

---

## L'impact du microbiote intestinal sur le comportement canin

**Auteur** : Prosperi, Méline

**Promoteur(s)** : Scippo, Marie-Louise

**Faculté** : Faculté de Médecine Vétérinaire

**Diplôme** : Master en médecine vétérinaire

**Année académique** : 2023-2024

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/20727>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**LIENS ENTRE LE MICROBIOTE INTESTINAL ET LE COMPORTEMENT CANIN**

**LINKS BETWEEN THE GUT MICROBIOTA AND CANINE BEHAVIOR**

**Méline PROSPERI**

**Travail de fin d'études**

présenté en vue de l'obtention du grade

de Médecin Vétérinaire

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2023/2024**

**Le contenu de ce travail n'engage que son auteur**

**LIENS ENTRE LE MICROBIOTE INTESTINAL ET LE COMPORTEMENT CANIN**

**LINKS BETWEEN THE GUT MICROBIOTA AND CANINE BEHAVIOR**

**Méline PROSPERI**

Tuteur : Professeur Marie-Louise SCIPPO,  
Département des Sciences des Denrées alimentaires

**Travail de fin d'études**

présenté en vue de l'obtention du grade  
de Médecin Vétérinaire

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2023/2024**

**Le contenu de ce travail n'engage que son auteur**

# LIENS ENTRE LE MICROBIOTE INTESTINAL ET LE COMPORTEMENT CANIN

## **Objectifs**

L'objectif de ce travail est d'explorer l'impact potentiel du microbiote intestinal sur le comportement canin, en cherchant à identifier les comportements influencés.

Pour atteindre cet objectif, les articles pertinents mettant en relation l'analyse de la flore intestinale et les comportements des animaux étudiés ont été analysés. Dans ce processus, les biais potentiels des études et les populations étudiées, susceptibles d'influencer les résultats, ont été pris en compte.

Cette approche permet une compréhension plus approfondie de cette interaction complexe entre le microbiote intestinal et le comportement canin.

## **Résumé**

De nombreuses découvertes scientifiques récentes ont mis en lumière le rôle crucial du microbiote intestinal dans la santé, tant chez l'Homme que chez les animaux.

Les résultats des études montrent d'ores et déjà une relation entre le microbiote intestinal et certains comportements canins. Nous chercherons à approfondir notre compréhension en identifiant spécifiquement les comportements affectés, en particulier l'agressivité qui est souvent observée, ainsi que l'anxiété. Nous examinerons les mécanismes et les voies par lesquels se produisent ces interactions intestin-cerveau, en mettant l'accent sur le rôle du tryptophane et de la sérotonine, ainsi que sur celui du GABA et du nerf vague. Enfin, nous étudierons les souches bactériennes spécifiquement impliquées. On peut citer les lactobacilles, pour lesquelles il subsiste encore de nombreuses interrogations.

Nous aborderons également quelques implications pratiques de ces résultats pour la médecine vétérinaire, notamment l'utilisation de prébiotiques, de probiotiques et de la transplantation fécale.

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement ma promotrice, la professeure Mme Scippo, pour avoir pris le temps de m'aider à la réalisation de ce travail.

Je remercie également M. Sempo, qui a généreusement accepté de m'aider depuis l'extérieur de la faculté.

Merci pour votre patience, votre soutien et vos conseils, surtout en cette fin d'année difficile.

Je suis reconnaissante envers les professeurs qui m'ont encadrée tout au long de ces huit années, à l'ULG comme à l'ULB.

Un grand merci à mes ami(e)s et colocataires qui m'ont accompagnée et supportée durant toutes ces heures de cours, ces nombreux blocus difficiles et tous ces moments de vie étudiante. Vous avez rendu ce parcours beaucoup plus agréable et motivant.

Je n'oublie pas ma famille, pour leur soutien constant, mon père et ma mère, qui n'ont jamais douté de ma réussite lors de ces études universitaires.

Un mot particulier à Marie-Louise sans qui je n'aurais pas pu accéder à ces études en Belgique.

Et comme tout vétérinaire qui se respecte, je me dois de remercier mon chat Roméo, qui est toujours là pour moi et m'apporte beaucoup de bonheur (même s'il ne s'en rend pas compte).

## Table des matières

Objectifs	3
Remerciements	4
1. Introduction	6
2. Le microbiote intestinal	7
2.1. Généralités	7
2.1.1. Définition du microbiote intestinal	7
2.1.2. Composition du microbiote intestinal du chien	8
2.1.3. Facteurs influençant la composition du microbiote chez le chien	9
2.1.4. Les rôles du microbiote intestinal	9
2.2. Les interactions entre le microbiote intestinal et le cerveau	11
2.2.1. L'axe intestin-cerveau	11
2.2.2. Implications pour le comportement canin	12
3. Méthodes d'étude du microbiote et d'évaluation du comportement canin	14
3.1. Méthodes d'analyse du microbiote intestinal	14
3.2. Méthodes d'évaluation du comportement canin	15
4. Impact du microbiote intestinal sur le comportement du chien	16
5. Interprétation des résultats	25
7. Conclusion	30
8 . Références bibliographiques	32
9. Annexes	36

## 1. Introduction

Le monde invisible des micro-organismes qui peuplent le corps est un sujet qui a connu une croissance rapide et significative depuis le début des années 2000. Ces organismes, formant ce que l'on appelle le microbiote, colonisent les différents épithéliums de notre corps, qu'il s'agisse de la peau, des poumons, de la bouche, du vagin ou d'autres. Cependant, le microbiote intestinal, le plus densément peuplé, se distingue par sa complexité et son rôle crucial dans le maintien de la santé de l'hôte. Aujourd'hui, il est considéré comme un organe à part entière. Au même titre que nos empreintes digitales, il est unique à chacun. Il interagit constamment avec notre système digestif et notre cerveau, ce qui lui confère un rôle symbiotique, où chaque partie bénéficie de l'autre. Situé à l'interface entre notre environnement extérieur et l'épithélium intestinal, il joue un rôle crucial dans des processus tels que la digestion, le métabolisme et la régulation du système immunitaire, ce qui est fondamental pour notre santé. Des découvertes récentes indiquent une communication bidirectionnelle entre l'intestin et le cerveau suggérant un impact potentiel sur notre comportement.

Pour mieux comprendre l'importance du microbiote intestinal, les scientifiques utilisent des modèles axéniques, des organismes vivant dans des environnements stériles, dépourvus de tout micro-organisme. En comparant ces modèles à des organismes ayant un microbiote intestinal normal, les chercheurs ont pu démontrer à quel point ces micro-organismes sont essentiels pour la santé et le comportement de l'hôte.

Domestiqué depuis le Paléolithique, le chien a évolué aux côtés de l'Homme, l'accompagnant à travers différentes ères, de la chasse-cueillette jusqu'au mode de vie occidental post-industrialisé. Pendant cette coévolution, le chien s'est adapté à des régimes alimentaires variés en partageant souvent la nourriture humaine. D'après Mondo et collaborateurs (2020), cela a non seulement façonné leur système digestif et leur métabolisme, mais a aussi rendu leur microbiote intestinal remarquablement similaire à celui des humains, comparé à celui des souris ou des porcs. Cette proximité offre une opportunité unique pour étudier les liens entre le microbiote intestinal et divers aspects de la santé, y compris le comportement.

Ce mémoire a pour objectif d'explorer l'impact du microbiote intestinal sur le comportement canin. Pour atteindre cet objectif, nous analyserons plusieurs articles pertinents, mettant en relation l'analyse de la flore intestinale et les comportements des sujets. Nous tiendrons compte des biais potentiels et des spécificités des populations étudiées pour assurer une compréhension précise et nuancée de ces interactions complexes.

Finalement, en posant la question: « Quels sont les liens entre le microbiote intestinal et le comportement chez le chien ? » ce travail permettra de regrouper, d'analyser et d'éclairer la situation. En explorant cette question, nous espérons ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine de la santé et du bien-être animal, tout en contribuant à notre compréhension globale de cette symbiose microbiote-hôte.

## **2. Le microbiote intestinal**

### **2.1. Généralités**

#### **2.1.1. Définition du microbiote intestinal**

Pour mieux comprendre le rôle du microbiote intestinal sur le comportement canin, nous commençons par définir ce qu'est le microbiote intestinal humain. D'après l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) en France, on entend par microbiote "l'ensemble des micro-organismes présents dans un environnement spécifique, tels que les bactéries, virus, parasites et champignons non pathogènes communément appelés commensaux". Selon l'INSERM (2021), le microbiote intestinal humain contient entre  $10^{12}$  et  $10^{14}$  micro-organismes, ce qui en fait la communauté de microbes la plus dense parmi toutes les régions du corps. Estimé à 0,2 kg, il se trouve principalement situé dans l'intestin grêle et le côlon (Dréan et al., 2021). En raison de sa faible acidité, le côlon héberge cent millions de fois plus de bactéries commensales que l'estomac.



### 2.1.2. Composition du microbiote intestinal du chien

Pour toutes les espèces, la transmission du microbiote vaginal maternel lors de la mise bas constitue la première et principale contribution à l'établissement du microbiote intestinal du nouveau-né. D'après Dréan et collaborateurs (2021), la composition du microbiote intestinal de l'Homme est instable au cours des premières années de vie. Cette instabilité est influencée par divers facteurs, notamment le mode d'alimentation du nouveau-né (lait maternel, sevrage, introduction d'aliments solides), la génétique, l'environnement, ainsi que les traitements médicamenteux administrés au jeune ou à la mère allaitante. De manière similaire chez les chiots, Beretta et collaborateurs (2023) ont observé que le mode de naissance influence également la composition du microbiote intestinal. Par exemple, les chiots nés par voie vaginale ont montré des taux de croissance et de prise de poids plus élevés que ceux nés par césarienne.

Progressivement, le microbiote intestinal s'enrichit en diverses espèces et atteint une composition complexe et stable à l'âge adulte. Comme les empreintes digitales, la composition du microbiote intestinal est unique à chaque individu. Cela rend difficile l'établissement d'une composition typique définissant un microbiote «sain».

Il y a deux termes importants concernant le microbiote intestinal: la "richesse" qui désigne le nombre d'espèces différentes de bactéries présentes au sein d'un échantillon, et la "diversité" qui représente l'abondance relative de chacune des espèces.

Comme décrit dans le tableau 1, chez le chien en bonne santé on retrouve majoritairement trois phyla de bactéries dans les selles : firmicutes, bacteroidetes et fusobacterium. En moindre quantité on retrouve également des protéobactéries et des actinobactéries.

**Tableau 1 - Taxons bactériens retrouvés dans les selles de chien (Pilla et Suchodolski, 2021).**

Phylum	Class	Family	Genus/Species
Actinobacteria	Coriobacteriia	Coriobacteriaceae	<i>Collinsella</i>
Bacteroidetes	Bacteroidetes	Prevotellaceae Bacteroidaceae	<i>Prevotella</i> <i>Bacteroides</i>
Firmicutes	Clostridia	Clostridiaceae Ruminococcaceae	<i>Clostridium</i> <i>Faecalibacterium prausnitzii</i>
	Bacilli	Peptostreptococcaceae Lachnospiraceae Veillonellaceae Streptococcaceae Lactobacillaceae Turicibacteraceae	<i>Peptostreptococcus</i> <i>Blautia</i> <i>Megamonas</i> <i>Streptococcus</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Turicibacter</i>
Fusobacteria	Fusobacteriia	Fusobacteriaceae	<i>Fusobacterium</i>
Proteobacteria	Betaproteobacteria Gammaproteobacteria	Alcaligenaceae Enterobacteriaceae	<i>Sutterella</i> <i>E. coli</i>

### 2.1.3. Facteurs influençant la composition du microbiote intestinal chez le chien

Pendant la période adulte, le microbiote intestinal est influencé par l'alimentation, le mode de vie (chien de travail ou de compagnie), le lieu de vie (rural ou urbain), la physiologie de l'hôte, la prise d'antibiotiques ou autres traitements, et certaines maladies. Malgré ces influences, le microbiote intestinal possède des propriétés de résilience qui le rendent stable.

Par exemple, Chun et collaborateurs (2020), ont révélé que l'obésité impactait le microbiote intestinal du chien. La figure 1 illustre notamment les différences d'abondance relative des phylums chez le chien.

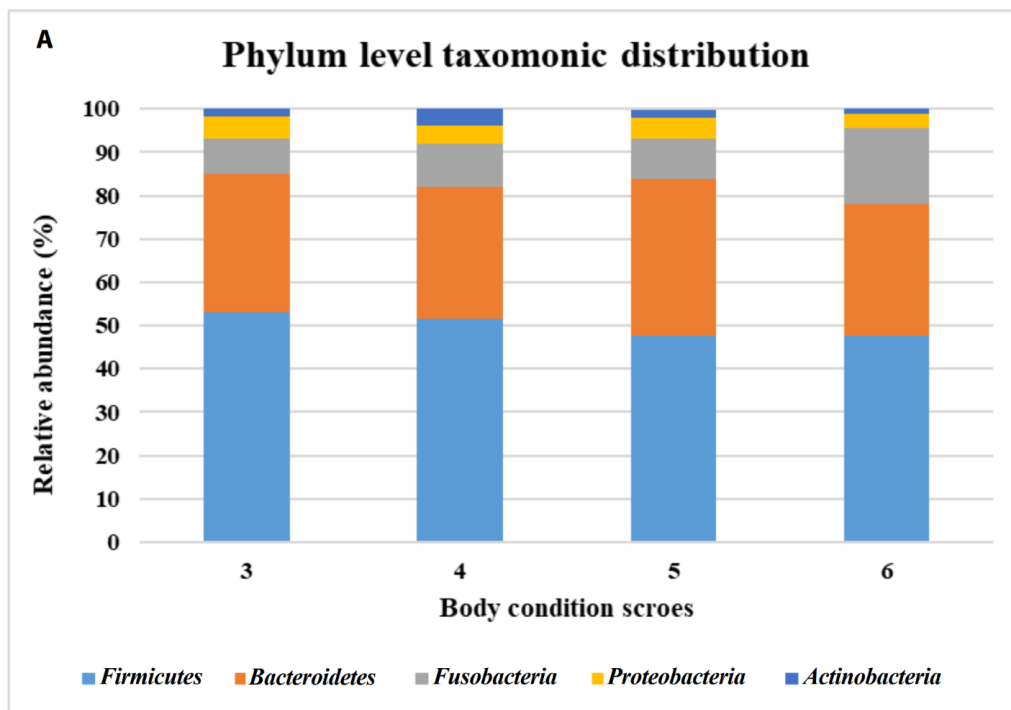


Figure 1 - Distribution des taxons bactériens du microbiote intestinal chez le chien, en fonction du body condition score (BCS) (Chun et al., 2020).

### 2.1.4. Les rôles du microbiote intestinal

Le microbiote intestinal et son hôte entretiennent une relation symbiotique. D'une part, le microbiote intestinal se nourrit des aliments ingérés pour garantir son propre métabolisme. D'autre part, il joue un rôle crucial dans la digestion, l'absorption des nutriments et la

régulation de l'équilibre intestinal, contribuant ainsi au bien-être de son hôte. En effet, en 2021, Dréan et collaborateurs affirment que *in vivo*, les modèles axéniques ont des besoins énergétiques de vingt à trente fois supérieurs par rapport à ceux de leurs congénères témoins, mettant ainsi en évidence l'importance du microbiote intestinal dans le métabolisme.

Au-delà de sa fonction digestive principale, le microbiote intestinal a également des fonctions immunitaires. Par exemple, via une compétition physique, il empêche l'installation de bactéries pathogènes dans le tractus digestif, créant ainsi une véritable ligne de défense pour l'hôte. Certaines bactéries peuvent même produire des substances antimicrobiennes. En utilisant des souris axéniques, Smith et collaborateurs ont prouvé en 2006 que sans microbiote intestinal, le développement et la maturation du système immunitaire étaient diminués.

En outre, le microbiote intestinal exerce aussi des actions sur le système nerveux. Le système nerveux entérique, présent tout le long du tractus digestif, régule les fonctions digestives via le nerf vague. Une étude menée sur des souris a montré que le microbiote intestinal est nécessaire à la maturation des neurones entériques et donc aux fonctions digestives. En effet, dans leur étude, Veiga-Fernandes et Vassilis Pachnis (2017), ont montré que des souris axéniques avaient une motricité intestinale diminuée à cause de leur nombre plus faible de neurones entériques.

D'autre part, le microbiote intestinal influence le fonctionnement du cerveau en modulant l'expression de certaines molécules neuroactives. Par exemple, Desbonnet et collaborateurs (2014), ont observé que des souris avec un microbiote intestinal altéré ou absent avaient un comportement exploratoire accru, une diminution de l'anxiété, des déficits de mémoire et une altération des comportements sociaux. Il est surprenant de constater que ces troubles comportementaux peuvent être facilement rétablis en inoculant le microbiote intestinal de souris témoins. Il serait intéressant de savoir si le chien est sujet aux mêmes effets.

Nous avons constaté que le microbiote intestinal exerce des actions sur le système nerveux, mais il semble aussi que le système nerveux entérique module la composition du microbiote intestinal. Il s'agit d'un mécanisme bidirectionnel qui communique via l'axe intestin/cerveau.

## **2.2. Les interactions entre le microbiote intestinal et le comportement**

Dans le règne animal, de nombreuses interactions bidirectionnelles entre l'intestin et le cerveau sont désormais étudiées. Par exemple, d'après l'étude de Sherwin et collaborateurs (2019), chez les abeilles, le microbiote intestinal influence la détection des phéromones, cruciales pour la communication au sein de la ruche. Chez les poissons-zèbre, des comportements anxieux se développent en cas de dysbiose, ce qui affecte leur survie. Les hyènes tachetées produisent, grâce à leur microbiote intestinal, des sécrétions odorantes utilisées pour la communication sociale et la reconnaissance individuelle. Pour certains oiseaux, des variations du microbiote intestinal influencent les comportements sociaux et vocaux, ce qui peut impacter le succès reproducteur et l'intégration sociale. Ces exemples illustrent que le microbiote intestinal joue des rôles variés dans la régulation des comportements sociaux, alimentaires, et de survie. Il est donc pertinent de considérer que le microbiote intestinal pourrait avoir un effet significatif sur le comportement canin.

### **2.2.1. L'axe intestin-cerveau**

Le microbiote intestinal joue un rôle crucial dans la régulation de l'axe intestin-cerveau. D'après Dréan et collaborateurs (2021), après avoir inoculé du microbiote fécal d'enfants autistes à des souris, il a été constaté que ces dernières présentaient des comportements similaires à ceux des enfants autistes. De plus, cette étude a révélé que la transplantation du microbiote intestinal de souris témoins sur des souris « autistes » tendait à atténuer leurs comportements autistiques. Ainsi, le microbiote intestinal pourrait être à l'origine de certaines maladies cérébrales et inversement.

En 2011, Bravo et collaborateurs ont étudié l'impact d'une vagotomie sur la transmission des informations entre le microbiote intestinal et le cerveau. Pour cela, les comportements de quatre groupes de souris ont été étudiés : des souris stressées (sham), des souris stressées inoculées avec des *L. rhamnosus*, des souris témoins (broth) vagotomisées, et enfin des souris vagotomisées inoculées avec *L. rhamnosus*.

Dans la figure 2, on observe que les effets anxiolytiques induits par *L. rhamnosus* disparaissent chez les souris vagotomisées. En effet, ces souris passaient moins de temps au centre de la boîte, ce qui est un comportement typique d'une souris anxieuse.

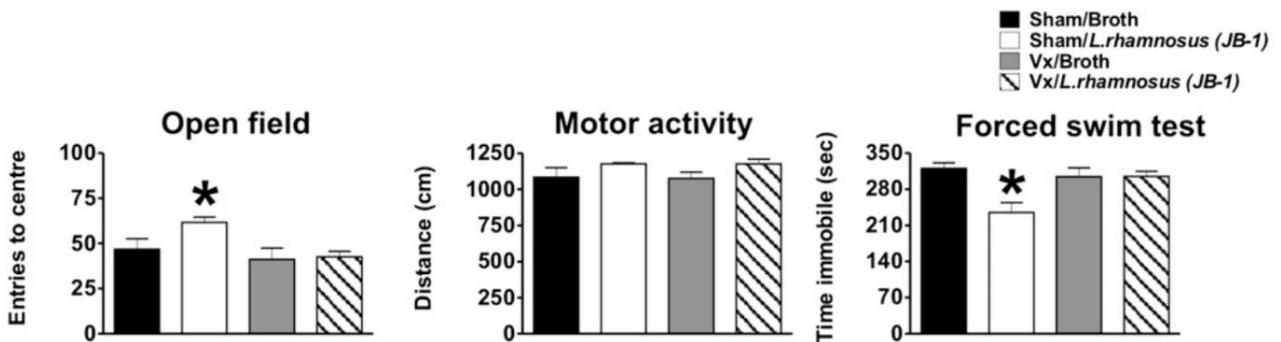


Figure 2 - Effets comportementaux d'une vagotomie sur différents groupes de souris. Sham/Broth : Souris de labo, Sham/*L.rhamnosus* : Souris de labo inoculée avec *L.rhamnosus*, Vx/Broth : Souris de labo vagotomisée, Vx/*L.rhamnosus* : Souris de labo vagotomisées inoculée *L.rhamnosus* (Bravo et al., 2011).

Ces résultats montrent bien une communication bidirectionnelle entre le cerveau et l'intestin, via différentes voies, notamment nerveuse, inflammatoire, hormonale, etc. Reste à savoir si ces mécanismes sont également applicables aux chiens.

### 2.2.2. Implications pour le comportement canin

Le microbiote intestinal influence le comportement canin par l'intermédiaire de divers mécanismes neuronaux, endocriniens et immunitaires.

La sérotonine, synthétisée à partir du tryptophane, est principalement produite dans les cellules entérochromaffines et les neurones de l'intestin. Elle agit via plusieurs récepteurs (5-HT1 à 5-HT7) situés dans le cerveau, le cervelet, l'hippocampe, le système gastro-intestinal, le système nerveux central, le cœur, et d'autres tissus, chaque récepteur ayant des fonctions spécifiques. Environ nonante pour cent de la sérotonine de l'organisme est présente dans le tractus gastro-intestinal, le reste étant stocké dans le cerveau ou les plaquettes sanguines, via lesquelles elle peut migrer vers ses récepteurs répartis dans le corps. Elle joue un rôle crucial dans la régulation de l'alimentation, du sommeil, de la cognition, des interactions sociales, de

l'anxiété et de l'humeur. La production de sérotonine peut être influencée par des bactéries comme *Candida*, *Streptococcus*, *Escherichia* et *Enterococcus* (Sacoor et al., 2024). Malgré l'importance de la sérotonine, établir une relation de causalité simple entre ce neurotransmetteur et l'anxiété est complexe, ce qui demande une prudence dans les hypothèses.

La dopamine, impliquée dans le circuit de la récompense et la motivation, est produite et stockée dans l'intestin. En tant que précurseur de la noradrénaline, la dopamine module les réponses au stress et à l'anxiété. Des bactéries comme *Escherichia*, *Bacillus* et *Saccharomyces* sont impliquées dans sa production (Sacoor et al., 2024).

L'acide gamma-aminobutyrique (GABA) est un neurotransmetteur inhibiteur essentiel du système nerveux central et entérique. Pour rappel, il est la cible des benzodiazépines utilisées en médecine. Il possède donc des propriétés anxiolytiques et joue un rôle crucial dans la prévention des réponses émotionnelles et comportementales liées au stress. Des bactéries telles que *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Propionibacterium* et *Weissella* contribuent à sa production (Sacoor et al., 2024).

En plus de son rôle dans la régulation des neurotransmetteurs, le microbiote intestinal contrôle les mécanismes endocriniens en régulant les fonctions de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien. Ce contrôle inclut la réponse au stress via la libération d'hormones adrénocorticotropes (ACTH) dans la circulation sanguine et de glucocorticoïdes comme le cortisol, sécrétés par les glandes surrénales. Ces hormones sont cruciales pour la gestion des réponses au stress, influençant ainsi le comportement canin.

Lorsque l'homéostasie intestinale est perturbée, le microbiote peut induire un état pro-inflammatoire, influençant la production de cytokines et de chimiokines. Les cytokines pro-inflammatoires ont été associées à des troubles anxieux chez les rongeurs et les humains, suggérant que des déséquilibres dans le microbiote intestinal peuvent également moduler les comportements anxieux chez les chiens (Sacoor et al., 2024).

Le microbiote intestinal influence le comportement canin via les neurotransmetteurs, hormones et cytokines, fournissant des pistes pour des thérapies ciblées.

### **3. Méthodes d'étude du microbiote intestinal et d'évaluation du comportement canin**

#### **3.1. Méthodes d'analyse du microbiote intestinal**

Bien que la culture microbienne sur milieu spécifique puisse fournir des informations précieuses sur le microbiote intestinal canin, elle doit être utilisée en complément d'approches modernes telles que le séquençage de l'ADN pour obtenir une vue d'ensemble plus complète et précise. L'analyse du microbiote intestinal chez le chien implique plusieurs étapes clés, allant de la collecte des échantillons à l'analyse bio-informatique.

##### **Collecte des échantillons**

Les échantillons de matières fécales sont couramment utilisés pour analyser le microbiote intestinal des chiens. Les noyaux internes des selles sont collectés de manière stérile et transportés rapidement au laboratoire pour éviter toute contamination et dégradation. Une fois au laboratoire, ils sont généralement conservés à -20°C pour préserver la croissance bactérienne et préserver le contenu en ADN. (Kirchoff et al., 2019)

##### **Extraction de l'ADN fécal**

L'ADN métagénomique est extrait des échantillons fécaux en utilisant des kits d'isolement commerciaux, conformément aux instructions du fabricant. Cette étape permet d'obtenir l'ADN des diverses bactéries présentes dans l'échantillon (Kirchoff et al., 2019).

##### **Séquençage 16S d'ADN**

L'amplification de l'ADN bactérien est réalisée en ciblant des régions spécifiques du gène 16S rRNA, notamment la région V4. Les produits de PCR sont ensuite purifiés et préparés pour le séquençage. Le séquençage est généralement effectué en utilisant la plateforme Illumina MiSeq, qui permet une lecture approfondie et précise des séquences (Kirchoff et al., 2019).

##### **Analyse des données de séquençage**

Les séquences brutes sont d'abord soumises à un contrôle de qualité grâce à l'outil bio-informatique QIIME, afin d'éliminer les lectures de faible qualité. Les séquences restantes sont

assemblées et les chimères sont éliminées. Les séquences sont ensuite comparées à des bases de données de référence pour l'identification taxonomique. Le pipeline MiSeq est utilisé pour cette analyse (Kirchoff et al., 2019).

### **Analyse de la diversité alpha et bêta**

La diversité alpha, qui mesure la richesse et la diversité des espèces dans un échantillon, est évaluée en utilisant l'indice de Shannon. La diversité bêta, qui compare les différences de composition entre plusieurs échantillons, est analysée par la méthode UniFrac (Kirchoff et al., 2019).

Comme toute méthode d'analyse, il ne faut pas oublier de mentionner qu'à chaque étape, des erreurs pourraient fausser les résultats.

On peut retrouver des biais au niveau de l'échantillonnage des matières fécales, notamment si elles ne sont pas prélevées de manière stérile. Si elles ne sont pas transportées assez rapidement au laboratoire ou si elles sont conservées à plus de -20°C cela peut altérer la composition et la croissance bactérienne. Il existe aussi une variabilité entre les kits d'isolement, des erreurs dans l'assemblage des séquences ou dans l'élimination des chimères. Il est donc important de standardiser les méthodes et d'interpréter les résultats avec prudence, en tenant compte des limitations inhérentes à chaque étape du processus.

## **3.2. Méthodes d'évaluation du comportement canin**

### **Observations comportementales**

Les comportements canins sont évalués par des observations directes et systématiques dans différents environnements. Les comportements d'intérêt incluent l'agressivité, l'anxiété, et les interactions sociales. Ces observations peuvent être faites par des vétérinaires, des comportementalistes, ou les propriétaires eux-mêmes.



## **Questionnaires et échelles d'évaluation**

Des questionnaires standardisés et validés, comme l'échelle de comportement canin de C-BARQ (Canine Behavioral Assessment & Research Questionnaire), sont utilisés pour recueillir des informations détaillées sur les comportements des chiens. Les propriétaires remplissent ces questionnaires en fournissant des informations sur la fréquence et l'intensité des comportements spécifiques. Un exemple est montré en annexe 2.

D'après la thèse de Marie Fairon (2006), le praticien dispose de grilles d'évaluation des troubles émotionnels et cognitifs (ETEC) visualisable en annexe 1. Elles permettent d'évaluer rapidement le niveau d'anxiété chez le chien. Il faut noter que ces grilles, bien que pratiques, ne remplacent pas une sémiologie comportementale approfondie, essentielle pour diagnostiquer et traiter les troubles comportementaux.

Il faut noter que, même si les tests standardisés visent à éliminer le côté subjectif, les observations des comportements canins peuvent être biaisées par l'observateur, la variabilité des environnements, ainsi que par l'influence de l'observateur sur le comportement du chien.

## **4. Impact du microbiote intestinal sur le comportement du chien**

### **Rôle du tryptophane et de la sérotonine**

L'axe cerveau-intestin est un système de communication bidirectionnel essentiel, dans lequel la sérotonine joue un rôle clé en tant que neurotransmetteur, affectant à la fois le système nerveux central et le système nerveux entérique. La sérotonine, principalement produite dans le tractus gastro-intestinal par les cellules entérochromaffines, régule diverses fonctions digestives mais aussi le comportement (O'Mahony et al., 2014).

Avant l'établissement d'un microbiote intestinal stable, le système sérotoninergique en développement peut être vulnérable lors de certaines fenêtres temporelles critiques. Le développement du système nerveux central atteint son maximum à l'âge de six semaines chez le chien (Arnaud, Sylvain, Dominique Loubiere, 2010). Chez les sujets âgés ou malades, une

diminution de la stabilité du microbiote intestinal peut également engendrer des problèmes de santé et peut influencer la douleur, la dépression, l'anxiété et la cognition.

Le tryptophane, un acide aminé essentiel apporté par l'alimentation, est un précurseur clé pour la synthèse de la sérotonine. Scarsella et collaborateurs (2020) montrent que le microbiote intestinal interagit avec le métabolisme du tryptophane et influence la quantité de sérotonine, étant ainsi responsable de certaines variations de comportement. Certaines bactéries peuvent utiliser le tryptophane pour produire de la sérotonine, on retrouve entre autres chez le chien *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarum* ou encore *Streptococcus thermophilus* (O'Mahony et al., 2014).

Des études sur des souris sans germes ont montré une augmentation du tryptophane plasmatique et moins de comportements anxieux que leurs homologues colonisés de manière conventionnelle. Tandis que les rats sans germes ont présenté des comportements de type anxieux accrus. Ces résultats confirment que le microbiote intestinal influence ces comportements, bien que le phénotype exact puisse varier selon les espèces.

Sudo et collaborateurs (2004) montrent que la présence de bactéries au cours d'une certaine période postnatale critique est essentielle pour le développement normal de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien, influençant les réponses au stress. En effet, les souris sans germes exposées au stress présentent des niveaux plus élevés d'ACTH et de corticostérone, une réponse pouvant être atténuée par la colonisation à *Bifidobacterium infantis* en début de vie.

Prises ensemble, ces études indiquent que le système sérotoninergique et le microbiote intestinal sont capables de s'influencer mutuellement tout au long de la vie.

### **Liens entre comportement et certaines bactéries**

Les problèmes de comportement canin peuvent entraîner l'abandon ou l'euthanasie des animaux. Selon Mondo et collaborateurs (2020), l'agressivité est le comportement le plus courant, suivie par l'anxiété de séparation et les phobies. Elle est divisée en agressivité de dominance, peur, possessivité et territorialité, et implique de graves risques pour les chiens, leurs propriétaires et le personnel vétérinaire (Kirchoff et al., 2019). L'agressivité est

influencée par des facteurs génétiques et environnementaux, mais le microbiote intestinal pourrait également jouer un rôle. Comprendre les facteurs responsables de ces comportements est crucial pour améliorer la santé et la sécurité des deux espèces.

En 2019, Kirchoff et collaborateurs se sont demandé si la composition du microbiote intestinal canin pourrait être associée à l'agressivité.

Pour cela, ils ont étudié des pitbulls, une race déjà connue pour avoir un phénotype agressif. L'étude est menée sur trente et un chiens, suivant le même régime de croquettes. Les comportements agressifs ont été évalués d'après trois mises en situation : introduction d'une peluche de chien grandeur nature, introduction d'un chien du même sexe derrière une barrière et introduction sans barrière. Les comportements agressifs ont été décrits comme des grognements, morsures, secousses, comportement tendu incompatible avec le jeu et agressivité envers d'autres chiens. Finalement, on a classé les chiens en deux groupes : agressifs (vingt et un chiens) ou non agressifs (dix chiens). Les selles ont été analysées correctement suivant la méthode de prélèvement décrite dans le point 3.1. de ce travail.

L'analyse a révélé que des bactéries telles que *Lactobacillus*, *Dorea*, *Blautia*, *Turicibacter* et bactéroïdes varient en fonction du comportement agressif ou non. De plus, les protéobactéries et fusobactéries sont plus abondantes chez les chiens non agressifs, tandis que les familles des lactobacilles et firmicutes sont plus abondantes chez les chiens agressifs.

Malgré la tentative d'homogénéiser les sources, on retrouve une variation intra-cohorte du microbiote intestinal, cela indique que les échantillons de selles étudiés sont soumis à d'autres facteurs encore inconnus. Les individus vivant en dehors d'un laboratoire (comme les chiens de compagnie ou l'Homme par exemple) sont soumis à une diversité génétique et environnementale qui ne peut pas être entièrement contrôlée. De plus, l'étude devrait être faite sur des races plus variées pour devenir plus pertinente.

Justement, en 2020, Mondo et collaborateurs ont décidé d'analyser la composition phylogénétique et la structure du microbiote intestinal chez des chiens de race, d'âge et de poids différents. Ces chiens présentaient des comportements agressifs (onze chiens), phobiques (treize chiens), normaux (dix-huit chiens) et étaient tous nourris avec une même alimentation mixte. Pour chaque animal, une évaluation comportementale a été réalisée par

un vétérinaire comportementaliste via une grille de Giussani et collaborateurs (2013) similaire à l'annexe 2 et les échantillons fécaux ont été collectés dans les normes telles que décrites dans le point 3.1 de ce travail.

Les chiens au comportement normal ont des proportions équilibrées de firmicutes, bacteroidetes, actinobactéries, avec fusobactéries et protéobactéries comme composants mineurs.

Les chiens agressifs montrent une structure particulière de leur microbiote intestinal, caractérisée par une biodiversité élevée en genres bactériens habituellement sous-dominants (richesse). Cependant on retrouve des proportions similaires parmi les phylums dominants des chiens normaux (diversité), à l'exception d'une réduction des bacteroidetes. En effet, la figure 3 montre une belle séparation du groupe agressif, sur la figure 3 (B) on voit nettement que les bacteroidetes sont en moins grand nombre par rapport aux deux autres groupes de chiens. De même, on voit sur la figure 3 (B) que *Erysipelotrichaceae* est plus abondant. L'article mentionne également une prévalence élevée des genres *Dorea*, *Blautia*, *Collinsella* et *Slakia*, avec une prévalence encore plus élevée pour *Catenicabacterium* et *Megamonas*. En revanche, des genres comme *Oscillospira*, *Peptostreptococcus*, *Bacteroides*, *Sutterella* et *Coprobacillus* sont moins abondants que chez les chiens normaux.

Chez les chiens phobiques, on peut voir sur la figure 3 (A) l'abondance significative des lactobacilles en rouge et des *Rikenellaceae* sur la figure 3 (B). Ils présentent une faible biodiversité en taxons bactériens (richesse) mais pas de différence significative au niveau des phylums.

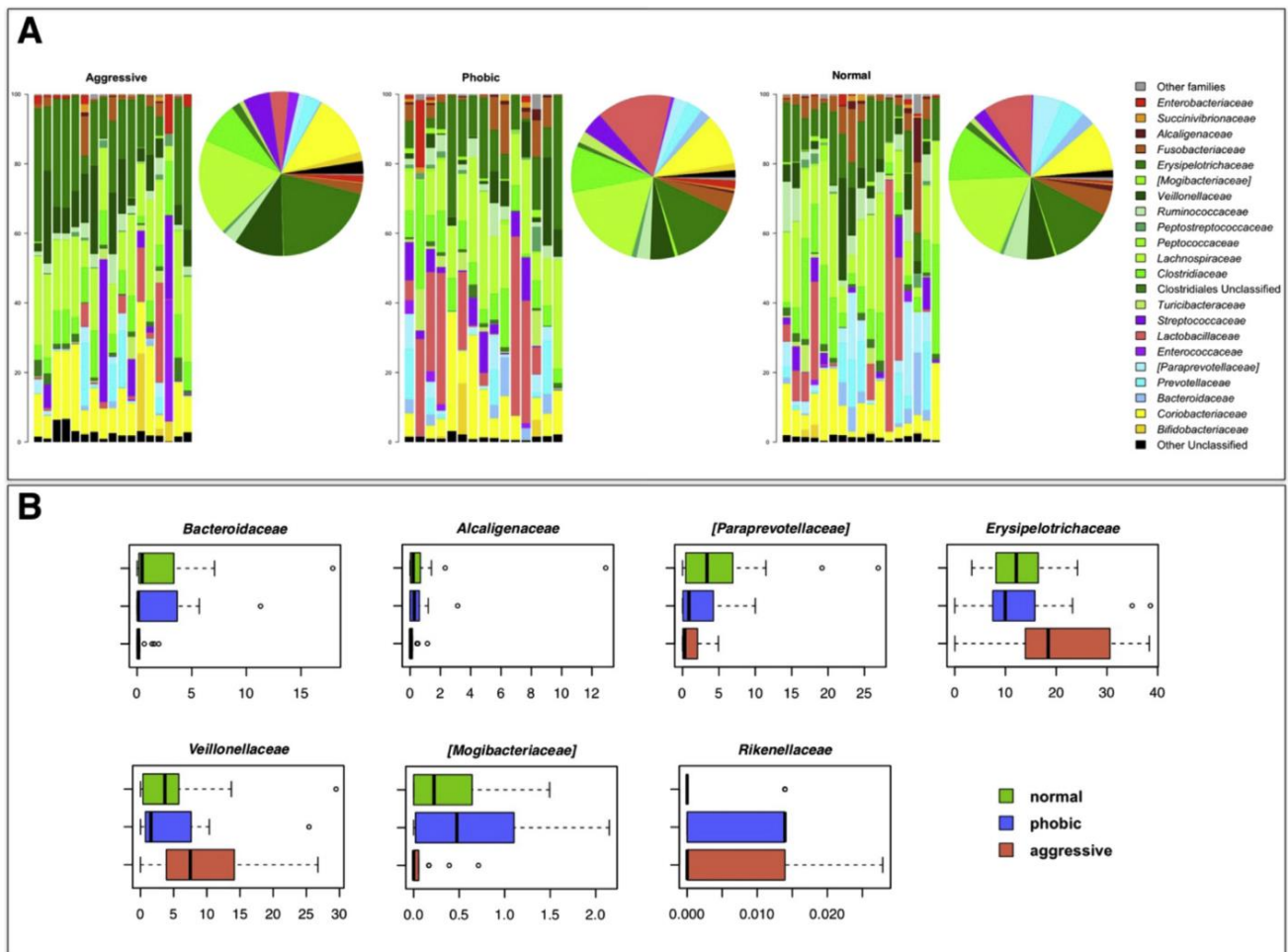


Figure 3 - Profil du microbiote intestinal canin de différents groupes (normaux, agressifs, phobiques).

(A) Diversité des familles bactériennes de chaque sujet. (B) Zoom sur les familles bactériennes significativement modifiées dans les groupes agressifs et phobiques en comparaison avec le groupe normal (Mondo et al., 2020).

On a vu qu'il y avait très peu d'altérations au sein du microbiote intestinal des chiens phobiques à l'exception d'une augmentation des lactobacilles. Les chiens agressifs, quant à eux, possèdent une biodiversité plus élevée en genres bactériens habituellement sous-dominants. A ce stade nous ne savons toujours pas si ces variations de richesse bactérienne sont une cause ou une conséquence des modifications comportementales. Il serait intéressant de savoir si un traitement à certaines lactobacilles pourrait influencer les comportements liés à l'anxiété, l'agressivité ou la dépression.

## Lactobacillus rhamnosus chez la souris

En 2011, Bravo et collaborateurs veulent prouver que le récepteur GABA, principal neurotransmetteur inhibiteur du système nerveux central, joue un rôle crucial dans les processus physiologiques et psychologiques. Il est notamment la cible des benzodiazépines, essentielles dans le traitement de l'anxiété. Dans cette étude, on a réalisé des modifications du microbiote intestinal afin de mettre en évidence des modifications comportementales. L'objectif était de démontrer si un traitement chronique avec *L. rhamnosus* chez la souris induisait des altérations spécifiques du taux de GABA dans le cerveau et par quelle voie.

Pour cela, plusieurs tests ont été menés sur des souris. Les résultats ont été regroupés sur la figure 4(A) :

**1. Test d'hyperthermie induite par le stress (SIH) :** L'administration chronique de *L. rhamnosus* a produit une réduction non significative de la température.

**2. Labyrinthe élevé (EPM) :** Les souris traitées avec *L. rhamnosus* explorent davantage le labyrinthe, suggérant un effet anxiolytique.

**3. Test de nage forcée (FST) :** Les souris traitées étaient significativement moins immobiles, indiquant une réduction du stress.

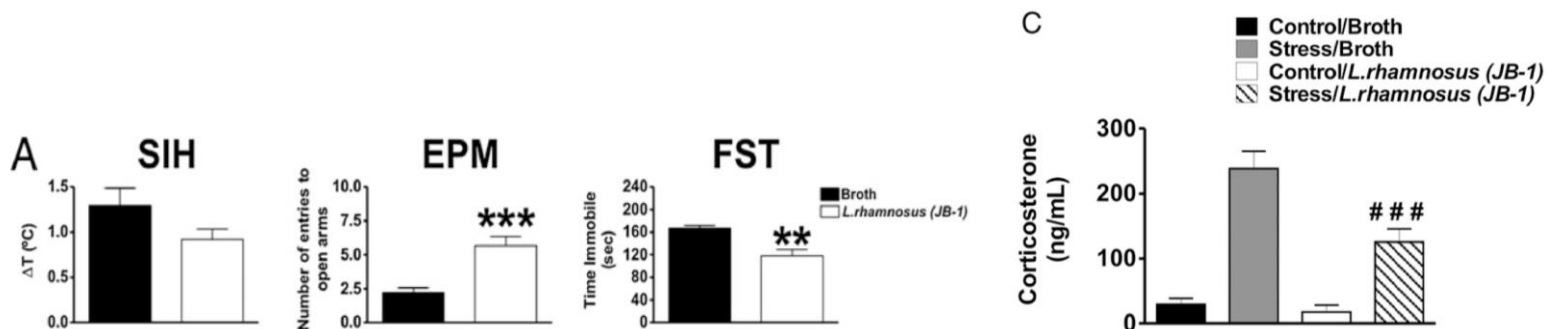


Figure 4 – Effet de l'administration de *L.rhamnosus* sur le comportement des souris et sur leur taux de cortisol. (A) Effet de *L.rhamnosus* sur différents tests comportementaux et d'hyperthermie. SIH : Test d'hyperthermie induite par le stress, EPM : Labyrinthe élevé, FST: Test de nage forcée. (C) Effet de *L.rhamnosus* sur le taux de cortisol après le test FST (Bravo et al., 2011).

Comme on peut le constater sur la figure 4(C), le niveau de corticostérone mesuré 30 minutes après le FST était significativement plus faible chez les souris nourries avec *L. rhamnosus* par rapport aux témoins, indiquant un taux de stress inférieur. Les souris traitées avec *L.*

*rhamnosus* étaient moins anxieuses, passant plus de temps au centre de la boîte par rapport aux témoins. Cependant, sans communication via le nerf vague, ce comportement disparaissait (Bravo et al., 2011).

Une question future intéressante serait de déterminer combien de temps les effets du traitement à *L. rhamnosus* persistent et si ce traitement est applicable aux chiens.

### **Impact du régime alimentaire**

L'objectif de DeNapoli et collaborateurs (2000) était d'évaluer l'effet de différents régimes alimentaires, riches ou faibles en protéines, avec ou sans supplémentation en tryptophane, sur le comportement des chiens présentant une agressivité de dominance, une agressivité territoriale, ou une hyperactivité. Or, on a vu précédemment que le microbiote intestinal est fortement influencé par l'alimentation, et qu'il est capable d'utiliser le tryptophane pour la synthèse de sérotonine.

L'étude a inclus trente-trois chiens, répartis en trois groupes : onze chiens avec agressivité de dominance, onze avec agressivité territoriale, et onze hyperactifs. Chaque chien a reçu quatre régimes différents pendant une semaine chacun, dans un ordre aléatoire, avec une période de transition de trois jours entre chaque régime.

Les régimes étaient les suivants:

- **Régime 1 (LP):** Faible teneur en protéines (18%)
- **Régime 2 (LP + Trp):** Faible teneur en protéines (18%) et supplémentation en tryptophane
- **Régime 3 (HP):** Teneur élevée en protéines (30%)
- **Régime 4 (HP + Trp):** Teneur élevée en protéines (30%) et supplémentation en tryptophane

Les comportements des chiens ont été évalués par les propriétaires à l'aide d'un score comportemental personnalisé, allant de un à dix. Le score "un" étant un épisode d'agressivité légère et isolée, et "dix" étant plusieurs épisodes d'agressivité intense avec morsure et blessures graves (DeNapoli et al., 2000). Cinq mesures ont été prises sur un mois, et les

concentrations sériques de sérotonine et de tryptophane ont été dosées à la fin de chaque régime.

Plusieurs biais doivent être mentionnés. L'évaluation comportementale par les propriétaires est subjective. La prise de seulement cinq mesures au cours du mois et le dosage unique du tryptophane à la fin de chaque régime constituent également des limitations. De plus, les périodes de transition de trois jours peuvent être trop courtes pour éliminer complètement les effets du régime précédent ou même provoquer des effets digestifs qui fausseraient les résultats.

Les grands acides aminés neutres (LNAA) jouent un rôle crucial dans cette étude. Parmi ceux-ci on retrouve la tyrosine, la leucine, la lysine, la glutamine, la proline, la valine, l'isoleucine, la thréonine, l'arginine, l'aspartate, l'histidine, la méthionine et enfin le tryptophane qui va nous intéresser particulièrement ici (Scala et al., 2020).

Un régime riche en protéines réduit le rapport tryptophane/LNAA, car les protéines contiennent moins de tryptophane que de LNAA, diminuant ainsi le passage du tryptophane à travers la barrière hémato-encéphalique et sa concentration dans le cerveau. Inversement, un régime pauvre en protéines augmente ce rapport, améliorant ainsi le passage du tryptophane dans le cerveau.

Le tryptophane étant le précurseur de la sérotonine, une diminution du tryptophane entraîne une diminution de la sérotonine, ce qui peut accroître les réponses agressives aux stimuli.

Concernant les résultats répertoriés dans le tableau 2, le score d'agression de dominance des chiens nourris au régime 3 (HP-Trp) est significativement plus élevé que ceux des chiens nourris aux trois autres régimes. Si on compare les régimes 3 (HP-Trp) et 4 (HP+Trp), on voit que les scores du régime 4 sont tous significativement inférieurs à ceux du régime 3.

En effet, les résultats de DeNapoli et collaborateurs (2000) montrent que la supplémentation en tryptophane des régimes ayant une haute teneur en protéine induit une diminution significative des scores de comportement.



**Tableau 2 - Score de comportement quotidien en fonction de quatre régimes alimentaires contenant une concentration élevée ou faible en protéines et supplémentés ou non en tryptophane. LP : Low protein, HP : High protein, Trp : Tryptophane (DeNapoli et al., 2000)**

<b>Behavior</b>	<b>LP–Trp</b>	<b>LP+Trp</b>	<b>HP–Trp</b>	<b>HP+Trp</b>
Dominance aggression	1.12 ± 0.17	1.29 ± 0.17	1.84 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.18
Territoriality	3.68 ± 0.15 <sup>b</sup>	3.17 ± 0.15	3.47 ± 0.15	3.33 ± 0.16
Fear	2.34 ± 0.15	2.40 ± 0.15	2.29 ± 0.15	2.25 ± 0.15
Hyperactivity	3.58 ± 0.10	3.46 ± 0.10	3.46 ± 0.10	3.40 ± 0.10
Excitability	3.7 ± 0.11	3.5 ± 0.11	3.66 ± 0.11	3.53 ± 0.11

<sup>a</sup>HP–Trp versus HP+Trp, *P* = 0.001; HP–Trp versus LP+Trp, *P* = 0.024; HP–Trp versus LP–Trp, *P* = 0.003. <sup>b</sup>LP+Trp versus LP–Trp, *P* = 0.022.

### **Impact de l'état psychique sur les maladies digestives**

Selon Burgener et collaborateurs (2008), l'inflammation intestinale résulte d'une dérégulation des interactions entre le système immunitaire de l'hôte et la microflore intestinale commensale. Par exemple, des rats soumis à un stress (restriction de leur espace) avant l'induction d'une colite ont développé une inflammation accrue de la muqueuse.

En 2013, Reiwald et collaborateurs évaluent l'influence de l'anxiété sur l'apparition d'une maladie inflammatoire chronique intestinale (MICI) idiopathique chez le chien.

Dans cette étude, toutes races confondues, cinquante-sept chiens atteints de MICI diagnostiqués selon les critères Washabau (Washabau et al., 2010) ont été sélectionnés. Ces critères regroupent : la présence de symptômes gastro-intestinaux évoluant depuis plus de trois semaines, la mise en évidence d'une inflammation des muqueuses par analyse histopathologique d'une biopsie intestinale, l'absence d'identification de causes connues d'inflammation intestinale associée à une réponse inadéquate à des thérapies diététiques, l'utilisation d'antibiotiques et d'antihelminthiques et réponse positive à l'administration d'anti-inflammatoires et d'immunosuppresseurs.

Les autres causes de maladies métaboliques, infectieuses, parasitaires ou nutritionnelles ont été exclues. Les chiens recevant des médicaments ou suppléments nutritionnels pouvant modifier le comportement ont été exclus. Un groupe témoin de quarante chiens sains a

également été constitué. Tous les chiens ont suivi le même protocole pendant vingt jours, incluant un examen général, une analyse sanguine et différents tests.

L'état anxieux a été évalué à l'aide d'une grille (ETEC) selon Pageat répertoriée en annexe 1.

L'enquête a toujours été réalisée par la même personne pour limiter les variations.

Comme le prouvent les résultats du tableau 3 ci-dessous, l'état anxieux est significativement plus élevé chez les chiens atteints de MICI par rapport aux chiens sains témoins. Cela suggère que l'anxiété pourrait être un facteur déclenchant d'une MICI (Reiwald et al., 2013).

**Tableau 3 - Scores ETEC (Évaluation des troubles émotionnels du chien) chez les chiens atteints de MICI (maladie inflammatoire chronique intestinale idiopathique), comparé à des chiens sains (Reiwald et al., 2013).**

Score ETEC	Témoin (n = 40)	MICI (n = 53)
≤ 12 (comportement normal)	25 (62.5%)	14 (26.4%)
[13-16] (au moins une phobie)	10 (25.0%)	19 (35.8%)
[17-35] (état anxieux)	5 (12.5%)	20 (37.7%)

Cependant, certains biais doivent être pris en compte. Par exemple, l'évaluation de l'état anxieux repose sur une grille subjective, et bien que l'enquête soit réalisée par la même personne, des variations individuelles peuvent subsister. De plus, la présence de facteurs environnementaux non contrôlés ou de prédispositions génétiques pourraient également influencer les résultats.

## 5. Interprétation des résultats

L'analyse des relations entre le microbiote intestinal et le comportement canin révèle un réseau complexe d'interactions physiologiques et biochimiques. Les recherches montrent que le microbiote intestinal influence non seulement la santé physique, mais aussi des aspects comportementaux significatifs chez les chiens, en passant par l'agressivité et l'anxiété.

## **Impact du microbiote intestinal sur l'agressivité canine**

Kirchoff et collaborateurs (2019) ont trouvé des associations statistiques entre l'agressivité des chiens et la composition de leur microbiote intestinal. Les chiens agressifs présentaient des anomalies telles qu'une augmentation des lactobacilles et des niveaux réduits de sérotonine. De plus, Mondo et collaborateurs (2020) ont observé chez les chiens agressifs une abondance légèrement plus élevée de firmicutes et d'actinobactéries, ainsi qu'une diminution de bacteroidetes et de protéobactéries. Le microbiote intestinal des chiens agressifs se caractérise par une diversité accrue en unités taxonomiques opérationnelles (OTU) et une présence plus importante de genres généralement sous-représentés comme *Dorea*, *Blautia*, *Collinsella*, *Ruminococcus*, *Slackia*, *Catenibacterium* et *Megamonas*. La manipulation du microbiote intestinal, notamment par l'administration de probiotiques, est suggérée pour atténuer ces comportements. Cependant, ces résultats doivent être confirmés dans d'autres populations de chiens, et l'identification précise des souches probiotiques efficaces reste à déterminer pour réduire l'agressivité.

## **Impact du microbiote intestinal sur l'anxiété canine**

En revanche, Bravo et collaborateurs (2011) ont démontré chez la souris que certains probiotiques, notamment *Lactobacillus rhamnosus*, peuvent réduire la corticostérone induite par le stress et atténuer les comportements liés à l'anxiété et à la dépression chez les mammifères. Chez les chiens phobiques, un enrichissement en *Lactobacillus* et/ou *Rikenellaceae* pourrait jouer un rôle dans la modulation des comportements liés à l'anxiété (Mondo et al., 2020). *Lactobacillus* est un genre bactérien connu pour produire du GABA, un neurotransmetteur inhibiteur clé du système nerveux central capable de réguler le comportement émotionnel via le nerf vague. Cela suggère que l'effet des lactobacilles sur le comportement canin peut varier selon les souches ou selon des contextes spécifiques.

En 2002, Weese et collaborateurs, ont montré que *L. rhamnosus* n'est pas un probiotique applicable aux chiens. Par contre, en 2024, Sacoer et collaborateurs montrent qu'une supplémentation de quatorze jours de probiotiques *L. plantarum* semble stabiliser les comportements d'agressivité et d'anxiété de séparation chez le chien.

## Impact des prébiotiques ou probiotiques sur le comportement canin

Les prébiotiques et probiotiques sont définis comme “des micro-organismes vivants qui, lorsqu’ils sont administrés en quantités adéquates, confèrent un bénéfice pour la santé de l’hôte” (Sacoor et al., 2024). Ils sont couramment utilisés en médecine vétérinaire pour des conditions telles que la diarrhée et la constipation. Ils ne doivent pas être considérés comme des agents thérapeutiques mais plutôt comme prophylactiques. Parmi les types de probiotiques couramment utilisés figurent *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pediococcus*, *Bacillus*, et *Saccharomyces* (Macouzet, 2015). Pour être efficaces, les probiotiques doivent être administrés en doses appropriées ; un sous-dosage pourrait être inefficace, tandis qu’un surdosage pourrait déséquilibrer la flore microbienne.

Les probiotiques peuvent atténuer l'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HPA), limiter la production de cytokines pro-inflammatoires, diminuer le cortisol plasmatique et moduler la production de neurotransmetteurs comme la sérotonine et le GABA. Diverses souches de *Streptococcus*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, et *Lactococcus* ont démontré des effets bénéfiques sur le stress et l'anxiété.

Les prébiotiques tels que les fructooligosaccharides (FOS), galactooligosaccharides (GOS), la lactoferrine, et le polydextrose améliorent les symptômes d’anxiété chez les humains et les rongeurs (Sacoor et al., 2024). Ils réduisent également les cytokines pro-inflammatoires et diminuent l’activité de l’axe HPA, contribuant ainsi à un microbiote intestinal plus équilibré et, par conséquent, à un comportement canin sain.

Les travaux de Mondo et collaborateurs (2020) confirment que les chiens agressifs possèdent une configuration dysbiotique du microbiote intestinal, exacerbant potentiellement leur agressivité. Ils recommandent des interventions probiotiques pour restaurer un équilibre sain entre l’hôte et son microbiote intestinal, améliorant ainsi la santé globale et potentiellement réduisant les troubles du comportement. Cela souligne l’importance de maintenir un microbiote intestinal équilibré pour une interaction optimale hôte-microbiote, justifiant ainsi l'utilisation des probiotiques.

Malgré tout, d’après Mondo et collaborateurs (2020) il est difficile de déterminer si les variations de richesse bactérienne sont une cause ou une conséquence des modifications comportementales. Bravo et collaborateurs (2011) ont manipulé le microbiote intestinal en

utilisant notamment des souches de lactobacilles pour observer des changements comportementaux. Il serait pertinent de tester si la modification du comportement des sujets pourrait à son tour influencer le microbiote intestinal, complétant ainsi cette hypothèse.

### **Impact du régime alimentaire sur le comportement canin**

Scarsella et collaborateurs (2020) ont souligné que le microbiote intestinal interagit avec le métabolisme du tryptophane et influence la synthèse de sérotonine, ce qui pourrait influencer le comportement canin.

En effet, Kirchoff et collaborateurs (2019), ont démontré que de faibles niveaux de sérotonine avaient un impact négatif sur l'agressivité canine, tendant à l'amplifier. Ces résultats ont été corroborés par les travaux de DeNapoli et collaborateurs (2000). Ils indiquent que des régimes alimentaires spécifiques, notamment ceux pauvres en protéines ou supplémentés en tryptophane, peuvent être envisagés pour gérer l'agressivité chez le chien. Toutefois, la mise en place de ces régimes doit être effectuée sous la supervision d'un professionnel, car des apports inappropriés peuvent être particulièrement préjudiciables pour les chiens en croissance et les chiennes gestantes ou allaitantes.

Étant donné que le tryptophane, précurseur de la sérotonine, est en partie synthétisé par les bactéries intestinales, des changements dans le microbiote pourraient influencer sa disponibilité. Ces résultats suggèrent qu'une augmentation du niveau de tryptophane et donc de la sérotonine, est associée à une diminution de l'agressivité chez le chien. À l'inverse, une diminution de la sérotonine pourrait donc entraîner une augmentation de l'agressivité canine.

Le régime alimentaire ne se limite pas à la fourniture de nutriments essentiels pour la croissance physique. Il joue également un rôle fondamental dans la régulation du comportement canin, agissant à travers des mécanismes biochimiques complexes. Une alimentation soigneusement élaborée, avec l'aide d'un professionnel, peut donc avoir un impact significatif sur le comportement canin.

## Impact d'une maladie digestive sur le comportement canin

Reiwald et collaborateurs (2013) ont mis en évidence une fréquence plus élevée de troubles anxieux chez les chiens atteints de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) par rapport aux chiens sains, suggérant une interaction entre les affections intestinales et les états émotionnels. Ces résultats indiquent qu'une gestion comportementale appropriée devrait accompagner le traitement des MICI pour améliorer à la fois la santé physique et émotionnelle des chiens. Dans ce contexte, le vétérinaire joue un rôle crucial dans la détection précoce et la gestion des MICI. En reconnaissant les signes cliniques associés, il peut initier un traitement précoce pour minimiser l'impact sur la santé globale du chien. Une attention particulière est accordée à la gestion du stress et de l'anxiété chez les chiens atteints de MICI.

Cependant, il est important de noter qu'il est peut-être justifié que les chiens atteints de MICI présentent plus de signes d'anxiété que les chiens témoins, probablement à cause de la douleur induite par l'inflammation.

D'autre part, Bravo et collaborateurs (2011), montrent que la communication entre le cerveau et le microbiote intestinal serait médiée par des mécanismes neuro-immunitaires et neuroendocriniens impliquant la production de produits chimiques neuroactifs tels que le GABA, la dopamine, la sérotonine qui sont essentiels pour l'humeur, l'anxiété et les réponses au stress. Ce microbiote peut aussi induire des états pro-inflammatoires, modifiant la production de cytokines et affectant les comportements anxieux. Les bactéries *Candida*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Enterococcus*, *Bacillus*, et *Saccharomyces* jouent un rôle dans ces processus. Bravo et collaborateurs (2011) ont également démontré qu'à l'inverse, le système nerveux central peut aussi moduler la structure du microbiote intestinal en influençant l'écosystème, la motilité, les sécrétions, et la perméabilité via le système nerveux autonome. Enfin, ils soulignent le rôle crucial du nerf vague comme une voie de communication entre les bactéries intestinales et le cerveau, mettant en évidence la communication bidirectionnelle intestin-cerveau.

Ces résultats, bien que principalement observés chez les souris, suggèrent des mécanismes potentiellement applicables aux chiens. Ces interactions offrent des pistes pour des thérapies ciblant le microbiote intestinal pour améliorer le comportement canin.

## **Nouvelle piste : transplantation fécale comme traitement**

De nos jours, la transplantation fécale émerge comme une nouvelle piste prometteuse pour rééquilibrer le microbiote intestinal. Déjà utilisée en médecine humaine, elle a montré des résultats satisfaisants dans la prévention des récurrences d'infections à *Clostridium difficile*, comme l'ont démontré Porcari et collaborateurs (2023). Étant donné les similitudes dans le microbiote intestinal, on peut envisager que cette approche fonctionnerait également chez le chien. Cependant, il est crucial de rester vigilant car son efficacité pourrait varier en fonction des souches bactériennes spécifiques. La transplantation fécale consiste à introduire le microbiote fécal d'un chien donneur sain dans l'intestin d'un chien malade, visant à restaurer une composition bactérienne équilibrée, notamment chez les chiens souffrant de comportements agressifs ou anxieux. Nos conclusions suggèrent que cette méthode pourrait atténuer certains comportements indésirables en modifiant la flore intestinale et en influençant la production de neurotransmetteurs tels que la sérotonine, connue pour son rôle dans la régulation de l'humeur et du comportement. Toutefois, malgré son potentiel prometteur, cette approche nécessite des recherches supplémentaires pour évaluer son efficacité et comprendre ses mécanismes précis chez les chiens.

## **7. Conclusion**

En conclusion, les recherches convergent vers l'idée que le microbiote intestinal joue un rôle crucial dans le comportement canin. L'altération de ce microbiote peut affecter la production de précurseurs tels que le tryptophane, influençant directement la production de neurotransmetteurs tels que la sérotonine et donc impactant le comportement, comme l'agressivité et l'anxiété. La modulation du microbiote intestinal via des régimes alimentaires spécifiques et des interventions probiotiques représente une stratégie prometteuse pour la gestion des troubles comportementaux chez les chiens. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats dans diverses populations canines et pour identifier les souches probiotiques les plus efficaces pour un traitement ciblé.

Bien que des études supplémentaires soient nécessaires, l'émergence des psychobiotiques – des probiotiques spécifiquement conçus pour influencer le cerveau et le comportement via le microbiote intestinal – ouvre de nouvelles perspectives intéressantes. Ces innovations offrent l'espoir d'intégrer les psychobiotiques dans les traitements vétérinaires pour optimiser le bien-être comportemental des chiens, illustrant le potentiel immense de l'axe intestin-cerveau dans la pratique vétérinaire moderne.

Ainsi, les recherches futures permettront d'approfondir notre compréhension scientifique mais aussi d'enrichir les approches thérapeutiques pour améliorer la qualité de vie des chiens et celle de leurs propriétaires.



## 8 . Références bibliographiques

Beretta, S., Apparicio, M., Toniollo, G.H., Cardozo, M.V., 2023. The importance of the intestinal microbiota in humans and dogs in the neonatal period. *Animal Reproduction* 20. doi : 10.1590/1984-3143-ar2023-0082

Bravo, J.A., Forsythe, P., Chew, M.V., Escaravage, E., Savignac, H.M., Dinan, T.G., Bienenstock, J., Cryan, J.F., 2011. Ingestion of *Lactobacillus* strain regulates emotional behavior and central GABA receptor expression in a mouse via the vagus nerve. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America* 108, 16050-16055. doi : 10.1073/pnas.1102999108

Broseghini, A., Guérineau, C., Lööke, M., Mariti, C., Serpell, J., Marinelli, L., Mongillo, P., 2023. Canine Behavioral Assessment and Research Questionnaire (C-BARQ) : Validation of the Italian Translation. *Animals* 13, 1254. doi : 10.3390/ani13071254

Burgener, I.A., König, A., Allenspach, K., Sauter, S.N., Boisclair, J., Doherr, M.G., Jungi, T.W., 2008. Upregulation of Toll-Like Receptors in Chronic Enteropathies in Dogs. *Journal Of Veterinary Internal Medicine* 22, 553-560. doi : 10.1111/j.1939-1676.2008.0093.x

Chaitman, J., Gaschen, F., 2021. Fecal Microbiota Transplantation in Dogs. *The Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice/Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice* 51, 219- 233. doi : 10.1016/j.cvsm.2020.09.012

Chun, J.L., Ji, S.Y., Lee, S.D., Lee, Y.K., Kim, B., Kim, K.H., 2020. Difference of gut microbiota composition based on the body condition scores in dogs. *Han'gug Dongmul Jawon Gwahag Hoeji/Han-guk Dongmul Jawon Gwahak Hoeji/Journal Of Animal Science And Technology* 62, 239- 246. doi : 10.5187/jast.2020.62.2.239

Demontigny-Bédard, I., Frank, D., 2018. Developing a Plan to Treat Behavior Disorders. *The Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice/Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice* 48, 351- 365. doi : 10.1016/j.cvsm.2017.12.004

DeNapoli, J.S., Dodman, N.H., Shuster, L., Rand, W.M., Gross, K.L., 2000. Effect of dietary protein content and tryptophan supplementation on dominance aggression, territorial

aggression, and hyperactivity in dogs. *Journal Of The American Veterinary Medical Association* 217, 504-508. doi : 10.2460/javma.2000.217.504

Desbonnet, L., Clarke, G., Shanahan, F., Dinan, T.G., Cryan, J.F., 2013. Microbiota is essential for social development in the mouse. *Molecular Psychiatry* 19, 146- 148. doi : 10.1038/mp.2013.65

Dréan, M.E.L., Marchix, J., Neunlist, M., Boudin, H., 2021. Sept minutes pour comprendre le microbiote intestinal et son impact sur la santé. *Hépatogastro & Oncologie Digestive* 28, 555- 560. doi : 10.1684/hpg.2021.2172

Fairon, M., 2006. L'anxiété chez les animaux de compagnie : approches conceptuelle, clinique et thérapeutique (Thèse doctorat vétérinaire) Faculté de médecine de Créteil, Créteil, 15 p.

Hsiao, E.Y., McBride, S.W., Hsien, S., Sharon, G., Hyde, E.R., McCue, T., Codelli, J.A., Chow, J., Reisman, S.E., Petrosino, J.F., Patterson, P.H., Mazmanian, S.K., 2013. Microbiota Modulate Behavioral and Physiological Abnormalities Associated with Neurodevelopmental Disorders. *Cell* 155, 1451- 1463. doi : 10.1016/j.cell.2013.11.024

INSERM, 2021. Microbiote intestinal (flore intestinale), une piste sérieuse pour comprendre l'origine de nombreuses maladies. URL : <https://www.inserm.fr/dossier/microbiote-intestinal-flore-intestinale/#:~:text=Un%20microbiote%20est%20l'ensemble,%2C%20du%20vagin%2C%20des%20poumons%E2%80%A6> (accessed 6.6.24)

Kirchoff, N.S., Udell, M.A.R., Sharpton, T.J., 2019. The gut microbiome correlates with conspecific aggression in a small population of rescued dogs (*Canis familiaris*). *PeerJ* 7, e6103. doi : 10.7717/peerj.6103

Loubiere, D.S.A., 2010. L'ontogenèse chez une espèce "nidicole", le chien, *Canis familiaris*. (Thèse de doctorat vétérinaire, faculté de médecine) Université de Créteil, Créteil, 11 p.

Macouzet, M., 2015. Nourriture probiotique pour chiens Nouvelles perspectives scientifiques, technologiques et commerciales. [www.idpf-idap.com](http://www.idpf-idap.com).

Mondo, E., Barone, M., Soverini, M., D'Amico, F., Cocchi, M., Petrulli, C., Mattioli, M., Marliani, G., Candela, M., Accorsi, P.A., 2020. Gut microbiome structure and adrenocortical activity in

dogs with aggressive and phobic behavioral disorders. *Heliyon* 6, e03311. doi : 10.1016/j.heliyon.2020.e03311

O'Mahony, S.M., Clarke, G., Borre, Y.E., Dinan, T.G., Cryan, J.F., 2015. Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. *Behavioural Brain Research* 277, 32- 48. doi : 10.1016/j.bbr.2014.07.027

Pilla, R., Suchodolski, J.S., 2021. The Gut Microbiome of Dogs and Cats, and the Influence of Diet. *The Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice/Veterinary Clinics Of North America. Small Animal Practice* 51, 605- 621. doi : 10.1016/j.cvsm.2021.01.002

Porcari, S., Benech, N., Valles-Colomer, M., Segata, N., Gasbarrini, A., Cammarota, G., Sokol, H., Ianiro, G., 2023. Key determinants of success in fecal microbiota transplantation : From microbiome to clinic. *Cell Host & Microbe* 31, 712- 733. doi : 10.1016/j.chom.2023.03.020

Rabot, S., 2015. Axe intestin-cerveau : comment le microbiote intestinal influence la réponse au stress. *Bulletin de L'Académie VÉTÉRINAIRE de France/Bulletin de L'Académie Vétérinaire de France* 168, 267- 273. doi : 10.4267/2042/57938

Reiwald, D., Pillonel, C., Villars, A.M., Cadoré, J.L., 2013. Anxiété et entéropathies inflammatoires chroniques idiopathiques chez le chien. *Revue Méd. Vét.*, 2013, 164, 3, 145- 149.

Sacoor, C., Marugg, J.D., Lima, N.R., Empadinhas, N., Montezinho, L., 2024. Gut-Brain Axis Impact on Canine Anxiety Disorders : New Challenges for Behavioral Veterinary Medicine. *Veterinary Medicine International* 2024, 1- 10. doi : 10.1155/2024/2856759

Scala, I., Riccio, M.P., Marino, M., Bravaccio, C., Parenti, G., Strisciuglio, P., 2020. Large Neutral Amino Acids (LNAAs) Supplementation Improves Neuropsychological Performances in Adult Patients with Phenylketonuria. *Nutrients* 12, 1092. doi : 10.3390/nu12041092

Scarsella, E., Cintio, M., Iacumin, L., Ginaldi, F., Stefanon, B., 2020. Interplay between Neuroendocrine Biomarkers and Gut Microbiota in Dogs Supplemented with Grape Proanthocyanidins : Results of Dietary Intervention Study. *Animals* 10, 531. doi : 10.3390/ani10030531

Sherwin, E., Bordenstein, S.R., Quinn, J.L., Dinan, T.G., Cryan, J.F., 2019. Microbiota and the social brain. *Science* 366. doi : 10.1126/science.aar2016

Smith, K., McCoy, K.D., Macpherson, A.J., 2007. Use of axenic animals in studying the adaptation of mammals to their commensal intestinal microbiota. *Seminars In Immunology* 19, 59- 69. doi : 10.1016/j.smim.2006.10.002

Sudo, N., Chida, Y., Aiba, Y., Sonoda, J., Oyama, N., Yu, X., Kubo, C., Koga, Y., 2004. Postnatal microbial colonization programs the hypothalamic–pituitary–adrenal system for stress response in mice. *Journal Of Physiology* 558, 263- 275. doi : 10.1113/jphysiol.2004.063388

Upenn (University of Pennsylvania) (2024) Canine Behavioral Assessment & Research Questionnaire (short version) <https://lucascountydogs.com/wp-content/uploads/2019/06/LC4-Mini-CBARQ.pdf> (accessed 6/6/24)

Veiga-Fernandes, H., Pachnis, V., 2017. Neuroimmune regulation during intestinal development and homeostasis. *Nature Immunology* 18, 116- 122. doi : 10.1038/ni.3634

Washabau, R.J., Day, M.J., Willard, M.D., Hall, E.J., Jergens, A.E., Mansell, J., Minami, T., Bilzer, T.W., 2010. Endoscopic, Biopsy, and Histopathologic Guidelines for the Evaluation of Gastrointestinal Inflammation in Companion Animals. *Journal Of Veterinary Internal Medicine* 24, 10-26. doi : 10.1111/j.1939-1676.2009.0443.x

Weese, J.S., Anderson, M.E.C., 2002. Preliminary evaluation of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG, a potential probiotic in dogs. *PubMed* 43, 771- 4.

Zoopsy, 2018. Grille 4A. URL : <https://www.zoopsy.com/grille-4a.php> (accessed 6/6/24)

## 9. Annexes

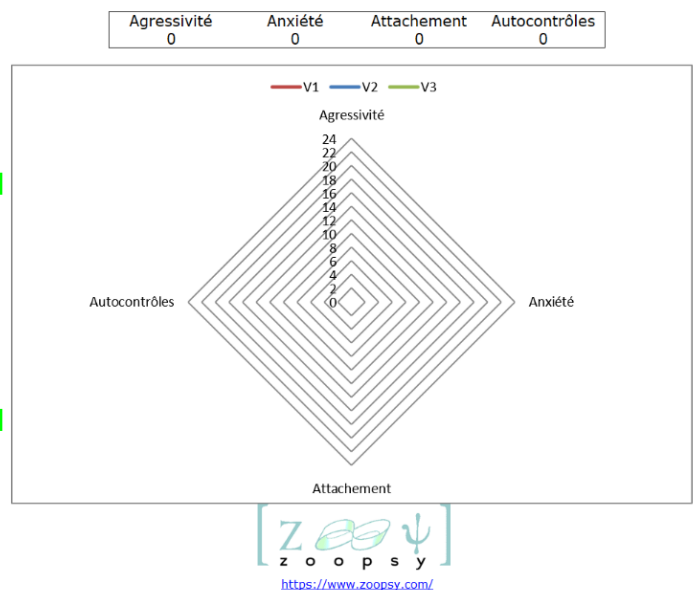
### Annexe 1 :

Grille ETEC pour l'évaluation du comportement canin selon l'ouvrage de PAGEAT (1990)

Zoopsy, 2018. Grille 4A. URL : <https://www.zoopsy.com/grille-4a.php> (accessed 6/6/24)

<b>Agressivité</b>		<b>Stable</b>	<b>0</b>
Position de soumission	Facile avec tout le monde		0
Avec humains familiers	Ni grognement, ni morsure		0
Avec étrangers	Ni grognement, ni morsure		0
Avec les chiens	Ni grognement, ni morsure		0
Avec les autres animaux	Aucune agressivité		0
<b>Anxiété</b>		<b>Stable</b>	<b>0</b>
Pour rester seul	Parfaitement possible		0
Peur de certaines situations	Jamais		0
Contact avec les humains	Facile, amical		0
Contact avec les animaux	Curieux, amical		0
Adaptabilité	Excellente, pas de manifestation		0
<b>Attachement</b>		<b>Stable</b>	<b>0</b>
Attachement au groupe	Content si un membre du groupe est présent		0
Réaction à la séparation	Pas de manifestation		0
Lieu de repos actuel	Dans son panier, seul		0
Contact - Exploration	A l'aise, explore loin, revient, prend contact		0
Manifestations de tendresse	Régulières, fréquentes, agréables pour les 2		0
<b>Autocontrôles</b>		<b>Stable</b>	<b>0</b>
Vocalises (aboie, gémit...)	Rare, pertinent		0
Saute sur les gens	Jamais		0
Détruit des objets	Jamais		0
Egratignures ou bleus	Jamais		0
Moments d'excitations	Jamais		0
<b>Chien</b>	<b>stable</b>	<b>Score Total</b>	<b>0</b>

Important : si vous effacez involontairement le contenu d'une case grisée (un message d'erreur apparait), les informations ne sont pas supprimées. Il suffit de cliquer à nouveau sur la flèche du menu déroulant pour les faire apparaître à nouveau.



#### Pour chaque item

Entre 0 et 5 : bien  
 De 6 à 12 : à surveiller  
 De 13 à 18 : anormal  
 De 19 à 25 : déséquilibre extrême

#### Score global

Au-dessus de 20 : suspect d'un trouble du comportement  
 Vérifier chaque item

V1	V2	V3
jj/mm/aaaa	jj/mm/aaaa	jj/mm/aaaa

Cette grille évalue le profil comportemental d'un chien sur quatre axes principaux (Agressivité, Anxiété, Attachement, Autocontrôles) à travers 20 items, chacun noté de 0 à 5. Plus le score est élevé, plus le comportement est perturbé dans l'axe concerné. Elle offre un indice semi-quantitatif du dérèglement comportemental, basée sur un examen comportemental et un entretien avec le propriétaire. C'est un outil complémentaire pour définir les axes thérapeutiques ou assurer un suivi, mais ne suffit pas pour un diagnostic ou la prise de décision.

**Annexe 2 :**

Exemple C- BARQ

Upenn (University of Pennsylvania) (2024) Canine Behavioral Assessment & Research Questionnaire (short version) <https://lucascountydogs.com/wp-content/uploads/2019/06/LC4-Mini-CBARQ.pdf> (accessed 6/6/24)

**SECTION 3: Fear and Anxiety**

**Instructions:** Dogs often show signs of anxiety or fear when exposed to particular sounds, objects, persons or situations – e.g. crouching or cringing with tail tucked between the legs; whimpering or whining, freezing, trembling, or attempting to escape or hide. Using the following 5-point scales (0=No fear, 4=Extreme fear), please indicate your own dog’s recent tendency to display fearful behavior in the following circumstances (please circle only one number):

13. When approached directly by an unfamiliar person while away from your home.

<b>No fear/anxiety:</b> No visible signs of fear	<b>Mild-Moderate fear/anxiety</b>	<b>Extreme Fear:</b> Cowers; retreats or hides, etc.
0.....	1.....2.....3.....	4

14. In response to sudden or loud noises (e.g. thunder, vacuum cleaner, car backfire, road drills, objects being dropped, etc.).

<b>No fear/anxiety:</b> No visible signs of fear	<b>Mild-Moderate fear/anxiety</b>	<b>Extreme Fear:</b> Cowers; retreats or hides, etc.
0.....	1.....2.....3.....	4

15. When an unfamiliar person tries to touch or pet the dog.

<b>No fear/anxiety:</b> No visible signs of fear	<b>Mild-Moderate fear/anxiety</b>	<b>Extreme Fear:</b> Cowers; retreats or hides, etc.
0.....	1.....2.....3.....	4

16. In response to strange or unfamiliar objects on or near the sidewalk (e.g. plastic trash bags, leaves, litter, flags flapping, etc.).

<b>No fear/anxiety:</b> No visible signs of fear	<b>Mild-Moderate fear/anxiety</b>	<b>Extreme Fear:</b> Cowers; retreats or hides, etc.
0.....	1.....2.....3.....	4