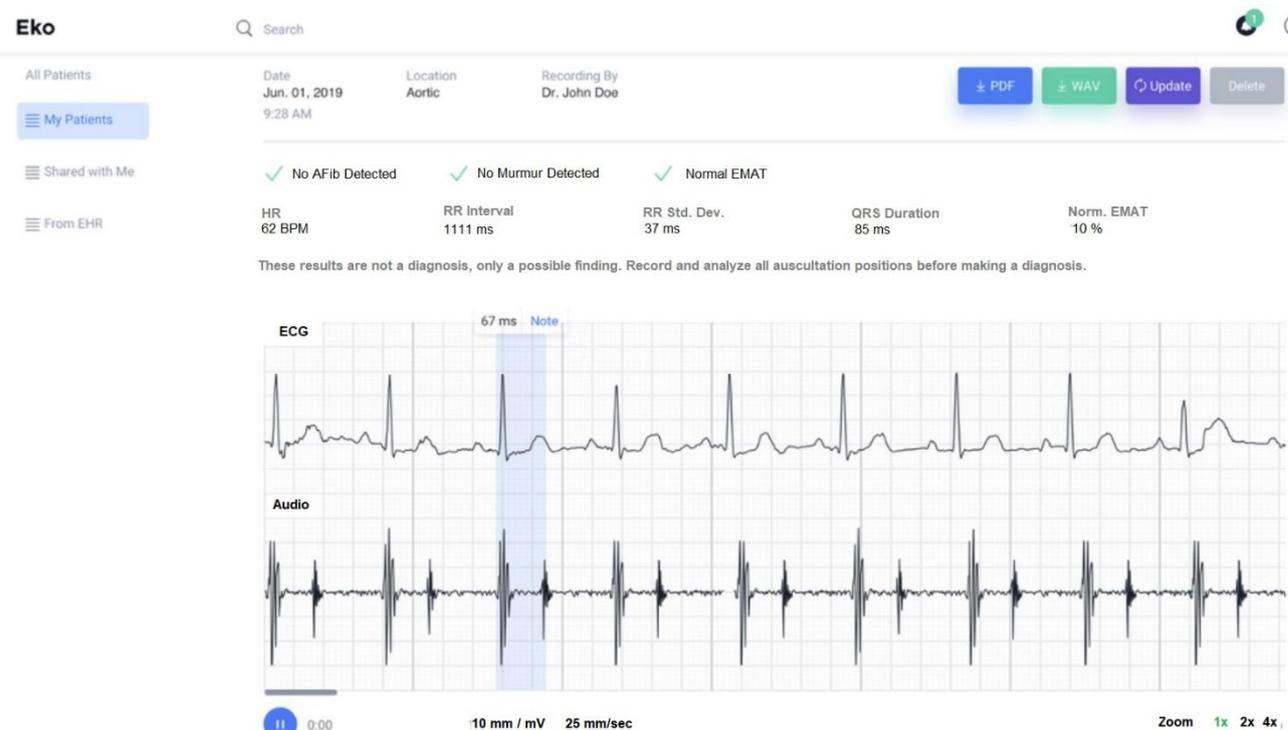


Figure 7 : Plateforme de l'algorithme Eko® permettant de visualiser des anomalies cardiaques à distance, de détecter et prévenir précocement le médecin et son patient des anomalies (Med Tach inc., 2020)

4.5. IA d'aide à la précision et à l'individualisation des soins hospitaliers

Aussi prometteuse que soit la télésanté, il y aura toujours des procédures médicales qui nécessiteront des visites en personne. Medical Informatics Corporation® (Etats-Unis) utilise des algorithmes de DL pour surveiller individuellement le bien-être des patients dans les lits d'hôpitaux en traitant les données des moniteurs de chevet, des ventilateurs, du dossier médical électronique (DME) d'un patient. Cet outil complémentaire offre la possibilité d'améliorer considérablement les taux de survie des patients en soins intensifs (Hitchcock, 2020).

5. Applications de l'IA dans le secteur de la santé animale

L'IA est à ses débuts dans le monde vétérinaire. Son développement étant très rapide, elle aura un impact en santé animale.

5.1. Chez les animaux d'élevage

Comme nous l'avons déjà expliqué, le ML est capable de gérer les liens non linéaires entre différentes variables, ce qui rend possible son utilisation pour la prévision de la santé des animaux d'élevage (Milosevic et al., 2019). Ainsi différentes technologies et projets utilisant l'IA émergent depuis les années 90 et se multiplient depuis début 2019 pour aider les éleveurs à être plus efficaces (annexe 1) (FranceAgriMer, 2019).

Les maladies des volailles sont une source majeure de pertes économiques pour les éleveurs et constituent une menace sérieuse pour la santé de la population humaine. Par conséquent, la surveillance et l'alerte précoce des foyers de maladie sont essentielles dans l'élevage de volailles (Ahmad, 2009 ; Milosevic et al., 2019). L'ascite est l'une des principales sources de pertes économiques de l'industrie du poulet de chair. En 1996, un modèle de DL permet de classer les poulets de chair ayant une prédisposition à l'ascite selon les variations de température du bâtiment et la prise de poids de l'animal. Une comparaison faite entre les résultats de diagnostic de laboratoire et les résultats de l'IA montre que cette dernière prédit avec précision (100 %) la présence ou l'absence d'ascite chez un poulet de chair (Ahmad, 2009 ; Milosevic et al., 2019).

L'IA peut aussi être utile comme aide à la décision durant la croissance des poulets de chair. En effet la croissance de tout être vivant est une dynamique complexe et non linéaire, et n'est donc pas facile à modéliser. Les modèles couramment utilisés sont linéaires et utilisent le modèle de Gompertz, sur la base de données de poids corporel moyen sur une période de temps pour une race donnée dans des conditions de gestion agricole spécifiques (Milosevic et al., 2019). Cependant, les difficultés à ajuster la courbe de croissance par rapport au temps, aux espèces et races de volailles, aux facteurs nutritionnels, au stress, aux pathologies, à l'environnement changeant limitent

l'efficacité de ces modèles. Les réseaux neuronaux d'IA offrent une alternative à l'analyse de régression pour la modélisation de cette croissance et son efficacité a été confirmée expérimentalement (Roush et al., 2006).

Chez la vache, Ida® (Connecterra®, Pays-Bas) est l'une des application d'IA la plus utilisée et la plus aboutie en Europe à l'heure actuelle (Van Rossem, 2020). Elle utilise un dispositif de détection de mouvement fixé au cou d'une vache pour transmettre 24h/24 ses mouvements à un programme piloté par des algorithmes pour la détection précoce de pathologies telles que la mammite. Les algorithmes comparent ces données aux comportements réels observés par l'éleveur ou les caméras de surveillance (la vache rumine, se couche, marche, boit, mange) et les synthétise en des éléments exploitables pour l'éleveur. Les algorithmes comparent aussi ces données à des caractéristiques du lait (numération des cellules somatiques, production laitière, conductivité électrique du lait etc.) dans le but de détecter les mammites subcliniques (Figure 8).

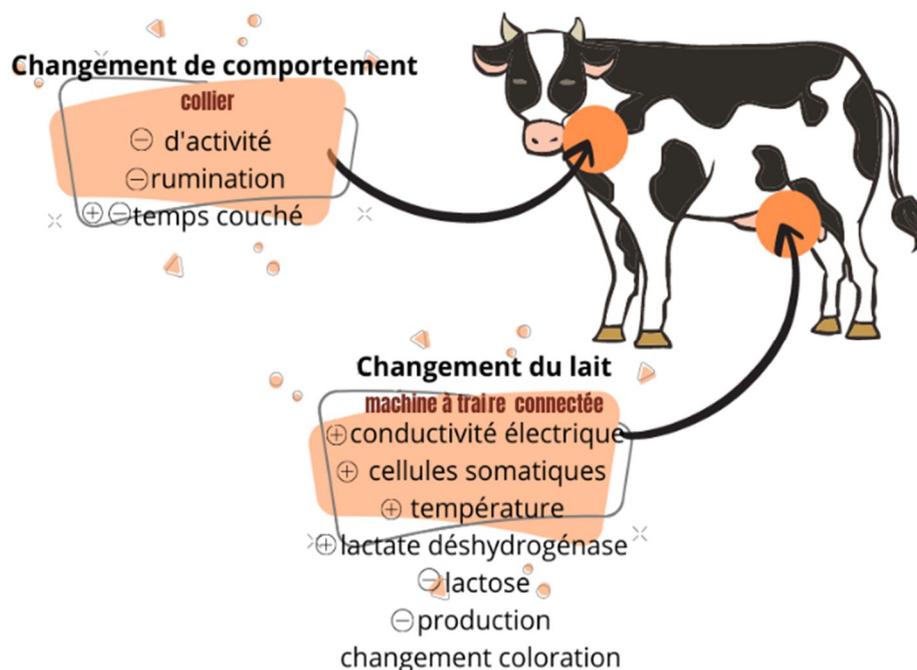


Figure 8 : Détection des mammites subcliniques par Ida® (Ida, 2020)

Cette détection précoce permet de commencer le traitement un à deux jours plus tôt que sur la base d'un diagnostic classique (combinaison des résultats du California Mastitis Test (CMT), de la mesure de la conductivité du lait et du suivi des résultats des Concentrations Cellulaires Somatiques Individuelles (CCSI) (Van Rossem, 2020).

Ida® permet aussi de connaître la ferme et les pratiques des éleveurs. Ainsi, au fil du temps, l'IA assure un suivi de chaque vache et permet de comprendre ce qui fonctionne pour un éleveur en particulier et ce qui ne fonctionne pas (benchmarking).

5.2. Chez les animaux de compagnie

L'IA a pour but de rendre le vétérinaire proactif en rendant l'invisible visible dans un environnement de santé à données innombrables et en constante évolution (Ecochard, 2020).

A titre d'exemple, Antech Diagnostics® (Mars Petcare®, Etats-Unis) a développé, à destination des vétérinaires, un outil de diagnostic de Maladie Rénale Chronique (MRC) - RenalTech® - à l'aide de l'IA. La MRC est la première cause de décès chez les chats de plus de cinq ans et affecte 30 à 40 % des chats de plus de 10 ans (Bradley et al., 2019). C'est une maladie très complexe qui a toujours été difficile à diagnostiquer. Les méthodes de détection actuelles ne révèlent la maladie qu'une fois des lésions rénales importantes installées, rendant l'intervention et le traitement difficiles. RenalTech® a analysé des données médicales anonymisées de plus de 150 000 chats et de 750 000 visites de patients au Banfield Pet Hospital® sur 20 ans et peut prédire la probabilité de développer une MRC, chez un animal donné, deux ans avant le diagnostic clinique traditionnel avec une précision supérieure à 95 % (Bradley et al., 2019 ; Antech, 2019). En plus de l'âge d'un animal, six mesures courantes de la santé féline sont analysées : concentrations sanguines en créatinine et en urée, concentration des globules blancs, densité urinaire, concentration en protéines urinaires, pH de l'urine. Il permet aux vétérinaires de s'associer aux propriétaires de chats et de mettre en œuvre des plans de soins de santé proactifs adaptés spécifiquement aux besoins médicaux uniques de leur animal.

Il en est de même pour Toletta® (Toletta Cats Incorporation®, Japon), une litière pour chat qui a été développée pour surveiller la santé. Lorsque le chat entre dans la litière, Toletta® peut le différencier des autres chats par reconnaissance faciale. Elle mesure le poids, surveille le volume d'urine émis, le temps passé dans la litière, la fréquence d'utilisation du bac à litière, le temps écoulé entre deux utilisations et

effectue des prises vidéos. Elle connecte les données à une application smartphone d'IA qui les analyse et avertit le propriétaire des possibles risques pour la santé de son chat : surpoids, maladie rénale chronique (perte de poids, augmentation du volume des urines, augmentation de la fréquence des urines), Affection du Bas Appareil Urinaire (ABAU) (augmentation de la fréquence d'utilisation de la litière, augmentation du temps passé à uriner, diminution du volume des urines).

Le marché mondial des appareils portables pour surveiller à distance la santé et l'activité des animaux de compagnie atteindra 8 milliards de dollars d'ici 2025 (Rademaker, 2020). Une multitude d'objets connectés sont plébiscités par les propriétaires de chiens : balises GPS pour localiser son animal en temps réel (31% des propriétaires sont intéressés) ; colliers pour suivre l'activité et la condition physique de son animal (25 %) ; caméras pour voir son animal et communiquer avec lui (19 %) ; jouets qui permettent le jeu à distance grâce au smartphone du propriétaire (13 %) ; gamelles qui se rechargent automatiquement et analysent la consommation alimentaire de son animal (18 %) ; litières qui vérifient l'état de santé de son animal et détectent ses maladies (15 %) ; appareils pour contrôler la santé de son animal et échanger avec le vétérinaire (29 %) (Guillaume, 2019).

Ainsi de nombreux systèmes d'aide au suivi de santé basés sur l'IA existent déjà pour les propriétaires d'animaux de compagnie :

- Whistle® (Mars Petcare®, Etats-Unis) est un capteur d'activité ayant pour objectif d'associer des pathologies à certaines variations comportementales de manière individualisée. Actuellement les pathologies signalées aux propriétaires sont : des infections des oreilles, de l'arthrose, des pancréatites, des affections dermatologiques et des incidents cardiaques (Ecochard, 2020) ;

- Petrics smart bed ® (Petrics®, Etats-Unis) est un lit équipé d'une balance permettant de suivre les fluctuations de poids de l'animal ainsi que les périodes de repos et d'activité. L'algorithme combine quotidiennement ces milliers de données avec celles relatives à la nutrition fournies par le propriétaires et peut détecter précocement des anomalies de type surpoids ou arthrose (Petrics, 2018) ;

- Mookkie™ (Volta®, Italie) est une gamelle permettant de fournir un rationnement précis et individuel notamment des chats vivant en groupe. Le système est capable d'alerter le propriétaire en cas de variation de la prise alimentaire (Wiggers, 2019) ;

- Varram pet fitness® (Varram®, Etats-Unis) est un jouet robot permettant de programmer et de suivre l'activité physique d'un chien ou chat (Varram, 2018).

L'IA est donc déjà développée en médecine vétérinaire et directement utilisée par les propriétaires qui « deviennent plus impatients d'obtenir ce qu'ils veulent et comptent de plus en plus sur des processus intuitifs plutôt que sur la logique pour prendre leurs décisions » (Rademaker, 2020). L'IA se veut comme en humaine, une médecine globale, continue, pertinente et des 4 P (préventive, prédictive, participative, personnalisée) (Figure 9).



Figure 9 : Impacts de l'IA en médecine vétérinaire (Rademaker, 2020)

Ce monde de plus en plus numérisé par l'IA obligera le vétérinaire à avoir une connaissance de base de ce concept pour être en capacité de fournir à ses patients et clients une offre la plus adéquate possible (Ecochard, 2020).

6. Problématiques de l'IA en médecine

6.1. Problématiques techniques : les biais en IA

Le vétérinaire se devra de développer un esprit critique pour pouvoir se faire son propre avis sur une technologie donnée et interpréter les résultats fournis. Il devra « prendre du recul sur l'utilisation de l'IA et ne pas brûler les étapes afin de ne pas exposer la population ou l'individu à d'éventuelles erreurs » (Bibault, 2019). L'IA est en effet une approximation de la réalité qui fonctionne avec un jeu de données précis, dans un contexte précis. Des biais sont possibles. A titre d'exemple dans les années 1970, les premières versions d'airbags étaient mortelles pour les femmes et les enfants car leurs morphologies n'avaient pas été prises en compte dans la conception. Le conducteur standard avait été considéré comme étant un homme de 1,77 mètre. Plus de la moitié de la population se trouvait donc hors normes. Un minimum d'esprit critique est à avoir de la collecte des données jusqu'aux résultats donnés, au risque de graves erreurs. La qualité des données sources, l'évaluation de la pertinence (lien de cause à effet) de ces solutions d'aide à la décision par le monde médical sont autant de points techniques à prendre en compte de la conception à l'utilisation de l'IA.

Face aux outils d'IA, il faudra définir le niveau acceptable d'erreurs générées. L'Homme en fixant toujours les objectifs, en produisant les données et en participant aux entraînements, corrections et maintenance (contrôler la qualité, éviter les dérives) de l'IA, pourra contrôler une grande partie des biais (Jean, 2019) mais Alain Supiot met en garde : « Le risque n'est pas d'être remplacé par des robots mais de leur ressembler » (Roder, 2019).

6.2. Problématiques éthiques : confiance, responsabilités de l'IA

Avec la démocratisation des solutions d'IA et les avancées technologiques rapides, les problématiques d'accès aux données, de confidentialité, de consentement du patient, de responsabilités, de l'avenir de l'emploi voient le jour.

A titre d'exemple, de nombreuses failles de sécurité ont été décelées sur des colliers connectés (Babinet, 2016). En effet les colliers connectés donnant les données de géolocalisation d'un animal donnent aussi bien entendu les données de géolocalisation du propriétaire qui le promène, et donc des informations sur ses habitudes, ses lieux de prédilection, etc. Ces données sont des Données à Caractère Personnel (DCP) et l'entreprise les collectant a le devoir d'assurer leur sécurité selon le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) (Perrin, 2019). Une DCP est une information relative à une personne physique identifiée ou qui peut être identifiée directement ou indirectement par référence à un identifiant tel que le nom, prénom, sexe, âge, adresse, e-mail, adresse IP, situation familiale, données de santé, numéro d'identification etc. Le RGPD a été mis en application, au travers d'une directive, le 25 mai 2018 et vise à protéger ces données (Journal officiel de l'union européenne, 2016).

En médecine vétérinaire, à chaque animal ayant des informations enregistrées dans un logiciel métier par le vétérinaire sont liées des DCP sur son propriétaire. A partir du moment où une personne est identifiée comme propriétaire d'un animal de compagnie, le RGPD s'applique à l'ensemble des données, que celles-ci soient animales ou liées à la personne. Le vétérinaire collecte donc des DCP et doit être conscient que ses droits et devoirs concernant les DCP évoluent, notamment avec la mise en application du RGPD en 2018 (CNIL, 2019 ; Perrin, 2019).

Pour assurer cette protection, le vétérinaire devra :

- recenser les données personnelles de ses clients ;
- mettre en place des procédures pour assurer la sécurité de ces données (registre de traitements de données, mise à jour régulièrement de l'antivirus, des logiciels, création et renouvellement fréquent de mots de passes complexes) ;

- informer la clientèle du traitement éventuel de leurs données avec la signature d'un document de consentement explicite. Chaque traitement de données doit être assigné à un but légal et légitime au regard de l'activité professionnelle. Un traitement de données personnelles est une opération, ou ensemble d'opérations, portant sur des données personnelles, quel que soit le procédé utilisé : collecte, enregistrement, organisation, conservation, adaptation, modification, extraction, consultation, utilisation, communication par transmission diffusion ou toute autre forme de mise à disposition, rapprochement (CNIL, 2018) ;

- respecter les droits des clients sur leurs données : droit d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, de limitation de traitement ou d'oubli à leurs propres données. Le droit d'oubli oblige le vétérinaire à supprimer les données dans un délai d'un mois (CNIL et Bpifrance, 2018).

6.3. Problématiques légales et certification des applications de santé

Une certification de l'intelligence artificielle et un cadre législatif pourraient aider les personnels de santé à choisir leurs outils d'IA. Les objectifs seraient de donner un indicateur qualitatif, une pertinence à l'utilisation de certaines applications sur l'Homme ou les animaux :

- crédibilité des équipes à l'origine de l'application (spécialistes du domaine, secteur privé etc.) ;

- adéquation scientifique entre les objectifs de départ et la programmation algorithmique (liaisons, pondérations des paramètres etc.) ;

- qualité et représentativité des données utilisées (robustesse des protocoles, des conclusions etc.) ;

- algorithmes explicables et expliqués ;

- facilité d'interprétation des résultats (visualisation) ;

- précocité des détections ;

- fiabilité des résultats (sensibilité, spécificité selon prévalence du trouble observé).

En effet si la prévalence est faible et si la spécificité de l'application n'est pas parfaite, la valeur prédictive positive s'en trouve dégradée et le taux de fausses alertes peut devenir très important ;

- conformité avec la réalité de terrain ;
- déclaration obligatoire d'effets ou de résultats inattendus ;
- conditions d'utilisation (quand, sur qui, pour quoi, comment) etc. (Besse et al., 2019).

« A l'heure actuelle, 79 % des applications sur le marché n'ont pas de Charte Générale d'Utilisation (CGU) et 51 % n'affichent pas les coordonnées de l'éditeur. Si on ne sait pas qui est derrière une application, par définition, il est impossible de savoir la pertinence des données récoltées et des résultats » (Valentin Smith, 2016). Néanmoins depuis peu, Medappcare® (Dekra certification®, France) certifie officiellement pour le compte de la Sécurité Sociale des applications en santé humaine. Elle s'est récemment positionnée sur le créneau de la certification en médecine vétérinaire (Figure 10) (Vetintech, 2020).

CERTilife
Mieux-vivre connecté

Faites certifier vos applications et sites web

Une évaluation en 4 étapes :

- Protection des données personnelles
- Sécurité numérique
- Fiabilité du contenu
- Ergonomie et utilisabilité

Santé animale - Médecine vétérinaire

Pionnier dans l'évaluation en santé humaine, Medappcare est un organisme de certification dans le domaine de la santé connectée et évalue la qualité des applications mobiles et sites web pour mieux orienter les professionnels et les utilisateurs dans le choix de solutions fiables et sûres.

Figure 10 : Exemple de certification privée en santé animale (MedAppcare,2020)

Dans le domaine de la santé, le big data n'est pas totalement exploité. Malgré des inquiétudes vis-à-vis des problématiques techniques, éthiques et légales que le recours à l'IA suscite, son potentiel reste encore très prometteur. La médecine se dirige vers plus d'individualisation et de précision. Dans cette médecine en pleine évolution, la nutrition, secteur clé de la santé, connaît un réel engouement (Kwon, 2020). Dans une troisième partie, nous précisons la définition de la nutrition individualisée en santé humaine et animale et présenterons les intérêts, impacts et limites des applications de l'IA dans ce domaine.

PARTIE 3 : IA ET NUTRITION INDIVIDUALISEE

Dans le domaine de la nutrition, ce sont particulièrement les avancées en recherche-développement qui nous intéressent. En permettant de rassembler et d'analyser de vastes ensembles de données provenant d'études reliant pathologies et nutrition, l'IA permettrait de faire avancer la recherche là où les essais randomisés de haute qualité sont difficiles à mener.

1. Données en nutrition individualisée

Les principales applications d'IA en nutrition collectent et utilisent les données alimentaires (ingrédients, apports caloriques et nutritionnels etc.), les informations recueillies par des capteurs individuels (allergies, sensibilités alimentaires, stress, sommeil, activité physique etc.) (Bateman, 2014 ; Verma et al., 2016). Actuellement, de plus en plus de données sont collectées en génomique, nutriginomique, métabolomique, nutri-épigénétique, microbiomique (German et al., 2011). La génomique via les séquençages à haut débit du génome permet de regrouper les personnes selon leurs gènes ; la nutriginomique permet de faire la corrélation entre nutrition et génomique et semble confirmer que l'alimentation a un impact différent sur le métabolisme de deux organismes génétiquement différents (Vitagene, 2018) ; la métabolomique s'attache à identifier et à quantifier de façon exhaustive les petites molécules constitutives d'une cellule, d'un tissu ou d'un fluide biologique (sucres, acides gras, alcaloïdes etc.). L'obtention de données sur la métabolomique semble pouvoir permettre de mieux comprendre à l'échelle de la population et de l'individu l'impact des pratiques alimentaires sur la santé (German et al., 2011).

De nombreuses habitudes de vie, y compris les habitudes alimentaires, ont un effet épigénétique (méthylation et acétylation de l'Acide DésoxyriboNucléique (ADN) et des histones) qui se transmet de génération en génération.

Des études ont montré que la nourriture a un impact non seulement sur les gènes, mais aussi le microbiome intestinal et que cet impact est différent chez des organismes génétiquement différents (German et al., 2011 ; Hirsh, 2015).

2. Nutrition individualisée

2.1. Nutrition de catégories

En nutrition, les équations d'équilibre soustraient les dépenses aux besoins moyennant des facteurs fixes de variation (âge, stade physiologique, etc.). Ces méthodes sont utiles pour prévenir une carence, un excès ou maintenir un état stable. Par exemple si un organisme nécessite une utilisation de 5 % supérieure à la moyenne d'un nutriment donné, un apport alimentaire de 5 % plus élevé de ce nutriment serait nécessaire pour répondre à ces besoins. Ce raisonnement ne tient néanmoins pas compte de la capacité des systèmes physiologiques à s'adapter à la disponibilité des nutriments. Une carence durable, même minime, peut entraîner des déséquilibres organiques néfastes qui ont un impact sur l'utilisation des nutriments (Jeukendrup, 2014).

La nutrition individualisée désigne des recommandations nutritionnelles sur mesure pour un individu, quel que soit son état physiologique, visant le maintien de la santé et la prévention de pathologies (Betts et Gonzalez, 2016). Néanmoins à ses débuts, la médecine individualisée ne signifiait pas « au sens littéral, la création de médicaments, de procédures thérapeutiques qui seraient uniques et individualisées pour chaque patient, mais plutôt une capacité accrue de classer les individus en sous-catégories qui diffèrent dans leur susceptibilité de contracter une maladie donnée ou de répondre à une thérapie spécifique » (Smith, 2012).

2.2. Nutrition de personnalisation et de précision

C'est avec les avancées en matière de collecte de données génomiques dans les années 2010 que la nutrition a amorcé un tournant vers l'individualisation telle qu'on la connaît à l'heure actuelle. Plusieurs études ont identifié de nombreux gènes comme

« des facteurs principaux dans la variabilité de réponses métaboliques et pathologiques à l'apport de nutriments » (De Toro-Martín et al., 2017).

Ainsi la nutrition relève de :

- la « nutrition personnalisée » i.e. l'adaptation du régime alimentaire aux besoins et préférences de l'individu ;

- la « nutrition de précision » qui permet de prédire si un individu réagit ou non à des nutriments et à des habitudes alimentaires spécifiques et de contribuer à la prévention des maladies en fonction de son génome.

Pour faire face à ces défis et répondre à ces attentes, les vétérinaires devront prendre en compte de multiples données allant de facteurs nutritionnels ou génétiques, épigénétiques (nutrigénomique) au mode de vie, l'activité physique, métabolisme, microbiome intestinal, préférences alimentaires du chien, du chat et du propriétaire etc.

3. Applications de l'IA en nutrition individualisée humaine

De manière générale, il faut noter que les produits ou services qui sont conçus de manière unique sont intuitivement considérés comme supérieurs et plus attractifs qu'une approche « taille unique » chez les consommateurs (Betts et Gonzalez, 2016). La nutrition ne peut plus se résumer à ce jour à l'utilisation unique de tableaux calorifiques. De nombreux paramètres variables sont aussi à prendre en considération (combinaisons de pathologies multiples, de facteurs de risque multiples, génomique, métabolomique, pouvoir d'achat, etc.). L'IA permet de déterminer des facteurs nutritionnels et antinutritionnels (substance contenue dans un ingrédient alimentaire qui en diminue la digestibilité) provenant de la confrontation de toutes ces données. Les objectifs sont de pouvoir proposer des conseils de manière anticipée, précise, individualisée pour améliorer la qualité et l'espérance de vie des individus.

A titre d'exemple, DayTwo® (DayTwo Ltd®, Israël) est une application d'IA visant les personnes souffrant de pré-diabète, de diabète de type II ou de surpoids. Cette application permet d'identifier les aliments les plus adaptés pour abaisser les

glycémies post-prandiales en examinant la composition du microbiote intestinal. Les scientifiques ont mené cette étude sur la variabilité des glycémies après les repas en utilisant des caractéristiques nutritionnelles et microbiomiques. Grâce à un type d'intelligence artificielle, ils ont pu analyser plus de 1,5 million de dosages de glucose. Les résultats ont révélé le rôle fondamental des bactéries intestinales dans les réponses glycémiques, contrairement à la croyance précédemment tenue de la nourriture comme seul déterminant clé (Segal Elinav et al., 2015).

Dans le secteur privé, de nombreuses entreprises proposent déjà de collecter des données pour personnaliser les régimes alimentaires. L'application d'IA la plus utilisée à l'heure actuelle (par 8000 médecins dans 35 pays) est Smart Choices® (Nutrigenomix Inc.®, Canada) qui offre des plans de repas personnalisés basés sur l'analyse ADN de 70 gènes, les données médicales et antécédents de l'individu, les valeurs nutritionnelles des aliments consommés (Nutrigenomix, 2020).

Ces applications montrent l'importance de la collecte et du traitement de données. En effet, en plus de la qualité du modèle utilisé, la qualité de leurs prédictions est liée à la qualité des données (Verma et al., 2016 ; Abrahams, 2017). Investir dans la collecte, le tri et le traitement de données en nutrition « est à la base d'une réussite de passage dans l'ère de la 4ème révolution industrielle : convergence du monde du physique, du numérique, du biologique et de l'innovation » (Kwon, 2020).

4. Applications de l'IA en nutrition individualisée animale

La nutrition individualisée animale a pour objectif d'améliorer le bien-être et la santé animale en proposant des conseils anticipés, précis et individualisés aux propriétaires.

4.1. En médecine rurale

De nombreuses études dans les années 2000 ont montré qu'une mauvaise gestion du régime alimentaire des vaches laitières avant leur mise bas et 100 jours après le vêlage pouvait avoir un impact sur leur fertilité, la quantité et la qualité du lait (Butler, 2014 ; Drackley et Cardoso, 2014). Jusqu'alors, les quantités d'aliments consommées étaient généralisées pour l'ensemble d'une exploitation laitière. De nombreux

systèmes de type « nutrition de précision » (ou precision feeding), « nutrition intelligente » (ou smart feeding) ont alors vu le jour, comme par exemple Optifeeding® (DeLaval®, Suède). Ces systèmes utilisent des algorithmes pour distribuer les aliments automatiquement, de jour comme de nuit pour chaque groupe de vaches, en fonction de leur stade de lactation. Ils ne sont pas de l'IA au sens propre mais sont à la base des applications d'IA en nutrition.

Actuellement, l'IA appliquée à la nutrition s'appuie sur les données des capteurs placés sur l'animal ou dans l'élevage. Ainsi le projet d'IA type « mangeoire intelligente » de VikingGenetics® (Suède) analyse des données recueillies via une boucle auriculaire connectée et une caméra 3D (poids des vaches, consommation d'aliments, paramètres de production laitière) pour déterminer les besoins énergétiques de chaque vache et adapter les rations en conséquence (VikingGenetics, 2019).

L'application d'IA Pitstop+® (Microfeeder®, Danemark) gère la complémentation minérale de chaque vache au Distributeur Automatique de Concentré (DAC). Par rapport à un troupeau sans capteur, cette IA a permis d'améliorer de 20 % la qualité du lait, de réduire de 6 % le nombre d'animaux malades et de 24 % le nombre de vaches réformées en raison de problèmes de santé. L'étude a été menée sur 208 vaches sans capteurs et 208 vaches avec capteurs dans 4 élevages différents. La supplémentation du troupeau sans capteur a été effectuée de manière individuelle par l'éleveur selon ses observations (Lyngsø, 2019).

En aviaire, des modèles d'IA permettent de détecter précocement des carences nutritionnelles chez les animaux à pic de production persistant (poulets de chair, poules pondeuses). Porphirio® (Evonik Nutrition and Care®, Belgique) permet de suivre et de d'analyser la relation immédiate entre la consommation d'aliments, la qualité nutritionnelle des matières premières et la prise de poids dans un groupe de volailles. Ces modèles permettent de réduire les coûts et d'éviter des pertes économiques importantes (Fleckenstein, 2019).

Même si toutes ces technologies numériques connectées ont le potentiel de rendre l'élevage plus efficace, leur plus grand obstacle concerne leur mise en œuvre économique. « Pour l'instant, l'investissement nécessaire est assez élevé et une fois que vous vous engagez dans une technologie particulière, vous devez vous en tenir à celle-ci car elles ne sont pas souvent interchangeables » (VikingGenetics, 2019 ; Lyngsø, 2019).

4.2. Chez les animaux de compagnie

Généralement à travers le monde, malgré des tailles et des dynamiques de marché différentes, lors de mises en place de produits ou technologies, se développe une premiumisation (montée en gamme) suivie d'une humanisation avant une arrivée dans le domaine animal. Dans le monde animal, l'entrée se fait dans le milieu rural puis sur le marché des animaux de compagnie. Le marché de l'e-santé des chiens et chats est donc à la croisée des e-santé rurale et humaine (Ecochard, communication personnelle).

L'humanisation est une tendance répandue dans les aliments pour animaux de compagnie. Les animaux domestiques sont de plus en plus considérés comme un membre de la famille. Contrairement à la rurale, l'intérêt pour l'IA dans cette population est plus affectif qu'économique. Selon une étude de marché américaine avec un sondage en ligne sur 15 000 personnes, 50 % des propriétaires seraient prêts à fournir à leur chien ou chat une alimentation individualisée (Mintel Group Ltd, 2018).

Globalement, les très grands potentiels économiques de l'IA en nutrition individualisée sont : le secteur chien et chat, les aliments avec des bénéfices santé (dentaire, digestif, articulaire, peau-pelage etc.) et les compléments alimentaires (FACCO, 2019 ; Ecochard, communication personnelle). Ainsi les marchés les plus attractifs pour ces applications d'IA seront ceux où le positionnement des chiens et chats dans la société seront le plus fort. Par ordre d'importance économique décroissante, on peut classer le marché américain, canadien, britannique puis français. Ainsi observer ce qui se passe outre-Atlantique pour la France peut s'avérer utile pour les années à venir (Ecochard, communication personnelle).

Les applications d'IA en nutrition individualisée des animaux domestiques sont très récentes (fin 2019) et touchent le secteur industriel (petfood). Les grands acteurs du marché en terme de collecte de données sont Mars inc.® (Etats-Unis) avec son collier Whistle® et Hill's Pet Nutrition® (Etats-Unis) avec son collier Vetrax®. Deux applications sont actuellement sur le marché : Individualis® (Royal Canin®, Mars petcare®, Etats-Unis) et JustRight® (Nestlé Purina Petcare®, Etats-Unis) (Figure 11).

En France, à l'heure actuelle, Individualis® est l'application la plus aboutie. Elle a été lancée en fin d'année 2019 à partir de données recueillies sur 7 années et est à destination des vétérinaires. Plus de 10 000 combinaisons algorithmiques prenant en compte les caractéristiques physiologiques de l'animal et des données médicales permettent de traiter selon des facteurs de risque des animaux atteints de pathologies multiples (problèmes rénaux associés à des troubles osseux ou troubles dentaires associés à des troubles digestifs etc.) (Figure 12) (www.individualis.com).

L'IA employée sert à trier les bases de données en vue d'établir et de perfectionner l'algorithme. L'algorithme commercialisé est fixe. Il priorise de lui-même lorsque la gestion nutritionnelle d'une maladie est plus importante qu'une autre (la MRC est prioritaire sur la prévention de récurrences de calcul et la gestion du surpoids) mais demande au vétérinaire prescripteur de choisir lorsque la gestion nutritionnelle de deux maladies est d'égale importance (MRC versus dissolution de struvites, MRC versus diabète). L'ajout de sodium pour diluer les urines ainsi que l'acidification des urines est en effet contre-indiqué en cas de MRC. Un Rapport Protido Calorique (RPC) élevé est nécessaire à la gestion du diabète mais est incompatible avec la gestion d'une MRC (www.individualis.com ; Houssais, communication personnelle).

Let's start with some basic info about you and your dog.

First Name (Optional)

Email Address (Optional)

A link to your dog's blend will be sent to this address

Your Dog's Name

Kiara

Please enter a name that is 16 characters or less

What is Kiara's breed?

Primary Breed

Collie

Secondary Breed

Siberian Husky

How much does Kiara weigh?

Weight (lbs)

57

If you aren't sure about a question, that's ok! Just answer as closely as you can.

Female

Male

When was Kiara born?

Month

June

Year

2007

What is Kiara's size?



Toy
1-12 lbs



Small
13-20 lbs



Medium
21-49 lbs



Large
50-75 lbs



Extra Large
76+ lbs

Describe Kiara's body condition.



Underweight

No discernible body fat;
bony appearance



Ideal

Visible waist and
abdominal tuck



Overweight

Absent waist; ribs are hard
to feel

How active is Kiara?



Less Active

Daily activity includes
naps, and that's it



Somewhat Active

Walks every few days,
some playtime



Active

Daily walks, lots of
playtime



Very Active

Several walks and runs a
day

How would you describe Kiara's ability to stand up?

Slow & Cautious

It may take longer, but she
gets there eventually

Casual & Relaxed

She can get up and go
whenever you're ready

Quick & Eager

She's always on the move,
and three steps ahead of
you

Describe Kiara's coat for us.



Brittle & Coarse



Dull & Not Shiny



Smooth & Fairly Shiny

Always Dry

Often Dry

Rarely Dry

How often does Kiara have dry skin?

Kiara eats...



Slowly

She's more of the one-kibble-at-a-time type



Casually

She takes her time, but she eats it all



Eagerly

The entire meal is gone in a blink of an eye

Kiara's stools are...

Very Loose & Watery

Loose & Soft

Slightly Firm

Are there any ingredients you would like to avoid?

Some combinations are unavailable



Corn



Wheat



Soy



Grains



Peas



Legumes



None

Continue

Choose a protein for Kiara.



Chicken



Salmon

Would you like to include any additions in Kiara's blend?

You can select up to two additions.



Peas



Carrots



Meaty Chicken Morsels



None

Next Section: Personalize

Let's personalize Kiara's bag!

Upload her photo to add a finishing touch (optional).



Finish & Review Blend

Every Ingredient has a Purpose

Kiara's blend is created with ingredients selected by you and balanced by our nutritionist.



Kiara is considered **a senior dog**, so we formulated her personal blend with **concentrated MCT oils to help support her aging mind.**



Because you let us know Kiara is **casual & relaxed** when standing up and climbing stairs, we made sure to include **glucosamine** to help **support healthy hips and joints.**



Kiara's blend was designed to be the **right size kibble** for a **large breed, senior dog**. Your selection of crunchy kibbles will **help keep her teeth clean and her gums healthy.**

Ingredients

Salmon, oat meal, whole wheat flour, soybean flour, chicken by-product meal, ground rice, corn gluten meal, vegetable oil (source of medium-chain trigycérides), dried peas, natural flavor, dried egg product, fish meal, tricalcium phosphate, sunflower oil, wheat bran, beef fat preserved with mixed-tocopherols, barley, dried yeast, salmon meal, salt, potassium chloride, cassava root flour, potassium citrate, L-Lysine monohydrochloride, VITAMINS [Vitamine E-supplement, niacin(Vitamin B-3), Vitamin A supplement, calcium pantothenate (Vitamine B-5), thiamine mononitrate (Vitamine B-1), Vitamine B-12 supplement, riboflavin supplement (Vitamin B-2), pyridoxine hydrochloride (Vitamin B-6), folid acid (Vitamin B-9), Vitamin D-3 supplement, menadione sodium bisulfite complex (Vitamin K), biotin (Vitamin B-7)], choline chloride, taurine, inulin, DL-Methionine, MINERALS [zinc sulfate, ferrous sulfate, manganese sulfate, cooper sulfate, calcium iodate, sodium selenite], L-ascorbyl-2-polyphosphate (Vitamin C). EJ6620

Kiara's blend is formulated to meet the nutritional levels established by the Association of American Feed Control Officials (AAFCO) Dog Food Nutrient Profiles for a Senior dog.

Guaranteed Analysis

Crude Protein (Min)	28.0%
Crude Fat (Min)	14.0%
Crude Fiber (Max)	4.0%
Moisture (Max)	12.0%
Linoleic Acid (Min)	1.80%
Calcium (Ca) (Min)	0.90%
Phosphorus (P) (Min)	0.70%
Selenium (Se) (Min)	0.35 mg/kg
Vitamin A (Min)	10,000 IU/kg
Vitamin E (Min)	250 IU/kg
Ascorbic Acid (Min)*	70 mg/kg
Glucosamine (Min)*	400 ppm
Omega-3 Fatty Acids (Min)*	0.30%
Omega-6 Fatty Acids (Min)*	1.60%
Taurine (Min)*	0.15%

*Not recognized as an essential nutrient by the AAFCO Dog Food Nutrient Profiles.

Kiara's Daily Plan

Her plan has been uniquely formulated to provide the ideal mix of calories, nutrients, and taste at every meal.



2 ½ CUPS DAILY

Make sure to level your scoop!



425 CALORIES PER CUP

Calculated by our nutritionist.



28-DAY SUPPLY

Figure 11 : Processus de recommandation d'alimentation JustRight® pour les propriétaires d'animaux de compagnie (www.justrightpetfood.com)

DIAGNOSTIC VÉTÉRINAIRE SUR UN SITE DÉDIÉ

- **Création du profil** de l'animal
afin d'intégrer ses spécificités (statut sexuel, âge, race, sexe, mode de vie, note d'état corporel)
- **Intégration des facteurs de risque et maladies** diagnostiqués



RECOMMANDATION

- **Activation d'un algorithme spécifique** pour trouver la combinaison nutritionnelle la plus adaptée
- **Création automatique du compte-rendu** de consultation de nutrition
- Envoi d'un email au propriétaire **avec un lien pour commander** l'aliment formulé sur-mesure sur le portail de la clinique

Figure 12 : Processus de recommandation d'alimentation Individualis® réservé au vétérinaire (www.individualis.com ; Houssais, communication personnelle)

La santé en général et la nutrition en particulier deviennent de plus en plus proactives, précises et individualisées. Ces nouvelles approches et méthodes prédictives d'IA en nutrition permettent de suivre au cours du temps les réactions d'un animal à l'alimentation sur le plan de la santé. Elles agissent comme des aides à la décision et permettront d'adapter en conséquence les approches nutritionnelles et thérapeutiques (Verma et al., 2016 ; Corella et al., 2017). L'IA en nutrition individualisée permettra aux personnels de santé (médecin, vétérinaire) de maintenir leurs obligations de moyens, de soins et de valoriser leurs compétences. Elle permettra de répondre aux exigences des propriétaires et éleveurs d'animaux. Dans une quatrième partie, nous préciserons au travers d'un sondage l'attrait, les intérêts, les opportunités et les limites actuels de l'application de l'IA en nutrition individualisée chez les vétérinaires et éleveurs canins/félins français.

PARTIE 4 : L'APPLICATION DE L'IA A LA NUTRITION INDIVIDUALISEE VUE PAR LES VETERINAIRES ET LES ELEVEURS CANINS/FELINS

Selon une étude de marché réalisée en France en 2018 par Mintel® sur 10 000 propriétaires de chiens ou chats, 52 % d'entre eux seraient intéressés à acheter une nourriture personnalisée pour leur animal de compagnie et souhaiteraient être plus impliqués dans l'alimentation et la santé de leur animal (Mintel Group Ltd, 2018 ; Euromonitor, 2019). Néanmoins la demande surpasse l'offre actuelle française et l'IA très prometteuse dans ce domaine pointe tout juste le bout de son nez. Les vétérinaires sur le long terme et les éleveurs à plus court terme sont les interlocuteurs principaux des propriétaires d'animaux de compagnie. Ils ont donc un rôle important à jouer dans l'équilibre de l'offre et de la demande. Dans ce but, nous avons réalisé un sondage chez des vétérinaires et des éleveurs canins/félins en France afin de recueillir leur avis sur l'utilisation de l'IA en nutrition individualisée.

1. Objectifs du sondage

Le but de ce sondage est de comprendre l'état actuel, les opportunités et les limites de l'IA en nutrition individualisée canine/féline via la compréhension :

- de la place de la nutrition en santé animale en France chez les vétérinaires, leurs clientèles et les éleveurs ;
- des principales pratiques en nutrition ;
- des intérêts et limites pour les vétérinaires et les éleveurs des solutions technologiques (économique, éthique, services rajoutés, image d'expert).

2. Matériels et méthodes

2.1. Conception du questionnaire

En amont ont été réalisés, une recherche bibliographique et des entretiens avec des acteurs de la nutrition animale (vétérinaires, entreprises de petfood) avec pour

objectif de repérer les enjeux, les limites, les impacts et les facteurs de réussite de l'application de l'IA dans l'individualisation des rations alimentaires (partie 3 4.).

Ce sondage scindé en trois parties (partie commune, partie Eleveurs, partie Vétérinaires) est composé de questions fermées, de questions ouvertes et est construit à partir de critères jugés pertinents retrouvés dans la bibliographie (Tableau 1 ; annexe 2).

Tableau 1 : Description des 3 parties du questionnaire d'enquête (annexe 2)

Nom de la partie	Informations fournies	Type de questions
Eleveurs et vétérinaires	1/ Eleveur ou vétérinaire, localisation régionale, âge, 2/ Importance de la nutrition en santé animale, critère de choix d'une alimentation 3/ Connaissance du concept d'IA, impact des technologies sur la pratique, intérêt pour la collecte de données 4/ Coordonnées si la personne souhaite être tenue informée des résultats du sondage	1/ Questions fermées à choix unique 2/ Echelles d'évaluation, question ouverte 3/ Questions fermées à choix unique et questions ouvertes 4/ Echelle d'évaluation, question fermée à choix unique et question ouverte
Eleveurs	1/ Caractéristiques de l'élevage : canin ou félin, nombre de femelles reproductrices et de races différentes 2/ Critère de choix d'une alimentation, fréquence et intérêt pour les achats alimentaires sur internet 3/ Intérêt pour une nutrition individualisée, une premiumisation est-elle un frein ?	1/ Questions fermées à choix unique et questions ouvertes 2/ Echelles d'évaluation et questions ouvertes 3/ Echelles d'évaluation
Vétérinaires	1/ Domaine de pratique, pourcentage de pratique canine et féline 2/ Intérêt de la clientèle et changement des attentes de la clientèle pour la nutrition 3/ Suivi d'une formation continue en nutrition, évaluation personnelle de son aptitude à proposer un service de nutrition individualisée à la clientèle et limites, état des lieux des catégories d'animaux d'intérêt en clientèle 4/ Temps passé à la réalisation de ce service, outil utilisé, valorisation, satisfaction client 5/ Intérêt pour l'IA en nutrition (gain de temps, valorisation d'un service de nutrition)	1/ Questions ouvertes à choix multiples, échelles d'évaluation 2/ Echelle d'évaluation, question fermée à choix unique et questions ouvertes 3/ Echelles d'évaluation, questions ouvertes à choix multiples, questions ouvertes 4/ Questions fermées à choix unique et questions ouvertes, question ouverte à choix multiple, échelle d'évaluation 5/ Echelle d'évaluation
Des questions ?	Questions et commentaires	Question ouverte

2.2. Diffusion du questionnaire

Ce sondage est une enquête prospective à approche quantitative et qualitative. Les réponses ont été recueillies de manière anonymisée sur la plateforme en ligne Survey Monkey®. Le lien vers le questionnaire a été mis en libre accès sur VétFocus et LinkedIn et transféré par emailing au travers des réseaux de vétérinaires et d'éleveurs canins/félins du Point vétérinaire, de Neocare, de la Société Centrale Canine (SCC) et de la Fédération Française Féline (FFF). Le sondage a été ouvert de la mi-juillet à la fin septembre 2020. Le taux de réponse n'est pas facilement évaluable car le sondage a été mis en diffusion libre sur LinkedIn/Vetofocus et a ainsi pu être partagé par plusieurs participants. La France compte 10 000 vétérinaires et environ 15 000 éleveurs canins et félins (Observatoire national démographique de la profession vétérinaire, 2019 ; communication personnelle SCC et FFF, 2020).

2.3. Saisie et traitement des données

Les informations recueillies sur le questionnaire ont été regroupées dans un fichier Excel. Afin de garantir l'anonymat, certaines informations telles que les adresses courriel des éleveurs et vétérinaires ont été supprimées lors de l'analyse. Enfin, pour des raisons juridiques et analytiques, les marques d'alimentation n'ont pas été utilisées en tant que telles.

Plusieurs variables continues ont été catégorisées (partie 1 : âge, partie 2 : nombre de femelles reproductrices, nombre de races, temps à l'élaboration d'une ration, prix du service nutrition) pour avoir une population plus homogène et un effectif suffisant dans chaque catégorie tout en conservant une certaine logique. L'ensemble des variables explicatives était de type qualitatif ou catégoriel (échelle d'évaluation, questions à choix multiples, questions fermées).

Aucun critère d'exclusion n'a été mis en place, chaque participant correspondant bien au public visé par le sondage (vétérinaire ou éleveur, travaillant avec des chiens

ou des chats et localisé en France). Le pourcentage d'inclusion (nombre de participants retenus dans l'étude/nombre total de participants) est donc de 100 %.

3. Résultats

3.1. Description de la population étudiée

Ce sondage contient les réponses de 835 participants (597 vétérinaires et 238 éleveurs). Le choix de la population s'est porté sur des éleveurs français canins et félins ainsi que sur des vétérinaires français à pratique majoritairement canine/féline.

3.1.1. Age

La moyenne d'âge des participants est de 45 ans ($n = 308/835$) et la médiane de 42 ans [min = 24 ; max = 75 ; $n = 308$]. La quasi-totalité des 835 participants (94,8 %) a entre 25-65 ans. La catégorie la plus représentée est celle des 41-65 ans suivie des 25-40 ans et des plus de 65 ans (Figure 13).

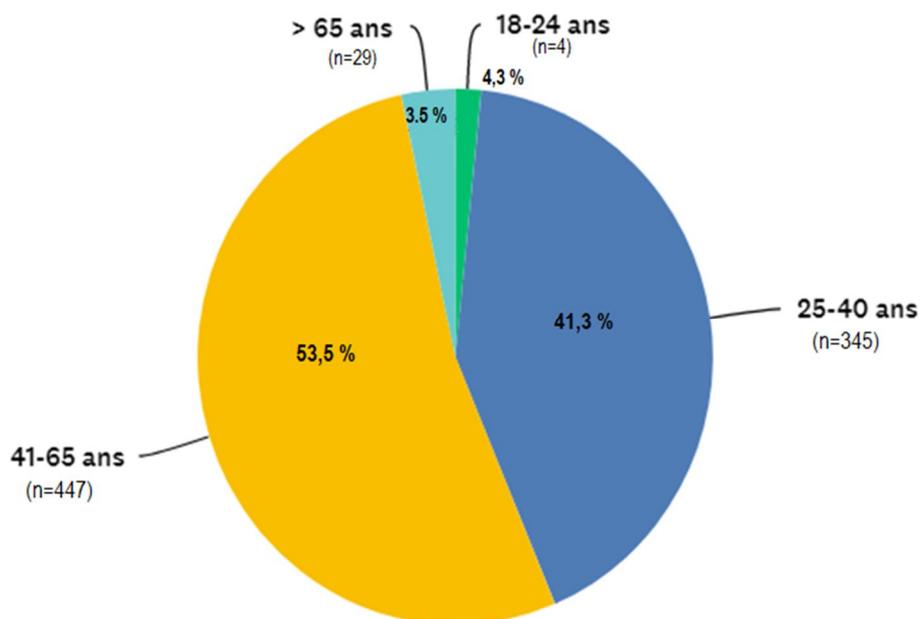


Figure 13 : Répartition de la population (%) selon l'âge (n=835)

3.1.2. Profession

Les vétérinaires représentent la majorité des participants (71,5 % ; n = 597). Les éleveurs représentent 28,5 % des participants (n = 238).

3.1.3. Localisation géographique

La majorité des 835 participants de notre sondage se localise en Auvergne-Rhône Alpes, Occitanie, Ile de France et Nouvelle-Aquitaine (Figure 14).

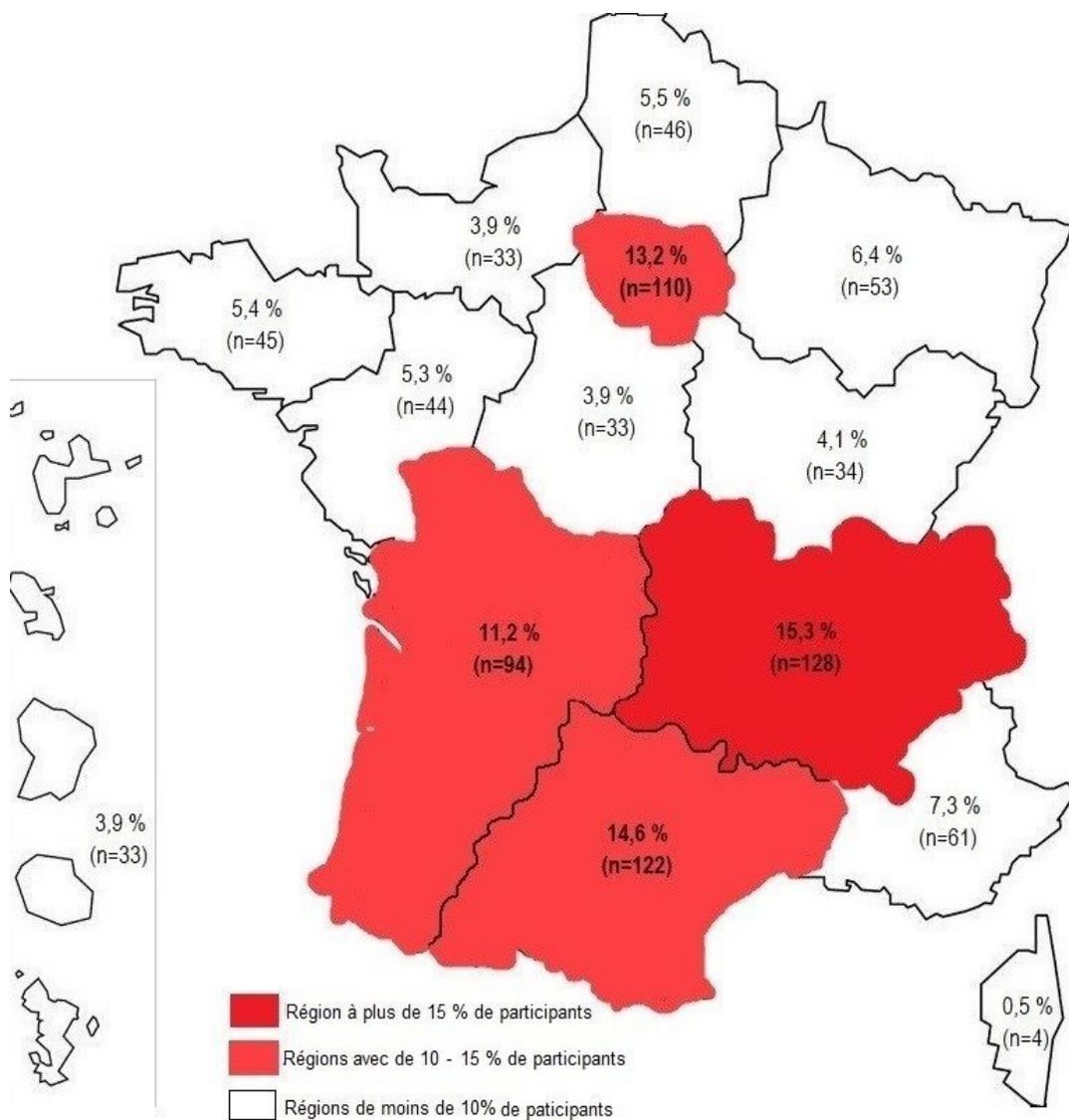


Figure 14 : Localisation géographique des participants (n=835)

3.2. Pratiques, intérêt, opportunités et limites de l'application de l'IA à la nutrition individualisée animale chez les éleveurs canins/félins

Deux cent dix éleveurs ont répondu à la partie du sondage réservée aux éleveurs (taux d'abandon = 12 % ; n = 29/238) ; 49,1 % (n = 103/210) d'entre eux possèdent un élevage canin ; 44,8 % (n = 94/210) possèdent un élevage félin et 6,2 % (n = 13/210) un élevage mixte canin/félin.

3.2.1. Localisation géographique

La majorité des 210 éleveurs de notre sondage se localise en Occitanie, Auvergne-Rhône Alpes, Ile de France et Nouvelle-Aquitaine (Figure 15).

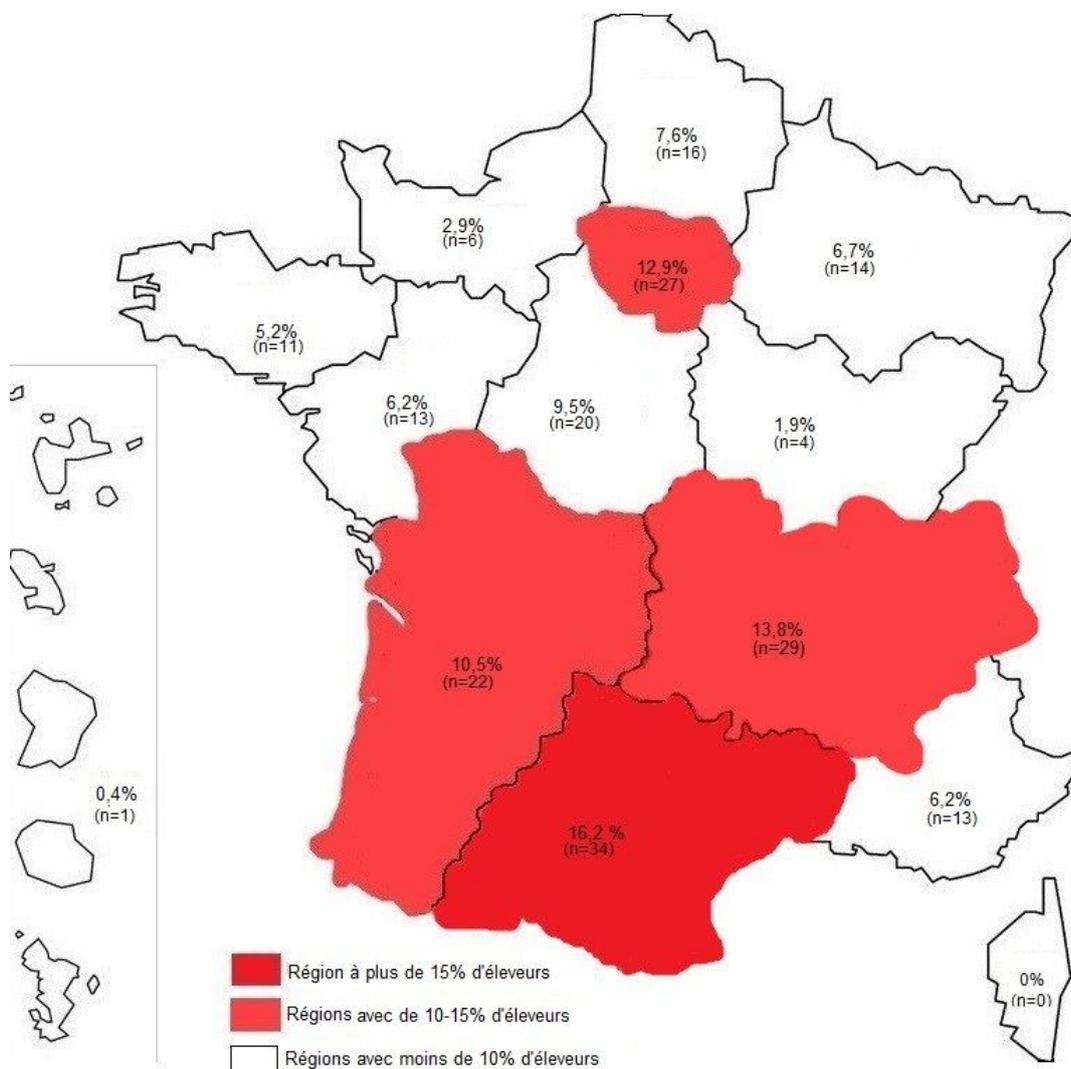


Figure 15 : Localisation géographique des éleveurs (n=210)

3.2.2. Caractéristiques des élevages

Les éleveurs canins (n = 103/210) possèdent majoritairement moins de 5 femelles reproductrices [méd. = 4 ; min = 1 ; maxi = 32] et les éleveurs félics (n = 94/210) de 5 à 10 femelles reproductrices [méd. = 10 ; min = 1 ; max = 20] (Figure 16).

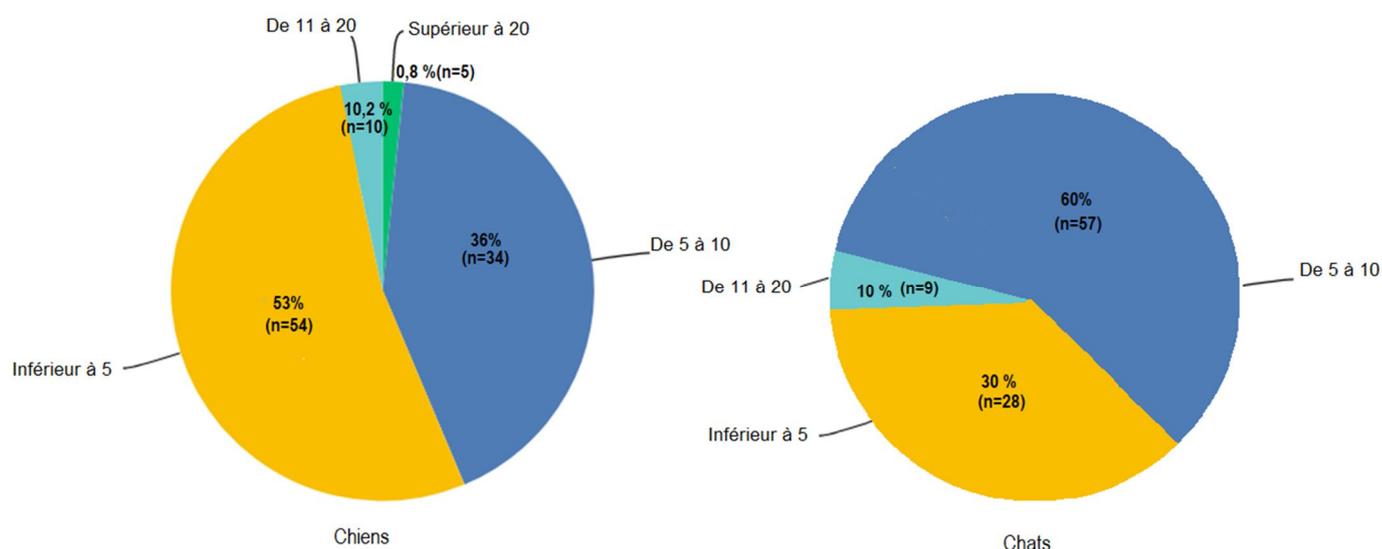


Figure 16 : Répartition (%) des éleveurs canins (à gauche) et félics (à droite) selon le nombre de femelles reproductrices (n=210)

La majorité (66,7 % ; n = 140/210) des éleveurs canins ou félics n'élève qu'une seule race ; 25,3 % (n = 53/210) en élèvent deux ; 8,1 % (n = 17/210) en élèvent plus de deux (max = 5) (Tableau 2).

Tableau 2 : Races et effectifs de chiens ou chats cités par les éleveurs (n=210)

Espèce	Race	Effectif
Chat	Maine Coon	33
	Persan	21
	Exotic Shorthair	15
	Chartreux	13
	Ragdoll	12
Chien	Berger Australien	35
	Siberian Husky	35
	Golden Retriever	25
	Chihuahua	20
	Bouledogue français	8

3.2.3. Importance quantitative et qualitative de la nutrition en santé animale chez les éleveurs

La plupart des éleveurs du sondage (72 % ; n = 210) accorde une importance au domaine de la nutrition animale (Figure 17).

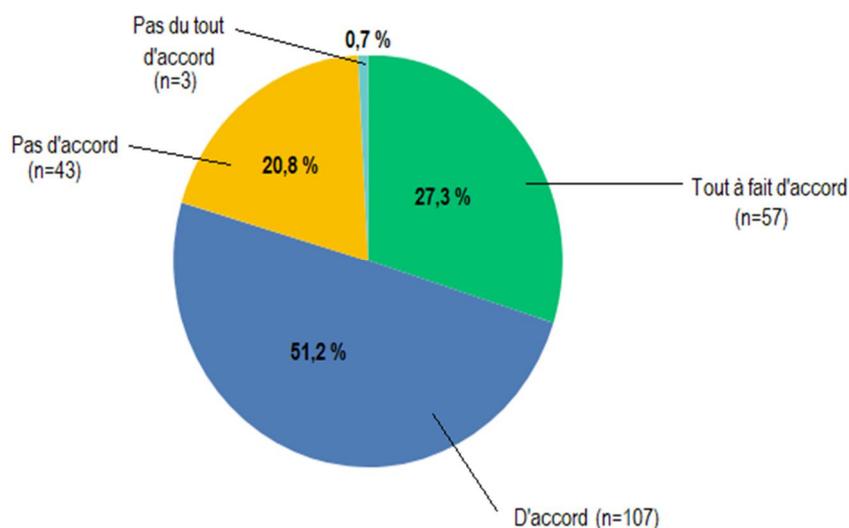


Figure 17 : Avis des éleveurs (%) sur l'importance de la nutrition en santé animale (n=210)

3.2.4. Choix d'une alimentation

Les critères de choix d'une alimentation chez les éleveurs canins/félins (Tableau 3) sont, par ordre d'importance décroissante :

- les recommandations de la communauté vétérinaire ;
- l'étiquette de l'aliment précisant la spécificité à une race/ à un stade physiologique/ à une pathologie ;
- les ingrédients ;
- la renommée de la marque en matière de nutrition ;
- l'expérience personnelle ;
- le prix ;
- le bouche à oreille ;
- les tendances actuelles/Internet ;
- autres. Ce critère regroupe : l'éthique (bilan eau/carbone de la production, impact environnemental), les préférences de l'animal de compagnie.

Tableau 3 : Classement des critères de choix d'une alimentation chez les éleveurs du sondage (n=210).

Les critères de choix d'une alimentation étaient à classer sur une **échelle de notation allant de 1 à 9**, 1 correspondant au principal critère de choix. % représente le pourcentage d'éleveurs ayant choisi ce critère.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	S.O.	TOTAL	%
Les recommandations vétérinaires	31,15 % 34	17,50 % 20	14,29 % 16	9,65 % 11	7,34 % 7	3,99 % 4	1,80 % 2	2,70 % 3	2,06 % 2	9,52 % 11	110	68
Gamme spécialisée i.e. étiquetées selon race, stade physiologique, gamme thérapeutique	20,87 % 19	21,66 % 21	15,72 % 14	9,51 % 9	9,25 % 8	7,66 % 7	5,28 % 5	2,51 % 2	0,92 % 1	6,61 % 6	92	60
Les ingrédients	20,90 % 8	21,54 % 10	16,42 % 7	14,50 % 6	6,40 % 3	5,76 % 2	4,69 % 2	2,56 % 1	3,41 % 1	3,84 % 2	42	56
La renommée de la marque en matière de nutrition	11,72 % 10	16,91 % 14	19,04 % 17	15,85 % 14	14,78 % 13	8,92 % 8	3,20 % 3	2,53 % 2	0,67 % 1	6,39 % 6	88	54
Votre expérience personnelle	9,98 % 4	14,44 % 5	18,05 % 14	15,71 % 14	16,14 % 13	8,92 % 8	5,73 % 5	4,46 % 4	1,91 % 1	4,67 % 4	44	50
Son prix	2,49 % 2	6,56 % 6	14,44 % 14	25,59 % 25	17,98 % 17	16,27 % 16	7,48 % 7	3,02 % 3	0,79 % 1	5,38 % 5	96	45
Bouche à oreille	5,32 % 4	6,41 % 5	6,00 % 5	7,23 % 6	15,69 % 13	15,69 % 13	16,10 % 13	13,10 % 10	3,27 % 2	11,19 % 9	80	40
Les tendances actuelles/internet	5,99 % 5	3,95 % 4	3,68 % 3	4,63 % 4	10,35 % 9	22,48 % 20	11,58 % 10	20,44 % 18	4,63 % 4	12,26 % 11	90	28
Autre (veuillez préciser dans la question suivante)	3,99 % 3	1,99 % 1	1,71 % 1	1,99 % 1	2,28 % 1	2,85 % 2	5,41 % 4	5,41 % 4	45,87 % 16	28,49 % 10	43	10

Plus de la moitié des éleveurs (59,5 %) a recours à Internet de façon courante pour l'achat d'alimentation animale (Figure 18). Les raisons invoquées sont : la praticité, la grande diversité de marques proposées, la possibilité de comparer les prix et les ingrédients (n = 53 réponses).

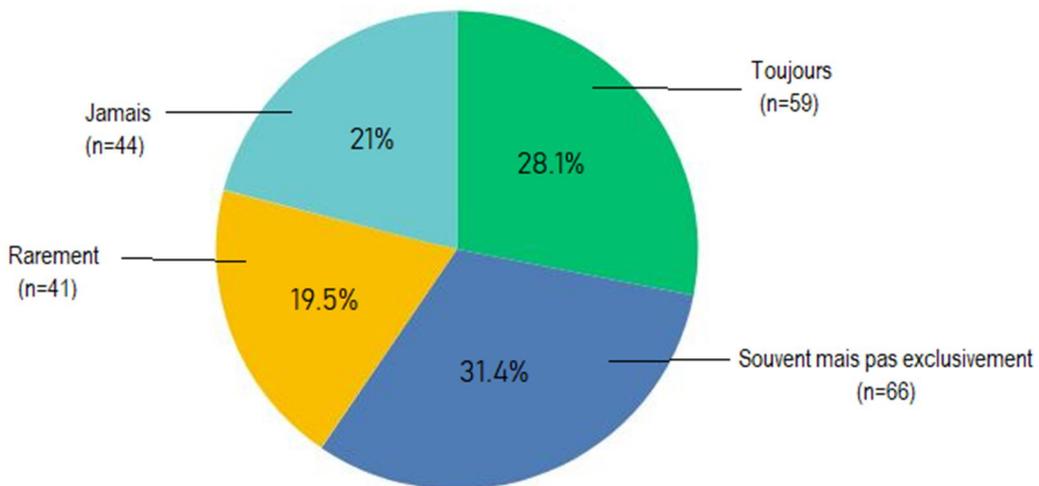


Figure 18: Avis des éleveurs (%) sur leur recours à Internet pour l'achat d'alimentation animale (n=210)

3.2.5. Intérêt pour la nutrition individualisée et la premiumisation

La grande majorité des éleveurs (73 %) serait enclin à proposer une ration individualisée à leurs animaux ; 57 % se déclarent même prêts à payer plus cher pour un accès à une alimentation de ce type (n = 210 réponses).

3.2.6. Attrait pour l'IA et impact des technologies (applications smartphones, objets connectés etc.) sur la pratique en élevage

Presque la moitié des éleveurs considère que les technologies ont un impact sur leurs pratiques (48 % ; n=101/210). La majorité d'entre eux (72 % ; n =71/101) déclare avoir un attrait pour l'IA et 23 % (n = 23/101 commentaires) évoque un gain de temps (rapidité d'accès à l'information, organisation facilitée etc.). Les technologies intéressantes en général d'après les participants sont : les gamelles connectées, les chatières connectées, les systèmes GPS, les aspirateurs robots, la télémédecine. L'autre moitié des éleveurs (52 % ; n = 109/210) estime que les technologies n'ont pas encore d'impact sur leurs habitudes de pratiques en élevage.

3.2.7. Connaissance du concept d'IA

Un peu moins de la moitié des éleveurs (45 % ; n = 107/238) estime connaître le concept d'IA contre 38,9 % (n = 93/238) qui estiment ne pas le connaître et 17,1 % (n = 41/238) qui ont une idée vague de sa définition.

3.2.8. Intérêt pour la collecte de données d'activité chez le chien ou le chat en vue d'améliorer la précision des rations

La majorité des éleveurs (66,2 % ; n =157/238) est prête à participer à une collecte de données d'activité anonymisée chez leur animal de compagnie via un collier capteur d'activité si ceci permet d'améliorer la précision des rations (Figure 19).

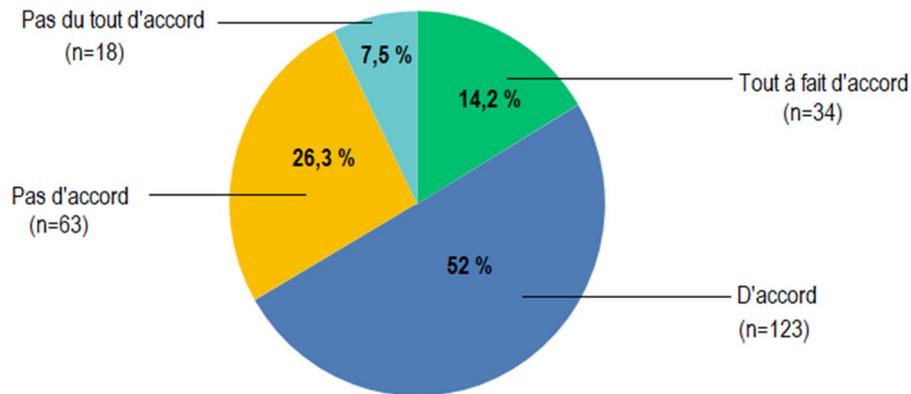


Figure 19 : Avis des éleveurs (%) sur leur intérêt à participer à une collecte de données d'activité anonymisée chez leur animal de compagnie via un collier capteur d'activité permettant d'améliorer la précision des rations (n=238)

3.3. Pratiques, intérêt, opportunités et limites de l'application de l'IA à la nutrition individualisée animale chez les vétérinaires canins/félins

Cinq cent vingt-huit vétérinaires ont répondu à la partie du sondage réservée aux vétérinaires (taux d'abandon = 12 % ; n = 71/597).

3.3.1. Localisation géographique

Presque la moitié (47 %) des vétérinaires se localise dans le sud de la France (Figure 20).

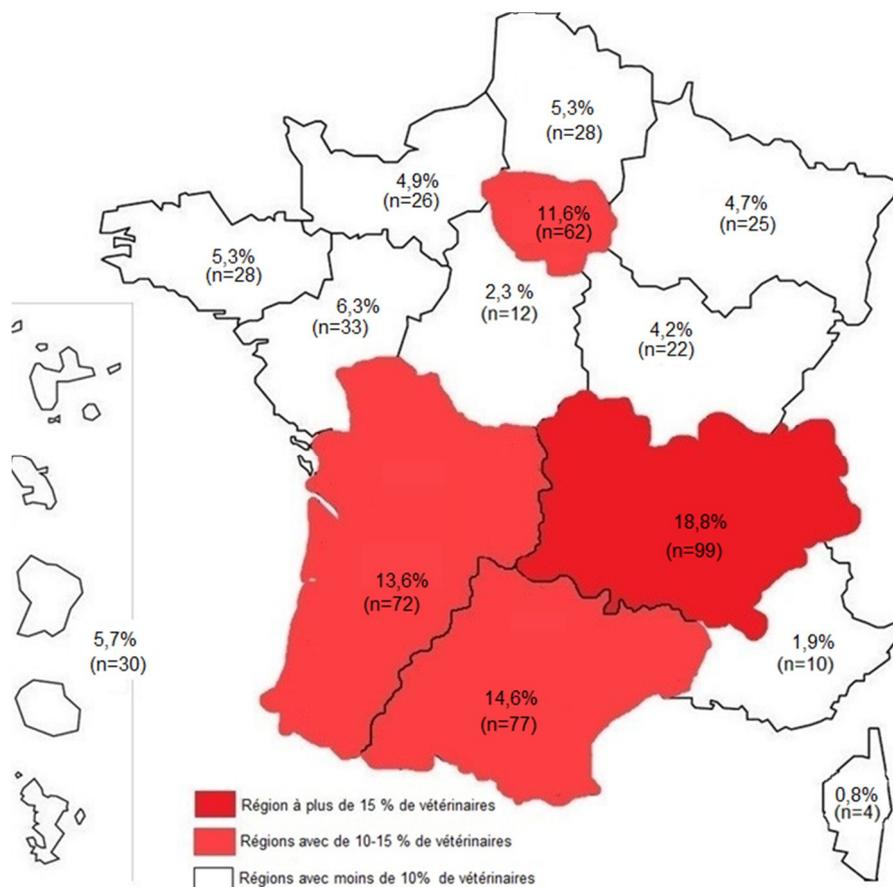
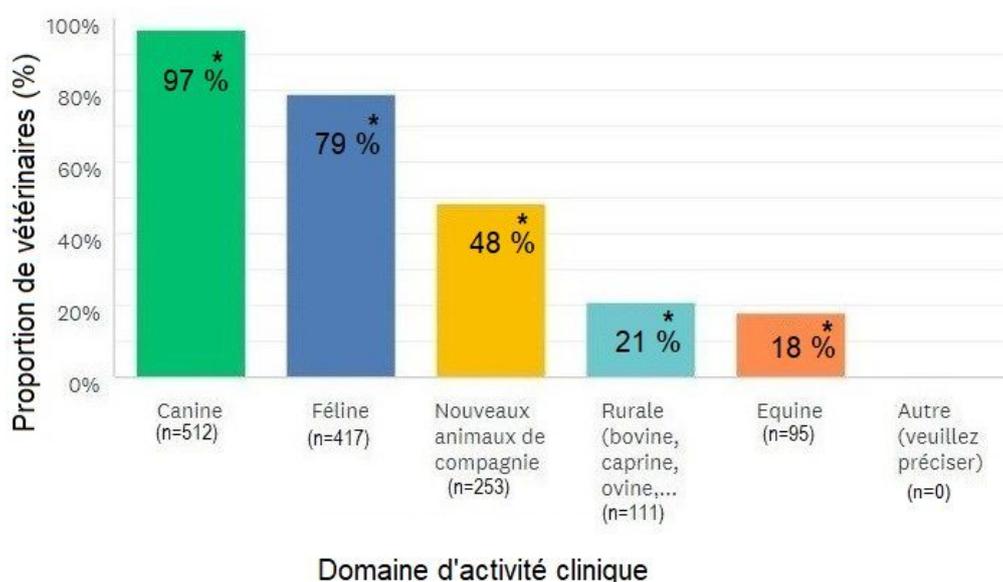


Figure 20 : Localisation géographique des vétérinaires (n=528)

3.3.2. Caractéristiques de la population des vétérinaires participants

La majeure partie des vétérinaires participants déclare exercer en canine (97 %) et/ou féline (79 %) indépendamment du temps passé (Figure 21). Ils indiquent aussi consacrer plus de la moitié de leur temps et de leur chiffre d'affaire en canine (méd. = 54 % ; min = 50 % ; max = 80 %) et en féline (méd. = 48 % ; min = 30% ; max = 100 %). La majorité des vétérinaires participants à notre sondage exerce ainsi de manière prédominante en animaux de compagnie



* Il était possible de choisir plusieurs réponses

Figure 21 : Proportion de vétérinaires (%) en fonction de leur domaine d'activité clinique (n=528).

3.3.3. Importance quantitative et qualitative de la nutrition en santé animale chez les vétérinaires canins/félins et leur clientèle

La nutrition animale est importante pour 85 % des vétérinaires du sondage (n = 597). La prise de commentaire sur cette question (102 commentaires ; annexe 3) fait remonter un élément principal : la sous-exploitation de la nutrition chez les animaux sains (n = 63/102). Les principaux éléments d'explication de la sous-exploitation de la nutrition en santé animale proposés (102 réponses) sont :

- le manque de formations sur ce domaine ;
- le manque d'études fiables ou claires ;

- les difficultés rencontrées pour traiter la grande quantité d'informations ;
- l' « utilisation » du vétérinaire comme un simple intermédiaire entre les acteurs de la petfood et les propriétaires d'animaux de compagnie ;
- les difficultés rencontrées pour démêler le vrai du faux en termes de tendance alimentaire.

Un grand nombre de vétérinaires interrogés (72,7 %) estime être « d'accord » sur l'intérêt de la clientèle pour le domaine de la nutrition animale (Figure 22).

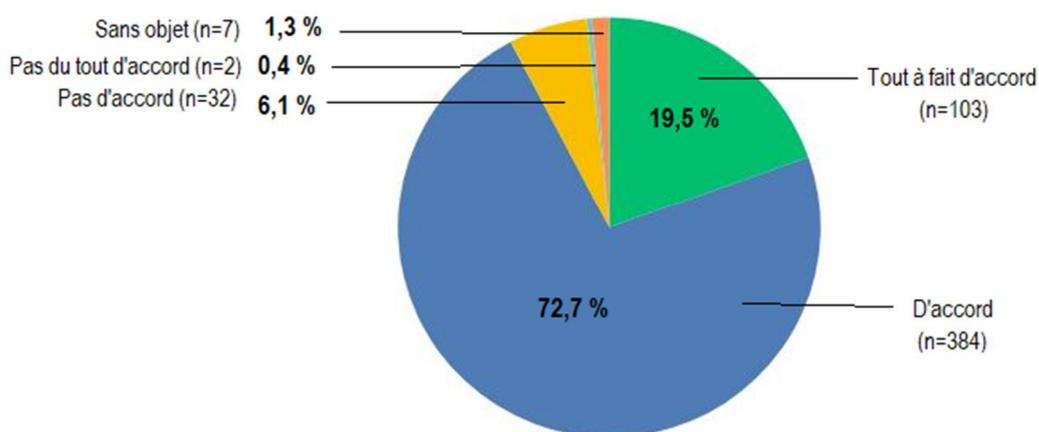


Figure 22 : Avis des vétérinaires (%) sur l'intérêt de leur clientèle pour la nutrition animale (n=528)

Néanmoins la plupart d'entre eux (80 % ; n = 422/528) estime que les attentes de la clientèle ont changé. Plus de la moitié des vétérinaires ayant laissé un commentaire (62,5 % ; n = 25/40 commentaires) remarque l'influence d'Internet sur les choix alimentaires des propriétaires (Biologically Appropriate Raw Food (BARF), rations ménagères, aliments sans gluten, sans céréales, bio, végétarien, vegan). Certains (12,5 % ; n = 5/40 commentaires) relèvent un manque de repères des propriétaires face aux nouvelles technologies et à la variété de produits proposés. Le prix d'achat est la limite de choix le plus souvent évoqué (n = 10/40 commentaires).

3.3.4. Choix d'une alimentation

Les vétérinaires (n = 597) classent selon le même ordre d'importance que les éleveurs les critères de choix d'alimentation (Tableau 4). La catégorie « autres »

regroupe pour les vétérinaires : le pouvoir d'achat du propriétaire, les préférences du propriétaire et de l'animal de compagnie, la disponibilité du produit à la clinique, les avis de vétérinaires spécialistes en nutrition, les recommandations internationales.

Tableau 4 : Classement des critères de choix d'une alimentation chez les vétérinaires du sondage (n=597).

Les critères de choix d'une alimentation étaient à classer sur une **échelle fermée de notation allant de 1 à 9**, 1 correspondant au principal critère de choix. % représente le pourcentage des vétérinaires ayant choisi ce critère.

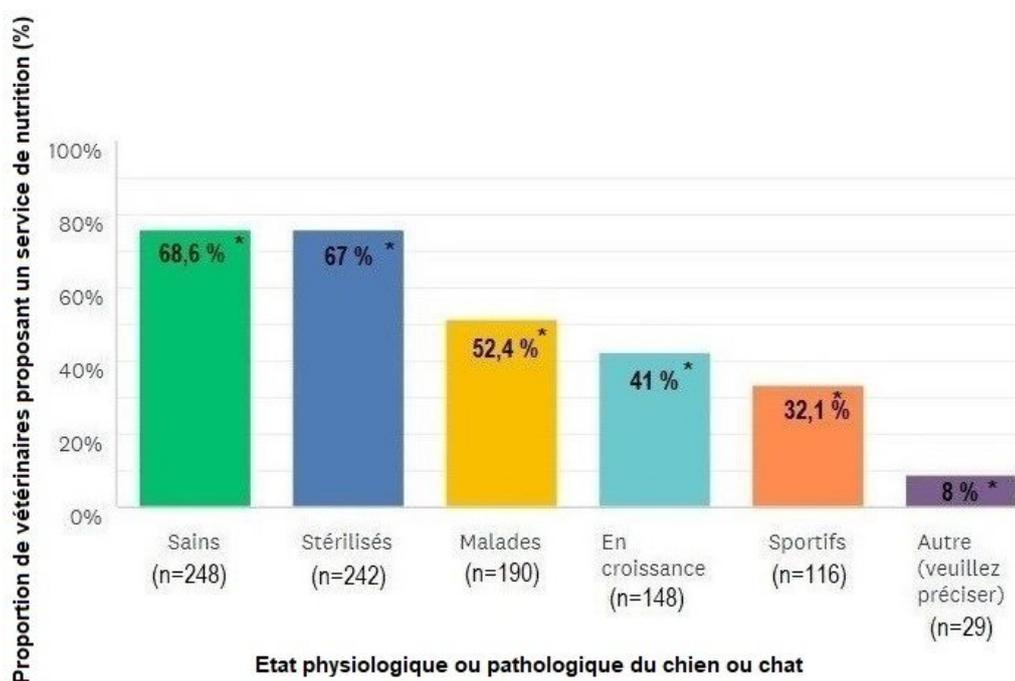
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	S.O.	TOTAL	%
Les recommandations vétérinaires	31,15 % 184	17,50 % 103	14,29 % 84	9,65 % 57	7,34 % 43	3,99 % 24	1,80 % 11	2,70 % 16	2,06 % 12	9,52 % 56	590	70
Gamme spécialisée i.e. étiquetées selon race, stade physiologique, gamme thérapeutique	20,87 % 119	21,66 % 124	15,72 % 89	9,51 % 54	9,25 % 53	7,66 % 44	5,28 % 30	2,51 % 14	0,92 % 5	6,61 % 38	570	65
Les ingrédients	20,90 % 59	21,54 % 61	16,42 % 46	14,50 % 41	6,40 % 18	5,76 % 16	4,69 % 13	2,56 % 7	3,41 % 10	3,84 % 11	282	64,8
La renommée de la marque en matière de nutrition	11,72 % 66	16,91 % 95	19,04 % 107	15,85 % 90	14,78 % 83	8,92 % 51	3,20 % 18	2,53 % 14	0,67 % 4	6,39 % 36	564	62
Votre expérience personnelle	9,98 % 31	14,44 % 41	18,05 % 51	15,71 % 45	16,14 % 47	8,92 % 21	5,73 % 16	4,46 % 14	1,91 % 5	4,67 % 13	284	59
Son prix	2,49 % 14	6,56 % 38	14,44 % 83	25,59 % 147	17,98 % 103	16,27 % 94	7,48 % 43	3,02 % 17	0,79 % 4	5,38 % 32	575	53
Bouche à oreille	5,32 % 29	6,41 % 35	6,00 % 32	7,23 % 42	15,69 % 86	15,69 % 86	16,10 % 89	13,10 % 72	3,27 % 14	11,19 % 61	546	45
Les tendances actuelles/internet	5,99 % -33	3,95 % 22	3,68 % 20	4,63 % 23	10,35 % 57	22,48 % 123	11,58 % 63	20,44 % 112	4,63 % 23	12,26 % 71	547	40
Autre (veuillez préciser dans la question suivante)	3,99 % 6	1,99 % 3	1,71 % 2	1,99 % 3	2,28 % 4	2,85 % 5	5,41 % 9	5,41 % 9	45,87 % 75	28,49 % 48	164	22

3.3.5. Pratiques en matière de nutrition chez les vétérinaires canins/félins : formations, services proposés, difficultés, valorisation

Plus de la moitié (52,3 % ; n = 276/528) des vétérinaires interrogés a suivi une formation continue en nutrition. Les types de formation (117 réponses) référencent la bibliographie en nutrition en général (n = 54/117), les webinaires (n = 43/117) et les conférences (n = 20/117).

Un pourcentage non négligeable de vétérinaires (16,5 % ; n = 87/528) ne s'estime pas capable de fournir une ration alimentaire adaptée aux besoins des animaux de la clientèle. Les difficultés évoquées concernent les rations ménagères et le « hors croquette » pour 29,8 % d'entre eux (n = 20/67), la quantité de données à prendre en considération (les friandises, le stade physiologique, le budget du propriétaire, l'appétence, les données bibliographiques récentes etc.) pour 10,5 % d'entre eux (n = 7/67).

Néanmoins 43 % (n = 227/528) des vétérinaires estiment pouvoir fournir une ration alimentaire adaptée aux besoins des animaux de la clientèle dans quelques situations précises et 36 % dans beaucoup de situations différentes (n = 190/528). La majorité d'entre eux (68,6 %) propose ainsi des rations pour animaux sains (n = 362/528) ou plus anecdotiquement (catégorie « autres ») pour animaux en surpoids (n = 15/29 commentaires), animaux séniles (n = 12/29 commentaires) ou à problèmes dermatologiques (n = 2/29 commentaires) (Figure 23). La plupart d'entre eux (77,9 % ; n = 282/362) estime la clientèle satisfaite de ce service.



* Il était possible de choisir plusieurs réponses

Figure 23 : Proportion de vétérinaires (%) proposant un calcul de ration en fonction de l'état physiologique ou pathologique d'un animal (n=362)

La plupart de ces vétérinaires (53,4 %) passe plus de 5 minutes à l'élaboration d'une ration (n = 193/362) (Figure 24). Ils utilisent majoritairement pour cela un calcul à la main (36,7 % ; n = 133/362) ou un logiciel de calcul automatique nécessitant l'entrée de quelques paramètres (32,8 % ; n = 119/362) ; 18,1 % (n = 66/362) utilisent un tableur Excel créé par leurs soins et 12,4 % (n = 45/362) l'aide d'un collègue spécialiste.

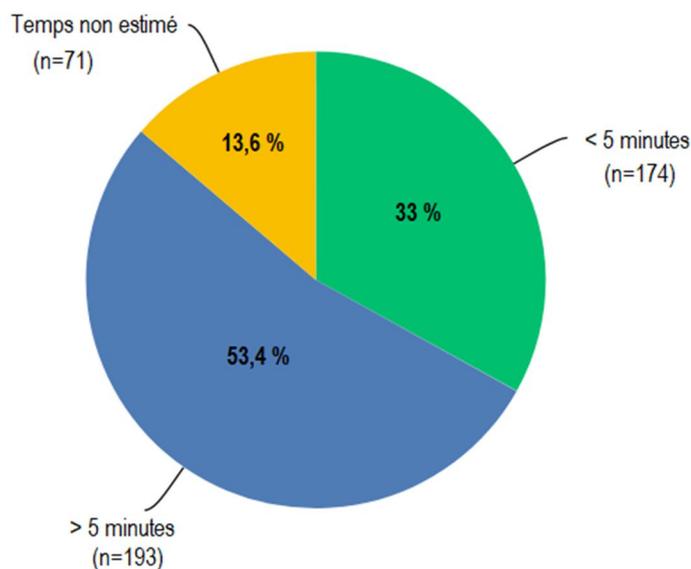


Figure 24 : Temps passé (minutes) à l'élaboration d'une ration alimentaire chez les vétérinaires proposant un calcul de ration (n=362)

Plus de la moitié des vétérinaires (61,4 % ; n = 222/362) proposant un calcul de ration ne le valorise pas monétairement. La médiane de la facturation est de 15 euros [min = 0 ; max = 95] (n= 61) (Figure 25).

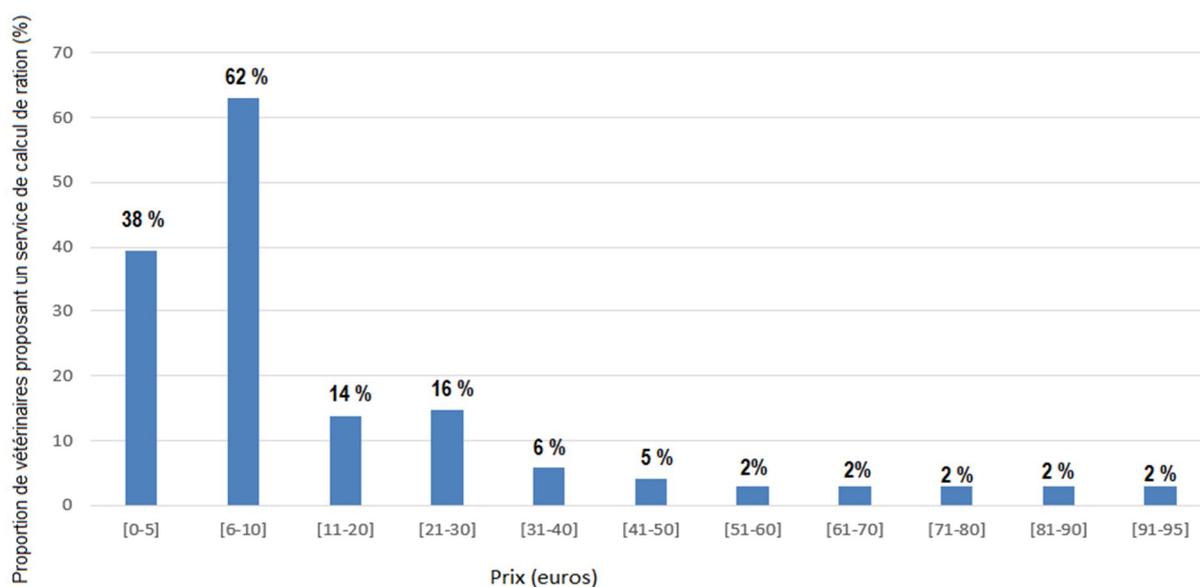


Figure 25 : Prix du service de calcul de ration (n=362 vétérinaires)

3.3.6. Attrait pour l'IA et impact des technologies (applications smartphones, objets connectés etc.) sur la pratique en clinique

Un peu moins de la moitié des vétérinaires (46,3% ; n =276/597) déclare avoir un attrait pour l'IA ; 67,5 % (n = 403/597) estiment que les technologies n'ont pas d'impact sur leurs habitudes de pratiques en clinique.

Parmi les vétérinaires qui considèrent que les technologies ont un impact sur leurs pratiques, 97 ont laissé des commentaires : il y a une augmentation de l'utilisation de ces technologies par les propriétaires (n=58), ces technologies permettent un gain de temps en clinique (rapidité d'accès et de traitement des informations) (n = 30) et une « visualisation plus claire de l'information » (n=9).

3.3.7. Connaissance du concept d'IA

Chez les vétérinaires, 54,7 % (n = 327/597) estiment connaître le concept d'IA tandis que 38,2 % (n = 228/597) révèlent ne pas le connaître et 7,1 % (n = 42/597) en ont une idée vague.

3.3.8. Intérêt pour la collecte de données d'activité chez le chien ou le chat en vue d'améliorer la précision des rations

Une grande partie des vétérinaires (64,8 % ; n = 386/597) est prête à participer à une collecte de données via un collier capteur d'activité si ceci permet d'améliorer la précision des rations alimentaires (Figure 26).

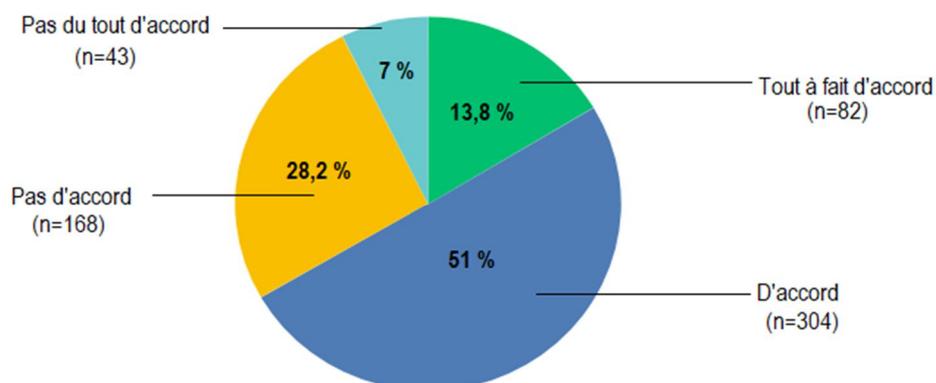


Figure 26 : Avis des vétérinaires (%) sur leur intérêt à participer à une collecte de données d'activité sur chien ou chat via un collier capteur d'activité permettant d'améliorer la précision des rations alimentaires (n=597)

Les principales limites évoquées à la mise en place de cette collecte de données sont (n = 122 réponses) : la protection des données récoltées (n = 50), la mise en pratique (chronophage) (n = 30), la transparence sur les résultats récoltés / sur leur utilisation (n = 20) et la fiabilité des résultats (n = 10).

3.3.9. Intérêt pour l'IA en nutrition individualisée : gain de temps, valorisation d'un service de nutrition

La très grande majorité des vétérinaires (93 % ; n = 491/528) est « d'accord » ou « tout à fait d'accord » pour utiliser l'IA en nutrition individualisée si elle est associée à un gain de temps et une valorisation monétaire de ce service.

Les vétérinaires sont intéressés par l'IA pour son aspect collaboratif avec les propriétaires (n = 15), la possibilité d'adapter rapidement les rations (n = 11), l'accès rapide à des informations pertinentes et à jour (n = 7), la possibilité d'avoir un cadre objectif de facturation du service (n = 3). Ils soulèvent la nécessité de « ne pas perdre de temps », de « garder le contrôle » et la question du coût (n = 37 réponses).

4. Discussion

Ce travail est le premier questionnaire sur les opportunités d'applications de l'IA en nutrition individualisée chez les éleveurs et vétérinaires français canins et félins. Il a pour objectif d'enrichir dans une certaine mesure la connaissance concernant les pratiques, les attentes, les opportunités et les freins dans le domaine.

4.1. Choix des méthodes

L'utilisation d'un sondage permet de récolter un grand nombre d'informations en un minimum de temps. Néanmoins le nombre de questions (n = 20 pour les éleveurs, n = 26 pour les vétérinaires) ou la formulation complexe de certaines questions (comme par exemple en annexe 2, les questions 7 et 27) ont pu être à l'origine d'un certain nombre d'abandons lors de la participation au questionnaire (taux d'abandon de 12 % chez les vétérinaires et les éleveurs).

La nutrition est un domaine complexe avec une diversité de pratiques et d'attentes parmi les utilisateurs. Une partie quantitative et une partie qualitative ont ainsi été mises en place. La partie quantitative, au travers de questions fermées jugées importantes pour caractériser l'échantillon et démontrer sa pertinence dans la thématique, nous a permis de recueillir les caractéristiques des participants tels que l'âge, la catégorie professionnelle, la localisation géographique, le nombre de femelles reproductrices etc. Cette partie permet aussi d'évaluer le poids de certaines pratiques et de comprendre les motivations principales d'utilisation de l'IA en nutrition individualisée. La partie qualitative de ce sondage nous a permis de nous interroger sur les réelles motivations et limites (gain de temps, ergonomie etc.) dans l'utilisation de l'IA au service d'une nutrition individualisée.

4.2. Caractéristiques de la population

Nous avons fait le choix d'étudier l'application de l'IA en nutrition individualisée chez des vétérinaires exerçant en animaux de compagnie et chez des éleveurs canins et félins car peu de données existent dans ces populations alors que des sondages chez les propriétaires d'animaux de compagnie ont déjà été réalisés sur le sujet (www.individualis.com ; Houssais, communication personnelle).

La moyenne d'âge de 45 ans est en adéquation avec les moyennes d'âge observées chez les vétérinaires ayant une compétence en animaux de compagnie (44,5 ans) (Observatoire national démographique de la profession vétérinaire, 2019). La répartition géographique des vétérinaires participants est similaire à la répartition référencée des vétérinaires français (Observatoire national démographique de la profession vétérinaire, 2019). Les vétérinaires participants ont une pratique majoritairement canine et féline (97% canine ; 79% féline). Toutes ces informations nous permettent de dire que notre population vétérinaire sondée correspond bien à la population visée par notre sondage .

Nous avons presque autant d'éleveurs canins (49,1 %) que d'éleveurs félins (44,8 %) alors que les estimations françaises montrent que les élevages félins sont plus représentés (en moyenne 60 % contre 40 %) (Masson, 2016 ; Livre officiel des

origines félines, 2019 ; Société centrale canine, 2020). Ces chiffres s'expliquent peut-être par le fort taux de participation d'éleveurs provenant de régions françaises comprenant peu d'élevages félines (www.loof.fr). Aucune donnée n'existe sur l'âge moyen des éleveurs canins/félines. Les races les plus représentées dans notre étude correspondent à celles dont le plus grand nombre de pedigrees a été délivré en France (Livre officiel des origines félines, 2019 ; Société centrale canine, 2020). Comme ce qui peut être retrouvé dans la bibliographie, les éleveurs élèvent en majorité (66,7 %) une seule race et possèdent moins de 5 femelles reproductrices en canine (53 %) et de 5 à 10 en féline (60 %) (Masson, 2016 ; Livre officiel des origines félines, 2019 ; Société centrale canine, 2020). En France, les éleveurs de chats et de chiens possèdent majoritairement de petites structures se concentrant sur les races les plus populaires et notre sondage le reflète.

4.3. Attrait pour l'IA en nutrition

La majorité des éleveurs (72 %) et des vétérinaires (85 %) estime que la nutrition a une place importante en santé animale. Ceci fait écho à l'intérêt croissant pour le concept de « nutrition santé » dans la population française (Mintel Group Ltd, 2018). Cette dernière est en effet depuis plusieurs années de plus en plus sensibilisée à la relation entre la nutrition et les pathologies au travers du Programme National Nutrition Santé (PNNS) ou encore du réseau NACRe (National Alimentation Cancer Recherche) (Kwon, 2020 ; Mintel Group Ltd, 2018). Tout comme l'étude Mintel réalisée en France en 2018 sur 10 000 propriétaires de chiens ou chats qui montrait que 52 % d'entre eux seraient prêts à acheter une nourriture personnalisée pour leur animal de compagnie et souhaiteraient être plus impliqués dans l'alimentation et la santé de leur animal, la grande majorité des éleveurs de notre sondage (73 %) serait très enclin à proposer une alimentation individualisée à leurs animaux (Mintel Group Ltd, 2018 ; Renub Research, 2019).

Néanmoins, tout comme ce qui peut être observé dans la population, la majorité des vétérinaires (80 %) indique un changement des attentes en nutrition et une perte de repères face aux nouvelles technologies et aux quantités importantes d'informations sur Internet (Mintel Group Ltd, 2018). Une grande partie des propriétaires d'animaux de compagnie (45 % (n=110) chez les chats et 63 % (n=58)

chez les chiens) ayant répondu à une enquête de Royal Canin s'accordent à dire que l'individualisation des rations via l'IA Individualis® permet une amélioration significative de l'état de santé de leur animal de compagnie (Houssais et Clerc, communication personnelle). Néanmoins les demandes en nutrition individualisée concernent de plus en plus les rations ménagères et le « hors croquette », domaines non maîtrisés pour 29,8 % des vétérinaires interrogés. L'offre vétérinaire en nutrition individualisée est en inadéquation avec la demande actuelle des propriétaires d'animaux de compagnie (Tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison de l'offre et de la demande en nutrition individualisée des animaux de compagnie (Houssais et Clerc, communication personnelle)

Pathologies	Demande chez les propriétaires d'animaux de compagnie (n=168)		Offre vétérinaire (n=362)
	Chien (n=58)	Chat (n=110)	Toutes espèces confondues
Surpoids / obésité	38 %	60 %	4,1 %
Arthrose	Non renseigné	45 %	3,3 %
Troubles dermatologiques	47 %	43 %	0,6 %
Tartre	65 %	35 %	Non renseigné

Dans notre sondage, même si les nouvelles technologies impactent encore peu en pratique les vétérinaires (32,5 %) et les éleveurs (48 %), l'IA qui en fait partie attire la majorité d'entre eux (respectivement 93 % et 72%). Plus de la moitié des vétérinaires (64 %) et des éleveurs (70,2 %) sont intéressés à collecter des données d'activité sur l'animal de compagnie en vue d'améliorer la précision des rations. Les technologies appliquées à la nutrition individualisée animale vont continuer d'améliorer la précision et la rapidité des calculs de rations alimentaires du vétérinaire. Nos résultats (57 % des éleveurs) tout comme les statistiques montrent que la population est prête à allouer des sommes plus importantes pour la nutrition individualisée de leurs animaux de compagnie. Ces résultats font écho à l'étude Mintel qui montrait que 51 % des acheteurs de produits de soins pour animaux (âgés de 19 à 38 ans) préféraient réduire

leurs dépenses pour eux-mêmes plutôt que pour leurs animaux de compagnie (Mintel Group Ltd, 2018)

Les applications de l'IA ont donc de l'avenir dans ce domaine. Le vétérinaire se doit garder son intérêt pour le concept et continuer de se former en la matière pour faire correspondre l'offre à la demande des propriétaires d'animaux de compagnie et valoriser ses compétences (Mintel Group Ltd, 2018).

4.4. Intérêt de l'IA en nutrition individualisée

Plus de la moitié des vétérinaires (52,3 %) a suivi une formation en nutrition. Même si la bibliographie reste le support principal, les webinaires ont été fréquemment cités et leur nombre est en constante augmentation depuis le début de la crise sanitaire.

Chez les vétérinaires participants, 43 % estiment savoir calculer une ration individualisée. Ils citent comme difficultés les rations ménagères et la quantité de données à prendre en considération (les friandises, le stade physiologique, le budget du propriétaire, l'appétence, les données bibliographiques à jour etc.). Or les rations ménagères sont décrites comme l'une des principales attentes des propriétaires d'animaux de compagnie (64 % ; n =140) (Houssais et Clerc, communication personnelle).

Plus de la moitié de ces vétérinaires (53,4 %) passe plus de 5 minutes à élaborer une ration individualisée et utilise majoritairement pour cela un calcul à la main ou un logiciel de calcul automatique nécessitant l'entrée de quelques paramètres. Or une grande partie d'entre eux (61,4 %) ne font pas payer le service. Ceux qui le font payer le facturent entre 6 et 10 euros [min = 0 ; max = 95] quel que soit le temps passé. Le vétérinaire investissant temps et connaissances, ce service devrait être rémunéré. Ces chiffres sont d'ailleurs bien en deçà de ce qui peut être observé aux Etats-Unis ou en Allemagne où la valeur moyenne est de 80 euros (Euromonitor, 2019). A titre indicatif, en Australie un suivi (par courriel) et un ajustement de ration (jusqu'à trois ajustements ou reformulations, selon les besoins) chez un animal en croissance pendant une période de trois mois coûte environ 170 euros/h (14 euros/10 min) (Veterinary nutrition group, 2019). Aux Etats-Unis, une consultation de nutrition (formulation d'une ration

ménagère et suivi sur deux mois via courriel, téléphone) coûte en moyenne 150 euros/h et est populaire auprès des propriétaires de chiens de sport, de travail, d'agilité et d'exposition (Mintel Group Ltd, 2018 ; Euromonitor, 2019).

Le vétérinaire a encore toute sa place dans le domaine de la nutrition mais face aux avancées technologiques rapides, il sera important pour lui d'apprendre dès maintenant à savoir tirer parti des applications d'aides technologiques pour valoriser et compléter ses compétences en nutrition individualisée.

4.5. Opportunité de l'IA en nutrition individualisée : le e-commerce

Au-delà de la perte de repères au sein du big data, une globalisation des « tendances alimentaires Internet » (BARF, ménagère, aliments sans gluten, sans céréales, bio, végétarien, vegan) est aussi observée. Néanmoins même si certains vétérinaires craignent d'être de simples « intermédiaires entre les fabricants de petfood/ les fournisseurs de matières premières et les propriétaires d'animaux de compagnie », des rapports récents semblent suggérer que les propriétaires d'animaux considèrent toujours Internet comme un complément aux conseils de leur vétérinaire plutôt que comme un substitut (Mintel Group Ltd, 2018). Les raisons les plus fréquemment mentionnées par les clients pour les recherches en ligne sur la santé des animaux de compagnie sont la curiosité (47,4 %) ou le désir de clarification des informations données par leur vétérinaire (33,6 %) (Kogan, 2010).

Cet engouement massif pour Internet s'accompagne d'une utilisation importante du e-commerce (Mintel Group Ltd, 2018). Dans notre étude, le e-commerce est utilisé par plus de la moitié (59,5 %) des éleveurs. Ainsi de nombreuses entreprises utilisant l'IA comme Tails® au Royaume-Uni et Just Right® by Purina® aux États-Unis tirent parti de cette utilisation massive d'Internet pour promouvoir leurs offres de personnalisation alimentaire en ligne. D'autres opérateurs tels que The Farmer's Dog® ou The Barky Company® y ajoutent des services de livraison d'aliments pour animaux de compagnie selon les préférences alimentaires qui ressemblent aux boîtes d'abonnement alimentaire ou aux services de livraison à domicile de kits repas humains tels que Blue Apron® ou Hello Fresh®.

La montée en puissance du commerce électronique permettra d'atteindre des niveaux de personnalisation en nutrition individualisée sans précédent pour les animaux de compagnie, avec la commodité d'un modèle de vente directe au consommateur (Intel Groupe Ltd, 2018 ; Euromonitor, 2019).

Il sera intéressant d'inclure plus de vétérinaires et d'éleveurs dans un sondage similaire et de suivre l'évolution des impacts de l'IA sur leur profession dans les années à venir.

CONCLUSION

L'IA au service de la nutrition individualisée nous fait passer d'une médecine classique à une médecine préventive, précise, participative. Notre sondage et la bibliographie actuelle mettent en évidence l'intérêt pour l'IA en nutrition des personnels de santé (vétérinaire, médecin), des propriétaires d'animaux de compagnie et des éleveurs. Néanmoins au-delà des freins économiques, des freins psychologiques existent : peur du manque de transparence (black box), de partager des données, de se faire remplacer, de perdre du temps (André, 2019). La nutrition est considérée comme un élément indissociable de la santé. Savoir tirer profit des applications d'IA disponibles pour valoriser et élargir ses compétences en nutrition s'avère important. Le Conseil National de l'Ordre des Médecins (CNOM) attire l'attention sur le fait que « des appréhensions sociales ou professionnelles qui n'auraient pas pu obtenir des réponses adaptées aux inquiétudes pourraient conduire à des rejets violents devant des mutations trop radicales, brutales, imposées et mal expliquées » (CNOM, 2018). C'est en se formant et en s'informant en IA que nous pourrions anticiper un environnement où les « intelligences automatiques » seront des partenaires et non des adversaires (CNOM, 2019). La formation aux humanités, à la déontologie, à l'éthique, aux relations humaines devra notamment être renforcée dans un monde qui se technicise de plus en plus (CNOM, 2019).

L'arrivée de la 5G et l'utilisation de la nutriginomique permettront à l'IA en nutrition individualisée d'être plus précise (CNOM, 2019). Chez l'Homme, les kits de test ADN à domicile deviendraient courants pour les solutions de santé personnalisées d'ici 2025 (Intel Group Ltd, 2018). Une partie des consommateurs américains (39 %) sont déjà convaincus que les régimes alimentaires ont des effets variables selon la génétique. Près de la moitié des propriétaires d'animaux de compagnie (45 %) disent qu'ils seraient prêts à payer pour faire tester l'ADN de leur animal (par exemple via un prélèvement de salive) pour découvrir le régime alimentaire le plus adapté (FACCO, 2019). Dans les dix prochaines années, les collectes de données personnelles de type données médicales et les tests génétiques (nutriginomique) sont décrits comme les axes de développement de la nutrition individualisée. L'intérêt porté aux données génétiques est appelé à se démultiplier au cours des prochaines années. Or ces données sont particulièrement critiques (informations sur les prédispositions des

individus, par exemple par rapport à l'espérance de vie, à la tendance à la dépression ou la schizophrénie, etc.) et le seront sans doute bien plus encore avec les progrès attendus dans ce domaine dans le futur. Sur le marché noir, les données de santé se revendent à un prix jusqu'à 20 fois supérieur à celui des données bancaires d'un individu (www.blockchainpartner.fr). La blockchain (apparentée à un livre de comptes numérique), grâce à sa décentralisation et son inaltérabilité, pourrait assurer la sécurité et l'anonymat des données de santé à travers l'ensemble des systèmes d'information. Ainsi ceci favoriserait les échanges de données en renforçant la confiance entre les différents partenaires. Les applications de l'IA associées à la blockchain en nutrition individualisée seront à suivre de près.

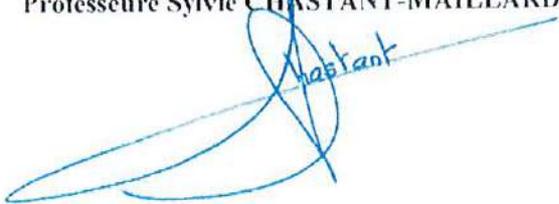
Le vétérinaire doit saisir les opportunités qu'offrent les applications de l'IA pour répondre aux attentes des clients au risque de perdre un marché tant convoité par une multitude d'acteurs.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Sylvie CHASTANT-MAILLARD, Enseignant-chercheur, de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de LAMOLY Amélie intitulée « L'application de l'intelligence artificielle au service de la nutrition individualisée » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 05/11/2020
Enseignant-chercheur de l'École Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Professeure Sylvie CHASTANT-MAILLARD



Vu :
Le Président du jury
Professeur Xavier DE BOISSEZON



Vu :
Le Directeur de l'École Nationale
Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS



Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul Sabatier
M. Jean-Marc BROUO

Le Président de l'Université Paul Sabatier,

par délégation

La Vice-Présidente de la
FACULTÉ DE MÉDECINE
Fabienne ALARY



Mme Amélie LAMOLY
a été admis(e) sur concours en : 2015
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 09/07/2019
a validé son année d'approfondissement le: 16/07/2020
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

BIBLIOGRAPHIE

Aberkane, I., 2016. L'économie de la connaissance : conférence HEC Paris [en ligne]. Disponible sur <https://idrissaberkane.org/index.php/2016/03/09/leconomie-de-la-connaissance-conference-didriss-aberkane-a-hec-paris-2/>, consulté le 07/09/2020).

Ahmad, H.A., 2009. Poultry growth modeling using neural networks and simulated data. *J Appl Poult Res.* 18, 440–446.

Alexandre, L., 2017. *La guerre des intelligences*. Paris : Lattès. ISBN : 2709660849.

André, A. 2019. Comment l'Intelligence Artificielle se met au service de la santé [en ligne]. Disponible sur : <https://youtu.be/vA9db-sTFdQ>, consulté le 11/04/2020.

Antech, 2019. RenalTech Antech Diagnostic [en ligne]. Disponible sur : <https://www.antechdiagnostics.com/laboratory-diagnostics/predictive-diagnostics/renaltech>, consulté le 22/09/2020.

Attia, Z.I., Noseworthy, P.A., Lopez-Jimenez, F., Asirvatham, S.J., Deshmukh, A.J., Gersh, B.J., Carter, R.E., Yao, X., Rabinstein, A.A., Erickson, B.J., Kapa, S., Friedman, P.A., 2019. An artificial intelligence enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet.* 394, 861–867.

Babinet, G. 2016. *Transformation digitale : l'avènement des plateformes : histoires de licornes, de data et de nouveaux barbares...* Paris : Le Passeur. ISBN : 2368904867.

Bateman, S., 2014. Médecine personnalisée - Un concept flou, des pratiques diversifiées. *Médecine/sciences.* 30, 8–13.

Benz, S., 2018. L'intelligence artificielle entre au bloc [en ligne]. Disponible sur https://www.lexpress.fr/actualite/societe/sante/l-intelligence-artificielle-entre-au-bloc_2001681.html, consulté le 04/09/2020.

Besse, P., Besse-Patin, A., Castets-Renard, C., 2019. Implications Juridiques et Éthiques de l'IA en Santé : conférence Institut d'Ethique Appliquée, Université Laval et INP-ENSEEHT Toulouse, [en ligne]. Disponible sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02424285v2/document>, consulté le 10/10/2020).

Betts, J.A., Gonzalez, J.T., 2016. Personalised nutrition: What makes you so special? [en ligne]. Disponible sur : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nbu.12238?casa_token=YX-d12JkiEsAAAAA%3Aw06jEO3uDZAAwFZFgDLyyMTTB-q_9c9icmNc678QsyWTc_sJQvjwvL7wMZeKYzzqAXIC2C03OBFM14Z1, consulté le 11/09/2020.

Bibault, J.-E., 2019. Comment réguler l'intelligence artificielle en médecine ? [en ligne]. Disponible sur : <https://sante.lefigaro.fr/article/comment-reguler-l-intelligence-artificielle-en-medecine/>, consulté le 11/09/2020.

Bradley, R., Tagkopoulos, I., Kim, M., Kokkinos, Y., Panagiotakos, T., Kennedy, J., Meyer, G.D., Watson, P., Elliott, J., 2019. Predicting early risk of chronic kidney disease in cats using routine clinical laboratory tests and machine learning. *J. Vet. Intern. Med.* 33, 2644–2656.

Butler, S.T., 2014. Nutritional management to optimize fertility of dairy cows in pasture-based systems - Cambridge Core [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cambridge.org/core/journals/animal/article/nutritional-management-to-optimize-fertility-of-dairy-cows-in-pasturebased-systems/FA07EB5B634F300CC433D2BC1977FA91>, consulté le 29/09/2020.

CB Insight, 2019. AI in Healthcare: 90 startups making noise in the industry [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-startups-healthcare/>, consulté le 15/09/2020.

CHU Toulouse et Collective Thinking, 2020. L'intelligence artificielle au service de l'amélioration des parcours de soins : le CHU de Toulouse et Collective Thinking lauréats de l'appel à projets du Health Data Hub et du Grand Défi de la Bpi [en ligne]. Disponible sur https://www.chu-toulouse.fr/IMG/pdf/cp_chut_collectivetk.pdf, consulté le 25/10/2020.

CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), 2018. RGPD : de quoi parle-t-on ? [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cnil.fr/fr/rgpd-de-quoi-parle-t-on>, consulté le 11/09/2020.

CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), 2019. Focus : les données à caractère personnel (DCP) -Données DPO [en ligne]. Disponible sur : <https://eduline.ac-lille.fr/rgpd/fiches-pratiques/focus-les-donnees-a-caractere-personnek-dcp>, consulté le 09/04/2020.

CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), 2020. La plateforme des données de santé (Health Data Hub) [en ligne]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/fr/la-plateforme-des-donnees-de-sante-health-data-hub>, consulté le 01/07/2020.

CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) et Bpifrance (Banque publique d'investissement), 2018. La CNIL et Bpifrance s'associent pour accompagner les TPE et PME dans leur appropriation du règlement européen sur la protection des données (RGPD) [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cnil.fr/fr/la-cnil-et-bpifrance-sassocient-pour-accompagner-les-tpe-et-pme-dans-leur-appropriation-du-reglement>, consulté le 11/09/2020.

CNOM (Conseil National de l'Ordre de Médecins), 2019. Médecins et patients dans le monde des data, des algorithmes et de l'intelligence artificielle [en ligne]. Disponible sur : https://www.conseil-national.medecin.fr/sites/default/files/external-package/edition/od6gnt/cnomdata_algorithmes_ia_0.pdf, consulté le 29/09/2020.

Corella, D., Coltell, O., Mattingley, G., Sorlí, J.V., Ordovas, J.M., 2017. Utilizing nutritional genomics to tailor diets for the prevention of cardiovascular disease: a guide for upcoming studies and implementations. *Expert Rev. Mol. Diagn.* 17, 495–513.

De Toro-Martín, J., Arsenault, B.J., Després, J.-P., Vohl, M.-C., 2017. Precision nutrition: a review of personalized nutritional approaches for the prevention and management of metabolic syndrome. *Nutrients.* 9, 1-28.

Doherty, C., 2016. Veterinary diet pricing: competing with the pet food store. *Can. Vet. J.* 57, 785–787.

Drackley, J.K., Cardoso, F.C., 2014. Prepartum and postpartum nutritional management to optimize fertility in high-yielding dairy cows in confined TMR systems. *Animal.* 8, 5–14.

Ecochard, C., 2020. e-vet Vision de l'e-santé vétérinaire par Royal Canin, les Rencontres au coeur de la Médecine Vétérinaire Connectée [en ligne]. Disponible sur <https://e-vet.vet/>, consulté le 11/09/2020.

Euromonitor, 2019. World market for pet care | Market Research Report | Euromonitor [en ligne]. Disponible sur <https://www.euromonitor.com/pet-care-global-industry-overview/report>, consulté le 19/08/2020.

FACCO (Fédération des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres animaux familiers), 2019. Les chiffres pour tout savoir sur le marché du petfood. Facco [en ligne]. Disponible sur <https://www.facco.fr/les-chiffres/>, consulté le 14/09/2020.

Fernández, X., 2020. Interview Innov'Asso. InnovAsso machine learning au service d'une médecine personnalisée [en ligne]. Disponible sur <https://www.innovasso.fr/dossier/le-machine-learning-au-service-dune-medecine-personnalisee/>, consulté le 08/09/2020.

Fleckenstein, M., 2019. Solutions Porphyrio [en ligne]. Disponible sur <https://www.porphyrio.com/fr/solutions/>, consulté le 12/09/2020.

FranceAgriMer, 2019. Les marchés des produits laitiers, carnés et avicoles Bilan 2019, perspectives 2020 [en ligne]. Disponible sur <https://www.franceagrimer.fr/Actualite/Filieres/Lait/2020/PUBLICATION-du-BILAN-ANNUEL-Les-marches-des-produits-laitiers-carnes-et-avicoles.-Bilan-2019-et-perspectives-2020>, consulté le 12/09/2020.

Gené, P., 2020. Intelligence Artificielle et Big Data en santé : évolution ou révolution ?, E-vet les Rencontres au coeur de la Médecine Vétérinaire Connectée [en ligne]. Disponible sur <https://e-vet.vet/>, consulté le 11/08/2020.

Graglia, D. 2020. De combien de réponses ai-je besoin pour valider mes statistiques ? [en ligne]. Disponible sur <https://fr.surveymonkey.com/curiosity/how-many-people-do-i-need-to-take-my-survey>, consulté le 25/10/2020.

Guillaume, F., 2019. Santé connectée, une réalité [en ligne]. Disponible sur <http://petmarketmagazine.com/spip.php?article2344>, consulté le 10/08/2020.

Hitchcock, H., 2020. Tele-ICUs: A Bright Spot in COVID-19 Crisis [en ligne]. Disponible sur <https://sickbay.michealthcare.com/blog/tele-icus-a-bright-spot-in-covid-19-crisis>, consulté le 09/09/2020.

Hofmeister, E.H., Watson, V., Snyder, L.B.C., Love, E.J., 2008. Validity and client use of information from the World Wide Web regarding veterinary anesthesia in dogs. J. Am. Vet. Med. Assoc. 233, 1860–1864.

Hsu, J., 2019. How using a medical startup's AI "symptom checker" could go very wrong [en ligne]. Disponible sur <https://qz.com/1766418/how-using-babylon-healths-ai-symptom-checker-could-go-wrong/>, consulté le 09/09/2020.

Hub VPH, 2019. Lyon Veterinary Public Health Initiative [en ligne]. Disponible sur <https://www.hub-vph.org/>, consulté le 08/04/2020.

Ida, 2020. Ida is an artificial intelligence making dairy farm more efficient [en ligne]. Disponible sur : <https://ida.io/>, consulté le 10/09/2020.

Jean, A., 2019. De l'autre côté de la machine. Voyage d'une scientifique au pays des algorithmes, Paris : Broché. ISBN : 9791032905401.

Jeukendrup, A., 2014. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. Sports Med.Auckl. NZ. 44 Suppl. 1, 25-33.

Journal officiel de l'union européenne, 2016. EUR-Lex - L:2016:119:TOC - EN - EUR-Lex [en ligne]. Disponible sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=OJ%3AL%3A2016%3A119%3ATOC>, consulté le 11/09/2020.

Ko, H., Chung, H., Kang, W.S., Kim, K.W., Shin, Y., Kang, S.J., Lee, J.H., Kim, Y.J., Kim, N.Y., Jung, H., Lee, J., 2020. COVID-19 Pneumonia diagnosis using a simple 2D deep learning framework with a single chest CT image: model development and validation. J Med Int Res. 22 (6), 10-35.

Kogan, L., Schoenfeld Tacher, R., Simon, A., Vierra, A., 2010. The Internet and pet health information: perceptions and behaviors of pet owners and veterinarians. Int J vet med. 8(1), 1-30.

Kwon, D.Y., 2020. Personalized diet oriented by artificial intelligence and ethnic foods. Journal of Ethnic Food. 7, 5-10.

Larousse, 2019. Dictionnaire, Paris : Larousse. ISBN-13 : 978-2035938466. pp.52

Livre officiel des origines félines, 2019. LOOF - Races/annee [en ligne]. Disponible sur <https://loof.asso.fr/stats/recap.php>, consulté le 19/09/2020.

Lyngsø, F., 2019. Dairy cow behaviour in relation to precision mineral supplementation. Organe Institute review. 2, 1-20.

Masson, M., 2016. Performances de reproduction dans l'espèce féline en élevage en France, Thèse Doctorat vétérinaire, Toulouse. 172p.

Medappcare, 2020. Certifier applications mobiles et sites web [en ligne]. Disponible sur : <https://www.medappcare.com/certification/certification-applications-mobiles-et-sites-web/>, consulté le 10/08/2020.

MedTach Inc., 2020. Introducing Eko AI [en ligne]. Disponible sur : <https://www.medtach.com/eko-ai.html>, consulté le 09/08/2020.

Middleton, K., Butt, M., Hammerla, N., Hamblin, S., Mehta, K., Parsa, A., 2016. Sorting out symptoms: design and evaluation of the 'babylon check' automated triage system, Computer Science. 6, 1-5.

Milosevic, B., Ciric, S., Lalic, N., Milanovic, V., Savic, Z., Omerovic, I., Doskovic, V., Djordjevic, S., Andjusic, L., 2019. Machine learning application in growth and health prediction of broiler chickens. *World's Poultry Scientific Journal*. 75, 401–410.

Mintel Group Ltd, 2018. Online pet food customization takes off [en ligne]. Disponible sur <https://www.appetizerblog.com/online-pet-food-customization-takes-off/>, consulté le 24/03/2020.

Nutrigenomix, 2020. Nutrigenomix launches advanced 70-gene test for personalized nutrition [en ligne]. Disponible sur: <https://www.einpresswire.com/article/519200322/nutrigenomix-launches-advanced-70-gene-test-for-personalized-nutrition>, consulté le 12/09/2020.

Observatoire national démographique de la profession vétérinaire, 2019. Atlas démographique de la profession vétérinaire 2019 [en ligne]. Disponible sur: https://www.veterinaire.fr/fileadmin/user_upload/documents/accueil/atlas-demographique.pdf, consulté le 15/09/2020.

Perrin, R., 2019. Émergence de l'intelligence artificielle et utilisation des technologies big data en médecine vétérinaire : importance de la sensibilisation des futurs vétérinaires. Thèse Doctorat vétérinaire, Alfort. 87p.

Petrics, 2018. Petrics launches world's first smart pet bed, activity tracker and health and nutrition app [en ligne]. Disponible sur <https://www.prnewswire.com/news-releases/petrics-launches-worlds-first-smart-pet-bed-activity-tracker-and-health-and-nutrition-app-300578721.html>, consulté le 12/09/2020.

Pubmed, 2020. PubMed Wikipedia [en ligne]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/wiki/PubMed>, Consulté le 11/09/2020

Rademaker, N., 2020. Survival in the new normal: the impact of digitisation on customer behaviour in symposium 2019 reports by ViVet Press Office [en ligne]. Disponible sur: <https://www.vivet.org.uk/wp-content/uploads/2020/03/Survival-in-the-New-Normal-the-Impact-of-Digitisation-on-Customer-Behaviour-slides.pdf>, consulté le 11/09/2020.

RadLogics Inc., 2020. AI based detection and the COVID-19 pandemic [en ligne]. Disponible sur: <https://www.radlogics.com/coronavirus/>, consulté le 01/08/2020.

Renub Research, 2019. France pet food market, population by animal Type, products (Premium, Economy, Mid-priced, Treats, Mixers), distribution, product launch, companies [en ligne]. Disponible sur : <https://www.researchandmarkets.com/reports/4807897/france-pet-food-market-population-by-animal>, consulté le 19/09/2020.

Roder, S., 2019. Guide pratique de l'intelligence artificielle dans l'entreprise. Paris : Eyrolles. ISBN : 2212571224.

Roush, W.B., Dozier, W.A., Branton, S.L., 2006. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poult. Sci.* 85, 794–797.

Segal Elinav, E., Eran, Zeevi, D., Korem, T., Zmora, N., Israeli, D., Rothschild, D., Weinberger, A., Ben-Yacov, O., Lador, D., Avnit-Sagi, T., Lotan-Pompan, M., Suez, J., Mahdi, J.A., Matot, E., Malka, G., Kosower, N., Rein, M., Zilberman-Schapira, G., Dohnalová, L., Pevsner-Fischer, M., Bikovsky, R., Halpern, Z., 2015. Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. *Cell* 163, 1079–1094.

Siné, M., 2019. L'intelligence artificielle au cœur de l'élevage – Réseau Numérique et Agriculture [en ligne]. Disponible sur <https://numerique.acta.asso.fr/lintelligence-artificielle-au-coeur-de-lelevage/>, consulté le 11/09/2020.

Smith, R., 2012. Richard Smith: Stratified, personalised, or precision medicine [en ligne]. Disponible sur : <https://blogs.bmj.com/bmj/2012/10/15/richard-smith-stratified-personalised-or-precision-medicine/>, consulté le 12/09/2020.

Société Centrale Canine, 2020. Le chien de race en 2019 : Voici les 20 races préférées des Français [en ligne]. Disponible sur: <https://www.centrale-canine.fr/actualites/le-chien-de-race-en-2019-voici-les-20-races-preferees-des-francais>, consulté le 19/09/2020.

Valentin Smith, A., 2016. Solutions de santé connectée, enfin un label de qualité [en ligne]. Disponible sur: <https://mbamci.com/solutions-de-sante-connectee-label-de-qualite/>, consulté le 15/07/2020.

Valentin Smith, A. 2018. A Robotic Companion for Your Pet: VARRAM Introduces an Artificial Intelligence-Powered Pet Fitness Robot [en ligne]. Disponible sur: <https://www.prnewswire.com/news-releases/a-robotic-companion-for-your-pet-varram-introduces-an-artificial-intelligence-powered-pet-fitness-robot-300736684.html>, consulté le 12/05/2020.

Van Rossem, M., 2020. Disease prevention: What a difference 2 days can make! Ida [en ligne]. Disponible sur: <https://ida.io/stories/disease-prevention-healthy-cows/>, consulté le 12/09/2020.

Verma, M., Hontecillas, R., Abedi, V., Leber, A., Tubau-Juni, N., Philipson, C., Carbo, A., Bassaganya-Riera, J., 2016. Modeling-Enabled Systems Nutritional Immunology. *Front. Nutr.* 3, 5-10.

Veterinary Nutrition Group, 2019. Veterinary Nutrition Group: Pricing [en ligne]. Disponible sur : <https://www.veterinarynutritiongroup.com/pricing>, consulté le 25/07/2020.

Vetintech, 2020. Livre blanc e-santé animale : en savoir plus sur les objets connectés [en ligne]. Disponible sur : <https://vet-in-tech.com/wp-content/uploads/2018/11/LIVRE-BLANC-Vet-IN-Tech-V2-nov-2018.pdf>, consulté le 07/08/2020.

Vetoquinol, 2020. Communiqué de presse - VETOQUINOL, la SNGTV et FARMVETSYSTEMS signent un accord de partenariat pour proposer une solution digitale innovante et commune sur le marché vétérinaire [en ligne]. Disponible sur : https://www.vetoquinol.fr/sites/frcountry/files/vetoquinol_fvs_sngtv_septembre_2020_.pdf, consulté le 29/09/2020.

VikingGenetics, 2019. Artificial Intelligence makes cows more food efficient and climate friendly - VikingGenetics [en ligne]. Disponible sur: <https://www.vikinggenetics.com/media/news?show=bmde>, consulté le 15/09/2020.

Wiggers, K., 2019. Mookkie is a pet bowl that wards off food thieves with AI [en ligne]. Disponible sur: <https://venturebeat.com/2019/01/01/voltas-mookkie-wards-off-food-thieves-with-ai-pet-recognition/>, consulté le 12/09/2020.

ANNEXES

Annexe 1 : Projets d'IA et objectifs en médecine des ruminants en Europe (Internet of food and farm, 2019)	995
Annexe 2 : Questionnaire d'enquête.....	101
Annexe 3 : Relevé exhaustif des commentaires sur la sous-exploitation de la nutrition en santé animale (n=102).....	111

Annexe 1 : Projets d'IA et objectifs en médecine des ruminants en Europe (Internet of food and farm, 2019)

Projet	Pays	Partenaires	Espèce	Résumé	Objectifs
Complémentat ion minérale de précision	Allemagne, Suisse, Lettonie, Lituanie	Organe Institute; Union Farmers Parliament (ZSA); Lithuanian University of Health Sciences; University of Strathclyde; Futterkamp (LKSH)	Vache	Alimentation minérale de précision des vaches laitières pour réduire les intrants, favoriser le bien-être des animaux et protéger l'environnement.	<ul style="list-style-type: none"> * Augmentation de la productivité 3,7 % * Réduction de l'utilisation de pesticides par une diminution de l'utilisation d'aliments pour animaux * Essai et démonstration sur 1 500 vaches portant des marques auriculaires dans six exploitations laitières de trois pays: les pertes liées à la santé ont diminué de 10%. * Amélioration du bien-être des animaux
Surveiller la vache au pâturage	Belgique, Pays-Bas	ILVO; Sensolus ; Inagro	Vache	Surveiller et gérer le pâturage extérieur des vaches par un suivi GPS	Vérifie la localisation du bétail pour permettre la vérification de leur état général rapidement et l'étiquetage de « lait de pâturage »
Gardien de troupeau	Angleterre	University of Strathclyde	Vache	Système d'alerte précoce	Système d'alerte précoce avec des données en temps réel, provenant principalement de colliers (rumination, temps passé couché, temps passé à manger), alerte de manière proactive l'agriculteur sur tout problème émergent.
Moniteur multi-capteurs	Hongrie, Slovaquie, Pologne, République Tchèque,	Moonsyst, Akkucomp, József Taskó	Vache	Parvenir à un élevage plus efficace et durable grâce à un système unique de surveillance intelligente du rumen	<ul style="list-style-type: none"> * Temps de surveillance du bétail -10% * Augmentation de la productivité et du rendement * Amélioration de la santé et du bien-être des animaux * Détection précise des chaleurs et alerte de vêlage * Durée de fonctionnement du système >10 ans
Bien-être des vaches	Allemagne, Belgique, Côte d'Ivoire, Pays-Bas	Connecterra; VetVice; Wageningen University & Research; ZLTO	Vache	Améliorer la productivité des élevages	<ul style="list-style-type: none"> *Taux de reproduction optimisés * Diminution des cas d'acidose du rumen * Diminution des cas de fièvre de lait clinique * Diminution du nombre de vaches atteintes de boiterie * Améliorer l'équilibre entre vie professionnelle et vie privée des éleveurs * Optimisation de la consommation alimentaire et du temps consacré à l'observation du bien-

					être des vaches laitières * Meilleure compréhension du comportement des vaches
Qualité du lait à distance	Pays-bas, Belgique, Allemagne	Qlip B.V. ; a.o. DMK ; ZLTO	Vache	Assurer la qualité à distance du lait	Qualité des instruments et des analyses à distance améliorée
Détection précoce des boiteries		Waterford Institute of Technology ; ENGS Dairy ; University of Strathclyde ; Herdsy	Vache	Identifier précocement les boiteries chez les bovins afin d'accroître le bien-être des animaux et de réduire les coûts de traitement.	* Perte de rendement laitier due à une boiterie précoce -7%. * Temps de traitement nécessaire -15%. * Réduction de la mortalité animale * Précision de la détection 87% * Jours avant la détection visuelle -3 * Augmentation de la productivité * Amélioration du bien-être des animaux et de l'efficacité de la reproduction * Réduction de l'utilisation des antibiotiques
Management en élevage porcin	Belgique, Pays-bas, Italie	ZLTO ; ILVO ; Vion ; Porphyrio ; LINKS	Porc	Optimiser la gestion de la production porcine grâce à des capteurs interopérables à la ferme et aux données de l'abattoir.	*Meilleure gestion alimentaire * Augmentation des gains quotidiens moyens * Amélioration du bien-être des animaux * Réduction de l'empreinte carbone
Suivi de la santé des porcs	Espagne, Suède, Suisse	HOPU; CSEM; SLU; DIGITANIMAL SL	Porc	Améliorer le bien-être des animaux et la durabilité de la production animale en surveillant les paramètres physiologiques grâce à des capteurs aux oreilles (rythme cardiaque, activité)	* Détecter les problèmes de santé avant l'agriculteur ou le vétérinaire >20% * Améliorer le bien-être des animaux * Porcelets malades -20% * Mortalité animale -10% * Améliorer la fécondité et la mise bas, ce qui favorise la survie des porcelets * Réduction de l'utilisation des antibiotiques

Optimiser la prise de décision dans l'élevage de vache à viande	Espagne, France, Italie	MISC International ; Agricolus SRL ; Bas Alimentaria ; University of Cordoba ; Applifarm	Vache à viande	Créer une valeur partagée pour la chaîne d'approvisionnement en viande bovine, accroître l'efficacité de la production et la qualité des produits.	<ul style="list-style-type: none"> * Consommation d'engrais et d'eau -10% * Taux de reproduction >90% * Pertes d'animaux <5% * Nombre moyen de jours d'engraissement -15% * Prix de vente par la certification +10% * Effort total de travail -15%
Gestion de la chaîne d'approvisionnement alimentaire	Allemagne, Espagne, Angleterre	INSYLO Technologies SLU; GRUP BATALLE SA; Universitat Oberta de Catalunya	Toutes	Optimiser la chaîne d'approvisionnement en aliments pour animaux et l'efficacité logistique grâce à la surveillance des stocks en silos	<ul style="list-style-type: none"> * Coûts logistiques pour les fournisseurs -10%. * Surveillance du travail dans les silos / année - 22 jours * Économies annuelles par silo 500€. * Émissions de CO2 -15%. * Diminution des commandes urgentes demandées par les agriculteurs * Réduction des niveaux de stocks et des lots de production
Gestion de l'élevage de volaille	Espagne, Belgique	IK4-Tekniker; SADA p.a. SA; Exafan; Porphyrio	Volailles	Optimiser la production, le transport et la transformation de la viande de volaille par une surveillance et un contrôle automatisés du milieu ambiant et des analyses de données.	<ul style="list-style-type: none"> * Poids moyen du troupeau +10 % * Déchets alimentaires -10% * Utilisation d'antibiotiques -15% * Traitements médicaux -15%, ce qui indique une amélioration du bien-être des animaux * Mortalité pendant le transport -15%
Traçabilité et transparence des viandes	Pays-bas, Allemagne	Wageningen University; GS1 Germany; European EPC Competence Center; De Hoeve; KDV; Westfort, De Heus	Toutes	Améliorer la transparence et la traçabilité en soutenant des processus d'audit proactifs, la qualité et la disponibilité des données dans le secteur porcin.	<ul style="list-style-type: none"> * Accroître la confiance des consommateurs dans la production de viande * Amélioration de la communication sur le bien-être et la santé des animaux * Réduction des efforts de préparation des audits et des coûts d'inspection * Processus d'inspection physique plus rapide et résultats d'audit de haute qualité * Amélioration de la coopération avec les agriculteurs et les autres parties prenantes * Solution évolutive * Amélioration des performances environnementales (par exemple, consommation d'énergie, production de déchets)

Annexe 2: Questionnaire d'enquête

Nutrition et intelligence artificielle

Vétérinaires, Éleveurs

Ce questionnaire, totalement anonymisé et rapide à compléter (environ 5 minutes), est constitué de questions concernant vos habitudes pratiques en matière de rations alimentaires chien/chat. Il s'adresse aux vétérinaires et éleveurs à pratique majoritairement canine/féline.

Mon sujet de thèse (intitulé "L'application de l'intelligence artificielle au service de la nutrition individualisée") vise à comprendre les notions et les enjeux de l'intelligence artificielle dans le monde de la nutrition animale. Une partie de ma thèse s'intéresse au marché actuel français en animaux de compagnie dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la nutrition et j'ai donc pour cela besoin de vous.

N'hésitez pas à diffuser largement ce lien, chaque contribution étant très précieuse pour l'avancée de ce projet.

Je vous remercie par avance pour votre contribution,

Amélie LAMOLY

Thèse pour le grade de docteur vétérinaire

Etudiante de 5ème année à l'Ecole nationale vétérinaire de Toulouse

Nutrition et intelligence artificielle

Éleveurs et vétérinaires

* 1. Qui êtes-vous ?

- Eleveur
- Vétérinaire

*** 2. Dans quelle région française habitez-vous ?**

- Auvergne-Rhône-Alpes
- Bourgogne-Franche-Comté
- Bretagne
- Centre-Val de Loire
- Corse
- Grand Est
- Hauts-de-France
- Île-de-France
- Normandie
- Nouvelle-Aquitaine
- Occitanie
- Pays de la Loire
- Provence-Alpes-Côte d'Azur
- France d'outre-mer

Veillez préciser

*** 3. Dans quelle classe d'âge vous situez-vous cette année ?**

- 18-24 ans 25-40 ans 41-65 ans > 65 ans

Veillez préciser

*** 4. Vous partagez l'avis que la nutrition est un élément clé de la santé animale**

Je suis tout à fait
d'accord

Je suis d'accord

Je ne suis pas d'accord

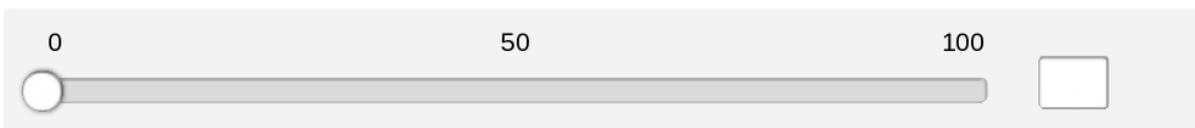
Je ne suis pas du tout
d'accord

s. o.

Des précisions ?

5. Quelle importance accordez-vous à la nutrition en santé animale (%) ?

0 50 100



*** 6. La nutrition est une science sous-exploitée en santé animale :**

Je suis tout à fait d'accord

Je suis d'accord

Je ne suis pas d'accord

Je ne suis pas du tout d'accord

Des précisions ?

7. Veuillez classer les critères suivants sur une échelle de 1 à 9, 1 correspondant à votre principal critère de choix. Je choisis une alimentation selon :



Son prix

s.o.



La renommée de la marque en matière de nutrition

s.o.



Les recommandations vétérinaires

s.o.



Gamme spécialisée i.e. étiquetées selon race, stade physiologique, gamme thérapeutique

s.o.



Les tendances actuelles/internet

s.o.



Les ingrédients

s.o.



Votre expérience personnelle

s.o.



Bouche à oreille

s.o.



Autre (veuillez préciser dans la question suivante)

s.o.

8. Des précisions sur votre "autre" critère de choix ?

* 9. **Connaissez-vous le concept d'intelligence artificielle ? (Veuillez préciser votre définition en commentaire)**

Oui

Non

Autre (veuillez préciser)

* 10. **Les nouvelles technologies en santé (*applications smartphones, objets connectés*) bousculent vos habitudes de pratique :**

Oui

Non

Veuillez préciser

11. **Vous seriez prêt à participer à une collecte de données d'activité anonymisée sur les animaux de votre clientèle/ vos animaux permettant d'améliorer la précision des rations alimentaires chat/chien ? (*i.e. collecte journalière de données sur l'activité physique au moyen d'un collier traceur d'activité*)**

Je suis tout à fait d'accord

Je suis d'accord

Je ne suis pas d'accord

Je ne suis pas du tout d'accord

Des précisions ?

* 12. Je souhaiterais être tenu informé(e) des résultats de ce sondage

- Oui
 Non

Si oui, veuillez préciser votre adresse e-mail

Nutrition et intelligence artificielle

Éleveurs chiens et/ou chats

* 13. Vous élevez des

- Chiens
 Chats
 Les deux

Veuillez préciser

* 14. Quelle nombre de femelles reproductrices possédez-vous ?

- < 5
 5-10
 11-20
 > 20

Veuillez préciser

* 15. Quel nombre de races différentes par espèce élevez-vous ?

- 1
 2
 > 2

Précisez les races

* 16. Veuillez classer les critères suivants sur une échelle de 1 à 4, 1 correspondant à votre principal critère de choix. Vous recevez des conseils nutritionnels pour vos animaux de :



Votre vétérinaire

s. o.



Internet

s. o.



Votre entourage (bouche à oreille)

s. o.



Vos formations

s. o.

* 17. Vous commandez l'alimentation de vos animaux sur internet

Toujours

Souvent mais pas
exclusivement

Rarement

Jamais

Des précisions ?

* 18. Vous seriez prêt(e) à proposer à vos animaux une ration individuelle adaptée à leur besoin (%)

0

50

100

* 19. Vous seriez prêt(e) à payer plus cher pour une alimentation individualisée (%)

0

50

100

Nutrition et intelligence artificielle

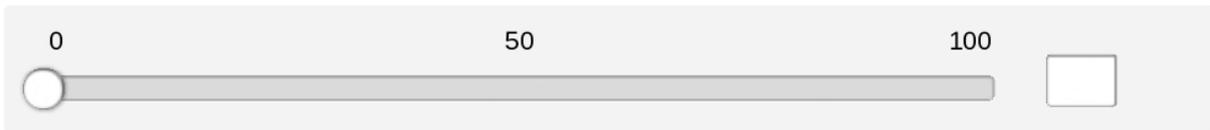
Vétérinaires

* 20. Parmi les domaines suivantes, lesquels pratiquez-vous ? (Cochez tout ce qui convient)

- Canine
- Féline
- Nouveaux animaux de compagnie
- Equine
- Rurale (bovine, caprine, ovine, porcine, aviaire)
- Autre (veuillez préciser)

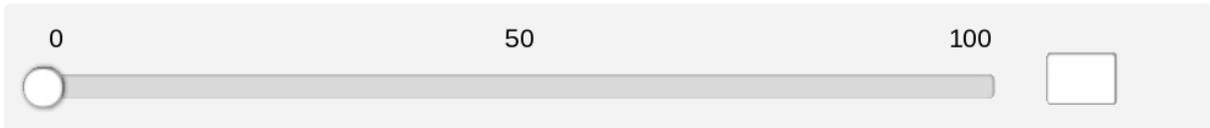
* 21. Environ quel pourcentage de votre pratique représente votre clientèle canine ?

0 50 100



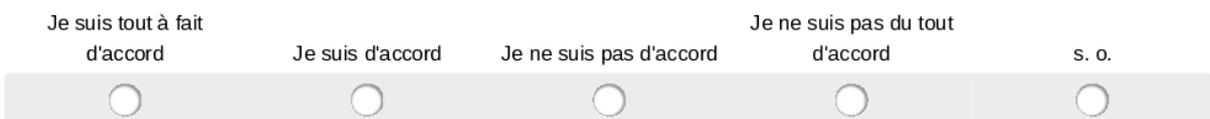
* 22. Environ quel pourcentage de votre pratique représente votre clientèle féline ?

0 50 100



* 23. Votre clientèle est intéressée par la nutrition de son chien/chat

Je suis tout à fait d'accord Je suis d'accord Je ne suis pas d'accord Je ne suis pas du tout d'accord s. o.



Veuillez préciser

* 24. Les attentes de votre clientèle en nutrition ont changé

- Oui
- Non
- Non applicable

Des précisions sur ces attentes ?

* 25. Vous avez suivi une formation en nutrition animale et/ou vous tenez à jour des avancées en nutrition

- Oui
 Non

Précisez (écoles, hors écoles, autodidacte ...)

* 26. Vous vous sentez apte à proposer à votre clientèle un calcul de ration adapté au besoin de son chien/chat

- Dans toutes les situations
 Dans beaucoup de situations
 Dans quelques situations précises
 Jamais

Précisez

27. Sur une échelle de 0 à 10 où placeriez-vous votre besoin de savoir proposer un service de nutrition individualisé à vos clients ?

10 : Je sais proposer une ration individualisée à chacun de mes patients dans toutes les situations au cours de la consultation

0 : Je ne sais pas proposer une ration individualisée à mes patients dans toutes les situations au cours de la consultation

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
.	<input type="radio"/>										

Des précisions ?

* 28. Vous proposez un calcul de ration pour des animaux (cochez tout ce qui convient)

- Sains Sportifs
 Malades En croissance
 Stérilisés
 Autre (veuillez préciser)

* 29. En moyenne combien de minutes consacrez-vous à l'élaboration de la ration individualisée ?

- < 5 minutes
 > 5 minutes
 Non applicable (veuillez préciser)

*** 30. Vous utilisez pour cela (cochez tout ce qui convient)**

- Un calcul à la main
- Un calcul à l'aide d'un tableur excel que j'ai créé
- Un logiciel me fournissant automatiquement des résultats en entrant quelques paramètres
- L'aide d'un service/collègue spécialisé en nutrition
- Autre (veuillez préciser)

*** 31. Vous valorisez ce service proposé en le faisant payer (euros/ration)**

- Non
- 5 - 10
- 10 - 20
- Le service est compris dans le prix de la consultation
- Autre (veuillez préciser)

*** 32. Vos clients sont satisfaits de la ration individualisée que vous leur proposez (%)**

Je suis tout à fait d'accord	Je suis d'accord	Je ne suis pas d'accord	Je ne suis pas du tout d'accord	Non applicable
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Des précisions ?

*** 33. Vous seriez prêt(e) à proposer à votre clientèle un service de nutrition individualisé utilisant l'intelligence artificielle si celle-ci vous facilite la pratique quotidienne (gain de temps, valorisation du service nutrition)**

- Je suis tout à fait d'accord
- Je suis d'accord
- Je ne suis pas d'accord
- Je ne suis pas du tout d'accord

Précisez

Nutrition et intelligence artificielle

Des questions ?

34. N'hésitez pas à me transmettre vos questions/commentaires et votre e-mail pour que je puisse vous répondre dans les plus brefs délais.

Annexe 3 : Relevé exhaustif des commentaires sur la sous-exploitation de la nutrition en santé animale (n=102)

#	DES PRÉCISIONS ?
1	pas le meme rapport au fait de bien manger des animaux par rapport a l'humaine, des confusions aussi sur les qualités des aliments dispo
2	La nutrition est le parent pauvre de la médecine vétérinaire
3	Il y en a beaucoup de rcherches à ce sujet
4	Privilégions les approches qualitatives
5	Mais trop de soit disant scientifique...
6	rationnement pratique , decriptage des compositions
7	L'équilibrage des croquettes haut de gamme est particulièrement fin
8	Mal exploitée
9	Elle est présentée dès les premières consultations comme un axe fort
10	Nous en apprenons tous les jours
11	en fait je ne sais pas trop
12	on a la possibilité d'imposer exactement ce que l'on veut a l'animal, contrairement a l'homme
13	Il y a déjà beaucoup d'alimentation médicalisé
14	par nous mêmes, vétérinaires, qui sommes trop "liés" aux laboratoires, par manque de formation, de temps, par facilité...
15	Formation pratique en écoles vétérinaires
16	largement utilisée par les vétérinaires toutefois
17	Seulement si l'on exclue les aliments industriels
18	developpement d'aliments industriels de plus en plus ciblés et demande grandissante des clients
19	cours de nutrition à la fac
20	il y a des efforts et des études intéressantes sur la nutrition et la santé animale
21	Sous exploitée par les vétos pas par les marques d'aliment
22	elle est déjà très exploitée
23	Il y a des études, mais cela ne veut pas dire qu'elles sont fiables ou claires...j'ai l'impression que le rôle du véto en nutrition est juste de savoir vendre la bonne croquette....ce qui est très réducteur. Les études sont financées par des grandes marques de croquettes (logique, c'est leur domaine), mais difficile de savoir si leurs conclusions sont objectives. L'étiquetage de l'alimentation industrielle est tellement flou qu'il est impossible pour un vétérinaire de savoir si un aliment qu'on lui présente est bon ou pas. Et les études sont faites sur des compositions analytiques...l'aliment final n'est évalué que sur sa composition analytique mais cela reste un produit ULTRA transformé
24	Surtout en pratique rurale
25	On ne sait pas grand chose en sortant de l'école
26	à améliorer
27	Pas complètement d'accord car de nombreuses gammes désormais suivant les stades physiologiques de l'animal et les différentes maladies, mais d'accord quand même car approche malheureusement trop grossière et pas assez individualisée ("c'est marqué à l'arrière du paquet" etc...)
28	manque de formation peut être, culturel?
29	en developpement et une demande permanente et renouvelée (no grain ,bio,.....Barf
30	De nombreuses gammes alimentaires spécifiques existent déjà
31	Ce n'est vraiment qu'elle soit sous-exploité mais elle est souvent utilisée par les fabricants d'aliments en "tordant" la réalité dans le sens qui les arrange en fonction des matières premières disponibles, de l'appétence, etc.
32	Pour voir un nombre incalculable de propriétaires nourrir leurs animaux avec la dernière tendance marketing ou l'alimentation la moins chère, force est de constater qu'à part quelques

	problèmes spécifiques (dermatologiques, cristaux urinaires), je ne constate pas dans ma pratique de grandes différences d'avec une alimentation strictement vétérinaire
33	formation non adapté et UNIQUEMENT obéissant au lobbiste agroalimentaire
34	les gammes des petfooders sont très complètes
35	gadget excessif et mercantile
36	non
37	Il y a des labos qui font de la recherche et des sites très bien fait pour les rations ménagères
38	Manque de temps et de connaissance
39	Malheureusement, le vétérinaire canin est en général mal formé et mauvais dans ce domaine...
40	entre les gammes hyper spécialisées des carnivores domestiques et les rations hyper pointues des laitières je ne pense pas que le créneau soit sous exploité
41	Il existe déjà presque trop d'aliments de qualité disponibles.
42	Beaucoup de pathologies peuvent être traitées ou en tout cas améliorées avec une alimentation thérapeutique spécifique. Je pense qu'il y a donc de bonnes connaissances en nutrition même si la recherche est à poursuivre.
43	beaucoup de zones d'ombre sur les techniques de fabrication
44	on peut toujours faire mieux mais l'offre et les propositions sont pléthoriques
45	Vétos pas assez formés sur la nutrition, sur la façon de juger la qualité d'un aliment de manière objective, sur la façon de conseiller le client
46	pas assez de cours en études dessus, ou des trucs trop complexes et inutiles
47	étude sans aucun doute faite mais non accessible au grand public
48	Pas assez de précision sur les apports essentiels de chaque aliment
49	je n'ai pas assez de connaissances quant aux études relatives à la nutrition animale pour répondre à cette question mais il n'y a pas le choix " je ne sais pas "
50	trop de contradictions , qualité de protéines , avec ou sans céréales , leur jeux dans les problèmes de croissance ... on ne sais pas sur quel pied danser
51	Beaucoup d'études ne sont pas fiables, souvent faites par les marques elles mêmes
52	D'énormes progrès à faire pour rendre les choses plus clair
53	On pourrait aller plus loin.
54	différents modes d'alimentation et variétés de croquettes ,fruit de recherches, même s'il faut relativiser,en raison de l'aspect marketing et comment !les vétérinaires sont une aide en cas de pb particuliert marketingarketing
55	le prix compte souvent plus que la composition !!!
56	les véto n'en tiennent pas compte
57	Trop de choix de croquettes (super marché, animaleries, vétérinaires)
58	les marques sont à la pointe
59	Malheureusement elle est trop liée aux grands lobbies
60	Les nourritures offertes ne sont pas au point au niveau de la composition et de la digestibilité. Des études sont nécessaires afin de comprendre l'impact des grains entre autres.
61	nourriture crue pour être proche de la nature
62	Les besoins peuvent être complètement différent d'un chien à l'autre, d'une zone géographique à l'autre
63	trop de vétos diabolisent la nourriture au cru au profit des croquettes qu'ils vendent
64	l'alimentation canine a fait des progrès depuis 30 ans
65	Je ne dirais pas que la nutrition est une science actuellement
66	Il faut chercher où acheter ce qu'on pense être le mieux

67	trop de gammes différentes on s'y perd
68	très peu de recherche dans ce domaine
69	les grandes marques y travaillent, non ?
70	Trop d'aliments vantés dans les medias et mauvais en réalité.
71	Lors de différents séminaires le BARF a été abordé que trop succinctement
72	pas assez de transparence dans l'alimentation
73	Il est très difficile de trouver de la vraie bonne nourriture - on est noyé sous des produits marketings
74	Tout au long de ma vie de propriétaire et d'éleveuse, je n'ai rencontré aucun vétérinaire qui soit "pointu" sur le sujet et j'en ai rencontré un trop grand nombre qui faisait tourner la boutique en vendant des croquettes choisies non sur leur qualité mais sur le contrat avec le fabricant.
75	ex : croquettes céréales ou pas céréales, barf ou pas barf, etc. avec des avis divergents d'un véto à l'autre
76	Nous disposons pas d'assez de recul
77	on constate une méconnaissance grave des besoins et de la physiologie et des idées reçues insufflées par les gros petfood
78	Pas qu'une science mais un mépris de nombreux propriétaires
79	souvent trop standardisé
80	Nous empoisonnons nos animaux avec des croquettes bourrées de céréales, de mycotoxines, de glucides, de vitamines synthétiques, d'ingrédients de mauvaise qualité, de taux déséquilibrés et une traçabilité et une transparence sur les produits inexistantes !
81	Beaucoup d'effort sont fait sur alimentation par race
82	Avoir de clarter dans les étiquetage est connaître vraiment les besoin pour nos animaux.
83	Royal canin par exemple est à la pointe
84	On rencontre encore trop de difficultés pour le sevrage par exemple
85	on ne peut pas être aussi catégorique en utilisant le mot sous-exploité car bon nombre de petfoodeur se sont penché sur la question et certain oriente même leur marketing là dessus
86	C'est vraiment dommage
87	Bcp d'études faites, bcp d'échanges à ce sujet
88	Il y a des recherches constantes.
89	c'est un enjeu que les grandes firmes ont compris depuis longtemps, la nutrition santé est notamment le cheval de bataille de Hill's , Royal canin et Proplan les leaders du marché.
90	ma véto a été surprise quand j'ai pris un paquet de croquettes chez elle que je lui ai montré que le premier ingrédient était du maïs.... pour des carnivores...
91	Quand on a une question, difficile d'avoir une réponse!
92	on en parle énormément, sous-exploitée dans quel sens ?
93	trop de lobbies, il faut gratter pour la vérité
94	Cela demande de regarder l'animal dans son ensemble et non pas sur un point particulier
95	Beaucoup de mensonges... difficile de s'y retrouver surtout
96	mauvaise formation, domaine pointilleux
97	L'apologie des croquettes est une hérésie
98	mauvaise formation en école
99	trop d'infos mais par des gens pas compétents
100	prise par le temps, nous ne développons pas assez le rationnement
101	elle est exploitée plutôt pour les animaux malades alors qu'elle pourrait l'être pour les animaux sains
102	Aliments premiumx en gamme thérapeutique répondent à une grande gamme de prise en charge de pathologies

L'APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DE LA NUTRITION INDIVIDUALISEE

L'objectif de cette thèse est de déterminer les intérêts, les limites et les opportunités de l'Intelligence Artificielle appliquée à la nutrition individualisée en santé humaine et animale. Un sondage a été réalisé par Internet chez 538 vétérinaires et 210 éleveurs français exerçant dans les espèces canine et/ou féline. Les vétérinaires français (61,4 %) facturent peu leur service de nutrition individualisée et sont dépassés par la quantité de données à gérer. L'Intelligence Artificielle intéresse les vétérinaires (93 %) et les éleveurs (72 %). Plus de la moitié d'entre eux sont prêts à collecter des données anonymisées d'activité sur les animaux de compagnie via un collier connecté pour améliorer la précision des rations. Le prix d'achat d'un aliment personnalisé n'est pas une limite pour les éleveurs (57 %). Le e-commerce est une plateforme très prometteuse pour l'application de l'Intelligence Artificielle en nutrition individualisée (59,5 % des éleveurs l'utilisent fréquemment pour l'achat d'alimentation).

Mots-clés : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE – DONNEES MASSIVES – NUTRITION – NUTRITION INDIVIDUALISEE – SANTE – VETERINAIRE – HUMAINE

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PERSONALIZED NUTRITION

The aim of this thesis is to determine the interests, limits and opportunities of Artificial Intelligence applied to individualized nutrition in human and animal health. An online survey was carried out in France among 538 veterinarians and 210 breeders working with dogs and cats. French veterinarians (61.4 %) do not price their individualized nutrition service and are overwhelmed by the amount of data. Artificial Intelligence attracts veterinarians (93 %), breeders (72 %) and more than half of them are willing to collect anonymized activity data on pets via connected collars for better ration accuracy. The purchase price of a personalized feed is not a limit for breeders (57 %). E-commerce is a very promising platform (59.5 % of breeders use it frequently for feed purchases) for the application of Artificial Intelligence in individualized nutrition.

Keys words : ARTIFICIAL INTELLIGENCE – BIG DATA – PERSONALIZED NUTRITION – HEALTHCARE – VETERINARY – HUMAN