

## Mémoire

**Auteur** : Charrier, Louison

**Promoteur(s)** : Brotcorne, Fany; 23508

**Faculté** : Faculté des Sciences

**Diplôme** : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité approfondie

**Année académique** : 2023-2024

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/21021>

---

### *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.*

---

**Modulation des expressions faciales du cheval (*Equus caballus*) par son état émotionnel lors d'une interaction tactile avec l'humain (*Homo sapiens*)**

*par*

Louison CHARRIER



Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de  
Master en Biologie des Organismes et Écologie à finalité approfondie  
Supervisé par Pr. Claude Tomberg et Lucy-Anne de Selliers de Moranville, co-dirigé par  
Fany Brotcorne

Année académique 2023-2024

Université de Liège – Faculté des Sciences  
Département de Biologie, Écologie et Évolution  
Université libre de Bruxelles – Faculté de Médecine  
Unité de Recherche sur le Cerveau

## Résumé

### **Modulation des expressions faciales du cheval (*Equus caballus*) par son état émotionnel lors d'une interaction tactile avec l'humain (*Homo sapiens*)** – Louison Charrier.

Année 2023 - 2024 – Claude Tomberg et Fany Brotcorne

Unité de Recherche sur le Cerveau, Faculté de Médecine ULB

L'état émotionnel d'un individu s'exprime par de nombreuses manières, notamment par la communication non verbale, essentielle dans les interactions interspécifiques telles que les relations humains-animaux. Les expressions faciales, en particulier, représentent d'authentiques signaux, émis sous contrôle involontaire. Elles apportent des informations fiables sur le statut émotionnel, tant chez l'Homme que chez certaines espèces d'animaux non-humains. Chez le cheval, bien que de nombreuses études portent sur les expressions faciales liées à la douleur ou l'inconfort, peu d'analyses ont permis à ce jour de retranscrire des expressions faciales liées à des expériences positives. Cette étude a pour principal objectif d'analyser la modulation des expressions faciales du cheval durant une interaction tactile (IT) avec l'humain et de déterminer si cette modulation est liée à son état émotionnel. Des données ont été collectées auprès de 14 couples humain-cheval, et incluaient divers biomarqueurs physiologiques et comportementaux : les expressions faciales, la posture, le taux de cortisol salivaire et la fréquence cardiaque. Le protocole expérimental a été divisé en trois sessions de 3 minutes chacune, filmées, avant, pendant et après l'IT. Les expressions faciales ont été étudiées selon l'EquiFACS, une méthodologie dérivant du *Facial Action Coding System* (FACS), proposée en 1976 par le psychologue Paul Ekman. Les résultats confirment une modulation de certaines expressions faciales, notamment une augmentation de la durée et de la fréquence du *lip pucker* (AU18) pendant l'IT, seule expression décrite dans la littérature comme étant associée à un état émotionnel positif chez le cheval. De plus, il est établi que l'IT reflète un investissement attentionnel de la part du cheval envers sa propriétaire, bien que le manque de données ne permette pas de conclure catégoriquement quant à la valence émotionnelle que représente l'interaction. Cette étude nécessiterait d'être approfondie, en comparant notamment les résultats avec ceux observés chez l'humain, afin d'explorer la possibilité d'une contagion émotionnelle.

## Remerciements

Je souhaite avant tout exprimer mes sincères remerciements au Professeure Tomberg pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser mon mémoire au sein de l'ULB. Merci pour ce sujet passionnant, pour la confiance accordée et pour tous les conseils apportés lors de la rédaction de ce rapport. Je suis également reconnaissante pour le partage d'expérience propre au monde du cheval.

Un grand merci à Lucy pour sa bonne humeur, sa bienveillance et son sourire constant, sans lesquels ce stage n'aurait pas été le même. Merci pour tous ses précieux conseils sur la vie bruxelloise et pour avoir généreusement partagé son temps, tant pendant qu'en dehors du stage. Sans oublier, merci à Hector, notre mascotte à quatre pattes !

Je tiens à remercier Fany Brotcorne, ma co-promotrice, pour sa présence, ses conseils et son aide tout au long du stage. Merci également à Alain Hambuckers pour ses précieux conseils en statistiques.

Merci à Émeline Hupkens et Laurence Dewatcher pour l'accès à leurs locaux et pour l'analyse des prélèvements salivaires. Un merci particulier à Émeline pour ses explications concernant le dosage du cortisol. Merci aussi à Charlotte Götz, Mathilde Chevalier et Camille Cagnot, stagiaires et co-équipières, pour leur aide précieuse durant ces quelques mois. Merci également à tous les propriétaires et à leurs chevaux, sans lesquels rien n'aurait été possible.

Je ne remercierai jamais assez mes amis et camarades de Master de l'Université de Liège. Merci pour tous les moments incroyables partagés durant ces trois années, rendant ma vie loin de chez moi plus supportable.

Pour finir, je souhaiterais remercier plus particulièrement mes proches. Merci à mes parents de m'avoir toujours soutenu et poussé à faire ce que j'aime et sans qui rien n'aurait été possible. Merci à mes ami(e)s de longue date, qui, malgré la distance, ont toujours été présents. Et enfin, merci à Nicolas, pour ses encouragements, son amour ainsi que pour son soutien infaillible dans les bons comme les mauvais moments. En espérant te faire découvrir la France comme tu m'as fait découvrir la Belgique.

## Liste des abréviations

AAA = Animal Assisted-Activity

AAT = Animal Assisted-Therapy

ACP = Analyses en Composantes Principales

AD = Action Descriptor

AUs = Action Units

FAUs = Facial Action Units

FC = Fréquence Cardiaque

HAI = Interaction Homme-Animal

HAR = Relation Homme-Animal

IT = Interaction tactile

TC = Fibres tactiles C

# Table des matières

<b>I.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Contexte évolutif des interactions Hommes-Animaux.....</i>	1
1.2	<i>Interaction tactile et HAI : aspects neurophysiologiques et hormonaux .....</i>	2
1.2.1	<i>Introduction au toucher tactile plaisant.....</i>	2
1.2.2	<i>Aspects neurophysiologiques liés au toucher tactile plaisant.....</i>	3
1.2.3	<i>Similitudes hormonales entre touchers affectifs et HAI.....</i>	3
1.3	<i>Relation interspécifique Homme-Cheval .....</i>	4
1.4	<i>Les expressions faciales : miroirs de l'état émotionnel.....</i>	6
1.4.1.	<i>Au cœur du monde émotionnel humain.....</i>	6
1.4.2	<i>Rôle de la latéralisation hémisphérique.....</i>	8
1.4.3	<i>À travers le monde émotionnel équin.....</i>	9
1.5	<i>Objectifs .....</i>	12
1.6	<i>Hypothèses et prédictions.....</i>	13
<b>II.</b>	<b>Matériels &amp; Méthodes.....</b>	<b>14</b>
2.1	<i>Formation EquiFACS.....</i>	14
2.2	<i>Sujets et sites d'étude .....</i>	14
2.3	<i>Cadre éthique .....</i>	15
2.4	<i>Protocole.....</i>	16
2.5	<i>Répertoires comportementaux équins .....</i>	18
2.6	<i>Analyses comportementales .....</i>	19
2.7	<i>Données et analyses des paramètres physiologiques.....</i>	20
2.7.1	<i>Récoltes et analyses des données hormonales .....</i>	20
2.7.2	<i>Récoltes et analyses des données cardiaques et données biomécaniques .....</i>	21
2.8	<i>Analyses statistiques.....</i>	21
2.8.1	<i>Effet d'une interaction tactile sur la dynamique des expressions faciales .....</i>	22
2.8.2	<i>Corrélations et combinaisons d'AUs .....</i>	23
2.8.3	<i>Effet des traits individuels sur la dynamique des FAUs.....</i>	24
2.8.4	<i>Importance des paramètres biomécaniques dans la prédiction des FAUs.....</i>	24
2.8.5	<i>Résultats des divers biomarqueurs comportementaux et physiologiques et leurs effets sur les occurrences et pourcentage de temps des FAUs.....</i>	25
<b>III.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>26</b>
3.1	<i>Caractéristiques générales des AUs .....</i>	26
3.2.	<i>Effet d'une interaction tactile sur les occurrences et durées des FAUs .....</i>	26
3.3	<i>Corrélations entre AUs .....</i>	28
3.4	<i>Effet des traits individuels sur les occurrences et durées des FAUs.....</i>	32
3.5	<i>Influence des paramètres biomécaniques sur la dynamique des FAUs.....</i>	33
3.6	<i>Modulations des biomarqueurs comportementaux et liens avec les FAUs.....</i>	34

3.6.1 Liens entre la dynamique des FAUs et la posture en IT .....	34
3.6.1.1 Positions de la queue.....	34
3.6.1.2 Hauteur et orientation d'encolure.....	34
3.6.1.3 Positions des oreilles.....	35
3.6.2 Liens entre la dynamique des FAUs et les comportements oculaires en IT.....	36
3.7 Modulations des biomarqueurs physiologiques et liens avec les FAUs .....	37
3.7.1 Résultats des paramètres cardiaques et du dosage du cortisol .....	37
3.7.2 Liens entre la dynamique des FAUs et les biomarqueurs physiologiques en IT.....	37
<b>IV. Discussion .....</b>	<b>38</b>
4.1 Modulations générales des expressions faciales.....	38
4.2 Exclusion du stress, de la douleur et de l'inconfort en tant que modulateurs des expressions faciales.....	38
4.3 La part des traits individuels dans la variation des expressions faciales .....	39
4.4 Activation et valence de la composante émotionnelle.....	41
4.5 Limites et perspectives .....	44
<b>V. Conclusion.....</b>	<b>47</b>
<b>VI. Références .....</b>	<b>48</b>
<b>VII. Annexes .....</b>	<b>59</b>

# I. Introduction

## 1.1 Contexte évolutif des interactions Hommes-Animaux

L'espèce humaine, au fil de son évolution, a toujours dépendu des animaux pour assurer sa survie. Les relations entre humains et animaux domestiques ont pour la plupart pris naissance par une nécessité fonctionnelle, évoluant au fil du temps vers des liens émotionnels profonds. Les vestiges d'art rupestre suggèrent que la plus ancienne relation Homme-Animal (HAR) remonte à environ 14 000 ans, marquant le début de la domestication du chien (Compitus, 2021). Par la suite, d'autres espèces, y compris le cheval, ont suivi le même processus. Le terme domestication, dérivé du latin « *domus* » signifiant « maison » (Grandgeorge & Hausberger, 2011), souligne à quel point les humains ont intégré les animaux dans leur foyer, favorisant des relations interspécifiques particulières à travers de nombreux siècles de coévolution (Scopa et al., 2019). Aujourd'hui encore et plus que jamais, les animaux font partie intégrante de toutes les sociétés humaines.

L'étude des interactions Hommes-Animaux (HAI) se découvre à travers un tout nouveau champ d'étude appelé anthrozoologie, qui mêle les domaines sociaux, culturels, évolutifs et psychologiques. L'anthrozoologie, issue du grec « *anthropos* » (humain) et « *zoon* » (animal), étudie de près les associations entre les individus humains et les animaux à travers toute leur diversité : animaux sauvages, de compagnie, de thérapie, d'élevage, de zoo ou encore de laboratoire (McCune et al., 2012). Différents concepts définissent aujourd'hui les HAR et HAI. Hinde (1976) a défini une relation comme étant une succession d'interactions entre deux individus, considérant ces interactions comme des éléments fondamentaux de la structure sociale. Une interaction fait donc référence à une action brève dans le temps et à « une séquence dans laquelle l'individu A montre un comportement X à l'individu B, ou A montre X à B et B répond par Y » (Hinde, 1976). D'après le *Human-Animal Bond Research Institute* (HABRI, 2023), la relation qui unit l'humain et l'animal est « une relation mutuelle, bénéfique et dynamique entre les individus et les animaux, influencée par des comportements essentiels à la santé et au bien-être de chacun. »

La reconnaissance du bien-être animal, défini comme l'état mental et physique positif lié à la satisfaction et les attentes des besoins physiologiques et comportementaux de l'animal

(ANSES, 2018), est récemment devenu un enjeu majeur. Cela permet d'améliorer les HAR vers des relations plus positives, ce qui offre une multitude d'avantages pour la société en général. En effet, ces dernières années, une forme d'HAI particulière a pris une place majeure dans le domaine de la santé publique. La thérapie assistée par l'animal (AAT) ainsi que les activités assistées par un animal (AAA) sont largement reconnues aujourd'hui pour être deux des nombreuses manières dont les animaux permettent d'améliorer la santé d'un individu (Friedman & Krause-Parello, 2018). L'AAT implique la participation d'un animal lors d'une intervention médicale, lorsqu'une personne est dans un régime thérapeutique, soumis à des objectifs et résultats spécifiques. L'AAA, quant à elle, ne dispose pas de protocole commun. Cette méthode base ses attentes sur la simple présence de l'animal à apporter des avantages immédiats à l'individu (Friedman & Krause-Parello, 2018). Il peut être d'usage également de parler des animaux de support émotionnel (ESA), définis comme des animaux améliorant la condition d'une personne souffrant de maladie mentale (Compitus, 2021), ou confrontée à une situation stressante (p.ex. les chiens d'assistance judiciaire).

Toutes ces HAI assistées par l'animal sont basées sur le lien émotionnel et la relation entre l'animal, le patient et le professionnel de santé réalisant l'intervention (Scopa et al., 2019). Ainsi, il est certain que la présence d'un animal et l'interaction avec celui-ci apportent des bénéfices au quotidien d'une personne, notamment en termes d'affection et de compagnie. Bien que les bienfaits des HAI soient reconnus aujourd'hui, les mécanismes biologiques sous-jacents par lesquels la présence animale améliore l'état émotionnel humain sont encore mal connus.

## *1.2 Interaction tactile et HAI : aspects neurophysiologiques et hormonaux*

### *1.2.1 Introduction au toucher tactile plaisant*

Le sens du toucher chez l'humain se distingue incontestablement comme le sens le plus fondamental (Mazô-Darné, 2006). Apparaissant dès le troisième mois de la vie utérine, il fait de la peau le premier organe humain à se développer (Mazô-Darné, 2006). Le toucher est un intensificateur de communication liée aux émotions, intensifiant les manifestations émotionnelles (Hertenstein et al., 2006). Son rôle revêt une importance cruciale dans l'expérience sociale, notamment dû à son fort pouvoir érogène et à son rôle dans la formation de liens affectifs par le biais du toucher affectif. Plusieurs études ont souligné l'importance du toucher affectif, notamment dans le contexte des relations familiales et dans le développement de l'enfant. Une expérience menée par Harlow en 1958, bien que largement critiquée pour des

questions éthiques, a démontré que des bébés macaques rhésus, séparés de leurs mères, manifestaient une préférence pour des faux substituts maternels recouverts de fourrure douce plutôt que pour des substituts sans fourrure, mais pourvus de nourriture, suggérant l'importance d'un contact particulier entre l'enfant et la mère.

### *1.2.2 Aspects neurophysiologiques liés au toucher tactile plaisant*

Le toucher tactile plaisant, ou toucher affectif, réfère à l'activation des fibres tactiles de type C. Il caractérise le contact physique entre individus qui est donné avec une signification ou une intentionnalité particulière, symbolisant par exemple la sécurité et le réconfort (Bendas & Croy, 2021). Les fibres tactiles de types C sont des fibres nerveuses non myélinisées à conduction lente (1 à 10 cm/s) localisées dans la peau velue. Longtemps décrites uniquement chez les animaux non-humains, notamment chez les chats ou les primates (Bessou et al., 1971 ; Kumazawa & Perl, 1977), de récentes recherches ont permis de démontrer qu'elles existent également, bien qu'en plus faible quantité, dans la peau glabre de la main humaine (Watkins et al., 2021). Elles facilitent le contact interpersonnel lorsqu'elles sont stimulées par un toucher lent (Bendas & Croy, 2021). Des imageries par résonance magnétiques (fMRI) indiquent qu'elles projettent vers la région du cortex insulaire qui régit le traitement émotionnel et social (Olausson et al., 2002, 2010). Chez les animaux non-humains, il est plus courant de parler de toucher social plutôt que de toucher affectif, dû à la difficulté de démontrer la composante émotionnelle. Ce toucher social active les mécanorécepteurs à bas seuil C (C-LTMR), homologues des TC humaines (Bohic & Abaira, 2022). Ce toucher social peut se référer au toilettage entre congénères souvent observé chez les espèces sociales, appelé *grooming*, bien qu'aucune étude ne puisse affirmer aujourd'hui que le *grooming* soit activateur des C-LTMR.

### *1.2.3 Similitudes hormonales entre touchers affectifs et HAI*

Le toucher tactile plaisant jouerait un rôle majeur dans la libération d'ocytocine (OT) et modulerait les réponses physiologiques et neuronales à des événements stressants. L'OT est une neurohormone nonapeptidique synthétisée dans l'hypothalamus et impliquée dans plusieurs mécanismes. Elle est impliquée dans les processus liés à l'attachement affectif, le contrôle des émotions ou encore les comportements sexuels et parentaux (Lefèvre et al., 2021). Une étude a démontré que des femmes recevant un réconfort physique de leur partenaire avant un stress aigu présentaient des niveaux de cortisol salivaires et une augmentation de la FC significativement

plus faibles que des femmes seules (Kidd et al., 2022). En outre, Holt-Lunstad et al. (2008) ont démontré que le contact chaud lors d'une interaction tactile avec un partenaire entraînait une réduction significative de la pression artérielle, soulignant l'importance du toucher affectif sur la santé cardiovasculaire.

Selon Beetz et al. (2012), les HAI activeraient le système médié par l'OT et joueraient sur les aspects physiologiques de manière similaire aux touchers affectifs entre humains. Une étude de Pop et al. (2014) démontre que les HAI positives sont généralement associées à une diminution significative de la pression artérielle et des taux de cortisol, biomarqueurs principaux dans l'évaluation du stress physiologique, ainsi qu'à une augmentation significative des taux de bêta-endorphine, d'OT, de prolactine, d'acide phénylacétique et de dopamine. Le stress physiologique réfère aux réponses biologiques à travers les variations de pression artérielle et de fréquence cardiaque (Ein et al., 2018). Ce stress peut être mesuré également par prélèvement du cortisol, hormone stéroïdienne produite par les glandes surrénales, dont la sécrétion est contrôlée par l'ACTH (hormone corticotrope). Le cortisol participe à la régulation du métabolisme en cas de stress. Une interaction positive entre un animal et un humain induirait donc une diminution du taux de cortisol chez l'Homme, comme indiqué dans une étude par Handlin et al. (2011) sur des interactions entre propriétaires et leurs chiens. Outre la réduction du cortisol, cette interaction positive a également conduit à une diminution de la FC et à une augmentation du taux d'OT chez le propriétaire. Chez le chien en revanche, bien que l'étude démontre également une hausse de la concentration en OT, le taux de cortisol montre une augmentation pendant l'interaction avec son maître, attribuable non au stress, mais à l'initiation d'une activité physique (Handlin et al., 2011). Enfin, il semble que l'augmentation d'OT provoquée par un contact physique avec un animal dépende fortement de la qualité de la relation entre l'animal et l'humain. Caresser son propre chien libère plus d'OT qu'un chien familier chez l'Homme et chez le chien (Beetz et al., 2012).

### *1.3 Relation interspécifique Homme-Cheval*

Le cheval est un mammifère faisant partie de la famille des *Equidae* et appartenant au genre *Equus*. *Equus caballus*, le cheval actuel, est le descendant d'une longue lignée évolutive qui remonte à plus de 60 millions d'années. Les chevaux auraient été domestiqués par les humains il y a environ 6 000 ans dans les steppes Eurasiennes (Goodwin, 2007). Bien que domestiqués des centaines d'années après le chien et d'autres animaux d'élevage tels que les

moutons, les chèvres ou les vaches, c'est l'animal domestique qui a le plus impacté les civilisations humaines (Fang & Li, 2022). À la suite de sa domestication, le cheval a considérablement amélioré l'histoire de l'Homme, notamment par facilitation des conditions de transport et par contribution aux efforts de guerre (Orlando, 2020).

Aujourd'hui, on dénombre environ 60 millions de chevaux sur la planète. Selon l'IFCE (Decouty & Engelsens, 2017), la Belgique se classe première sur le podium européen de la concentration de chevaux au km<sup>2</sup> avec 11,5 chevaux/km<sup>2</sup>. Dédiés pour la plupart au loisir et à l'utilisation sportive dans les pays les plus développés, les chevaux remplissent néanmoins toujours leurs rôles traditionnels dans les pays les plus défavorisés, notamment pour le transport ou le travail agricole (Orlando, 2020). La diversité d'usages dans le monde équin offre une grande variété de praticiens, tant professionnels que non-professionnels, allant du cavalier de loisir au maréchal-ferrant en passant par le vétérinaire ou encore l'éleveur. Par conséquent, une interaction humain-cheval peut se manifester sur une période courte et occasionnelle ou dans le cadre d'un lien à long terme entre un propriétaire et son cheval (Hausberger et al., 2008).

Ainsi, dans une dyade humain/cheval, maintenir et entretenir la confiance sont essentielles, la réciprocité et le soutien mutuel étant des éléments clés à l'établissement d'une relation solide et positive (Maurstad et al., 2013 ; Birke & Hockenhull, 2015). Les propriétaires d'équidés considèrent souvent leurs chevaux comme des amis et des partenaires, les reconnaissant avant tout comme des individus à part entière qui ne parlent pas la même langue (Birke, 2008).

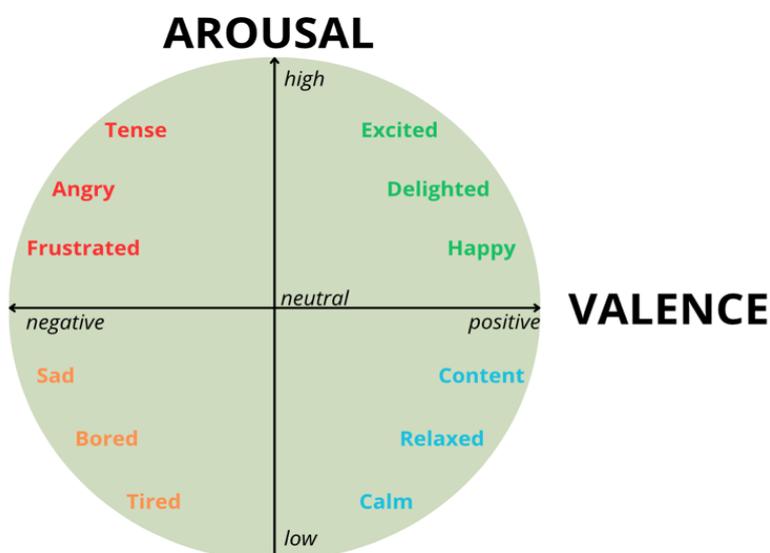
À l'instar du chien qui reste majoritairement le plus mentionné, le cheval peut également être impliqué dans les thérapies à destination de la santé humaine. Les interventions équines assistées (EAI) sont devenues des pratiques très populaires. Les EAI englobent plusieurs méthodologies et approches pour améliorer le bien-être humain à travers l'utilisation de chevaux, telles que la thérapie assistée équine (EAT) ou l'activité équine assistée (EAA) (Scopa et al., 2019). D'une manière plus générale, il est courant de parler d'équithérapie ou d'équitation thérapeutique. L'équithérapie apporte de nombreux bienfaits, dans divers domaines : moteur, cognitif, psychologique, social et neurologique (White-Lewis, 2019). Elle favorise le développement de divers aspects fonctionnels, notamment chez les enfants souffrant de troubles neurologiques, confrontés à des handicaps moteurs, cognitifs et sociaux (Bass et al., 2009). Le cheval s'avère être également un excellent médiateur pour les individus anxieux ou atteints de troubles du spectre autistique (O'Haire, 2012). Contrairement aux chats et aux chiens, les chevaux sont des animaux de proie, ce qui les rend vulnérables. Leur survie dépend ainsi

principalement de leur groupe social. Par conséquent, ce sont des êtres sociaux sensibles au langage corporel, y compris celui des humains. Cette réactivité naturelle leur permet de fournir une rétroaction, facilitant ainsi les processus thérapeutiques (Burgon et al., 2017). L'animal va promouvoir les interactions sociales, la communication, et participer à la réduction du stress et des symptômes autistiques.

## 1.4 Les expressions faciales : miroirs de l'état émotionnel

### 1.4.1 Au cœur du monde émotionnel humain

Tout au long de sa vie, les émotions vont jouer un rôle central dans la façon dont un individu va façonner ses pensées, ses actions et ses relations. Fascinant produit de la fonction cérébrale, l'expression des émotions implique des mécanismes cérébraux qui présentent de grandes similitudes entre des espèces très distinctes, suggérant qu'elles reposent sur des principes universels. Les émotions vont affecter le corps dans son entièreté en induisant des réactions motrices, somatiques et biochimiques (Zych & Gogolla, 2021). La définition des émotions suscite de nombreux débats et controverses parmi la communauté scientifique, notamment dans les domaines des neurosciences, de la psychologie et de la philosophie (Zych & Gogolla, 2021). Selon le psychologue Ekman (1992), chez l'Homme « les émotions sont des réponses psychophysiologiques complexes, caractérisées par des modèles distinctifs d'expressions faciales, de réponses corporelles, de changements dans la cognition et de tendances comportementales ». Il distingue aujourd'hui sept émotions universelles, qu'il appelle également émotions discrètes ou basales. Ces émotions sont la peur, le dégoût, la surprise, la colère, la joie, le mépris et la tristesse (Paul Ekman Group, LLC, 2024).



Au fil de leur existence, les humains et de nombreuses espèces animales sont susceptibles de vivre diverses expériences émotionnelles. Russell est le premier à avoir proposé un modèle en 1980 pour classer ces expériences en les décrivant selon deux dimensions. D'une part, la valence, qui spécifie le degré de négativité ou de

**Figure 1** : Schéma de la dimension émotionnelle vue par Russell (1980).

positivité associé à un événement, et d'autre part, *l'arousal*, aussi défini comme le niveau d'éveil, qui mesure l'intensité de l'événement, allant de très apaisant à très excitant (Kensinger & Schacter, 2006 ; Guerdelli et al., 2022) (**Figure 1**).

Lors d'interactions humaines, il existe diverses manières pour un individu de transmettre son état émotionnel à un autre. Parmi celles-ci, la communication non verbale revêt une importance particulière, impliquant la transmission d'indices tels que les expressions faciales, postures, gestes et contacts visuels. Les expressions faciales, du fait de leur universalité et de leur flexibilité, sont le reflet de l'état émotionnel par excellence. Elles font référence aux mouvements visibles du visage, sous-tendus par l'activité spécifique de certains muscles (Klingner & Guntinas-Lichius, 2023). Ce sont d'importants indicateurs qui jouent un rôle crucial dans les interactions sociales, fournissant des signaux visuels pour interpréter les états émotionnels à travers les visages humains (Han et al., 2023). Le visage humain est capable d'exprimer des émotions bien avant que la personne les ait verbalisées, ou encore même en ai pris conscience (Tian et al., 2001). On peut distinguer deux catégories d'expressions faciales qui diffèrent selon leur durée dans le temps. Il s'agit des macros et des micro-expressions. Les macro-expressions sont des expressions faciales générales d'une durée allant de 0,5 à 4 secondes (Qu et al., 2016). Les micro-expressions, quant à elles, sont des expressions faciales résultantes d'une très rapide contraction des muscles du visage, sous contrôle involontaire et de l'ordre de maximum 500 millisecondes (Tomberg et al., 2023). Selon Ekman (Paul Ekman Group, LLC, 2024), ce sont elles qui sont le répertoire d'émotions intenses.

Au sein des expressions faciales, un biomarqueur en particulier a fait longtemps l'objet d'études et d'analyses approfondies : les clignements d'œil. Ce sont de rapides mouvements de la paupière qui ouvrent et ferment la fessure palpébrale (Cruz et al., 2011). Ce mécanisme est indispensable pour la santé des tissus de la surface oculaire en maintenant une couche optimale du film lacrymal (McMonnies, 2010). Il existe trois types de clignements : volontaires, réflexes (mécanisme défensif) et spontanés (sans stimulation ni volonté (Maffei & Angrilli, 2018)). De nombreuses études suggèrent une corrélation entre le taux de clignements spontanés et l'activité dopaminergique, neurotransmetteur lié à la motivation et au comportement. Bien que cette relation soit encore mal comprise, il semble que la fréquence des clignements augmente avec l'activité dopaminergique lors d'une manipulation expérimentale chez des sujets sains (Jongkees & Colzato, 2016).

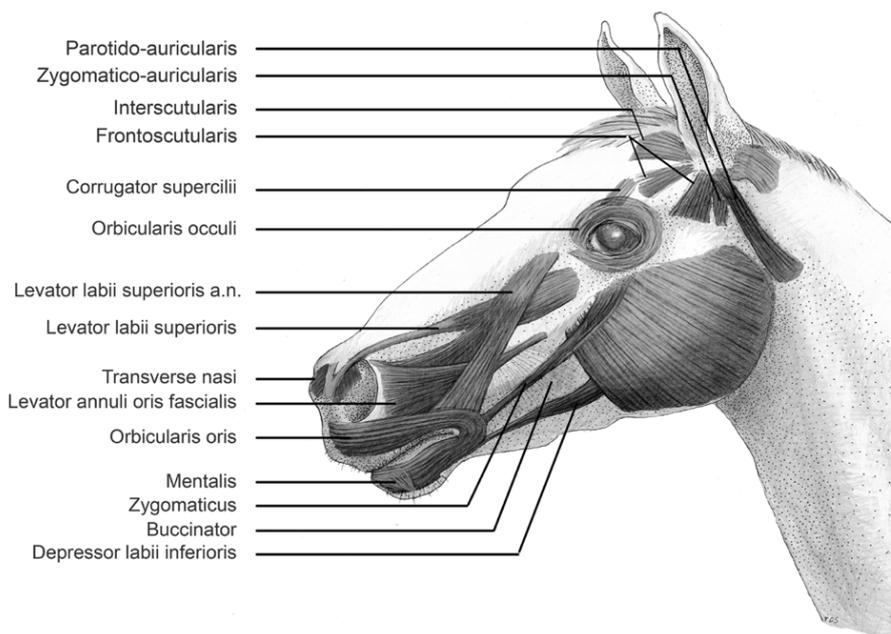
Afin de faciliter leur compréhension, un outil majeur dans l'analyse et la classification des expressions faciales a vu le jour en 1978. Il s'agit du « *Facial Action Coding System* » (FACS). Cette méthodologie est issue des analyses des bases anatomiques des mouvements des muscles faciaux (Ekman & Friesen, 1976). Ce système identifie et catégorise des unités d'action faciale (*Action Units* – AUs et/ou *Facial Action Units* - FAUs) qui composent les différentes expressions faciales. Chaque AU est associée à un numéro et représente un mouvement spécifique produit par la contraction ou détente d'un ou plusieurs muscles. Le FACS code également des *Action Descriptors* (ou ADs) pour des mouvements plus généraux où les bases musculaires ne peuvent pas être identifiées précisément (Ekman et al., 2002). Chez l'humain, un total de 27 AUs différentes ont été définies (Ekman et al., 2002) et plus de 7 000 combinaisons d'AUs et d'ADs ont été observées (Tian et al., 2001). Il est assez simple de décoder les expressions faciales chez l'humain et de comprendre l'état émotionnel sous-jacent sans être formé sur le FACS, en particulier grâce aux divers mouvements de la bouche et des lèvres. Cet outil est largement devenu essentiel dans la détection des expressions faciales humaines et, à ce jour, de nombreux logiciels (p.ex *FaceReader* de ® Noldus) ont été développés pour les coder automatiquement.

#### *1.4.2 Rôle de la latéralisation hémisphérique*

De nombreux travaux en neuropsychologie attestent d'une asymétrie expressive du visage humain. Il est rare pour un être humain de posséder un visage parfaitement symétrique, et ce, également lors de la manifestation d'expressions faciales. De même, il est bien connu que les deux hémisphères du cerveau humain divergent dans leurs fonctions. Paul Broca est le premier à avoir proposé une latéralisation du cerveau dans les années 1860 et Hughlings-Jackson à avoir introduit l'idée que les émotions seraient contrôlées par l'hémisphère droit en 1874. Les recherches confirment que les muscles faciaux du côté gauche du visage bougent plus intensément (par leur contraction ou leur détente) que ceux du côté droit lors de l'expression d'un état émotionnel par un individu (Lindell, 2018). L'hémisphère droit est impliqué dans le contrôle de réactions émotionnelles spontanées et produirait des mouvements plus importants du côté gauche du visage innervé contra latéralement, comparé au côté droit (Dimberg & Petterson, 2000). Ces différences hémifaciales sont retrouvées également chez les primates non-humains. Cela confirme que la latéralisation hémisphérique, autrefois considérée comme un trait exclusivement humain, se retrouve à travers le royaume animal (Lindell, 2013).

Chez le cheval, le placement latéral des yeux et sa presque complète décussation du nerf optique reflètent une tendance à des comportements latéralisés (Brooks et al., 1999). Selon l'étude de Smith et al. (2016), les équidés afficheraient des biais de l'hémisphère droit envers des stimuli négatifs, tels que des photos de visages humains exprimant une expression faciale colérique, par un regard accru de ces images avec l'œil gauche. De même, la tendance à observer un nouvel objet induisant la peur serait latéralisée chez les chevaux, l'œil gauche étant principalement utilisé pour regarder le stimulus négatif (De Boyer des Roches et al., 2008). Ce biais de regard envers des stimuli négatifs est également retrouvé chez les chiens (Racca et al., 2012). Ce traitement de stimuli induisant des réponses émotionnelles à valence négative par l'hémisphère droit semble être retrouvé chez de nombreuses espèces de vertébrés (Rogers & Andrew, 2002). Néanmoins, peu d'études à ce jour démontrent qu'il existe un biais de regard concernant des stimuli positifs. Certains articles émettent l'hypothèse que l'hémisphère gauche dominerait dans la perception d'émotions positives (Gainotti, 2018 ; Siniscalchi et al., 2021), mais les recherches nécessitent d'être approfondies à ce sujet.

#### 1.4.3 À travers le monde émotionnel équin



**Figure 2 :** Schéma des muscles faciaux du cheval (Wathan et al., 2015).

Le cheval est un mammifère des plus sensibles et des plus émotifs (Goodnight, 2007).

Doté d'un système musculaire facial particulièrement riche et complexe (**Figure 2**), c'est un excellent sujet pour étudier la variation des mouvements musculaires faciaux. Ceci est majoritairement dû au fait qu'il s'agit d'une espèce principalement visuelle, communiquant majoritairement

par le langage corporel. Espèce proie à l'instinct grégaire, le cheval est maître dans le décodage de signaux d'avertissement, essentiellement posturaux et faciaux, émis par leurs congénères en cas de danger.

Chez les espèces sociales telles que les chevaux, l'expression des émotions joue un rôle primordial, car elle facilite le fonctionnement du groupe et la cohésion entre les membres (Waller & Micheletta, 2013). Lorsqu'ils ne subissent pas les contraintes de la domestication, les chevaux présentent une dynamique similaire à celle observée chez l'Homme et certaines espèces de primates non-humains, adoptant une structure sociale de type fission-fusion. Cette organisation se caractérise par la formation de sous-groupes au sein de la société, où les membres partagent l'espace et les ressources, impliquant ainsi que les individus viennent souvent au contact des uns des autres (Waring, 1983). Les interactions tactiles chez les chevaux sont un moyen de communication largement retrouvé en communauté. Celles-ci peuvent se manifester de plusieurs sortes telles que le *grooming* qui reste la forme la plus majoritaire. Cela permet de renforcer les liens sociaux entre membres du groupe (Vidament et al., 2018). Cette dynamique nécessite la capacité de déployer un large panel d'expressions faciales et d'être capable, en retour, de discriminer celles de leurs congénères. Ces compétences sont nécessaires pour garantir un environnement social optimal (Wathan et al., 2015 ; Wathan & McComb, 2014).

Plusieurs études démontrent que chez les chevaux, les expressions faciales sont corrélées à divers aspects du comportement et peuvent moduler également des aspects physiologiques. Ainsi, des expressions faciales positives de congénères induisent davantage de comportements d'approches et tendent à réduire la FC (reflétant un état de relaxation accru), tandis que des expressions faciales agonistiques suscitent davantage de comportements d'évitement et tendent à augmenter la FC (Wathan et al., 2016). Dû aux nombreux processus de domestication, il semble évident que les animaux domestiques ont développé des habilités sociales pour améliorer leurs communications interspécifiques avec les humains. Il a été largement démontré que l'état émotionnel humain a un impact sur les mammifères domestiques, et que ceux-ci possèdent des compétences sociocognitives permettant de reconnaître et de discriminer les émotions humaines, à travers les expressions faciales notamment (Jardat & Lansade, 2021). Comme avec leurs congénères, les chevaux vont réagir au langage corporel humain, qu'il soit intentionnel ou non (Goodwin, 2007), et sont capables de distinguer les visages humains exprimant des émotions positives de celles négatives. De manière similaire aux interactions intraspécifiques, la FC sera plus importante en réaction à une expression faciale humaine négative (Smith et al., 2016), ce qui suggère que les mêmes mécanismes soient impliqués dans les interactions humains-chevaux qu'avec leurs conspécifiques (Nakamura et al., 2018). Jardat et al. (2023) ont démontré que les chevaux sont capables de discriminer les

expressions de joie et de tristesse émises par les visages humains, et sont, de ce fait, plus attirés par des expressions faciales joyeuses.

Récemment, le système FACS s'est étendu au-delà des frontières humaines pour s'appliquer chez certaines espèces animales. Il est désormais possible de coder les expressions faciales chez huit espèces de mammifères : chiens, chats, chevaux, gibbons, chimpanzés, ouistitis, orang-outan, macaques. Ces FACS se basent sur le système humain originel et comparent l'anatomie musculaire faciale avec l'espèce considérée. Les mêmes AUs peuvent être retrouvées chez l'humain et chez l'espèce en question. Ainsi, si le mouvement retrouvé chez l'animal est le même que chez l'humain, mais sous-tendu par un muscle ou un groupe de différents muscles, le code de l'AU sera précédé d'un 1. Si le mouvement général est exécuté par le même muscle mais produit une action différente, une lettre propre à l'espèce précédera le code AU (p.ex. : AUH13 pour le cheval). Enfin, si un mouvement n'est pas retrouvé chez l'Homme, une nouvelle AU sera créée.

Chez le cheval domestique, on dénombre 17 AUs et 27 ADs. Bien que cela reste moins que chez l'humain, c'est plus que chez certains animaux pour lesquels le FACS a été développé, comme le chimpanzé qui ne possède que 13 AUs (Wathan et al., 2015). L'EquiFACS est un excellent outil permettant en parallèle d'évaluer le bien-être des chevaux. De récentes études ont mis en évidence une corrélation entre plusieurs AUs et l'expression de la douleur chez les chevaux et de nombreuses « échelles de douleur » ont vu le jour. Plusieurs expressions faciales sont aujourd'hui bien connues pour être liées à des situations de douleur, de stress ou d'inconfort chez le cheval. Une étude de Lundblad et al. (2020) a démontré que l'AD1 (*eye white increase*), l'AD38 (*nostril dilator*), l'AU101 (*inner brow raiser*), l'AU5 (*upper lid raiser*) et l'AD19 (*tongue show*) étaient indicateurs de stress chez le cheval. Parallèlement, Rashid et al. (2020) ont montré que l'AU47 (*half blink*), l'EAD104 (*ear rotator*), l'AD38 (*nostril dilator*), l'AU17 (*chin raiser*) et l'AD81 (*chewing*) sont quant à eux indicateurs d'expériences douloureuses. Le *nostril dilator* (AD38) est simultanément exprimé en situation de stress et de douleur. Cette réaction peut s'expliquer par le fait que, lors d'expériences stressantes et douloureuses, la fréquence respiratoire du cheval a tendance à s'accélérer. La douleur et le stress étant étroitement liés, la douleur pourrait induire également un stress émotionnel, ce qui expliquerait l'apparition de ce descripteur d'action dans les deux situations (Lundblad et al., 2020).

Qu'en est-il des expressions faciales à valence positive ? Peu d'études attestent d'expressions faciales associées à des expériences positives chez le cheval (Wathan et al., 2015). À ce jour, seules les expériences douloureuses ont été répertoriées et analysées grâce à l'EquiFACS (Lundblad et al., 2020). L'étude des expressions faciales équine lors d'expériences présumées potentiellement plaisantes, telles qu'une interaction tactile avec un humain familier, permettrait d'approfondir les connaissances des signaux liés aux émotions positives.

### *1.5 Objectifs*

Ce mémoire s'inscrit dans un projet visant à identifier les mécanismes biologiques associés aux émotions évoquées par une interaction tactile entre l'humain et le cheval à l'aide de divers biomarqueurs physiologiques, comportementaux et psychologiques. Outre les expressions faciales, d'autres paramètres ont été étudiés pour ce sujet (aussi bien chez l'humain que l'animal), à savoir : les clignements d'yeux, l'activité cardiaque, le dosage hormonal du cortisol salivaire, la biomécanique de l'interaction tactile, la posture générale du cheval et enfin des questionnaires psychologiques à l'attention des propriétaires.

L'objectif principal de ce mémoire sera d'évaluer si l'interaction tactile entre propriétaire et cheval engendre une variation des expressions faciales équine, puis de déterminer si l'état émotionnel du cheval est un facteur modulant cette variation, et, si oui, quelle valence émotionnelle il implique. Le cas échéant, il s'agira d'identifier les autres facteurs responsables.

Afin de pleinement valider cet objectif, une approche pluridisciplinaire mêlant éthologie et physiologie a été menée. Pour cela, différentes étapes ont été mises en place, comme décrites ci-après :

1. Coder précisément chaque expression faciale équine via l'utilisation du manuel EquiFACS, avant, pendant et après l'interaction tactile.
2. Mesurer les taux de cortisol salivaires via des dosages hormonaux avant, pendant et après l'interaction tactile.
3. Évaluer la variabilité cardiaque équine par la mesure de la fréquence cardiaque, avant, pendant et après l'interaction tactile.

4. Mettre en avant d'éventuels liens significatifs entre les traits individuels propres aux chevaux et les expressions faciales équinés.
5. Étudier d'éventuelles corrélations significatives entre les divers biomarqueurs comportementaux et les expressions faciales équinés lors de l'interaction tactile.

### *1.6 Hypothèses et prédictions*

Plusieurs hypothèses et prédictions ont été avancées en lien avec les objectifs cités ci-dessus.

Concernant spécifiquement les expressions faciales, il est attendu que :

1. Le contact tactile entre la propriétaire et son cheval entraîne une variation des expressions faciales équinés pendant l'interaction, en comparaison à leur valeur initiale, avant l'interaction.
2. Le contact tactile entre la propriétaire et son cheval entraîne une réduction des expressions faciales associées au stress, à la douleur et à l'inconfort chez l'animal, au regard de la littérature, pour peu qu'elles soient présentes avant l'interaction.

Concernant de manière générale les biomarqueurs physiologiques, il est attendu que :

3. Le contact tactile entre la propriétaire et son cheval induise une diminution de la concentration du cortisol salivaire et de la fréquence cardiaque chez le cheval.

## II. Matériels & Méthodes

### 2.1 Formation EquiFACS

Pour assurer une reconnaissance et une codification précises de chaque expression faciale équine, une formation a été réalisée au préalable. Il s'agit de la formation EquiFACS (Wathan et al., 2015). Cette formation est présentée sous la forme d'un article scientifique détaillant chaque AU et chaque AD, accompagné de plusieurs vidéos explicatives illustrant les comportements associés. À la fin de la formation, les participants ont la possibilité de passer un test. Ce test implique le codage de vingt vidéos en suivant un *Google Sheet* préétabli par les auteurs de l'article. Les auteurs évaluent ensuite les résultats et décernent une certification aux participants en fonction de leur performance au test. Pour être certifié, il est nécessaire d'avoir au minimum 70 % de bonnes réponses.

### 2.2 Sujets et sites d'étude

Pour cette étude, un total de 14 couples, constitués d'une propriétaire et de son cheval, ont été recrutés. Le recrutement des participantes s'est déroulé via la diffusion d'affiches postées sur les réseaux sociaux, sur le campus Erasme de l'Université libre de Bruxelles, et dans diverses écuries. Toutes les propriétaires participantes à cette recherche étaient exclusivement des femmes, de sexe biologique féminin n'ayant subi aucune transition hormonale vers le genre opposé. Les participantes ont été soumises à différents critères d'inclusion pour assurer une certaine homogénéité au sein de l'échantillon. Les critères d'éligibilité à l'étude sont les suivants : être une femme âgée de 18 à 45 ans, propriétaire d'un cheval âgé d'au moins quatre ans, et ce, depuis au minimum un an. Afin de ne pas biaiser l'étude hormonale avec la chute drastique des hormones féminines due à la ménopause, l'âge maximal a été fixé à 45 ans. Le choix de recruter des participantes de sexe féminin était motivé par la variation existante des taux circulants d'hormones entre homme et femme, et leur possible impact sur le dosage du cortisol, nécessaire pour cette étude.

Par ailleurs, pour des raisons pratiques, il était plus aisé de recruter des femmes pour cette expérience. En Fédération Wallonie-Bruxelles, 82 % de licenciés à la pratique équestre sont des femmes (Fédération Wallonie-Bruxelles & Adepts, 2020).

Elles ne devaient également pas présenter de maladie auto-immune dû au risque d'assèchement de la bouche, ne pas prendre d'antihistaminiques, antipsychotiques ni antidépresseurs, ne pas être enceintes et ne pas avoir accouché dans l'année précédant l'étude. Finalement, pour des raisons de préservation des échantillons, il était impératif que l'écurie où résidait le cheval soit située à une distance maximale d'une heure de route du laboratoire, situé sur le campus Erasme de l'Université libre de Bruxelles.

Concernant les chevaux, seul l'âge était le critère restrictif. Celui-ci a été fixé au seuil minimal de 4 ans, garantissant ainsi la participation de chevaux adultes uniquement. Dans le monde équestre, les discussions autour de la pratique sportive des chevaux suscitent souvent des débats, concernant notamment l'âge de la maturité squelettique du cheval. On estime que 98% de la taille adulte du cheval est atteinte à l'âge de deux ans (Rogers et al., 2021). De plus, selon l'article 225.2 du chapitre VI du règlement général et d'ordre intérieur de la Ligue Équestre Wallonie Bruxelles Asbl (2021), « les équidés doivent être âgés d'au moins 4 ans pour participer à un concours ».

5 hongres et 9 juments ont participé à l'étude, avec un poids et âge moyen respectivement de  $510 \pm 96$  kg et  $12 \pm 4$  ans. Au total, 13 écuries différentes ont été visitées. Toutes les données concernant les caractéristiques des chevaux sont reprises en **Annexe 1**.

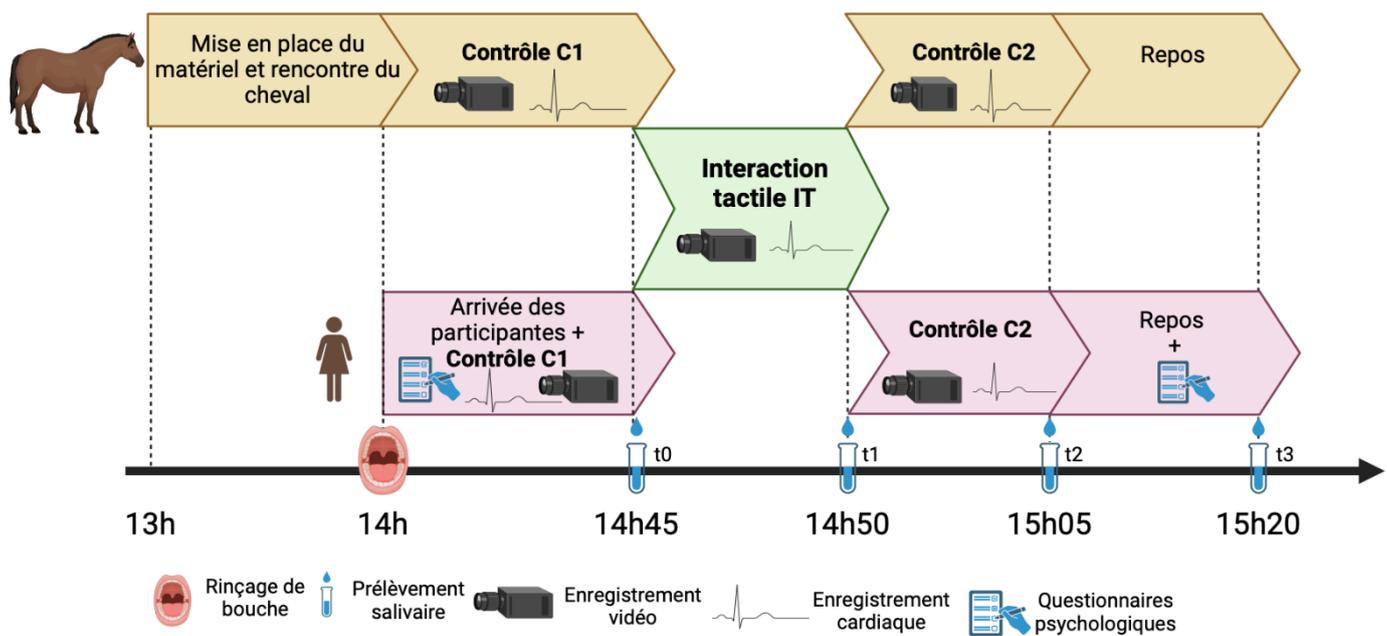
### *2.3 Cadre éthique*

Toutes les étapes de l'expérimentation ont été conduites dans le respect des normes éthiques et avec le consentement de la propriétaire du cheval. Les protocoles expérimentaux et les questionnaires psychologiques ont été approuvés par le Comité d'éthique Erasme le 16/01/2024 et le Comité d'expérimentation animale de l'Université de Liège le 16/12/2022, en conformité avec la législation européenne et le droit belge régissant les études non invasives sur les animaux. Les données recueillies ont entièrement été rendues anonymes.

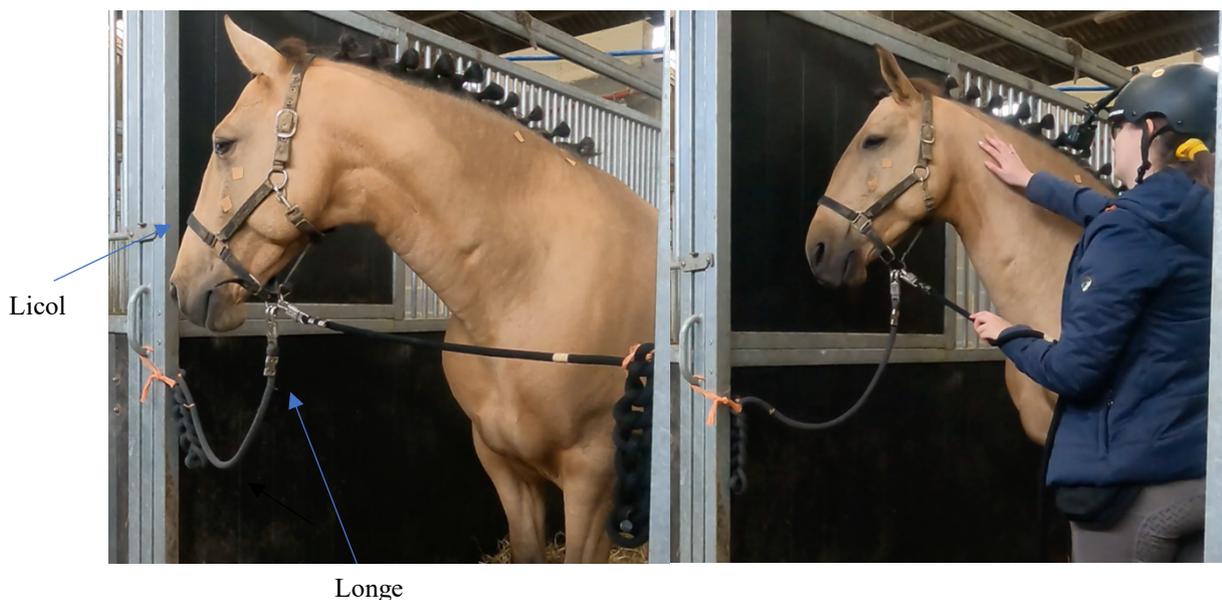
## 2.4 Protocole

Les expériences de terrain se sont déroulées tout au long des mois de mars et d'avril 2024. Ces dernières débutaient systématiquement aux mêmes heures (14h00), en raison du cycle circadien des hormones (notamment du cortisol) et avaient une durée moyenne de 1h30. Les consignes suivantes ont été données aux participantes avant le début de l'expérience : elles devaient être à jeun depuis une heure avant l'expérience afin de ne pas contaminer les prélèvements salivaires et s'abstenir de voir leur cheval avant le début de l'interaction. En outre, les participantes n'étaient pas autorisées à fumer avant le déroulement de l'expérience. La bouche du cheval et celle de la propriétaire ont été lavées à l'eau claire 30 minutes avant le premier prélèvement salivaire, pour garantir leur propreté. Les propriétaires ont rempli des questionnaires psychologiques, avant et après l'expérience.

L'expérience a été structurée en trois phases distinctes : un premier contrôle (C1), la phase d'interaction tactile (IT) et un deuxième contrôle (C2) (**Figure 3**). Chacune de ces étapes a été enregistrée sur une durée de trois minutes. Lors de chaque contrôle, cheval et humain ont été filmés séparément, sans interaction possible, dans un endroit calme et familier. Pour le cheval, l'expérience s'est principalement déroulée dans des environnements familiers tels qu'un box, une salle de pansage, la douche, ou tout autre lieu abrité du vent et lumineux, en dehors des horaires de nourrissage. Une période d'habituation au casque portant la caméra a été effectuée pendant la préparation du cheval. Durant les phases C1 et C2, le cheval était attaché par deux longues reliées à son licol de chaque côté, tandis que lors de l'interaction tactile (IT), la longe à gauche était tenue en main par sa propriétaire (**Figure 4**).



**Figure 3** : Schéma du protocole expérimental.



**Figure 4** : Photographies d'un cheval attaché en condition contrôle (à gauche) et tenu par sa propriétaire lors de l'IT (à droite).

Au cours de l'IT, la propriétaire a interagi avec son cheval en lui prodiguant des interactions tactiles sous formes de caresses régulières sur l'avant-main. Les propriétaires étaient invitées à laisser leur cheval bouger librement s'il souhaitait tourner, baisser ou lever la tête. Conformément à la pratique courante de manipuler les chevaux du côté gauche, toutes les vidéos et interactions ont été réalisées de ce côté, afin de minimiser d'éventuelles réactions de stress.

Pendant toute la durée de l'expérience, une vigilance particulière a été maintenue pour détecter les moindres signaux de stress ou d'inconfort, chez le cheval particulièrement. Ces signaux pouvaient se manifester sous la forme d'expressions faciales associées au stress ou à la douleur, d'une augmentation importante et continue de la FC, ainsi que d'éventuelles sudations excessives ou de tremblements. En cas d'observation de ces signaux, l'expérience était automatiquement arrêtée.

Les séquences vidéo ont été filmées à l'aide de quatre caméras différentes : deux caméras JVC (GZ-V500BE et GZ-EX515BBE) ainsi que deux GoPro (Hero7 Black et Hero9 Black). La caméra GZ-V500BE a été utilisée pour enregistrer la posture globale du cheval tandis que la caméra GZ-EX515BBE était dédiée à capturer l'interaction tactile, nécessaire pour la biomécanique. En ce qui concerne les GoPro, elles ont été utilisées afin de filmer les expressions faciales humaines et équines. La Hero7 Black a été positionnée pour filmer l'hémiface gauche du cheval, tandis que la Hero9 Black a été montée sur un casque à l'aide d'une perche pour filmer le visage de la propriétaire. Les deux caméras JVC ont enregistré à une résolution de 1920x1080p, tandis que les GoPro ont capturé en 4K. Toutes les vidéos ont été enregistrées à une fréquence de 30 images par seconde, excepté une fréquence d'images de 50 images par seconde pour la caméra dédiée à la biomécanique.

## *2.5 Répertoires comportementaux équins*

Cette étude comprenait plusieurs répertoires comportementaux : les expressions faciales, les clignements d'yeux ainsi que la posture du cheval (intégrant la position de la queue, des oreilles et de l'encolure).

Les expressions faciales équines ont été analysées à l'aide d'un répertoire comportemental complet (**Annexe 2**). Celui-ci a été réalisé en se basant sur l'EquiFACS de Wathan et al., 2015. En raison du nombre important de FAUs à décrire et par limite de temps, une sélection d'AUs et d'ADs a été effectuée. Ainsi, l'étude se concentre principalement sur les AUs et ADs du bas de la face équine. Au total, 30 AUs et ADs ont été analysés, à droite (R) et à gauche (L).

Les clignements des yeux du cheval ont fait l'objet d'une attention particulière. Ceux-ci sont décrits dans un éthogramme spécifique (**Annexe 3**) et ont été analysés par Camille

Cagnot (étudiante en M2 Neurosciences à l'Université de Caen). Trois types de clignements ont été étudiés : le clignement (*blink*), le demi-clignement (*half blink*) et la fermeture de l'œil (*eye closure*). Le *blink* et le *eye closure* suivent trois étapes successives : abaissement de la paupière, œil fermé et soulèvement de la paupière. Le *half blink* se distingue par l'absence de fermeture complète de l'œil. La différenciation principale entre le *blink* et le *eye closure* repose sur la durée du signal, le *blink* ayant une durée inférieure à 0,5 secondes, contrairement au *eye closure* qui persiste plus longtemps.

Enfin, les comportements associés à la posture du cheval ont été analysés par Mathilde Chevalier et Charlotte Götz (étudiantes en M2 Éthologie à l'Université de Toulouse). Ceux-ci sont détaillés en **Annexe 4**. L'encolure a été codée selon deux catégories comportementales : la hauteur et l'orientation. La hauteur de l'encolure a été définie par l'axe horizontal antéro-postérieur. Cinq hauteurs d'encolure ont pu être mises en évidence : encolure très basse, basse, intermédiaire, haute et très haute. L'orientation de l'encolure a été définie par l'axe vertical antéro-postérieur. Cinq orientations ont pu être mises en évidence : encolure orientée à droite, à gauche, alignée dans l'axe antéro-postérieur, tête seule orientée à droite et tête seule orientée à gauche. Concernant les oreilles, cinq positions d'oreilles ont été identifiées : dirigées vers l'avant, sur le côté, asymétriques (une en avant et l'autre en arrière ou sur le côté), vers l'arrière et rabattues en arrière. Enfin, la position de la queue a été définie selon trois hauteurs : haute, intermédiaire et basse.

## 2.6 Analyses comportementales

Les expressions faciales équinnes (comprenant également les clignements des yeux) ainsi que la posture ont toutes été décrites à partir des séquences vidéo des contrôles C1, C2 et de l'interaction tactile (IT). Les enregistrements vidéo ont été analysés manuellement à l'aide du logiciel BORIS (*Behavioral Observation Research Interactive Software*) (version 8.13). BORIS est un logiciel gratuit permettant le codage et l'observation de comportements à partir de ressources vidéo (Friard & Gamba, 2016). Les vidéos ont été visionnées une première fois à vitesse normale, puis plusieurs fois à vitesse x0.100, image par image, afin de coder spécifiquement et précisément chaque expression faciale ainsi que leur durée. Le codage a été réalisé manuellement et en continu, selon la méthode *all occurrence method*, qui implique le

codage de manière exhaustive de chaque comportement. Les comportements peuvent être codés comme des événements, ou bien comme des états.

Une catégorie de non-visibles a été décrite également, codée lorsque : les naseaux et la bouche du cheval sont hors champ (dû aux mouvements de la tête du cheval vers la droite ou la gauche), en cas de contre-jour ou lorsque la caméra fixée sur le casque de la propriétaire vient à passer devant le bas du visage du cheval. Des non-visibles pour les *blinks* ont également été codés, notamment lorsque l'œil gauche du cheval n'est pas visible (flou, tête tournée à droite ou à gauche, œil hors-champ, clignement à la menace...). De manière similaire aux clignements et aux expressions faciales, des comportements non-visibles ont été définis lorsque des comportements associés à la posture ne pouvaient pas être codés. Le seuil limite de non-visibilité a été fixé à 30 %. Au-delà, l'individu était sorti de l'échantillon.

## *2.7 Données et analyses des paramètres physiologiques*

### *2.7.1 Récoltes et analyses des données hormonales*

Durant toute la durée de l'expérience, des échantillons salivaires ont été prélevés chez le cheval et sa propriétaire à l'aide de Salivettes® Sarsted, afin d'évaluer les taux de cortisol à différents stades de l'expérience. Chaque coton de la Salivette® a été maintenu contre chaque joue, cheval et propriétaire, pendant au moins une minute de chaque côté.

Les prélèvements salivaires ont été effectués selon le calendrier suivant : à t0 (avant le début de l'interaction tactile), à t1 (immédiatement après l'interaction tactile), à t2 (15 minutes après l'interaction) et à t3 (30 minutes après l'interaction). Les échantillons ont ensuite été immédiatement conservés au froid, dans de la glace, pendant une période maximale de quatre heures après le prélèvement, en attendant le retour au laboratoire de physiologie. À ce moment-là, ils ont été centrifugés à 1048 g pendant 25 minutes avant d'effectuer une mesure de pH.

Par la suite, les échantillons ont été stockés à -80°C dans des tubes Eppendorf en prévision de l'analyse ultérieure. Les échantillons ont ensuite fait l'objet d'analyses au laboratoire de l'Université libre de Bruxelles. Le cortisol a été dosé par une méthode ELISA compétitive spécifique, en suivant le protocole recommandé par Salimetrics® *Cortisol Enzyme Immunoassay Kit*. La densité optique des échantillons a été mesurée au spectrophotomètre et les concentrations ont été calculées par MyAssays.

### 2.7.2 Récoltes et analyses des données cardiaques et données biomécaniques

Les données cardiaques, obtenues par mesures d'électrocardiogrammes (ECG), ont été enregistrées simultanément chez le cheval et sa propriétaire tout au long des trois phases de l'expérience. Pour ce faire, un système d'enregistrement mobile a été mis en place afin de mesurer l'intervalle entre les ondes R des battements cardiaques (RR) à l'aide d'une ceinture en textile de marque Polar. Cette dernière a été positionnée autour du thorax, sous la poitrine de la participante. Quant au cheval, la ceinture a été placée au niveau du passage de sangle. Celle-ci était installée une heure avant le début de l'expérience afin de permettre au cheval de s'y habituer. La ceinture était combinée à un émetteur de fréquence cardiaque équipé de deux électrodes et connectée par Bluetooth au logiciel Equine Polar pour suivre les enregistrements cardiaques. Les analyses des intervalles RR ont été réalisées à l'aide du logiciel Kubios HRV (version 3.4.3) par Charlotte Götz. Kubios HRV est un logiciel gratuit, permettant les analyses de variabilité cardiaques (Tarvainen et al., 2014). Les électrocardiogrammes complets ont été générés pour chaque individu. Les artefacts ont ensuite été corrigés manuellement. Différentes variables cardiaques ont été calculées à l'aide de Kubios, telles que la fréquence cardiaque moyenne (HR) et la variabilité de la fréquence cardiaque par l'analyse du RMSSD (*Root Mean Square of the Successive Differences*). Le RMSSD évalue la variabilité temporelle entre les battements cardiaques et est souvent utilisé comme indicateur de l'activité du système nerveux parasympathique, qui est l'une des composantes du système nerveux autonome. Les données liées à la biomécanique de l'interaction tactile (vitesse de la caresse, nombre de caresse) ont été analysées par Charlotte Götz, via le logiciel KINOVEA (version 0.9.5).

### 2.8 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel RStudio version 2024.04.2+764 via le langage R version 4.4.0. R est un logiciel gratuit ainsi qu'un langage de programmation pour le traitement des données, les analyses statistiques et la création de graphiques. Le seuil de significativité  $\alpha$  a été fixé à 0,05. En raison du faible nombre de l'échantillon et afin de faciliter les analyses statistiques, seules les FAUs exprimées par au moins 50 % des individus parmi au moins une des trois conditions ont été retenues. Ainsi, les analyses statistiques qui suivent portent sur les FAUs suivantes, observées sur l'hémiface gauche : AU10L, AU16L, AU17L, AU18L, AU25L, AU113L, AUH13L et AD81L (**Annexe 5**). Les observations du côté droit ne seront également pas abordées, au vu de leurs très faibles occurrences, dues à la position

de la caméra et du cheval à l'attache. En effet, elles ne représentent seulement que 2,7 % des observations. Seuls les résultats généraux des FAUs seront présentés, c.-à-d., faisant abstraction de leur classification en macro ou micro-expression selon leur durée.

### 2.8.1 Effet d'une interaction tactile sur la dynamique des expressions faciales

Afin de mettre en évidence l'effet d'une interaction tactile sur les expressions faciales (cf. variable 'Condition'), plusieurs modèles linéaires généralisés mixtes (GLMMs) ont été effectués. Les modèles ont tous été réalisés grâce à la fonction 'glmmTMB' (package R 'glmmTMB') afin d'homogénéiser la méthode. D'une part, un modèle Poisson a été réalisé avec comme variable réponse les occurrences totales de chaque FAU, et comme prédicteur la condition, avec la structure suivante :  $OccTotAUn \sim Condition + (1 | ID) + offset(\log('Temps\ tot\ (s)'))$ , où (1 | ID) représente l'identité des individus en tant que facteur aléatoire, implanté systématiquement dans les modèles afin de tenir compte des observations répétées pour un même individu. La fonction 'offset(log('Temps tot (s)'))' a été utilisée afin d'ajuster le modèle de manière à ce que les occurrences de chaque AU soient modélisées par unité de temps visible. D'autre part, concernant l'étude de la durée des FAUs, il a été réalisé soit un modèle Gaussien ou bien une régression linéaire Bêta, prenant en compte le pourcentage de temps de chaque AU, avec la structure suivante :  $pcpAUn \sim Condition + (1 | ID)$ , où pcpAUn représente le pourcentage de temps de l'AU. Étant donné l'importante quantité de valeurs 0 dans le jeu de données, il a été réalisé une transformation des données selon la formule de Smithson & Verkuilen (2006) suivante :  $x' = \frac{x(N-1)+s}{N}$ , avec  $N = 14$  et  $s = 0,5$ , étant une constante entre 0 et 1. Cette transformation a permis d'ajuster les valeurs entre 0 et 1.

Pour chaque modèle, des tests préliminaires tels que des tests sur les résidus et des diagrammes de dispersion ont été effectués afin d'évaluer la qualité d'ajustement des modèles aux données observées. Dans le cas des pourcentages de temps d'AU, le modèle avec les meilleurs résultats de résidus entre Gaussien et Bêta était choisi. Néanmoins, compte tenu de la structure des données qui présentent une dépendance liée aux observations répétées sur les mêmes individus, certains tests réalisés sur les résidus étaient tout de même significatifs.

Dans les différents modèles, la p-value a systématiquement été ajustée avec la méthode de Bonferroni. La capacité de prédiction de chacun des modèles a été comparée avec un modèle aléatoire de structures  $OccTotAUn \sim 1 + (1 | ID) + offset(\log('Temps\ tot\ (s)'))$  et  $pcpAUn \sim 1 + (1 | ID)$  via un test de vraisemblance ANOVA (Likelihood Ratio Test = LRT, fonction

(`anova(test= 'LRT')`)). Ce test permet de déterminer si l'ajout d'effet aléatoire améliore significativement l'ajustement du modèle. Si le test ANOVA montre une différence significative ( $p < 0,05$ ), cela suggère que les effets aléatoires (ici la variable 'ID') sont nécessaires afin de capturer la variabilité entre les sujets. Les résultats des GLMMs permettent de faire ressortir la valeur du coefficient ou *Estimate*, qui indique l'effet de la variable indépendante sur la variable dépendante. Un coefficient positif signifie qu'une augmentation de la variable indépendante entraînera une augmentation de la variable dépendante, tandis qu'un coefficient négatif signifie l'inverse. Enfin, les résultats ont été représentés graphiquement par des boxplots via la fonction `ggplot` (package 'ggplot2').

### 2.8.2 Corrélations et combinaisons d'AUs

Afin de mettre en lien de possibles corrélations entre les différentes AUs, plusieurs analyses ont été réalisées. Des tests préliminaires comprenant l'inspection de la matrice de corrélation (fonction '`cor()`'), le test de Bartlett (fonction '`cortest.bartlett`' du package 'psych') ainsi que l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (fonction '`KMO`' du package 'psych') ont été effectués. Lorsque l'indice de KMO était  $\geq 0,5$  (indice compris entre 0 et 1), une analyse en composantes principales (ACP) était réalisée. Des corrélations de Spearman ont permis ensuite de révéler la force et la direction des liens entre les AUs. Les *timelines* de chaque AU pendant chaque condition ont été générées via la fonction '`ggplot`'.

Enfin, l'étude de potentielles combinaisons d'AUs a été effectuée par la création d'*UpsetPlots* (package 'UpsetR') en comptant chaque chevauchement des unités d'action. Il en est ressorti plus de 60 combinaisons, toutes conditions confondues. Chaque combinaison a donc fait l'effet d'un modèle GLMM Poisson afin d'étudier de possibles différences significatives entre conditions, de structure suivante : '`AUnL+AUnL + ... ~ Condition + (1 | ID) + offset(log('Temps tot (s)'))`'. Chaque modèle de combinaison présentant un résultat significatif a ensuite été comparé de nouveau avec un modèle aléatoire via un test de vraisemblance ANOVA. Enfin, les combinaisons significatives ont été représentées graphiquement par des boxplots via la fonction '`ggplot`'.

### 2.8.3 Effet des traits individuels sur la dynamique des FAUs

Plusieurs modèles ont été calculés afin d'examiner l'effet des traits individuels sur les occurrences et les pourcentages de temps des FAUs. Pour cela, les variables suivantes ont été étudiées : âge, sexe, race, stéréotypie, mode de vie et la durée de la relation avec la propriétaire. Les modèles, Poisson pour les occurrences et Bêta/Gaussien pour les durées, ont été générés via le package R 'lme4'. Les modèles ont été réduits par une méthode « pas à pas » du critère *Akaike Information Criterion* (AIC) (fonction 'dredge' du package R 'MuMIn') avec comme variable fixe la variable 'Condition'. Pour ces modèles-ci, seules les comparaisons IT/C1 et IT/C2 ont été réalisées.

La structure des modèles pour ce test était définie comme suit :  $OccTotAUnL \sim Condition + Age + Sexe + Race + Stéréotypie + Mode\ de\ vie + Temps\ avec\ la\ proprio\ (an) + (1 | ID) + offset(log(\hat{Temps\ tot\ (s)}))$  et  $pcpAUnL \sim Condition + Age + Sexe + Race + Stéréotypie + Mode\ de\ vie + Temps\ avec\ la\ proprio\ (an) + (1 | ID)$ . Le terme 'Age' était une variable quantitative, le terme 'Sexe' était une variable qualitative comprenant soit 'jument' soit 'hongre', le terme 'Race' était une variable qualitative comprenant soit 'Sport' soit 'Autres', le terme 'Stéréotypie' était une variable qualitative avec soit 'oui' soit 'non', le terme 'Mode de vie' était une variable qualitative avec soit 'box' soit 'prairie' et enfin le terme 'Temps avec la proprio (an)', correspondant à la durée de la relation avec la propriétaire, était également une variable qualitative avec soit '<5', '5 à <10' et '≥10'. De la même manière que présentée en 2.8.1, la capacité de prédiction des modèles a été comparée avec un modèle aléatoire via un test de vraisemblance ANOVA.

### 2.8.4 Importance des paramètres biomécaniques dans la prédiction des FAUs

Pour ce test, il a été testé via les mêmes modèles présentés précédemment (occurrences des AUs via un modèle Poisson et pourcentage de temps des AUs via un modèle Bêta) les variables prédictives 'Vitesse de la caresse (cm/s)' et 'Nombre total de caresses' lors de l'interaction tactile. La structure des modèles était donc :  $OccTotAUnL \sim Variable\ prédictive + (1 | ID) + offset(log(\hat{Temps\ tot\ (s)}))$  et  $pcpAUnL \sim Variable\ prédictive + (1 | ID)$ , avec 'Variable prédictive' remplacée par 'Vitesse de la caresse (cm/s)' ou 'Nombre total de caresses'. Les mêmes tests préliminaires ont été effectués que ceux présentés en 2.8.1. En outre, de la même façon que présenté précédemment, les modèles ont également été comparés avec

un modèle aléatoire de structures  $OccTotAUn \sim 1 + (1 | ID) + offset(\log(\hat{Temps\ tot\ (s)}))$  et  $pcpAUn \sim 1 + (1 | ID)$ . Dans le cas où la p-valeur (ajustée via la méthode de Bonferroni) était significative, une courbe de corrélation de Spearman (fonction 'cor()' du package R de base) était réalisée afin d'illustrer la direction et la force des relations.

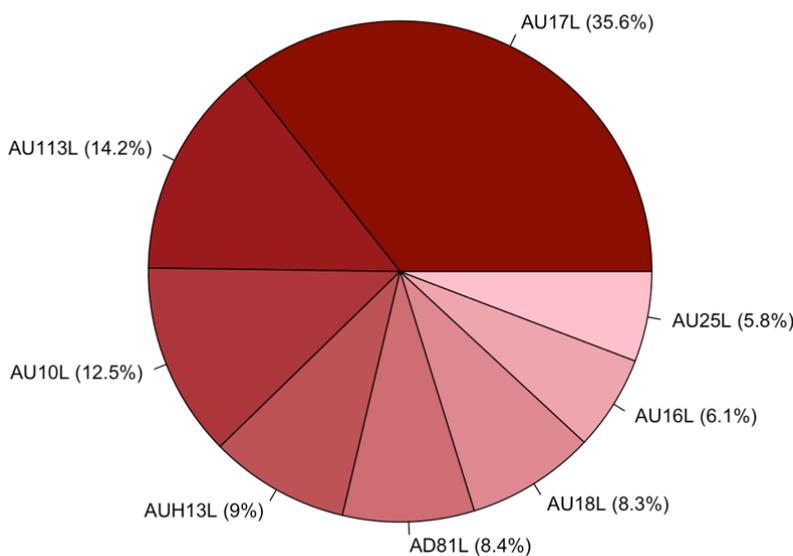
#### *2.8.5 Résultats des divers biomarqueurs comportementaux et physiologiques et leurs effets sur les occurrences et pourcentage de temps des FAUs*

Les divers autres biomarqueurs comportementaux et physiologiques ont été analysés par Camille Cagnot, Mathilde Chevalier et Charlotte Götz, via des tests non-paramétriques, tels que des tests de Friedman suivis par des tests post-hoc de Wilcoxon avec correction de Bonferroni. Enfin, les données des FAUs ont été étudiées avec les autres biomarqueurs comportementaux (posture et clignements d'yeux) et physiologiques (paramètres cardiaques et concentration du cortisol salivaire), uniquement pendant la condition IT. Des ACP ont été générées quand l'indice de KMO le permettait ( $\geq 0,5$ ) pour chaque catégorie comportementale ainsi que pour les biomarqueurs physiologiques, et de nouveau des corrélations de Spearman ont évalué la force et la direction des liens entre les AUs et les différents biomarqueurs.

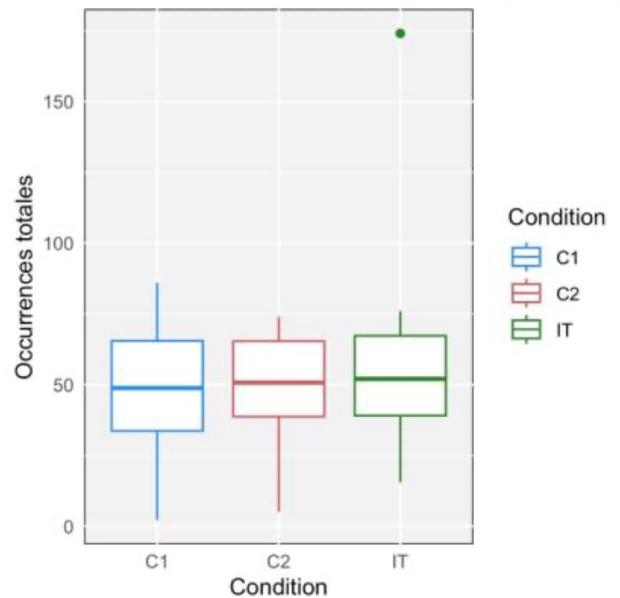
### III. Résultats

#### 3.1 Caractéristiques générales des AUs

Les huit FAUs étudiées représentent 88,4 % du total des occurrences de FAUs observées chez tous les chevaux. L'AU17L représente 35,6 % du total des occurrences des huit AUs exprimées (**Figure 5**). En moyenne, les chevaux ont exprimé  $52,2 \pm 5,4$  FAUs par condition (**Figure 6**). Des tests de Friedman n'ont révélé aucune différence significative dans le nombre total de FAUs exprimées selon les conditions.



**Figure 5** : Répartition du pourcentage du total des occurrences des huit AUs analysées statistiquement, toutes conditions confondues.



**Figure 6** : Occurrences totales des AUs selon les conditions.

#### 3.2. Effet d'une interaction tactile sur les occurrences et durées des FAUs

Ci-dessous, sont présentés les résultats des modèles GLMMs des occurrences des AUs selon les conditions (**Table 1**). Chacun des modèles présentant une significativité était significativement différent ( $<0,05$ ) et plus performant que les modèles aléatoires correspondant lors du test ANOVA de vraisemblance. Les occurrences des AU10L et AU16L sont significativement différentes entre l'interaction tactile et les conditions contrôles, avec une p-valeur ajustée  $<0,0001$  entre l'IT et C1/C2 pour l'AU10L, et  $<0,05$  pour l'AU16L entre IT et C2.

	Estimate	Std_Error	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>OccTotAU10L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-3,947	0,280	-14,092	<2e-16		***
ConditionC1_C2	0,084	0,178	0,472	0,637	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,708	0,158	-4,477	0,000	0,00002 ***	
ConditionI_T_C2	-0,624	0,152	-4,093	0,000	0,0001 ***	
<i>OccTotAU16L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-4,764	0,432	-11,022	<2e-16		*
ConditionC1_C2	-0,289	0,247	-1,170	0,242	0,726	
ConditionI_T_C1	0,335	0,212	1,583	0,113	0,340	
ConditionI_T_C2	-0,624	0,230	-2,709	0,007	0,020 *	
<i>OccTotAU17L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-2,433	0,128	18,940	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	0,063	0,094	0,668	0,504	1,000	
ConditionI_T_C1	0,151	0,093	1,631	0,103	0,309	
ConditionI_T_C2	-0,088	0,091	-0,973	0,330	0,991	
<i>OccTotAU18L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-3,885	0,230	-16,870	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	0,045	0,184	0,245	0,806	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,199	0,200	-0,994	0,320	0,960	
ConditionI_T_C2	0,244	0,196	1,242	0,214	0,642	
<i>OccTotAU25L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-4,680	0,404	-11,581	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,221	0,239	-0,927	0,354	1,000	
ConditionI_T_C1	0,091	0,220	0,411	0,681	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,312	0,232	-1,341	0,180	0,539	
<i>OccTotAU113L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-3,622	0,288	12,581	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	0,059	0,151	0,393	0,694	1,000	
ConditionI_T_C1	0,212	0,147	1,448	0,148	0,443	
ConditionI_T_C2	-0,153	0,144	-1,066	0,286	0,859	
<i>OccTotAUH13L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-3,999	0,320	-12,488	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	0,080	0,176	0,453	0,650	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,206	0,193	-1,066	0,286	0,859	
ConditionI_T_C2	0,286	0,188	1,518	0,129	0,387	
<i>OccTotAD81L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(' Temps tot(s)'))</i>						
(Intercept)	-3,726	0,238	-15,666	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,279	0,186	-1,498	0,134	0,402	
ConditionI_T_C1	-0,273	0,188	-1,449	0,147	0,442	
ConditionI_T_C2	-0,006	0,198	-0,032	0,975	1,000	

**Table 1 :** Coefficients (=Estimate), erreurs-type (=Std.Error), z-valeurs, p-valeurs (=Pr(>|z|)), p-adjust (Bonferroni) et LRT p-value des GLMMs (famille = Poisson, link = 'log') évaluant l'effet des conditions sur les occurrences totales de chaque AU.

	Estimate	Std_Error	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>pcpAU10L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-4,013	0,1547	-25,948	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,0787	0,188	-0,418	0,676	1,000	
ConditionI_T_C1	0,2278	0,169	1,349	0,177	0,532	
ConditionI_T_C2	-0,3065	0,173	-1,769	0,077	0,230	
<i>pcpAU16L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-4,090	0,097	-42,120	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,094	0,136	-0,690	0,489	1,000	
ConditionI_T_C1	0,085	0,131	0,650	0,515	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,180	0,134	-1,340	0,181	0,542	
<i>pcpAU17L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-3,679	0,113	-32,480	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	0,036	0,144	0,250	0,801	1,000	
ConditionI_T_C1	0,159	0,137	1,160	0,246	0,739	
ConditionI_T_C2	-0,122	0,133	-0,920	0,356	1,000	
<i>pcpAU18L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-6,008	0,709	-8,475	<2e-16		***
ConditionC1_C2	-0,379	0,806	-0,470	0,638	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,132	0,048	-2,754	0,006	0,018 *	
ConditionI_T_C2	-0,132	0,048	-2,747	0,006	0,018 *	
<i>pcpAU25L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-5,171	0,439	-11,783	<2e-16		***
ConditionC1_C2	-0,052	0,215	-0,242	0,809	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,184	0,206	-0,896	0,370	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,236	0,208	-1,137	0,256	0,767	
<i>pcpAU113L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-3,958	0,091	-43,600	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,003	0,099	-0,030	0,974	1,000	
ConditionI_T_C1	0,029	0,099	0,300	0,767	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,033	0,100	-0,330	0,744	1,000	
<i>pcpAUH13L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-1,763	0,321	-5,486	4,11 e-08		>0,05
ConditionC1_C2	-0,270	0,363	-0,742	0,458	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,181	0,354	-0,511	0,610	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,089	0,362	-0,245	0,807	1,000	
<i>pcpAD81L ~ Condition + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-2,326	0,178	-13,071	<2e-16		>0,05
ConditionC1_C2	-0,187	0,251	-0,743	0,457	1,000	
ConditionI_T_C1	-0,158	0,255	-0,621	0,534	1,000	
ConditionI_T_C2	-0,029	0,270	-0,106	0,916	1,000	

**Table 2 :** Coefficients (=Estimate), erreurs-type (=Std.Error), z-valeurs, p-valeurs (=Pr(>|z|)), p-adjust (Bonferroni) et LRT p-value des GLMMs (famille = Gauss/Bêta, link = 'log'/logit) évaluant l'effet des conditions sur les % de temps transformés de chaque AU.

Concernant les résultats des modèles GLMMs sur les pourcentages de temps transformés des AUs selon les conditions (**Table 2**), seul le pourcentage de temps de l’AU18L est significativement différent entre l’IT et les conditions contrôles, avec une p-valeur ajustée  $<0,05$  entre IT et C1/C2. Les boxplots associés sont représentés en **Annexes 6 et 7**.

### 3.3 Corrélations entre AUs

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (**Annexe 8**) laissent sous-entendre que certaines AUs ont tendance à se corréliser les unes avec les autres, notamment pour les occurrences. Afin d’approfondir l’analyse, des tests de corrélations de Spearman ont été réalisés. Dans un premier temps, des corrélations entre les conditions C1 et C2 sur les occurrences et durées totales de la même AU ont été effectuées afin d’observer une congruence entre les deux contrôles (**Table 3**).

A					B				
Conditions	AU_AD	S	p-value	rho	Conditions	AU_AD	S	p-value	rho
C1 VS C2	AU10L	151,330	0,009	0,667	C1 VS C2	AU10L	100,890	0,001	0,778
	AU16L	21,667	1,52E-07	0,952		AU16L	34,667	2,39E-06	0,924
	AU17L	308,840	0,263	0,321		AU17L	234,000	0,081	0,486
	AU18L	232,660	0,076	0,489		AU18L	209,900	0,047	0,539
	AU25L	154,280	0,010	0,661		AU25L	163,320	0,013	0,641
	AU113L	76,669	2,28E-04	0,831		AU113L	74,664	1,96E-04	0,836
	AUH13L	48,607	1,70E-05	0,893		AUH13L	113,750	0,002	0,750
	AD81L	217,370	0,055	0,522		AD81L	228,500	0,070	0,498

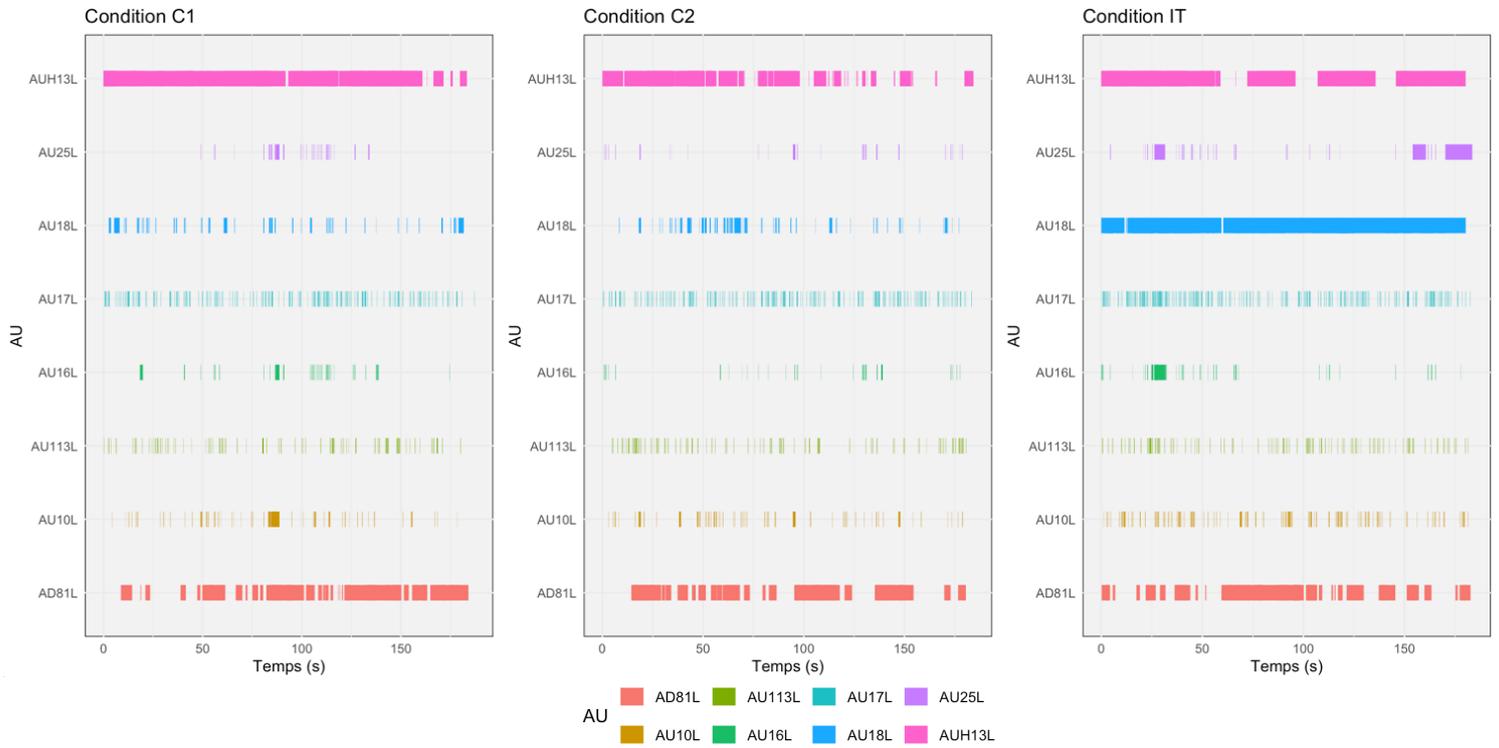
**Table 3** : Corrélations des occurrences (A) et de la durée totale (B) de chaque AU entre la condition C1 et la condition C2.

Toutes les AUs montrent des corrélations positives entre les conditions C1 et C2 avec une p-valeur  $<0,05$ , à l’exception de l’AD81L (tendance), de l’AU17L et des occurrences d’AU18L (tendance également). Des corrélations ont ensuite été réalisées sur les occurrences et les durées totales des AUs en tenant compte des trois conditions. Plusieurs corrélations significatives entre différentes AUs ont été mises en évidence. Ensuite, les corrélations des AUs ont été spécifiquement étudiées pour la condition IT. Les résultats significatifs sont repris dans la **Table 4**.

A						B					
Conditions	AU_AD	AU_AD	S	p-value	rho	Conditions	AU_AD	AU_AD	S	p-value	rho
3 conditions réunies	AU10L	AU18L	7715,800	0,014	0,375	3 conditions réunies	AU10L	AU18L	7190,500	0,006	0,417
	AU16L	AU25L	3795,500	3,77E-07	0,692		AU16L	AU25L	4203,600	2,05E-06	0,659
	AU17L	AU113L	5913,300	4,06E-04	0,521		AU17L	AU18L	7514,800	0,010	0,391
	AU18L	AUH13L	7112,100	0,005	0,424		AU17L	AU113L	6038,900	0,001	0,511
	AU25L	AU113L	16403,000	0,033	-0,329		AU25L	AU113L	16655,000	0,023	-0,350
A						B					
Conditions	AU_AD	AU_AD	S	p-value	rho	Conditions	AU_AD	AU_AD	S	p-value	rho
IT	AU10L	AU18L	154,340	0,010	0,661	IT	AU10L	AU18L	172,380	0,018	0,621
	AU16L	AU25L	20,413	1,07E-07	0,955		AU16L	AU25L	40,419	5,85E-06	0,911
	AU16L	AUH13L	712,850	0,035	-0,567		AU16L	AUH13L	769,690	0,006	-0,692
	AU17L	AU113L	198,000	0,038	0,565		AU25L	AUH13L	803,780	0,001	-0,767
	AU17L	AU18L	200,720	0,038	0,559						

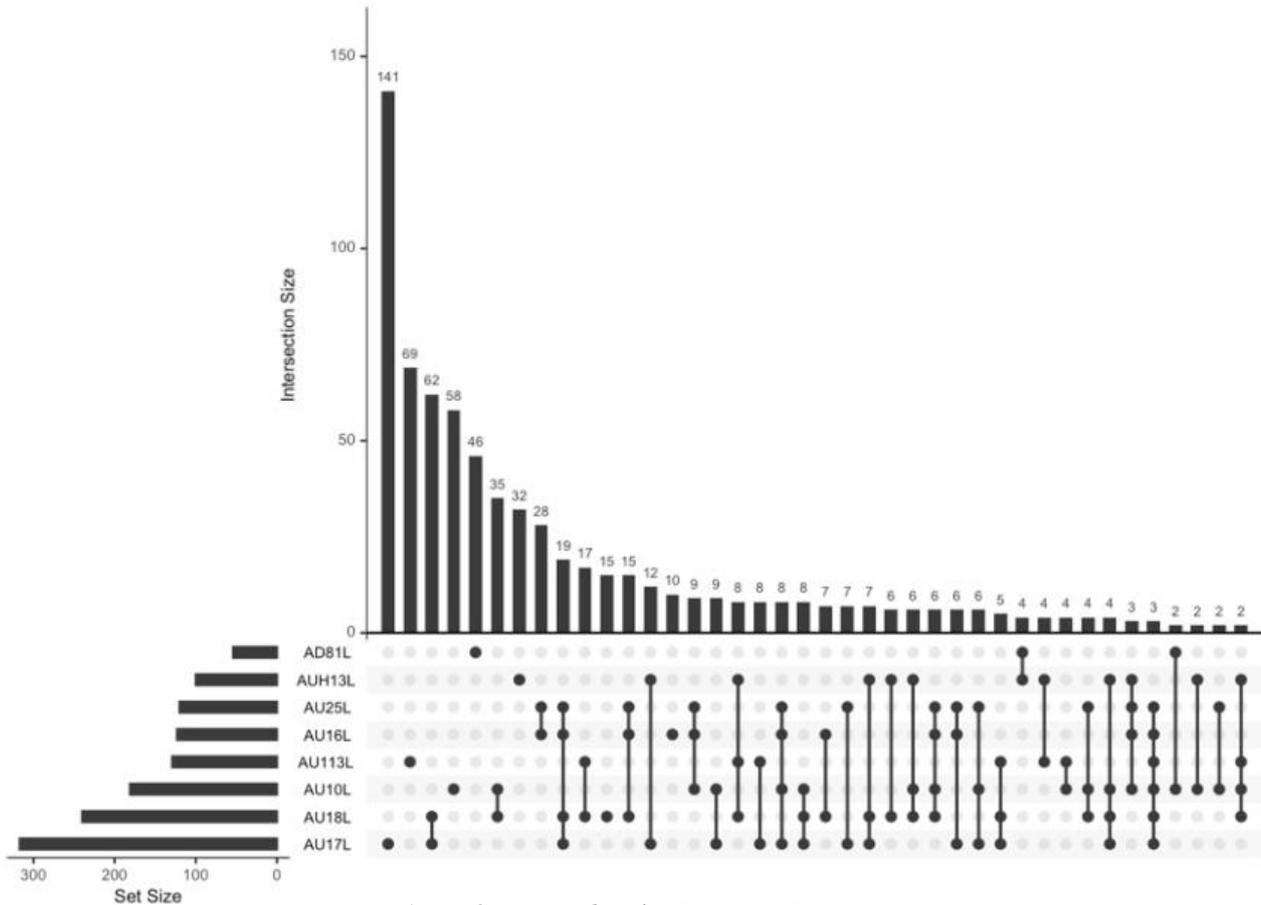
**Table 4** : Corrélations significatives entre AUs pour les occurrences (A) et durées (B) selon les différentes conditions.

Afin d'analyser plus en profondeur de potentiels liens entre FAUs, les *timelines* de chaque AU pour les 3 conditions sur une période de 180 secondes ont été réalisés (**Figure 7**).



**Figure 7 :** *Timeline* des FAUs selon chaque condition.

En raison des importants chevauchements d'AUs observés sur la **Figure 7**, des *UpsetPlots* ont été générés pour quantifier les co-occurrences d'AUs (**Figure 8** et **Annexe 9**) pour chaque condition.

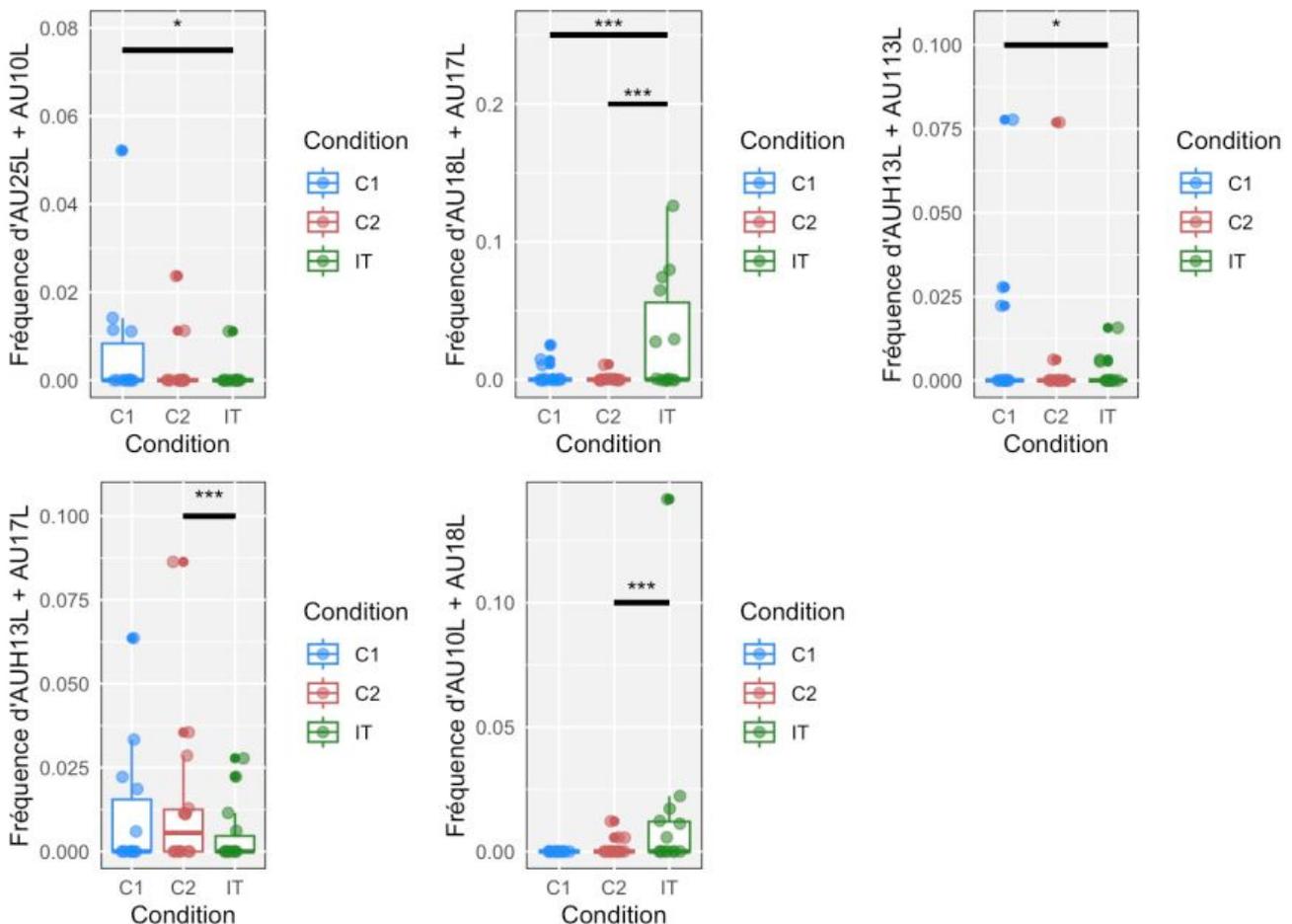


**Figure 8** : *UpsetPlots* des FAUs en IT.

Les co-occurrences d'AUs ont ensuite été testées avec un modèle GLMM Poisson (**Table 5**). Au-vu du grand nombre de co-occurrences, seuls les résultats significatifs sont présentés ici. Ces mêmes modèles se sont distingués significativement ( $p < 0,05$ ) des modèles aléatoires lors du test ANOVA de vraisemblance. Les résultats montrent une différence significative entre les conditions IT et C1 pour la co-occurrence AU25L + AU10L ( $p = 0,047$ ), pour la co-occurrence AU18L + AU17L ( $p = 1,86 \cdot 10^{-7}$ ) et pour la co-occurrence AUH13L + AU113L ( $p = 0,013$ ). Les résultats montrent également une différence significative avec la condition C2 pour trois co-occurrences : AU18L + AU17L ( $p = 3,96 \cdot 10^{-6}$ ), AUH13L + AU17L ( $p = 0,018$ ) et AU10L + AU18L ( $p = 0,0003$ ). Les boxplots associés sont présentés en **Figure 9**.

	Estimate	Std,Error	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>AU25L + AU10L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(` Temps tot(s) `))</i>						
(Intercept)	-6,733	1,144	-5,887	3,93E-09		*
ConditionC1_C2	-0,783	0,501	-1,562	0,118	0,355	
ConditionIT_C1	-1,845	0,764	-2,414	0,016	0,048 *	
ConditionIT_C2	-22,236	26680,533	-0,001	0,999	0,581	
<i>AU18L+AU17L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(` Temps tot(s) `))</i>						
(Intercept)	-6,461	0,615	-10,502	<2e-16		***
ConditionC1_C2	-1,441	0,791	-1,822	0,069	0,355	
ConditionIT_C1	2,035	0,376	5,413	6,21E-08	1,86 E-7 ***	
ConditionIT_C2	-3,475	0,719	-4,837	1,32E-06	3,96 E-6 ***	
<i>AUH13L+AU113L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(` Temps tot(s) `))</i>						
(Intercept)	-7,625	1,614	-4,725	2,31E-06		**
ConditionC1_C2	-0,464	0,349	-1,331	0,183	0,355	
ConditionIT_C1	-1,561	0,548	-2,848	0,004	0,013 *	
ConditionIT_C2	1,097	0,567	1,934	0,053	0,159	
<i>AUH13L+AU17L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(` Temps tot(s) `))</i>						
(Intercept)	-5,356	0,503	-10,649	<2e-16		*
ConditionC1_C2	0,296	0,274	1,081	0,280	0,355	
ConditionIT_C1	-0,637	0,356	-1,789	0,074	0,221	
ConditionIT_C2	0,933	0,339	2,753	0,006	0,018 *	
<i>AU10L+AU18L ~ Condition + (1   ID) + offset(log(` Temps tot(s) `))</i>						
(Intercept)	-5,585	0,698	-8,003	1,22E-15		***
ConditionC1_C2	20,730	15845,800	0,001	0,999	0,355	
ConditionIT_C1	-23,018	17731,180	-0,001	0,999	1,000	
ConditionIT_C2	-2,060	0,533	-3,868	1,10E-04	3,29 E-4 ***	

**Table 5 :** Coefficients (=Estimate), erreurs-type (=Std.Error), z-valeurs, p-valeurs (=Pr(>|z|), p-adjust (Bonferroni) et LRT p-value des GLMMs (famille = Poisson, link = 'log') évaluant l'effet des conditions sur les co-occurrences d'AUs.



**Figure 9 :** Fréquence des co-occurrences d'AUs en fonction des conditions \*\*\* p < 0,001; \*\*p < 0,01; \*p < 0,05.

### 3.4 Effet des traits individuels sur les occurrences et durées des FAUs

Seuls les modèles présentant au moins un prédicteur significatif parmi les variables âge, sexe, race, stéréotypie, mode de vie et temps avec la propriétaire ont été retenus (**Table 6**). Ces mêmes modèles se sont distingués significativement ( $p < 0,05$ ) des modèles aléatoires lors du test ANOVA de vraisemblance. Cela concerne uniquement l'AU18L et l'AUH13L.

	Estimate	Std,Error	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>OccTotAU18L ~ Condition + Temps avec la proprio (an) + Age + Sexe + Stereotypie + (1   ID) + offset(log(' Temps tot (s)'))</i>						
(Intercept)	-3,375	0,384	-8,793	<2E-16		***
Temps avec la proprio (an) >10	0,004	0,321	0,013	0,990	1,000	
Temps avec la proprio (an) 5 à <10	-0,682	0,275	-2,477	0,013	0,106	
Age	-0,079	0,031	-2,555	0,011	0,085	
SexeJument	0,565	0,264	2,136	0,033	0,261	
StéréotypieOui	0,914	0,259	3,529	4,16E-04	0,00333 **	
ConditionIT_C1	0,199	0,199	0,999	0,318	1,000	
ConditionIT_C2	0,245	0,196	1,254	0,210	1,000	
<i>OccTotAUH13L ~ Condition + Mode de vie + Temps avec la proprio (an) + Age + Race + Stereotypie + (1   ID) + offset(log(' Temps tot (s)'))</i>						
(Intercept)	-1,264	0,432	-2,925	0,003		***
Mode de vie Prairie	-0,716	0,276	-2,592	0,010	0,086	
Temps avec la proprio (an) >10	-0,738	0,278	-2,652	0,008	0,072	
Temps avec la proprio (an) 5 à <10	-0,428	0,251	-1,707	0,088	0,791	
Age	-0,131	0,026	-5,118	3,09E-07	2,78 E-6 ***	
RaceSport	-1,438	0,338	-4,249	2,14E-05	1,93 E-4 ***	
StereotypieOui	1,340	0,229	5,846	5,02E-09	4,52 E-8 ***	
ConditionIT_C1	0,214	0,193	1,109	0,268	1,000	
ConditionIT_C2	0,296	0,188	1,572	0,116	1,000	
<i>pcpAU18L ~ Condition + Mode de vie + Temps avec la proprio (an) + Age + Race + Sexe + (1   ID)</i>						
(Intercept)	7,751	1,090	7,114	1,13E-12		***
Mode de vie Prairie	-4,734	0,877	-5,396	6,82E-08	6,14 E-7 ***	
Temps avec la proprio (an) >10	-1,165	0,861	-1,353	0,176	1,000	
Temps avec la proprio (an) 5 à <10	3,572	0,420	8,513	< 2E-16	< 2E-16 ***	
Age	-0,405	0,050	-8,125	4,46E-16	4,01 E-15 ***	
RaceSport	-4,604	0,842	-5,466	4,61E-08	4,15E-07 ***	
SexeJument	-3,795	0,385	-9,855	< 2E-16	< 2E-16 ***	
ConditionIT_C1	-3,005	0,435	-6,901	5,15E-12	4,64 E-11 ***	
ConditionIT_C2	-3,403	0,648	-5,255	1,48E-07	1,33E-06 ***	

**Table 6 :** Coefficients (=Estimate), erreurs-type (=Std.Error), z-valeurs, p-valeurs (=Pr(>|z|)), p-adjust (Bonferroni) et LRT p-value des GLMMs (famille = Poisson / Gaussien, link = 'log') avec au moins un prédicteur significatif évaluant l'effet des traits individuels sur les occurrences et durées des AUs.

Les résultats ci-dessus montrent que seule la variable 'Stéréotypie = Oui' a un effet significatif sur les occurrences de l'AU18L. La présence de stéréotypies est donc associée à une augmentation significative des occurrences de l'AU18L. Plusieurs variables influencent le pourcentage de temps passé à exprimer l'AU18L, notamment la vie en prairie, l'âge, les races dites de sport et le fait d'être une jument, qui sont toutes associées à une réduction significative de cette expression faciale. Seule la variable concernant la durée de la relation avec la propriétaire, comprise entre cinq et dix ans, est associée à une augmentation significative du pourcentage de temps de l'AU18L. Enfin, concernant les occurrences de l'AUH13L, trois variables semblent avoir un effet significatif. L'augmentation de l'âge serait associée à une diminution de l'AU, de même qu'être d'une race dite sportive. Comme l'AU18L, seule la

présence de stéréotypies serait associée à une augmentation significative des occurrences de l’AUH13L.

### 3.5 Influence des paramètres biomécaniques sur la dynamique des FAUs

Les résultats significatifs des tests GLMMs des occurrences et pourcentage de temps des AUs selon la ‘Vitesse de la caresse’ et le ‘Nombre total de caresses’ (**Table 7**) sont présentés ci-dessous. Chacun des modèles présentant une significativité était significativement différent (<0,05) et plus performant que les modèles aléatoires correspondant lors du test ANOVA de vraisemblance, excepté pour les occurrences de l’AD81L.

	Estimate	StdError	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>pcpAU18L ~ Vitesse de la caresse + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-4,422	0,714	-6,196	581,000		***
Vitesse_Caresse	0,052	0,011	4,592	4,38E-06	4,38E-6 ***	
<i>OccTotAD81L ~ Vitesse de la caresse + (1   ID) + offset(log(` Temps tot (s) `))</i>						
(Intercept)	-2,670	0,412	-6,482	0,000		*
Vitesse_Caresse	-0,026	0,009	-2,796	0,005	0,005 **	
<i>pcpAD81L ~ Vitesse de la caresse + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-1,404	0,457	-3,071	0,002		*
Vitesse_Caresse	-0,021	0,010	-2,092	0,036	0,03 *	
	Estimate	StdError	z value	Pr(> z )	p-adjust	LRT p-value
<i>OccTotAD81L ~ Nombre total de caresses + (1   ID) + offset(log(` Temps tot (s) `))</i>						
(Intercept)	-4,820	0,506	-9,528	<2e-16		>005
Vitesse_Caresse	0,018	0,008	2,145	0,032	0,032 *	
<i>pcpAD81L ~ Nombre total de caresses + (1   ID)</i>						
(Intercept)	-3,516	0,528	-6,661	0,000		*
Vitesse_Caresse	0,021	0,008	2,513	0,012	0,012 *	

**Table 7 :** Coefficients (=Estimate), erreurs-type (=Std.Error), z-valeurs, p-valeurs (=Pr(>|z|), p-adjust (Bonferroni) et LRT p-value des GLMMs (famille = Poisson, link = ‘log’ et Bêta, link = ‘logit’) évaluant l’effet des paramètres biomécaniques sur les occurrences et pourcentage de temps de chaque AU.

D’après les coefficients des résultats ci-dessus, il semblerait que la vitesse de la caresse ait un effet positif significatif sur le pourcentage de temps passé en AU18L. À contrario, la vitesse de la caresse semble avoir un effet négatif significatif, tant sur les occurrences que sur le pourcentage de temps passé en AD81L. Concernant le nombre total de caresses, seul l’AD81L semble affecté par la variable indépendante. Cette dernière aurait un effet positif significatif sur l’AU, contrairement à la vitesse de la caresse. Des courbes de corrélations de

Spearman, présentés en **Annexe 10**, ont permis d'illustrer la force des liens entre ces différentes variables.

### *3.6 Modulations des biomarqueurs comportementaux et liens avec les FAUs*

#### *3.6.1 Liens entre la dynamique des FAUs et la posture en IT*

##### *3.6.1.1 Positions de la queue*

D'un point de vue postural, aucune différence significative n'a été trouvée concernant la position de la queue. Les tests préliminaires à la réalisation des ACP n'ont pas été suffisamment concluants pour justifier leur réalisation ( $KMO < 0,05$ ). Cependant, l'examen des matrices de corrélations a montré de fortes corrélations entre les pourcentages de temps et les occurrences de certaines unités d'action (AU10L, AU18L et AD81L) avec les positions de queue 'haute' et 'intermédiaire'. En conséquence, des corrélations de Spearman ont été effectuées pour confirmer la significativité de ces corrélations. Les résultats sont récapitulés en **Table 9**. L'AU10L est significativement corrélée négativement avec la position 'queue haute', mais corrélée positivement avec la position 'queue intermédiaire'. L'AU18L est fortement négativement corrélée avec la position queue haute et corrélée positivement avec la position queue intermédiaire. Enfin, à l'inverse des deux AUs précédentes, l'AD81L est corrélée positivement avec la position queue haute et fortement négativement corrélée avec la position queue intermédiaire.

##### *3.6.1.2 Hauteur et orientation d'encolure*

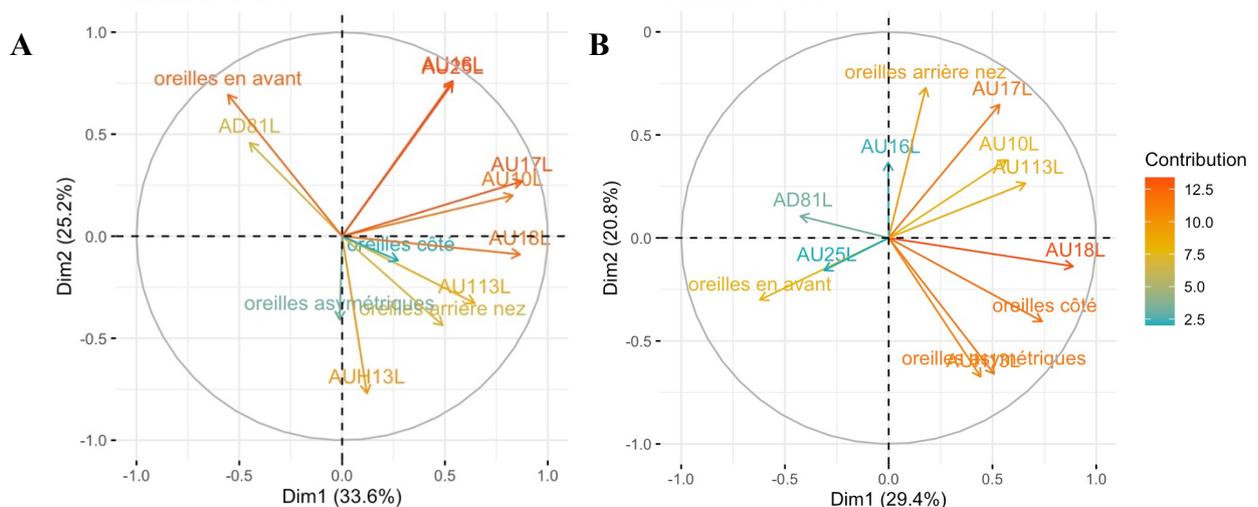
Les tests de Friedman et tests post-hoc de Wilcoxon ont révélé plusieurs différences significatives concernant les comportements d'encolure basse (Friedman :  $\chi^2 = 7,4286$  ;  $p = 0,0244$ ) et d'encolure très haute (Friedman :  $\chi^2 = 15,077$  ;  $p = 0,0005$ ). Les chevaux passaient significativement plus de temps en encolure très haute en IT qu'en C1 et C2 (Wilcoxon : C1-C2 :  $p = 1,000$  ; C1-IT :  $p = 0,043$  ; C2-IT :  $p = 0,043$ ), et à l'inverse plus de temps en encolure basse en C1 qu'en IT (Wilcoxon : C1-C2 :  $p = 0,98$  ; C1-IT :  $p = 0,05$  ; C2-IT :  $p = 0,58$ ). Quant à l'orientation de l'encolure, une différence significative a été observée pour le temps passé en encolure à droite (Friedman :  $\chi^2 = 7$  ;  $p = 0,0302$ ) diminuant en IT comparé aux contrôles (Wilcoxon : C1-C2 :  $p = 1,000$  ; C1-IT :  $p = 0,050$  ; C2-IT :  $p = 0,032$ ). Enfin, les résultats montrent une augmentation de l'attention dirigée à gauche (regroupant la position de

l'encolure, de la tête ainsi que d'au moins une oreille), donc vers leur propriétaire, en IT comparé à C2 (Friedman :  $\chi^2 = 9,57$  ;  $p = 0,008$  ; Wilcoxon :  $p = 0,007$ ). De nouveau, les tests préliminaires à la réalisation des ACP n'ont pas été suffisamment concluants pour justifier leur réalisation ( $KMO < 0,05$ ). L'examen des matrices de corrélations a montré de fortes corrélations entre les pourcentages de temps et les occurrences de certaines unités d'action (AU16L, AU18L et AU113L) avec les positions 'encolure haute', 'encolure basse' et 'encolure intermédiaire'. En conséquence, des corrélations de Spearman ont été effectuées pour confirmer la significativité de ces corrélations.

Le pourcentage de temps et les occurrences de l'AU18L sont négativement corrélés au pourcentage de temps passé en encolure intermédiaire, de la même manière que le pourcentage de temps et les occurrences de l'AU113L avec le pourcentage de temps en encolure haute. De plus, le pourcentage de temps de l'AU16L se retrouve être corrélé positivement avec le pourcentage de temps en l'encolure basse, mais le nombre d'occurrences est, cependant, corrélé négativement.

### 3.6.1.3 Positions des oreilles

Concernant la position des oreilles, les tests de Friedman ont confirmé l'absence de différences significatives entre les positions des oreilles (avant, arrière, côté, asymétriques, rabattues) entre les trois conditions. Les tests préliminaires à la réalisation des ACP ont été suffisamment concluants pour justifier leur réalisation ( $KMO > 0,05$ ) (**Figure 10**).



**Figure 10** : Analyses en composantes principales des occurrences (A) et pourcentages de temps (B) des AUs avec les pourcentages de temps des différentes positions d'oreilles.

En conséquence, des corrélations de Spearman ont été effectuées pour confirmer la significativité de ces corrélations (**Table 9**). Les résultats montrent une corrélation positive entre les oreilles orientées en avant et le pourcentage de temps/les occurrences de l'AD81L. En revanche, cette même position d'oreilles est négativement corrélée au pourcentage de temps passé en AU18L. De plus, une forte corrélation positive est observée entre le pourcentage de temps avec les oreilles sur le côté et le pourcentage de temps/les occurrences de l'AU17L. Enfin, bien que non observé avec les pourcentages de temps, il semble que les oreilles orientées en arrière soient corrélées positivement avec les occurrences de l'AU18L.

### 3.6.2 Liens entre la dynamique des FAUs et les comportements oculaires en IT

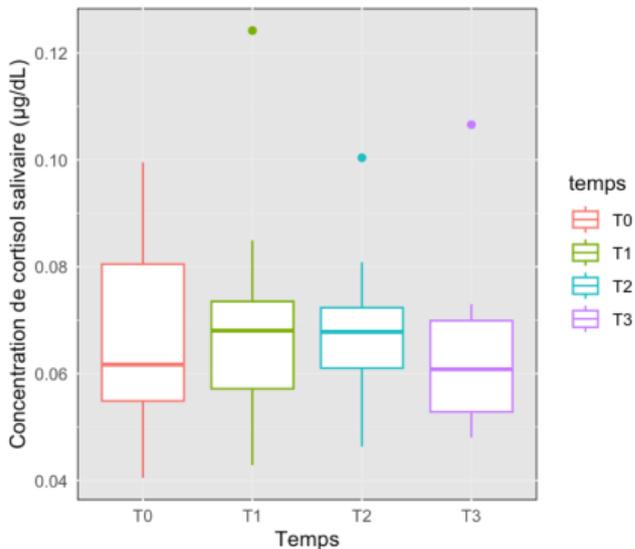
Les tests de Friedman réalisés sur l'échantillon global n'ont révélé aucune différence significative entre les différentes conditions expérimentales pour les trois types de comportements oculaires (clignements spontanés, demi-clignements et fermeture de l'œil). Les tests préliminaires à la réalisation des ACP n'ont pas été suffisamment concluants pour justifier leur réalisation ( $KMO < 0,05$ ), et l'examen des matrices de corrélations n'a montré aucune corrélation avec les AUs.

Conditions	Comportement	AU_AD	S	p-value	rho
IT	Queue haute	% temps AU10L	748,650	0,013	-0,645
	Queue haute	% temps AU18L	759,670	0,009	-0,670
	Queue haute	% temps AD81L	104,730	0,001	0,770
	Queue intermédiaire	% temps AU10L	185,700	0,026	0,592
	Queue intermédiaire	% temps AU18L	195,710	0,033	0,570
	Queue intermédiaire	% temps AD81L	812,390	0,001	-0,785
	Queue haute	Occurrences AU10L	742,630	0,015	-0,632
	Queue haute	Occurrences AU18L	717,580	0,031	-0,577
	Queue haute	Occurrences AD81L	145,820	0,008	0,680
	Queue intermédiaire	Occurrences AU10L	199,720	0,037	0,561
	Queue intermédiaire	Occurrences AD81L	776,350	0,005	-0,706
	EncolureBasse	% temps AU16L	712,090	0,035	0,565
	EncolureHaute	% temps AU113L	704,000	0,046	-0,547
	Encolure Intermédiaire	% temps AU18L	797,250	0,002	-0,752
	EncolureBasse	Occurrences AU16L	753,720	0,011	-0,657
	EncolureHaute	Occurrences AU113L	708,000	0,042	-0,556
	Encolure Intermédiaire	Occurrences AU18L	725,090	0,025	-0,594
	Oreilles avant	% temps AU18L	713,280	0,034	-0,568
	Oreilles avant	% temps AD81L	205,730	0,043	0,548
	Oreilles côté	% temps AU17L	100,440	0,001	0,779
Oreilles arrière nez	Occurrences AU18L	209,730	0,047	0,539	
Oreilles avant	Occurrences AD81L	177,700	0,021	0,609	
Oreilles côté	Occurrences AU17L	80,350	0,000	0,823	

**Table 8 :** Corrélations de Spearman entre les données comportementales et les occurrences / pourcentages de temps des AUs en IT.

### 3.7 Modulations des biomarqueurs physiologiques et liens avec les FAUs

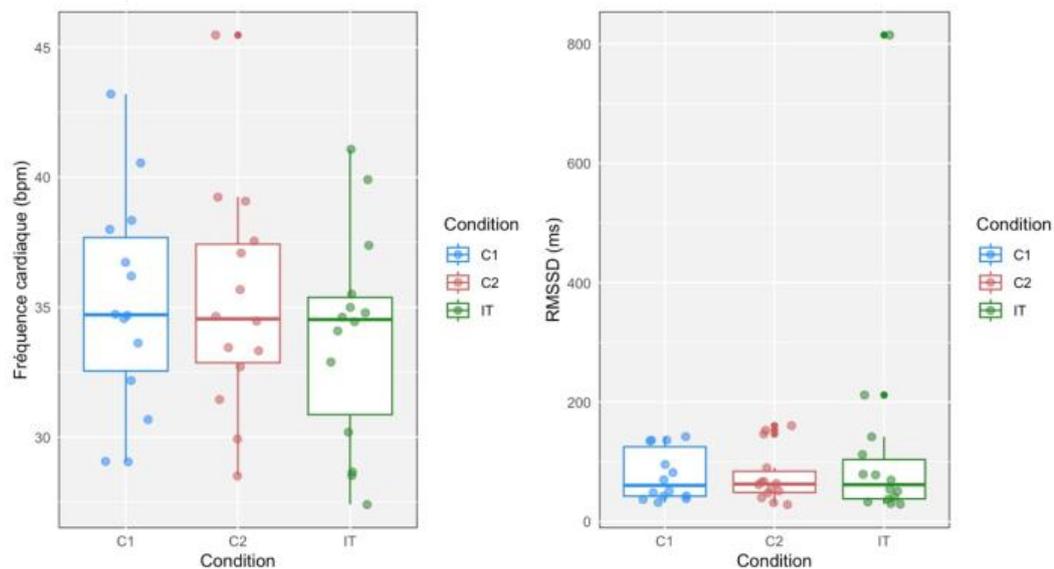
#### 3.7.1 Résultats des paramètres cardiaques et du dosage du cortisol



En raison de l'incapacité à prélever la salive, certains individus ont été écartés de l'analyse du cortisol. Cela concerne les individus 30 et 32 (N=12). Aucune différence significative n'a été trouvée dans la concentration de cortisol salivaire des chevaux entre les quatre périodes de prélèvements T0, T1, T2, et T3 (Friedman  $\chi^2 = 0,7$  ;  $p = 0,87$ ) (**Figure 11**). En moyenne, la concentration de cortisol salivaire était de 0,07  $\mu\text{g/dL}$  aux temps T0, T1 et T2, et de 0,06  $\mu\text{g/dL}$  au temps T3.

**Figure 11** : Concentration de cortisol salivaire ( $\mu\text{g/dL}$ ) selon les différents temps de prélèvement (N=12).

Concernant les paramètres cardiaques, aucune différence significative n'a été trouvée entre les conditions pour la fréquence cardiaque et le RMSSD (**Figure 12**).



**Figure 12** : Comparaison des valeurs des paramètres de la VFC (Fréquence cardiaque et RMSSD) pour chaque condition (C1, IT, C2).

#### 3.7.2 Liens

##### *entre la dynamique des FAUs et les biomarqueurs physiologiques en IT*

En raison des très faibles résultats des tests préliminaires à l'ACP (test de KMO  $< 0,05$ ) prenant en compte les données physiologiques et les données des expressions faciales en IT, aucune ACP n'a pu être représentée dans cette partie. Par conséquent, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre les occurrences ou pourcentages de temps des différentes FAUs et la concentration en cortisol ou les paramètres cardiaques.

## IV. Discussion

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer si l'interaction tactile entre propriétaire et cheval engendre une modulation des expressions faciales équinées, et de déterminer si l'état émotionnel du cheval est un facteur sous-jacent de cette variation. Pour ce faire, une trentaine de comportements, qualifiés d'« Action Unit » et « Action Descriptor », issus de l'EquiFACS, ont été utilisés. Cependant, en raison de la taille réduite de l'échantillon, seules les AUs qui ont été exprimées par au moins 50 % des individus parmi au moins une des trois conditions ont été analysées.

### *4.1 Modulations générales des expressions faciales*

Lors de l'IT, les chevaux ont exprimé significativement plus de fois et/ou plus longtemps certaines expressions faciales, notamment l'AU10L, AU16L et AU18L, en comparaison aux conditions contrôles. Ces résultats permettent de mettre en évidence une modulation de certaines AUs. Ainsi, ces variations suggèrent que l'interaction tactile exerce une influence sur la dynamique de certaines expressions faciales chez les chevaux.

À présent, il est intéressant d'évaluer les différents facteurs ayant pu moduler la variation des expressions faciales. Une première étape dans l'analyse est d'évaluer si les AUs ont pu être modulées par le stress, la douleur ou l'inconfort, qui se trouvent être les facteurs les plus étudiés chez le cheval.

### *4.2 Exclusion du stress, de la douleur et de l'inconfort en tant que modulateurs des expressions faciales*

Un aspect important à écarter, avant de considérer l'hypothèse de la composante émotionnelle, est la modulation des expressions faciales par le stress, l'inconfort et/ou la douleur, que le protocole aurait pu engendrer. Le stress, perturbation de l'homéostasie biologique, se manifeste par des réponses physiologiques et comportementales, en réponse à une agression (Veissier & Boissy, 2007). L'analyse des paramètres physiologiques, tels que le taux de cortisol salivaire et les paramètres cardiaques, offre des indications précieuses sur la perception potentielle de situations stressantes par les animaux non-humains (Hellhammer et al., 2009 ; Leliveld et al., 2016). Toutefois, ces paramètres n'ont pas montré de variations significatives entre les différentes conditions. De plus, les comportements posturaux n'ont pas

varié, à l'exception de la hauteur d'encolure, qui suggère un niveau d'éveil plus élevé plutôt qu'un état de stress. Certains comportements, tels que les mouvements d'oreilles, l'augmentation de la locomotion ou une queue en position haute, sont révélateurs d'un état de stress chez les chevaux (Harewood & McGowan, 2005 ; Young et al., 2012).

Concernant la douleur et l'inconfort, l'analyse des expressions faciales constitue un indicateur particulièrement pertinent. Trois des huit AUs analysées statistiquement ont été mentionnées dans l'*Equine Pain Scale* (Gleerup et al., 2015) et le *Horse Grimace Scale* (Costa et al., 2014), qui sont des références en matière d'expressions faciales liées à l'inconfort et à la douleur, basées sur la méthodologie FACS. Il s'agit de l'AU17, l'AU25 et l'AD81. De premier abord, aucune variation n'a été observée concernant les occurrences ou les durées de ces trois FAUs. Bien qu'elles aient été recensées durant les contrôles et l'IT, aucune différence significative n'a été démontrée d'après les modèles GLMMs établis. Il est néanmoins crucial de garder à l'esprit que le faible échantillon pourrait affecter les résultats, car le stress, l'inconfort et la douleur sont des expériences hautement individuelles et leur expression peut varier selon les individus (Ask et al., 2024). De plus, il est important de considérer que les vidéos analysées ont été enregistrées en présence d'observateurs, ce qui peut amener les chevaux à modifier leurs comportements d'inconfort (Torcivia & McDonnell, 2020). Même si les expressions faciales associées à la douleur sont potentiellement plus difficiles à dissimuler que les comportements posturaux, l'impact de la présence d'un observateur reste incertain (Ask et al., 2024). Tomberg et al. (2023) ont démontré que l'AU17 est augmenté en présence d'un expérimentateur inconnu, mais qu'il s'agissait sans doute plus d'un comportement de frustration que de douleur.

Au regard des résultats concernant les expressions faciales, les paramètres physiologiques ainsi que la posture générale, il semblerait que le protocole n'ait pas induit de stress, ni n'ait été perçu par le cheval comme une expérience douloureuse ou inconfortable.

#### *4.3 La part des traits individuels dans la variation des expressions faciales*

Le stress, la douleur et l'inconfort écartés, il est possible que les caractéristiques propres à chaque individu aient joué le rôle de modulateur des expressions faciales. Les résultats de cette étude suggèrent que certains traits individuels, tels que les comportements stéréotypés,

l'âge, la race, le mode de vie, la durée de la relation avec le propriétaire et le sexe, ont un impact significatif sur la dynamique des expressions faciales, notamment sur l'AU18L et l'AUH13L.

Les comportements stéréotypés sont des comportements répétitifs sans fonction apparente dans le contexte où ils se produisent (Bergeron et al., 2006 ; Descovich et al., 2017). Dans cette étude, seulement deux chevaux ont manifesté de tels comportements, ce qui reste insuffisant pour conclure à un effet significatif sur l'occurrence ou la durée des expressions faciales.

La durée de la relation propriétaire-cheval comprise entre cinq à dix ans semble être corrélée à une augmentation de la durée de l'AU18L. Néanmoins, il ne paraît pas y avoir de corrélation établie avec les chevaux ayant une relation supérieure à dix ans avec leur propriétaire. Ainsi, il est peu certain que l'ancienneté de la relation exerce une influence sur la variation des expressions faciales.

En ce qui concerne l'âge, le sexe et la race, les juments passent moins de temps à réaliser l'AU18L, et les chevaux plus âgés et de races dites sportives semblent moins expressifs que les plus jeunes. Peu d'études existent sur la différenciation de genre en matière d'expressions faciales chez les animaux. Chez l'humain, les femmes paraissent exprimer plus fréquemment des AUs que les hommes, notamment dans des situations à valence positive (McDuff et al., 2017). La prédominance de juments dans l'échantillon pourrait également affecter la puissance statistique des résultats. Chez le chien, les individus âgés expriment beaucoup moins d'expressions faciales (Sexton et al., 2023), dû au fait qu'ils sont moins mobiles physiquement, suggérant peut-être une cognition diminuée qui ralentit la réponse (Watowich et al., 2020). Chez l'Homme, chez qui l'impact des traits individuels sur la dynamique des expressions faciales a été majoritairement étudié, la vieillesse est souvent considérée comme un facteur influençant l'interprétation des expressions faciales d'autrui plutôt que la modulation des propres expressions faciales de l'individu (Suzuki et al., 2007). Chez les chevaux, cependant, une étude de Schanz et al. (2019) a montré que ni le sexe ni l'âge n'affectent l'expression faciale de l'AU101 ou *wrinkle*, correspondant aux rides oculaires présentes au-dessus des yeux. En revanche, la race semble affecter l'angle de la ligne passant par les deux coins de l'œil et la ride la plus haute, les pur-sang ayant l'angle le plus étroit. Néanmoins, aucune autre étude ne démontre que d'autres expressions faciales sont modulées par ces caractéristiques.

Enfin, le mode de vie, faisant référence aux conditions d'hébergement, est une caractéristique primordiale à considérer. L'hébergement individuel en box est réputé néfaste pour le bien-être des chevaux, manifesté par des comportements de stress et la prédominance de stéréotypies (Ruet et al., 2019). Les résultats ici montrent que la vie en prairie avec des congénères, considérée comme une condition optimale pour le cheval, est associée à une diminution significative du temps passé à exprimer l'AU18L, une expression faciale associée à une valence émotionnelle positive (Lansade et al., 2018). Cette observation peut paraître étonnante, car elle contredit les études affirmant que des conditions de vie optimales devraient favoriser les expressions faciales liées au bien-être. Cependant, l'AU18 est une expression faciale ponctuelle, déclenchée par une stimulation tactile comme le *grooming* (Lansade et al., 2018), ce qui ne semble pas liée au mode de vie imposé.

Ainsi, il est difficile d'affirmer, au vu des résultats obtenus, que les traits individuels des chevaux de l'étude influencent la modulation des AUs, d'autant plus que seules deux AUs sur huit présentent une signification statistique. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact des traits individuels sur les expressions faciales, et pourraient inclure notamment le tempérament, un aspect n'ayant pas été abordé ici.

#### *4.4 Activation et valence de la composante émotionnelle*

L'analyse des biomarqueurs comportementaux, en particulier la posture, fournit des informations essentielles pour soutenir l'hypothèse de l'activation émotionnelle. Lors de l'IT, les chevaux ont montré une augmentation significative du maintien de l'encolure très haute, un comportement associé à un haut niveau d'éveil (*arousal*) et de vigilance (Stratton, 2022 ; Trösch et al., 2019), apportant ainsi un argument déterminant pour valider l'activation de la composante émotionnelle (Gu et al., 2018 ; Lansade et al., 2018 ; Ruet et al., 2019). Chez les animaux, la vigilance est définie comme l'état de surveillance de l'environnement pour détecter des menaces potentielles (Beauchamp, 2015), et constitue un prérequis dans les processus cognitifs liés à l'attention (Lim & Dinges, 2008). Cela suggère que l'interaction tactile engendre une augmentation du niveau d'éveil et de l'attention du cheval. La diminution significative du temps passé en encolure basse pendant l'IT, comparé à la condition contrôle (C1), soutient cette idée, car ce comportement est associé à des états de repos et de relaxation (Birt et al., 2015 ; Young et al., 2012). Le comportement d'encolure haute est souvent corrélé à une valence émotionnelle négative (Corujo et al., 2021 ; Lansade et al., 2018 ; Trösch et al., 2020).

Toutefois, dans cette étude, la forte corrélation positive avec l'AU18 suggère que l'étirement de l'encolure pourrait indiquer une perception positive lors des caresses, similaire à ce qui a été observé chez les moutons (Lange et al., 2020) et les vaches (Schmied et al., 2008). De plus, les chevaux ont passé significativement plus de temps avec leur attention dirigée à gauche, vers leur propriétaire, ce qui pourrait indiquer une recherche de contact, un comportement impliquant un investissement attentionnel et lié, de surcroît, à une valence émotionnelle positive (Lansade et al., 2018 ; McBride et al., 2004).

Ces observations comportementales, associant un haut niveau d'éveil ainsi qu'une recherche de contact, reflètent un investissement attentionnel, de la part du cheval envers sa propriétaire pendant l'IT. L'investissement attentionnel se réfère à l'augmentation sélective des ressources cognitives dans les processus d'attention. L'éveil (ou *arousal*), dimension clé de la composante émotionnelle, confirme l'hypothèse selon laquelle le statut émotionnel du cheval serait un facteur modulateur des expressions faciales durant l'interaction tactile.

Concernant désormais la valence de cette composante émotionnelle, il est nécessaire de reconsidérer les résultats liés à l'AU18. Comme dit précédemment, cette AU est la seule à avoir été associée à une valence émotionnelle positive chez le cheval, ce qui en fait un marqueur crucial dans l'évaluation des états émotionnels équin (Lansade et al., 2018). Chez d'autres espèces animales, l'AU18 est une AU dont la significativité dans le contexte de l'expression émotionnelle reste ambiguë. Chez certaines espèces de macaques, l'AU18 fait partie des AUs exprimées lors d'une expression faciale particulière, appelée le *lipsmack* (Correia-Caeiro et al., 2021). Ce comportement est un signal affiliatif, utilisé par les macaques lors d'engagements dans des interactions sociales positives (Micheletta et al., 2012). Chez les chiens, des expressions faciales spécifiques telles que l'EAD102 (*ears adductor*) ou l'AU25 (*lips part*) ont été associées à des états émotionnels positifs, mais pas l'AU18 (Bremhorst et al., 2019). Dans le cas des bovins, des moutons et des cochons, bien qu'il ait été observé que ces animaux utilisent les expressions faciales pour communiquer leurs états émotionnels, souvent dans des contextes de stress ou de douleurs (Reefmann et al., 2009 ; Steagall et al., 2021), les dynamiques des lèvres n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. Chez l'humain, les expressions faciales, et notamment la dynamique des lèvres, sont des révélateurs majeurs de l'état émotionnel (Ekman, 1992). L'AU18 chez l'Homme, également appelé *lip pucker*, se caractérise par la contraction des muscles incisivoires, qui tirent les lèvres vers l'intérieur, allongeant ainsi la bouche qui vient s'arrondir comme pour imiter un baiser (Vick et al., 2006). Contrairement à

d'autres AUs, comme l'AU12 (*lip corner puller*) qui fait référence au sourire et qui est principalement associé à la joie (Kohler et al., 2004), l'AU18 n'a pas de valence émotionnelle bien définie. Elle est souvent combinée à d'autres unités d'actions, desquelles alors la signification émotionnelle dépendra.

Pour approfondir l'analyse sur la valence émotionnelle, les résultats des co-occurrences d'AUs offrent une perspective enrichissante sur l'interprétation des états émotionnels chez les chevaux, similaire aux observations faites chez les humains. L'augmentation des co-occurrences de l'AU18L + AU17L et AU10L + AU18L durant l'IT comparé aux contrôles pourrait refléter une réponse de détente ou d'ajustement comportemental positif. L'AU17, bien que, comme expliqué précédemment, souvent associé à des états d'inconfort ou de douleur (Costa et al., 2014), pourrait, lorsqu'il est combiné avec l'AU18, signaler un état de relaxation progressif. Concernant l'AU10, aucune valence émotionnelle spécifique n'a été attribuée chez le cheval. Bien que l'AU10 soit observée en combinaison avec l'AU18, dont la valence positive est connue (Lansade et al., 2018), elle apparaît également avec l'AU25, dont la fréquence augmente en C1 par rapport à l'IT, et qui possède une valence émotionnelle opposée à l'AU18 (Costa et al., 2014). Chez l'Homme, où les co-occurrences d'AUs ont été le plus étudiées, la combinaison AU10 + AU25 fait généralement référence à une expression de dégoût (Wiggers, 1982). Enfin, l'interprétation des co-occurrences d'AUH13L + AU113L et de AUH13L + AU17 reste ambiguë en raison de la pauvreté des études à ce sujet. La fréquence accrue de l'AUH13L + AU113L pendant l'IT et la diminution de l'AUH13L + AU17 suggère que l'AUH13L pourrait avoir une valence émotionnelle modulable selon l'AU avec laquelle elle est associée, bien qu'aucune étude n'évoque la valence émotionnelle de l'AU113. Chez le cheval, les études sur les combinaisons d'AUs sont limitées. Seules l'AU16 + AU17 ont été mentionnées comme fréquemment observées ensembles (Wathan et al., 2015), rendant ainsi les analyses et interprétations complexes. Ces résultats soutiennent l'idée que les expressions faciales peuvent être le reflet de nuances émotionnelles complexes.

D'autres résultats importants à considérer sont ceux des modèles GLMMs en lien avec les paramètres biomécaniques, qui montrent que la fréquence et la durée de l'AU18L sont significativement influencées par la vitesse de la caresse, une variable clé de la biomécanique de l'interaction tactile et fortement liée à la composante émotionnelle. Cela suggère ainsi un lien entre la biomécanique de l'IT et la perception plaisante du cheval. Cependant, l'absence de littérature concernant la présence de fibres tactiles C chez le cheval limite la compréhension

des mécanismes sensoriels sous-jacents, et cette corrélation semble insuffisante pour démontrer la valence émotionnelle que pourrait induire l'interaction tactile. Il se pourrait, néanmoins, que la manifestation de cette unité d'action soit un moyen de communication interspécifique destiné à l'humain pour indiquer les zones de *grooming* préférentielles.

Ainsi, bien que l'AU18 soit la seule unité d'action faciale spécifiquement associée au bien-être chez les chevaux, les données actuelles ne permettent pas de conclure de manière définitive sur la nature exacte de la valence émotionnelle de l'interaction tactile. Les variations observées, impliquant des différences significatives en termes de durées et d'occurrences de l'AU18, suggèrent une tendance vers un état émotionnel positif, mais cette interprétation reste hypothétique en raison du manque de données sur la valence émotionnelle des autres AUs et mécanismes sensoriels impliqués. Attribuer une valence émotionnelle positive serait une généralisation hâtive, d'autant que l'étude de Lansade et al. (2018) est la seule à avoir proposé ce biomarqueur comme indicateur de bien-être.

#### *4.5 Limites et perspectives*

Plusieurs limites à cette étude peuvent être soulevées. Premièrement, le faible échantillon d'individus n'a pas permis de traiter statistiquement l'ensemble des expressions faciales. De plus, ce paramètre a probablement diminué la puissance des analyses statistiques. Répéter l'étude avec un effectif plus important permettrait sans doute de confirmer les résultats obtenus.

Une seconde limite concerne les expressions faciales étudiées. Bien que les *blink*, *half blink* et *eye closure*, ainsi que l'orientation des oreilles fassent partie des biomarqueurs analysés dans cette étude, certaines expressions faciales du manuel EquiFACS n'ont pas été étudiées, telles que l'*inner brow raiser* (AU101), l'*upper lid raiser* (AU5) et l'*eye white increase* (AD1), afin de se focaliser sur les AUs propres à la partie inférieure de la face. Il serait intéressant de reproduire l'analyse en incluant ces expressions, car elles ont été décrites comme indicateurs de douleur (Hintze et al., 2016 ; Lundblad et al., 2020 ; Lundblad et al., 2021). De plus, l'étude n'a pas évalué l'intensité des expressions faciales, contrairement au FACS originel (Ekman & Friesen, 1976), qui utilise des scores d'intensité de 1 à 5, où 1 indique une présence minimale et 5 une expression maximale (Ask et al., 2024). Une telle évaluation pourrait offrir des

perspectives intéressantes sur la relation entre l'intensité des expressions et les états émotionnels.

Concernant le choix des facteurs explicatifs étudiés, il aurait été intéressant de prendre en compte le tempérament du cheval, bien que peu d'études à ce jour permettent de corrélérer les expressions faciales avec le tempérament. Le tempérament est défini comme « un ensemble de tendances comportementales, présentes tôt dans la vie et relativement stables dans divers types de situations et au fil du temps » (Lansade et al., 2008). Le tempérament équin peut être évalué au moyen de questionnaires ou de mesures de corrélats tels que le comportement ou les hormones (Rankins & Wickens, 2020).

En ce qui concerne la durée de l'interaction tactile, il serait intéressant de prolonger ou bien de raccourcir la durée de l'interaction tactile afin de voir si les émotions mesurées via les expressions faciales sont modulées par la durée du contact. Limitée à trois minutes, la durée de l'IT pourrait également limiter l'intensité des émotions. Dans ce même objectif, il serait pertinent d'étudier différentes zones de contacts lors des caresses, afin d'établir potentiellement des zones préférentielles de contact tactile chez le cheval.

Enfin, la distinction entre les expressions dites « macro » et « micro », suivant leur durée, n'a pas été abordée ici. Étudier la prédominance de certaines AUs en tant que micro ou macro-expressions pourrait fournir des informations complémentaires sur l'analyse des émotions. En effet, les micro-expressions, souvent brèves et involontaires, sont considérées comme des révélateurs d'états émotionnels profonds, difficiles à dissimuler (Paul Ekman Group, LLC, 2024).

Pour la suite, il serait pertinent de comparer les résultats de l'analyse des expressions faciales équines avec celles des expressions faciales humaines, afin de voir si une certaine congruence est retrouvée. Mettre en parallèle ces résultats permettrait d'explorer le phénomène de contagion émotionnelle, un processus dans lequel un individu influence le comportement d'un autre individu par l'induction consciente ou inconsciente d'états émotionnels et d'attitudes comportementales (Schoenewolf, 1990), envisagé au-vu des capacités du cheval à reconnaître les émotions humaines (Scopa, 2019). De nouveau, par manque de données, les expressions faciales de l'hémiface droite n'ont pas été explorées. Cela s'explique par le fait que les chevaux étaient toujours attachés du côté droit, y compris lors de l'interaction tactile. Bien qu'ils puissent

librement tourner leur tête, leurs mouvements restaient limités. De plus, la caméra filmant les expressions faciales était positionnée du côté gauche du cheval. Cependant, en examinant attentivement les quelques observations réalisées du côté droit, près de la moitié d'entre elles ont été codées pendant l'interaction tactile suggérant que les chevaux tournent davantage la tête à gauche lorsqu'ils sont en présence de leur propriétaire, exposant ainsi leur face droite. Permettre davantage de liberté de mouvements et filmer des deux côtés offrirait une analyse complète, notamment sur l'hypothèse que les stimuli positifs mobilisent les deux hémisphères cérébraux chez les chevaux (De Boyer des Roches et al., 2008).

De plus, la modulation des taux de clignements oculaires, influencée par l'action dopaminergique, pourrait offrir une perspective intéressante sur l'évaluation des réponses émotionnelles liées aux AUs chez les chevaux. En effet, les clignements spontanés équinés étant supposés liés aux niveaux de dopamine dans le cerveau, une augmentation du taux de clignements pourrait indiquer une stimulation des neurones dopaminergiques résultant d'une émotion positive (Baik, 2020). En outre, l'influence de l'attachement et de l'ocytocine dans les interactions sociales et émotionnelles devrait être explorée, car ces facteurs pourraient moduler les expressions faciales.

Enfin, l'intégration de la thermographie infrarouge (ou IRT - méthode d'enregistrement du rayonnement électromagnétique émis par le corps) pourrait enrichir l'analyse des émotions chez le cheval. Les réponses au stress et à la douleur exercent une influence sur la température corporelle (Travain & Valsecchi, 2021). L'IRT permet de surveiller les variations de température de surface et d'évaluer ainsi l'état mental des animaux, de manière immédiate et non invasive. Chez les moutons, l'exposition à des facteurs de stress a entraîné une diminution de la température de l'oreille et du pavillon, corrélée à une augmentation de la fréquence cardiaque et du cortisol salivaire (Lowe et al., 2005). Cependant, chez certaines espèces dont la coloration et l'épaisseur du pelage varient, comme les chevaux, la température de surface peut être affectée (Mccafferty, 2007). La température de l'œil et de la zone environnante semble être moins influencée par ces facteurs et offre un meilleur potentiel pour surveiller les réponses émotionnelles (Yarnell et al., 2013). Ainsi, des études chez le cheval ont démontré qu'une augmentation de la température oculaire pendant un stress était corrélée avec le taux de cortisol salivaire (Yarnell et al., 2013). En résumé, l'utilisation de l'IRT, notamment au niveau oculaire, pourrait constituer une analyse complémentaire dans l'étude des émotions liées à l'interaction tactile entre un humain et son cheval.

## V. Conclusion

Chez l'humain, les expressions faciales reflètent le répertoire d'émotions profondes, basées sur la simple contraction involontaire des muscles faciaux. Leur caractère universel en fait un moyen efficace pour exprimer et interpréter les états émotionnels. Chez les animaux non-humains, ces expressions se sont également avérées être des indicateurs fiables, offrant des indices précieux sur le statut émotionnel, particulièrement dans des situations douloureuses ou stressantes. Cependant, leur utilisation pour évaluer des expériences considérées comme positives, telles que des interactions avec un humain familier, reste encore peu explorée.

Cette étude a permis de mettre en évidence une modulation des expressions faciales équinnes durant une interaction tactile avec un humain, due à l'activation de la composante émotionnelle. En effet, cette interaction semble avoir suscité un investissement attentionnel de la part du cheval envers sa propriétaire, comme en témoignent son attention dirigée vers elle et son niveau d'éveil accru. Bien que la valence émotionnelle positive sous-jacente n'ait pas été explicitement confirmée, la stabilité et les valeurs des biomarqueurs physiologiques, tels que la fréquence cardiaque et les niveaux de cortisol, suggèrent que les chevaux n'ont pas perçu cette interaction tactile avec leur propriétaire comme émotionnellement négative. De plus, l'hypothèse d'une valence émotionnelle positive a été envisagée en raison de la modulation significative de l'AU18, seule expression faciale reconnue comme indicatrice du bien-être équin dans la littérature.

Ainsi, les expressions faciales se présentent comme un biomarqueur innovant pour l'étude des interactions humains-animaux. Cette recherche ouvre de nouvelles perspectives quant à l'utilisation des expressions faciales comme marqueurs d'expériences plaisantes dans ces interactions interspécifiques, domaine encore peu étudié. Il est crucial de poursuivre les recherches afin de pouvoir identifier d'autres unités d'action comme indicateurs de bien-être chez les équidés, dans le but d'améliorer les pratiques de manipulation des chevaux dans le milieu équestre.

## VI. Références

- Ask, K., Rhodin, M., Rashid-Engström, M., Hernlund, E., & Andersen, P. H. (2024). Changes in the equine facial repertoire during different orthopedic pain intensities. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50383-y>
- ANSES. (2018). *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au « Bien-être animal : contexte, définition et évaluation »* (Saisine n° « 2016-SA-0288 »). <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0288.pdf>
- Bass, M. M., Duchowny, C. A., & Llabre, M. M. (2009). The Effect of Therapeutic Horseback Riding on Social Functioning in Children with Autism. *Journal Of Autism And Developmental Disorders*, 39(9), 1261-1267. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0734-3>
- Baik, J. (2020). Stress and the dopaminergic reward system. *Experimental & Molecular Medicine*, 52(12), 1879-1890. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-00532-4>
- Beauchamp, G. (2015). Function of Animal Vigilance. Dans *Elsevier eBooks* (p. 23-49). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801983-2.00002-4>
- Beetz, A., Uvnäs-Moberg, K., Julius, H., & Kotrschal, K. (2012). Psychosocial and Psychophysiological Effects of Human-Animal Interactions : The Possible Role of Oxytocin. *Frontiers In Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00234>
- Bendas, J., & Croy, I. (2021). The impact of touch on bonding and neurodevelopment. Dans *Elsevier eBooks* (p. 561-568). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817986-4.00048-1>
- Bergeron, R., Badnell-Waters, A. J., Lambton, S., & Mason, G. (2006). Stereotypic oral behaviour in captive ungulates : foraging, diet and gastrointestinal function. Dans *CABI eBooks* (p. 19-57). <https://doi.org/10.1079/9780851990040.0019>
- Bessou, P., Burgess, P. R., Perl, E. R., & Taylor, C. B. (1971). Dynamic properties of mechanoreceptors with unmyelinated (C) fibers. *Journal Of Neurophysiology*, 34(1), 116-131. <https://doi.org/10.1152/jn.1971.34.1.116>
- Birke, L. (2008). Talking about Horses : Control and Freedom in the World of « Natural Horsemanship » . *Society & Animals*, 16(2), 107-126. <https://doi.org/10.1163/156853008x291417>
- Birke, L., & Hockenhull, J. (2015). Journeys Together : Horses and Humans in Partnership. *Society & Animals*, 23(1), 81-100. <https://doi.org/10.1163/15685306-12341361>
- Birt, M. A., Guay, K., Treiber, K., Ramirez, H. R., & Snyder, D. (2015). The Influence of a Soft Touch Therapy Flowtrition on Heart Rate, Surface Temperature, and Behavior in

- Horses. *Journal Of Equine Veterinary Science*, 35(8), 636-644.  
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.06.006>
- Bohic, M., & Abaira, V. E. (2022). Wired for social touch : the sense that binds us to others. *Current Opinion In Behavioral Sciences*, 43, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.10.009>
- Bremhorst, A., Sutter, N. A., Würbel, H., Mills, D. S., & Riemer, S. (2019). Differences in facial expressions during positive anticipation and frustration in dogs awaiting a reward. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55714-6>
- Brooks, Komáromy, & Källberg. (1999). Comparative retinal ganglion cell and optic nerve morphology. *Veterinary Ophthalmology*, 2(1), 3-11. <https://doi.org/10.1046/j.1463-5224.1999.00047.x>
- Burgon, H., Gammage, D., & Hebden, J. (2017). Hoofbeats and heartbeats : equine-assisted therapy and learning with young people with psychosocial issues – theory and practice. *Journal Of Social Work Practice*, 32(1), 3-16.  
<https://doi.org/10.1080/02650533.2017.1300878>
- Chapitre VI : Équidés, Règlements général & d'ordre intérieur n° Article 225.2 (2021) (Belgique). [https://www.lewb.be/sites/default/files/documents/rg-roi\\_2021-2.pdf](https://www.lewb.be/sites/default/files/documents/rg-roi_2021-2.pdf)
- Compitus, K. (2021). The Human-Animal Bond in Clinical Social Work Practice. Dans *Essential clinical social work series*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87783-5>
- Correia-Caeiro, C., Holmes, K., & Miyabe-Nishiwaki, T. (2021). Extending the MaqFACS to measure facial movement in Japanese macaques (*Macaca fuscata*) reveals a wide repertoire potential. *PLoS ONE*, 16(1), e0245117.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245117>
- Corujo, L. A., Kieson, E., Schloesser, T., & Gloor, P. A. (2021). Emotion Recognition in Horses with Convolutional Neural Networks. *Future Internet*, 13(10), 250.  
<https://doi.org/10.3390/fi13100250>
- Costa, E. D., Minero, M., Lebelt, D., Stucke, D., Canali, E., & Leach, M. C. (2014). Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a Pain Assessment Tool in Horses Undergoing Routine Castration. *PLoS ONE*, 9(3), e92281.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092281>
- Cruz, A. A. V. E., Garcia, D. M., De Pinto, C. E. P., & Cechetti, S. P. (2011). Spontaneous eyeblink activity. *The Ocular Surface*, 9(1), 29-41. [https://doi.org/10.1016/s1542-0124\(11\)70007-6](https://doi.org/10.1016/s1542-0124(11)70007-6)
- De Boyer des Roches, A., Richard-Yris, M., Henry, S., Ezzaoui, M., & Hausberger, M. (2008). Laterality and emotions : Visual laterality in the domestic horse (*Equus caballus*) differs with objects' emotional value. *Physiology & Behavior*, 94(3), 487-490. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.03.002>

- Decouty, A., & Engelsens, A. (2017). La filière équine belge. *Equipedia Ifce*. <https://equipedia.ifce.fr/economie-et-filiere/organisation/organismes-et-filiere-internationales/filiere-equine-belge>
- Descovich, K. (2017). Facial expression : An under-utilised tool for the assessment of welfare in mammals. *ALTEX*. <https://doi.org/10.14573/altex.1607161>
- Dimberg, U., & Petterson, M. (2000). Facial reactions to happy and angry facial expressions : Evidence for right hemisphere dominance. *Psychophysiology*, 37(5), 693-696. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3750693>
- Ein, N., Li, L., & Vickers, K. S. (2018). The effect of pet therapy on the physiological and subjective stress response : A meta-analysis. *Stress And Health*, 34(4), 477-489. <https://doi.org/10.1002/smi.2812>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1976). Measuring facial movement. *Environmental Psychology And Nonverbal Behavior*, 1(1), 56-75. <https://doi.org/10.1007/bf01115465>
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3-4), 169-200. <https://doi.org/10.1080/02699939208411068>
- Ekman P., Friesen W. V., Hager J. C. (2002). *The Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*.
- Fang, M., & Li, Y. (2022). The origin and domestication history of domestic horses and the domestication characteristics of breeds. *PubMed*, 44(3), 216-229. <https://doi.org/10.16288/j.ycz.21-260>
- Fédération Wallonie-Bruxelles & Adeps. (2020). *L'égalité femmes-hommes dans le sport en Fédération Wallonie-Bruxelles*. [https://plus-sportives.cfwb.be/fileadmin/sites/plus/uploads/documents/PDF\\_accessible/L\\_egalite\\_femmes-hommes\\_dans\\_le\\_sport\\_en\\_Federation\\_Wallonie-Bruxelles.pdf](https://plus-sportives.cfwb.be/fileadmin/sites/plus/uploads/documents/PDF_accessible/L_egalite_femmes-hommes_dans_le_sport_en_Federation_Wallonie-Bruxelles.pdf)
- Frank, H. A., & Frank, M. G. (1982). On the effects of domestication on canine social development and behavior. *Applied Animal Ethology*, 8(6), 507-525. [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(82\)90215-2](https://doi.org/10.1016/0304-3762(82)90215-2)
- Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS : a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods In Ecology And Evolution*, 7(11), 1325-1330. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12584>
- Friedman, E., & Krause-Parello, C. A. (2018). Companion animals and human health : benefits, challenges, and the road ahead for human–animal interaction. *Revue Scientifique et Technique de L Office International des Epizooties*, 37(1), 71-82. <https://doi.org/10.20506/rst.37.1.2741>
- Gainotti, G. (2012). Unconscious processing of emotions and the right hemisphere. *Neuropsychologia*, 50(2), 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.12.005>

- Gainotti, G. (2018). Emotions and the Right Hemisphere : Can New Data Clarify Old Models ? *The Neuroscientist*, 25(3), 258-270. <https://doi.org/10.1177/1073858418785342>
- Gleerup, K. B., Forkman, B., Lindegaard, C., & Andersen, P. H. (2015). An equine pain face. *Veterinary Anaesthesia And Analgesia*, 42(1), 103-114. <https://doi.org/10.1111/vaa.12212>
- Goodnight, J. (2007). *Horse Psychology & the Language of Horses*. <https://juliegoodnight.com/>.  
<https://extadmin.ifas.ufl.edu/media/extadminifasufledu/cflag/image/docs/fl-equine-institute/2007/HorsePsychLanguage.pdf>
- Goodwin, D. (2007). Horse Behaviour : Evolution, Domestication and Feralisation. Dans *Springer eBooks* (p. 1-18). [https://doi.org/10.1007/978-0-306-48215-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-306-48215-1_1)
- Grandgeorge, M., & Hausberger, M. (2011). Human-animal relationships : from daily life to animal-assisted therapies. *HAL (le Centre Pour la Communication Scientifique Directe)*, 47(4), 397-408. [https://doi.org/10.4415/ann\\_11\\_04\\_12](https://doi.org/10.4415/ann_11_04_12)
- Gu, S., Gao, M., Yan, Y., Wang, F., Tang, Y., & Huang, J. H. (2018). The Neural Mechanism Underlying Cognitive and Emotional Processes in Creativity. *Frontiers In Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01924>
- Guerdelli, H., Ferrari, C., Barhoumi, W., Ghazouani, H., & Berretti, S. (2022). Macro- and Micro-Expressions Facial Datasets : A Survey. *Sensors*, 22(4), 1524. <https://doi.org/10.3390/s22041524>
- Han, B., Yoo, C., Kim, H., Yoo, J., & Jang, J. (2023). Deep Emotion Change Detection via Facial Expression Analysis. *Neurocomputing*, 549, 126439. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126439>
- Handlin, L., Hydbring-Sandberg, E., Nilsson, A., Ejdebäck, M., Jansson, A., & Uvnäs-Moberg, K. (2011). Short-Term Interaction between Dogs and Their Owners : Effects on Oxytocin, Cortisol, Insulin and Heart Rate—An Exploratory Study. *Anthrozoos*, 24(3), 301-315. <https://doi.org/10.2752/175303711x13045914865385>
- Harewood, E., & McGowan, C. (2005). Behavioral and physiological responses to stabling in naive horses. *Journal Of Equine Veterinary Science*, 25(4), 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2005.03.008>
- Harlow, H. F. (1958). The nature of love. *American Psychologist*, 13(12), 673-685. <https://doi.org/10.1037/h0047884>
- Hausberger, M., Roche, H., Henry, S., & Visser, E. (2008). A review of the human–horse relationship. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(1), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.04.015>

- Hertenstein, M. J., Keltner, D., App, B., Bulleit, B. A., & Jaskolka, A. R. (2006). Touch communicates distinct emotions. *Emotion*, *6*(3), 528-533. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.3.528>
- Hellhammer, D. H., Wüst, S., & Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*, *34*(2), 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.10.026>
- Hinde, R. A. (1976). Interactions, Relationships and Social Structure. *Man*, *11*(1), 1. <https://doi.org/10.2307/2800384>
- Hintze, S., Smith, S., Patt, A., Bachmann, I., & Würbel, H. (2016). Are Eyes a Mirror of the Soul? What Eye Wrinkles Reveal about a Horse's Emotional State. *PLoS ONE*, *11*(10), e0164017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164017>
- Holt-Lunstad, J., Birmingham, W. C., & Light, K. C. (2008). Influence of a “Warm Touch” Support Enhancement Intervention Among Married Couples on Ambulatory Blood Pressure, Oxytocin, Alpha Amylase, and Cortisol. *Psychosomatic Medicine*, *70*(9), 976-985. <https://doi.org/10.1097/psy.0b013e318187aef7>
- Human-Animal Bond Research Institute. (2023). *About | HABRI*. HABRI. <https://habri.org/about/>
- Jardat, P., & Lansade, L. (2021). Cognition and the human–animal relationship : a review of the sociocognitive skills of domestic mammals toward humans. *Animal Cognition*, *25*(2), 369-384. <https://doi.org/10.1007/s10071-021-01557-6>
- Jardat, P., Liehrmann, O., Reigner, F., Parias, C., Calandreau, L., & Lansade, L. (2023). Horses discriminate between human facial and vocal expressions of sadness and joy. *Animal Cognition*, *26*(5), 1733-1742. <https://doi.org/10.1007/s10071-023-01817-7>
- Jongkees, B. J., & Colzato, L. S. (2016). Spontaneous eye blink rate as predictor of dopamine-related cognitive function—A review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *71*, 58-82. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.020>
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006). Processing emotional pictures and words : Effects of valence and arousal. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *6*(2), 110-126. <https://doi.org/10.3758/cabn.6.2.110>
- Kohler, C. G., Turner, T., Stolar, N. M., Bilker, W. B., Brensinger, C. M., Gur, R. E., & Gur, R. C. (2004). Differences in facial expressions of four universal emotions. *Psychiatry Research*, *128*(3), 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2004.07.003>
- Kidd, T., Dferevine, S. L., & Walker, S. (2022). Affective touch and regulation of stress responses. *Health Psychology Review*, *17*(1), 60-77. <https://doi.org/10.1080/17437199.2022.2143854>
- Klingner, C. M., & Guntinas-Lichius, O. (2023). Mimik und Emotion. *Laryngo-rhinotologie*, *102*(S 01), S115-S125. <https://doi.org/10.1055/a-2003-5687>

- Kumazawa, T., & Perl, E. R. (1977). Primate cutaneous sensory units with unmyelinated (C) afferent fibers. *Journal Of Neurophysiology*, 40(6), 1325-1338. <https://doi.org/10.1152/jn.1977.40.6.1325>
- Lange, A., Franzmayr, S., Wisenöcker, V., Futschik, A., Waiblinger, S., & Lürzel, S. (2020). Effects of Different Stroking Styles on Behaviour and Cardiac Parameters in Heifers. *Animals*, 10(3), 426. <https://doi.org/10.3390/ani10030426>
- Lansade, L., Bouissou, M., & Erhard, H. W. (2008). Fearfulness in horses : A temperament trait stable across time and situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 115(3-4), 182-200. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.06.011>
- Lansade, L., Nowak, R., Lainé, A., Leterrier, C., Bonneau, C., Parias, C., & Bertin, A. (2018). Facial expression and oxytocin as possible markers of positive emotions in horses. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32993-z>
- Lefèvre, A., Benusiglio, D., Tang, Y., Krabichler, Q., Charlet, A., & Grinevich, V. (2021). Oxytocinergic Feedback Circuitries : An Anatomical Basis for Neuromodulation of Social Behaviors. *Frontiers In Neural Circuits*, 15. <https://doi.org/10.3389/fncir.2021.688234>
- Leliveld, L. M., Düpjan, S., Tuchscherer, A., & Puppe, B. (2016). Behavioural and physiological measures indicate subtle variations in the emotional valence of young pigs. *Physiology & Behavior*, 157, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.02.002>
- Lindell, A. K. (2013). Continuities in Emotion Lateralization in Human and Non-Human Primates. *Frontiers In Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00464>
- Lindell, A. K. (2018). Lateralization of the expression of facial emotion in humans. Dans *Progress in Brain Research* (p. 249-270). <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.06.005>
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep Deprivation and Vigilant Attention. *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 1129(1), 305-322. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.002>
- Lowe, T., Cook, C., Ingram, & Harris, P. (2005). *Changes in ear-pinna temperature as a useful measure of stress in sheep (Ovis aries)*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Changes-in-ear-pinna-temperature-as-a-useful-of-in-Lowe-Cook/dd2a1c0238a3619e53a778ad56b99a7169e66fc9>
- Lundblad, J., Rashid, M., Rhodin, M., & Andersen, P. H. (2021). Effect of transportation and social isolation on facial expressions of healthy horses. *PLoS ONE*, 16(6), e0241532. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241532>
- Lundblad, J., Rashid-Engström, M., Rhodin, M., & Andersen, P. H. (2020). Facial expressions of emotional stress in horses. *bioRxiv (Cold Spring Harbor Laboratory)*. <https://doi.org/10.1101/2020.10.19.345231>

- Maffei, A., & Angrilli, A. (2018). Spontaneous eye blink rate : An index of dopaminergic component of sustained attention and fatigue. *International Journal Of Psychophysiology*, 123, 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.11.009>
- Maurstad, A., Davis, D. L., & Cowles, S. (2013). Co-being and intra-action in horse-human relationships : a multi-species ethnography of be(com)ing human and be(com)ing horse. *Social Anthropology*, 21(3), 322-335. <https://doi.org/10.1111/1469-8676.12029>
- Mazô-Darné, N. (2006). Mémoriser grâce à nos sens. *Les Cahiers de L'APLIUT, Vol. XXV N° 2*, 28-38. <https://doi.org/10.4000/apliut.2456>
- McBride, S., Hemmings, A., & Robinson, K. (2004). A preliminary study on the effect of massage to reduce stress in the horse. *Journal Of Equine Veterinary Science*, 24(2), 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2004.01.014>
- Mccafferty, D. J. (2007). The value of infrared thermography for research on mammals : previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3), 207-223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00111.x>
- McCune, S., Kruger, K., & Merrill, R. (2012). WALTHAM® Pocket Book of Human-Animal Interactions. Dans <https://www.waltham.com>. <https://www.waltham.com/s3media/2020-05/human-animalinteractionsbookletelectronicversion.pdf>
- McDuff, D., Kodra, E., Kaliouby, R. E., & LaFrance, M. (2017). A large-scale analysis of sex differences in facial expressions. *PLoS ONE*, 12(4), e0173942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173942>
- McMonnies, C. W. (2010). Blinking mechanisms. Dans *Elsevier eBooks* (p. 202-208). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374203-2.00079-8>
- Micheletta, J., Engelhardt, A., Matthews, L., Agil, M., & Waller, B. M. (2012). Multicomponent and Multimodal Lipsmacking in Crested Macaques (*Macaca nigra*). *American Journal Of Primatology*, 75(7), 763-773. <https://doi.org/10.1002/ajp.22105>
- Nakamura, K., Takimoto-Inose, A., & Hasegawa, T. (2018). Cross-modal perception of human emotion in domestic horses (*Equus caballus*). *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26892-6>
- O'Haire, M. E. (2012). Animal-Assisted Intervention for Autism Spectrum Disorder : A Systematic Literature Review. *Journal Of Autism And Developmental Disorders*, 43(7), 1606-1622. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1707-5>
- Olausson, H., Wessberg, J., Morrison, I., McGlone, F., & Vallbo, Å. B. (2010). The neurophysiology of unmyelinated tactile afferents. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(2), 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.09.011>
- Olausson, H., Lamarre, Y., Backlund, H., Morin, C., Wallin, B. G., Starck, G., Ekholm, S., Strigo, I. A., Worsley, K. J., Vallbo, Å. B., & Bushnell, M. C. (2002). Unmyelinated

- tactile afferents signal touch and project to insular cortex. *Nature Neuroscience*, 5(9), 900-904. <https://doi.org/10.1038/nn896>
- Orlando, L. (2020). The Evolutionary and Historical Foundation of the Modern Horse : Lessons from Ancient Genomics. *Annual Review Of Genetics*, 54(1), 563-581. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-021920-011805>
- Paul Ekman Group, LLC. (2024, août 14). *Homepage - Paul Ekman Group*. Paul Ekman Group. <https://www.paulekman.com/>
- Pop, D., Rusu, A. S., Pop-Vancea, V., Papuc, I., Contantinescu, R., & Mireşan, V. (2014). Physiological Effects of Human-Animal Positive Interaction in Dogs - Review of the Literature. *Bulletin Of University Of Agricultural Sciences And Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies*, 71(2). <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:10398>
- Qu, F., Wang, S., Yan, W., & Fu, X. (2016). CAS(ME)2 : A Database of Spontaneous Macro-expressions and Micro-expressions. Dans *Lecture Notes in Computer Science* (p. 48-59). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39513-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39513-5_5)
- Rashid, M., Silventoinen, A., Gleerup, K. B., & Andersen, P. H. (2020). Equine Facial Action Coding System for determination of pain-related facial responses in videos of horses. *PLoS ONE*, 15(11), e0231608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231608>
- Racca, A., Guo, K., Meints, K., & Mills, D. S. (2012). Reading Faces : Differential Lateral Gaze Bias in Processing Canine and Human Facial Expressions in Dogs and 4-Year-Old Children. *PLOS ONE*, 7(4), e36076. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036076>
- Rankins, E. M., & Wickens, C. L. (2020). A systematic review of equine personality. *Applied Animal Behaviour Science*, 231, 105076. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105076>
- Reefmann, N., Wechsler, B., & Gygas, L. (2009). Behavioural and physiological assessment of positive and negative emotion in sheep. *Animal Behaviour*, 78(3), 651-659. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.06.015>
- Rogers, L. J., & Andrew, R. (2002). Comparative vertebrate lateralization. Dans *Cambridge University Press eBooks*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511546372>
- Rogers, C. W., Gee, E. K., & Dittmer, K. E. (2021). Growth and Bone Development in the Horse : When Is a Horse Skeletally Mature ? *Animals*, 11(12), 3402. <https://doi.org/10.3390/ani11123402>
- Ruet, A., Lemarchand, J., Parias, C., Mach, N., Moisan, M., Foury, A., Briant, C., & Lansade, L. (2019). Housing Horses in Individual Boxes Is a Challenge with Regard to Welfare. *Animals*, 9(9), 621. <https://doi.org/10.3390/ani9090621>
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal Of Personality And Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>

- Schanz, L., Krueger, K., & Hintze, S. (2019). Sex and Age Don't Matter, but Breed Type Does—Factors Influencing Eye Wrinkle Expression in Horses. *Frontiers In Veterinary Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00154>
- Schmied, C., Waiblinger, S., Scharl, T., Leisch, F., & Boivin, X. (2008). Stroking of different body regions by a human : Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(1), 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.01.013>
- Schoenewolf, G. (1990). Emotional contagion : behavioral induction in individuals and groups. *Modern Psychoanalysis*. <https://psycnet.apa.org/record/1991-19168-001>
- Scopa, C., Palagi, E., Sighieri, C., & Baragli, P. (2018). Physiological outcomes of calming behaviors support the resilience hypothesis in horses. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35561-7>
- Scopa, C., Contalbrigo, L., Greco, A., Lanatà, A., Scilingo, E. P., & Baragli, P. (2019). Emotional Transfer in Human–Horse Interaction : New Perspectives on Equine Assisted Interventions. *Animals*, 9(12), 1030. <https://doi.org/10.3390/ani9121030>
- Sexton, C. L., Buckley, C., Lieberfarb, J., Subiaul, F., Hecht, E. E., & Bradley, B. J. (2023). What Is Written on a Dog's Face ? Evaluating the Impact of Facial Phenotypes on Communication between Humans and Canines. *Animals*, 13(14), 2385. <https://doi.org/10.3390/ani13142385>
- Siniscalchi, M., D'Ingeo, S., & Quaranta, A. (2021). Lateralized emotional functioning in domestic animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 237, 105282. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105282>
- Smith, A. V., Proops, L., Grounds, K., Wathan, J., & McComb, K. (2016). Functionally relevant responses to human facial expressions of emotion in the domestic horse (*Equus caballus*). *Biology Letters*, 12(2), 20150907. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0907>
- Smithson, M., & Verkuilen, J. (2006). A better lemon squeezer ? Maximum-likelihood regression with beta-distributed dependent variables. *Psychological Methods*, 11(1), 54-71. <https://doi.org/10.1037/1082-989x.11.1.54>
- Steagall, P. V., Bustamante, H., Johnson, C. B., & Turner, P. V. (2021). Pain Management in Farm Animals : Focus on Cattle, Sheep and Pigs. *Animals*, 11(6), 1483. <https://doi.org/10.3390/ani11061483>
- Stratton, S. R. B. (2022). *Assessment of positive emotion in horses* [Thèse de doctorat]. Massey University.
- Suzuki, A., Hoshino, T., Shigemasu, K., & Kawamura, M. (2007). Decline or improvement ? *Biological Psychology*, 74(1), 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.07.003>

- Tarvainen, M. P., Niskanen, J., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods And Programs In Biomedicine*, 113(1), 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
- Tian, Y., Kanade, T., & Cohn, J. F. (2001). Recognizing action units for facial expression analysis. *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 23(2), 97-115. <https://doi.org/10.1109/34.908962>
- Tomberg, C., Petagna, M., & De Selliers de Moranville, L. (2023). Horses (Equus caballus) facial micro-expressions : insight into discreet social information. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35807-z>
- Torcivia, C., & McDonnell, S. (2020). In-Person Caretaker Visits Disrupt Ongoing Discomfort Behavior in Hospitalized Equine Orthopedic Surgical Patients. *Animals*, 10(2), 210. <https://doi.org/10.3390/ani10020210>
- Travain, T., & Valsecchi, P. (2021). Infrared Thermography in the Study of Animals' Emotional Responses : A Critical Review. *Animals*, 11(9), 2510. <https://doi.org/10.3390/ani11092510>
- Trösch, M., Cuzol, F., Parias, C., Calandreau, L., Nowak, R., & Lansade, L. (2019). Horses Categorize Human Emotions Cross-Modally Based on Facial Expression and Non-Verbal Vocalizations. *Animals*, 9(11), 862. <https://doi.org/10.3390/ani9110862>
- Trösch, M., Pellon, S., Cuzol, F., Parias, C., Nowak, R., Calandreau, L., & Lansade, L. (2020). Horses feel emotions when they watch positive and negative horse–human interactions in a video and transpose what they saw to real life. *Animal Cognition*, 23(4), 643-653. <https://doi.org/10.1007/s10071-020-01369-0>
- Vick, S., Waller, B. M., Parr, L. A., Pasqualini, M. C. S., & Bard, K. A. (2006). A Cross-species Comparison of Facial Morphology and Movement in Humans and Chimpanzees Using the Facial Action Coding System (FACS). *Journal Of Nonverbal Behavior*, 31(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10919-006-0017-z>
- Vidament, M., Lansade, L., Roche, H., & Neveux, C. (2018). La communication chez le cheval. *Equipedia IFCE*. <https://equipedia.ifce.fr/sant9297f3c9-4b81-484c-832b-e40f8ac9a427e-et-bien-etre-animal/bien-etre-et-comportement-animal/comportement-du-cheval/la-communication-chez-le-cheval>
- Veissier, I., & Boissy, A. (2007). Stress and welfare : Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiology & Behavior*, 92(3), 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.11.008>
- Waller, B. M., & Micheletta, J. (2013). Facial Expression in Nonhuman Animals. *Emotion Review*, 5(1), 54-59. <https://doi.org/10.1177/1754073912451503>
- Waring, G. H. (1983). *Horse behavior: The behavioral traits and adaptations of domestic and wild horses, including ponies*. Noyes Publications.

- Wathan, J., & McComb, K. (2014). The eyes and ears are visual indicators of attention in domestic horses. *Current Biology*, 24(15), R677-R679. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.06.023>
- Wathan, J., Burrows, A. M., Waller, B. M., & McComb, K. (2015). EQUIFACS : the Equine Facial Action Coding System. *PLOS ONE*, 10(8), e0131738. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131738>
- Wathan, J., Proops, L., Grounds, K., & McComb, K. (2016). Horses discriminate between facial expressions of conspecifics. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep38322>
- Watkins, R. H., Dione, M., Ackerley, R., Wasling, H. B., Wessberg, J., & Löken, L. (2021). Evidence for sparse C-tactile afferent innervation of glabrous human hand skin. *Journal Of Neurophysiology*, 125(1), 232-237. <https://doi.org/10.1152/jn.00587.2020>
- Watowich, M. M., MacLean, E. L., Hare, B., Call, J., Kaminski, J., Miklósi, Á., & Snyder-Mackler, N. (2020). Age influences domestic dog cognitive performance independent of average breed lifespan. *Animal Cognition*, 23(4), 795-805. <https://doi.org/10.1007/s10071-020-01385-0>
- Wiggers, M. (1982). Judgments of facial expressions of emotion predicted from facial behavior. *Journal Of Nonverbal Behavior*, 7(2), 101-116. <https://doi.org/10.1007/bf00986872>
- White-Lewis, S., Johnson, R., Ye, S., & Russell, C. (2019). An equine-assisted therapy intervention to improve pain, range of motion, and quality of life in adults and older adults with arthritis : A randomized controlled trial. *Applied Nursing Research*, 49, 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2019.07.002>
- Yarnell, K., Hall, C., & Billett, E. (2013). An assessment of the aversive nature of an animal management procedure (clipping) using behavioral and physiological measures. *Physiology & Behavior*, 118, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.05.013>
- Young, T., Creighton, E., Smith, T., & Hosie, C. (2012). A novel scale of behavioural indicators of stress for use with domestic horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 140(1-2), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.05.008>
- Zych, A. D., & Gogolla, N. (2021). Expressions of emotions across species. *Current Opinion In Neurobiology*, 68, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2021.01.003>

## VII. Annexes

Date	ID	Nom	Sexe	Âge (années)	Robe	Poids (kg)	Taille (m)	Race	Catégorie	Mode de vie	Relation avec la propriétaire (années)	Stéréotypie
05/03/2024	24	Menturio	Hongre	11	Gris	650	entre 1,65 et 1,75	BWP	Cheval de Selle	Box	6	Non
07/03/2024	25	Couleur Folenvie	Jument	11	Baie	400	entre 1,65 et 1,75	Zangerseide	Cheval de Selle	Box	5	Non
09/03/2024	26	l'Évidence Z	Jument	4	Pie baie	500	entre 1,49 et 1,65	Zangerseide	Cheval de Selle	Box	1	Non
17/03/2024	28	Lempira	Jument	12	Baie	450	entre 1,49 et 1,65	BWP	Cheval de Selle	Box	1,5	Oui
20/03/2024	29	Gaborone de Marguy	Jument	12	Alezan	700	entre 1,65 et 1,75	SBS	Cheval de Selle	Prairie	7	Non
26/03/2024	30	Midalah and Mane	Jument	10	Baie	500	entre 1,49 et 1,65	Hannovrien	Cheval de Selle	Box/Prairie	6	Non
30/03/2024	31	Forever	Jument	19	Noir	650	entre 1,65 et 1,75	BWP	Cheval de Selle	Box/Prairie	5	Non
06/04/2024	32	Mademoiselle	Jument	6	Gris	500	entre 1,49 et 1,65	SBS	Cheval de Selle	Prairie	6	Non
08/04/2024	33	Odin	Hongre	15	Isabelle	500	entre 1,41 et 1,48	Fjord	Poney	Prairie	4	Non
10/04/2024	34	Izzy	Jument	17	Pie baie	500	entre 1,41 et 1,48	Irish cob	Cheval de Trait	Box	15	Non
13/04/2024	35	Dom Pérignon	Hongre	15	Gris	400	entre 1,41 et 1,48	Connemara	Cheval de Selle	Prairie	14	Oui
16/04/2024	36	John	Hongre	20	Apaloosa	450	entre 1,49 et 1,65	Quarter Horse/ Apaloosa	Cheval de Selle	Box	13	Non
20/04/2024	37	Lirio do ELAR	Hongre	8	Isabelle	540	entre 1,49 et 1,65	Lusitanien	Cheval de Selle	Prairie	1	Non
26/04/2024	38	Zaïna	Jument	9	Pie alezan	400	entre 1,41 et 1,48	Arabe	Poney	Prairie	6	Non

SBS = Selgisch Sportpaard

BWP = Belgisch Warmbloed Paard

**Annexe 1** : Caractéristiques des chevaux de l'étude.

Zones	FAU	Comportement	Description du comportement	Muscles
<b>Bas du visage</b>	AU10	<i>Upper lip raiser</i>	La partie centrale de la lèvre supérieure est relevée.	Levator labii superioris alaeque nasi et transverse nasi
	AU12	<i>Lip corner puller</i>	Les commissures des lèvres sont tirées caudalement.	Zygomatic major
	AU113	<i>Sharp lip puller</i>	Le coin de la lèvre supérieure remonte vers l'arête du nez.	Levator labii superioris alaeque nasi
	AUH13	<i>Nostril lift</i>	La narine se soulève et s'allonge caudalement.	Levator annuli oris fascialis
	AU16	<i>Lower lip depressor</i>	La lèvre inférieure est abaissée vers le bas (ventralement).	Depressor labii inferioris
	AD160	<i>Lower lip relax</i>	La lèvre inférieure est relaxée et pend sans tension.	/
	AU17	<i>Chin raiser</i>	La peau recouvrant le menton et la lèvre inférieure sont poussées vers le haut.	Mentalis
	AU18	<i>Lip pucker</i>	La lèvre supérieure se pince et se serre vers l'avant, loin des dents.	Orbicularis oris et incisivii labii
	AU122	<i>Upper lip curl</i>	La lèvre supérieure se soulève et s'enroule dorsalement.	Levator labii superioris, transverse nasi labii et orbicularis oris
	AU24	<i>Lip presser</i>	Les lèvres inférieures et supérieures sont tirées vers l'intérieur et pressées l'une contre l'autre.	Orbicularis oris
	AU25	<i>Lips part</i>	Les lèvres inférieures et supérieures sont séparées.	Orbicularis oris, levator labii superioris, levator nasolabialis, depressor labii, transverse nasi, zygomaticus
	AU26	<i>Jaw drop</i>	La mâchoire inférieure s'abaisse.	Masseter (muscles non faciaux)
	AU27	<i>Mouth stretch</i>	La bouche s'ouvre clairement et laisse apparaître les dents.	Masseter (muscles non faciaux)
	AD19	<i>Tongue show</i>	La langue est visible.	/
	AD29	<i>Jaw thrust</i>	La mâchoire inférieure s'avance vers l'avant.	/
	AD30	<i>Jaw sideways</i>	La mâchoire inférieure est déplacée latéralement.	/
	AD133	<i>Blow</i>	De l'air est soufflé brusquement à travers les naseaux.	/
AD38	<i>Nostril dilator</i>	Augmentation de l'ouverture des naseaux.	/	
<b>Comportements généraux</b>	AD50	<i>Vocalisation</i>	Son produit pour la communication (hennissement, ronflement, reniflement, soufflement, crie, ébrouement, renâchement, soupire).	/

AD57	<i>Nose forward</i>	Le nez est poussé vers l'avant, sans que cela soit dû à un mouvement de tête.	/
AD58	<i>Nose back</i>	Le nez est ramené vers le poitrail.	/
AD76	<i>Yawning</i>	Inspiration profonde et longue avec la bouche largement ouverte. Les mâchoires sont soit directement opposées, soit déplacées latéralement.	/
AD80	<i>Swallow</i>	La salive va de la bouche à l'estomac.	/
AD81	<i>Chewing</i>	Mouvement de broyage (non nutritif) latéral des mâchoires supérieures et inférieures.	/
AD82	<i>Chewing with object</i>	Mouvement de broyage (non nutritif) latéral des mâchoires supérieures et inférieures avec un objet de l'environnement.	/
AD84	<i>Head shake side to side</i>	La tête se déplace rapidement et rythmiquement de côté le long d'un axe vertical.	/
AD85	<i>Head nod up and down</i>	La tête se déplace rapidement et rythmiquement de haut en bas.	/
AD86	<i>Grooming</i>	Le cheval se lèche, se gratte, se mord et/ou se frotte une partie du corps.	/
AD87	<i>Ear shake</i>	Les oreilles se déplacent rapidement et rythmiquement.	/

FAU = Faction action unit ; AD = Action Descriptor ; AU = Action Unit

**Annexe 2** : Répertoire comportemental des expressions faciales équinnes (Wathan et al., 2015 ; Lansade et al., 2018 ; Scopa et al., 2018 ; Rashid et al., 2020 ; Lundblad et al., 2021 ; Ricci-Bonot & Mills, 2023).

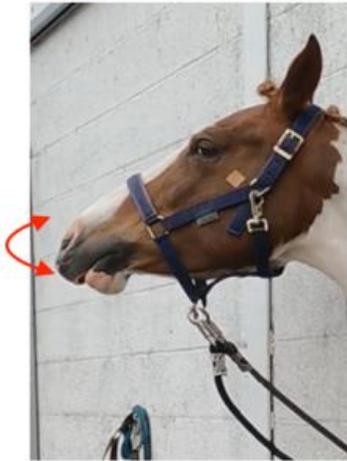
Comportements	Descriptions	Illustrations	Muscles	Abréviations	Mesures	Bibliographie
<b>Clignement complet</b>	L'œil se ferme complètement de façon transitoire < ou = 0,5s		Muscle orbiculaire de l'œil, Muscle releveur de la paupière supérieure	SB	O	Lelláková et al., 2021 ; Merkies et al., 2019 ; Wathan et al., 2015
<b>Demi clignement</b>	La paupière supérieure s'est rapprochée de la paupière inférieure de l'œil mais ne couvre pas complètement l'œil		Muscle orbiculaire de l'œil	HB	O	Lelláková et al., 2021 ; Merkies et al., 2019 ; Wathan et al., 2015
<b>Fermeture des yeux</b>	L'œil se ferme complètement > 0,5s		Muscle orbiculaire de l'œil, Muscle releveur de la paupière supérieure	EE	O	Wathan et al., 2015

Etapes	Descriptions	Illustrations	Présence	Abréviations	Mesures	Bibliographie
<b>Abaissement de la paupière supérieure</b>	Relâchement de la paupière supérieure qui réduit l'ouverture de l'œil par contraction du muscle orbiculaire de l'œil		SB, HB, EE	AP	E, D	Wathan et al., 2015 ; Willett et al., 2023
<b>Fermeture des paupières</b>	Les paupières supérieures et inférieures sont en contact		SB, EE	FP	E, D	Wathan et al., 2015
<b>Elevation de la paupière supérieure</b>	Rétraction de la paupière supérieure qui réaugmente l'ouverture de l'œil par contraction du muscle releveur de la paupière supérieure		SB, HB, EE	EP	E, D	Wathan et al., 2015 ; Willett et al., 2023

**Annexe 3** : Répertoire comportemental des clignements d'yeux équins (© Camille Cagnot).

Groupe comportemental	Comportement	Description du comportement
<b>Hauteur d'encolure</b>	Encolure très haute	L'œil et le naseau sont au-dessus de l'horizontale formée par la croupe et le garrot.
	Encolure haute	L'œil est situé au-dessus de l'horizontale antéro-postérieure passant par le garrot.
	Encolure intermédiaire	L'œil est aligné à l'horizontale antéro-postérieure passant par le garrot (plus ou moins la hauteur de l'œil).
	Encolure basse	L'œil est situé en dessous de la l'horizontale formée par la croupe et le garrot.
	Encolure très basse	L'œil est en dessous de l'épaule.
<b>Orientation de l'encolure</b>	Encolure orientée à droite	Encolure à droite de l'axe antéro-postérieur.
	Tête orientée à droite	Encolure dans l'axe antéro-postérieur, mais tête orientée à droite.
	Encolure alignée	Encolure et tête dans l'axe antéro-postérieur.
	Tête orientée à gauche	Encolure dans l'axe antéro-postérieur, mais tête orientée à gauche.
	Encolure orientée à gauche	Encolure à gauche de l'axe antéro-postérieur
<b>Position des oreilles</b>	Oreilles dirigées vers l'avant	Les pointes des oreilles sont orientées vers l'avant à un angle maximum de 60° par rapport à l'horizontale, avec l'ouverture des pavillons vers l'avant.
	Oreilles dirigées sur le côté	Les deux oreilles sont orientées latéralement, perpendiculaires à l'horizontale, avec l'ouverture des pavillons tournée sur le côté.
	Oreilles pointées vers l'arrière	Les deux oreilles sont orientées vers l'arrière, alignées au nez, avec un angle supérieur à 90° par rapport à l'horizontale, avec l'ouverture des pavillons vers l'arrière.
	Oreilles rabattues en arrière	Les deux oreilles sont totalement rabattues sur la crinière, avec un angle supérieur à 120° par rapport à l'horizontale, avec les ouvertures des pavillons vers l'arrière.
	Oreilles asymétriques	Une des oreilles dirigées vers l'avant / l'autre dirigée sur le côté.
<b>Position de la queue</b>	Queue Haute	La queue du cheval est décollée de la croupe.
	Queue Intermédiaire	La queue du cheval est tombante, décollée des postérieurs.
	Queue Basse	La queue du cheval est serrée et rentrée fermement entre ses postérieures.

**Annexe 4** : Répertoire comportemental de la posture équine (© Mathilde Chevalier ; © Charlotte Götz).



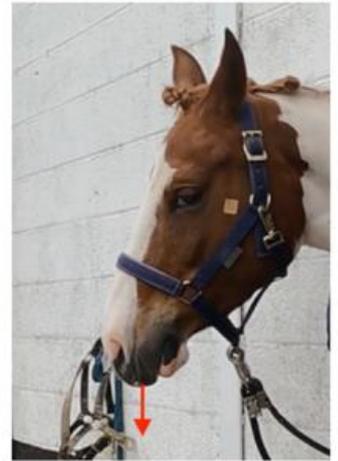
AU10L



AU16L



AU17L



AU18L



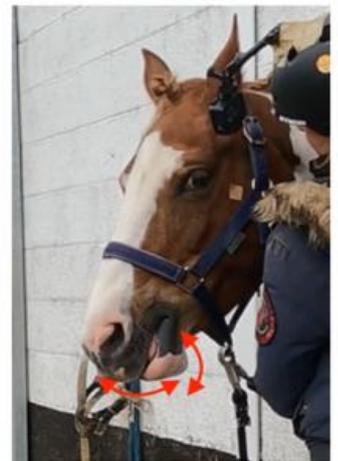
AU25L



AUH13L

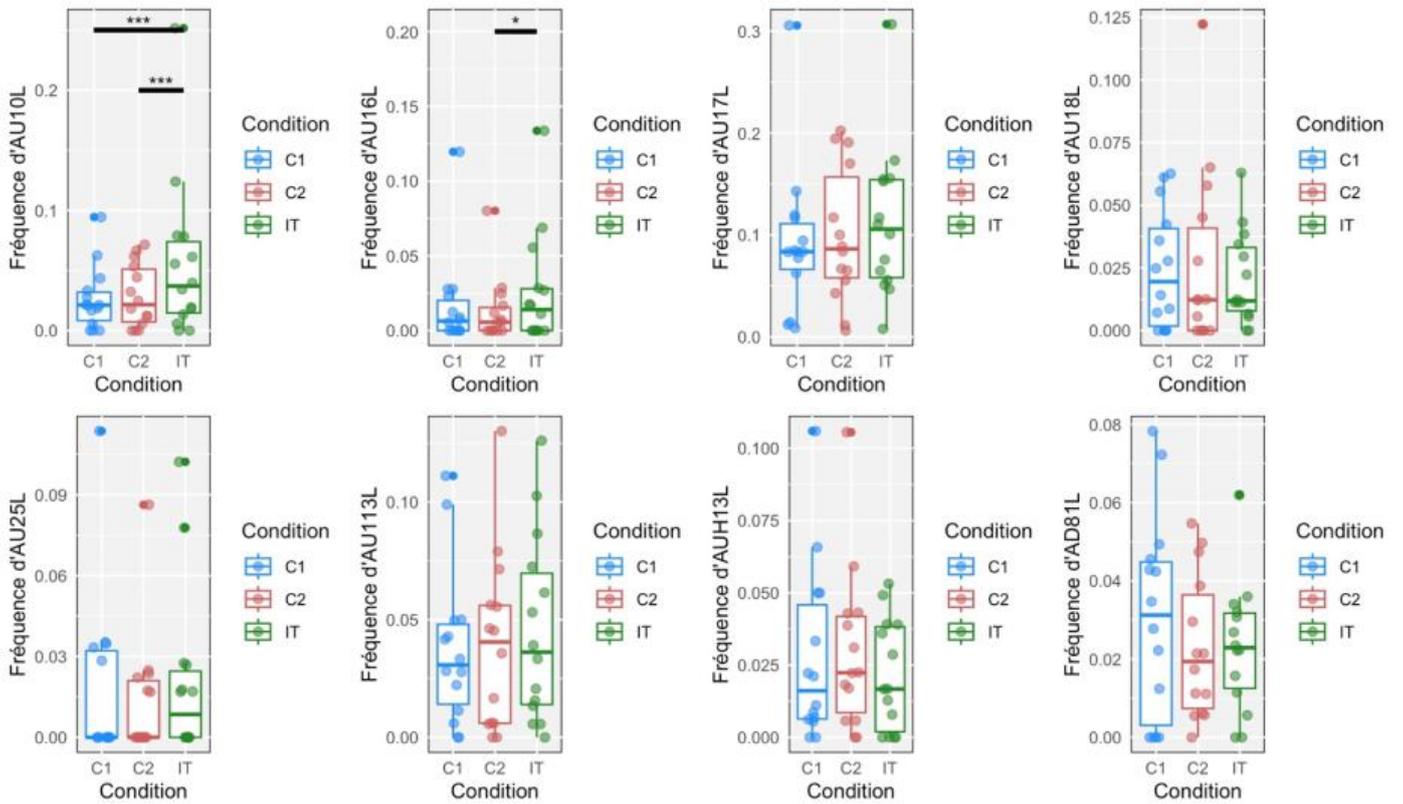


AU113L

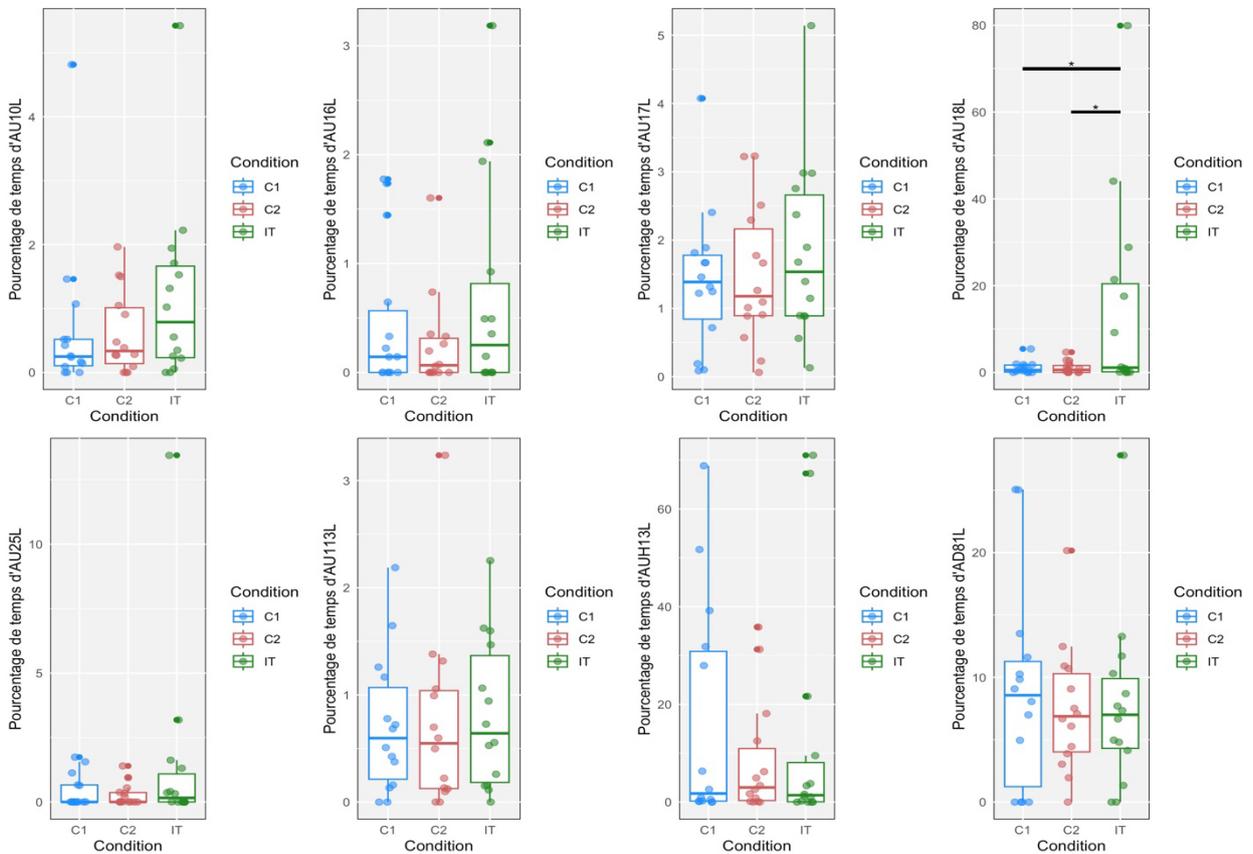


AD81L

Annexe 5 : Illustrations et dynamiques des huit AUs étudiées.

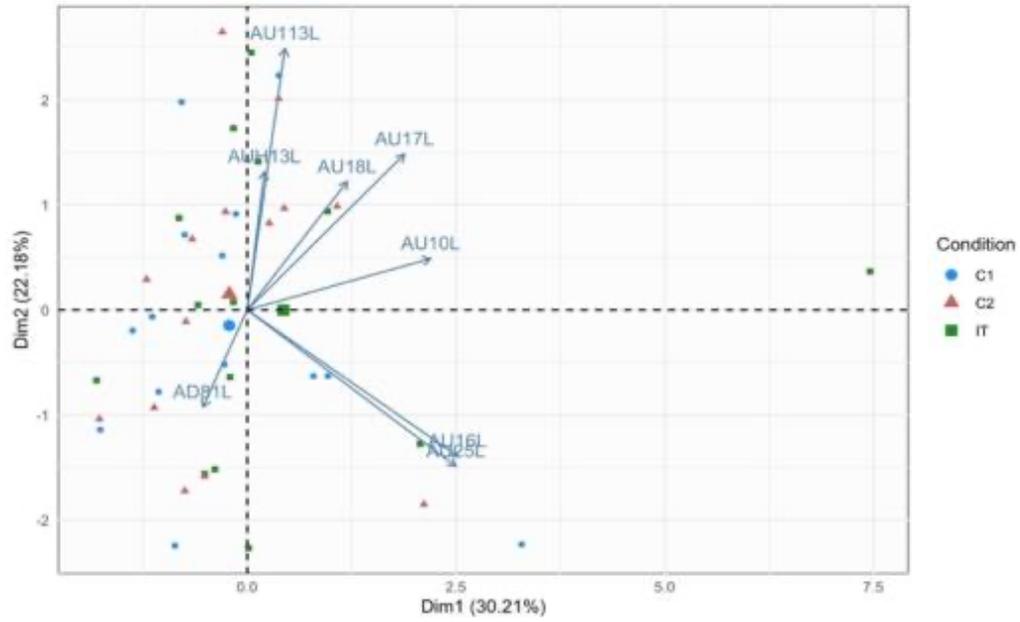


**Annexe 6 :** Fréquence de chaque AU selon les conditions ; \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ .

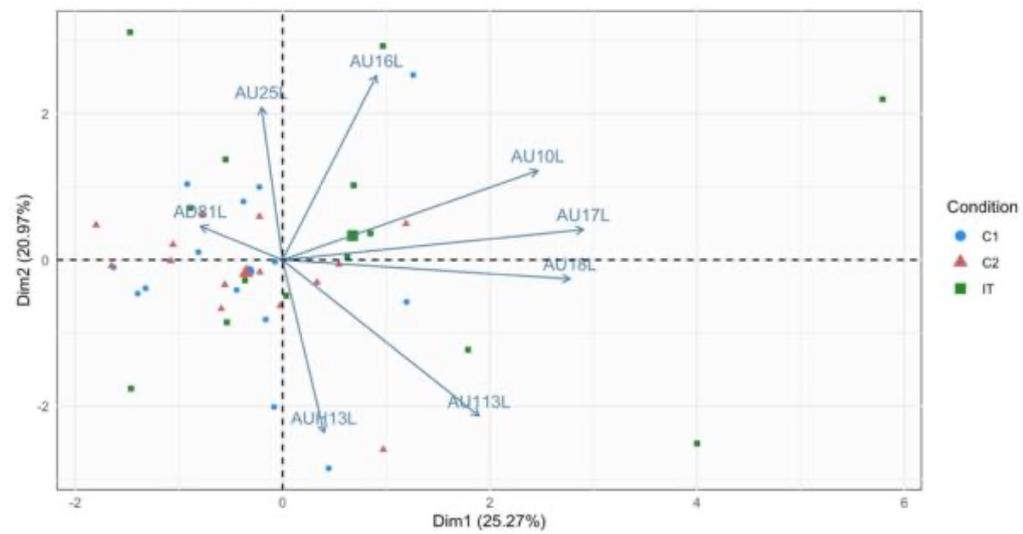


**Annexe 7 :** Pourcentage de temps de chaque AU selon les conditions \*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ .

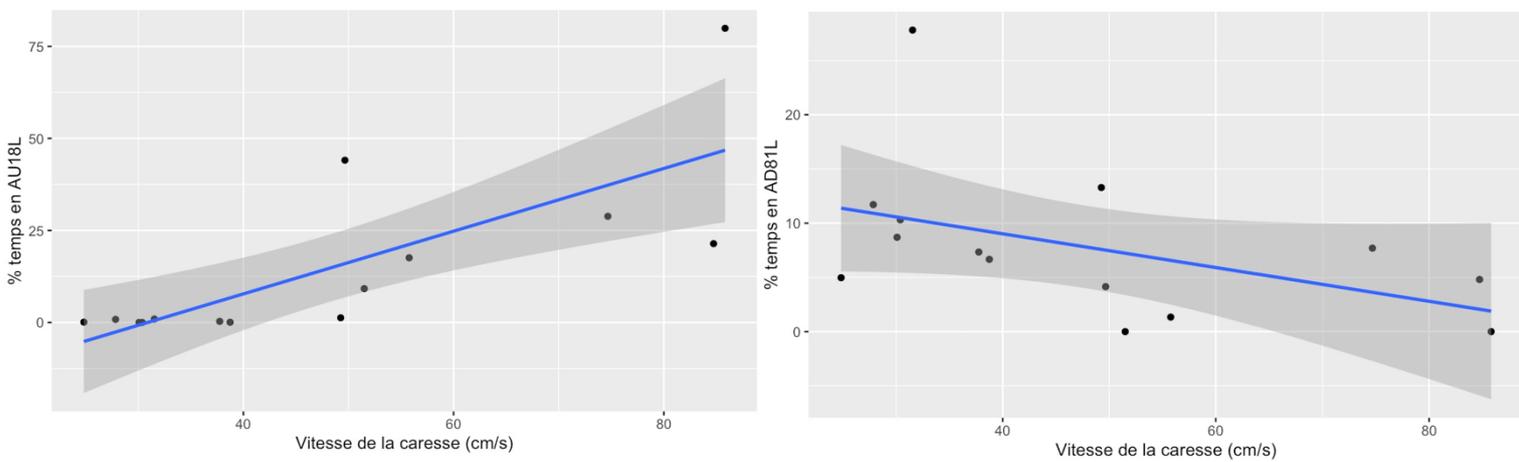
**A**



**B**



**Annexe 8** : Analyse en composantes principales (ACP) des occurrences (A) et des % de temps (B) des AUs (KMO = 0,5)



**Annexe 10** : Corrélations de Spearman entre les pourcentages de temps en AU18L et AD81L et la vitesse de la caresse (cm/s)

Annexe 9 : UpsetPlots des FAUs (A : C1 ; B : C2)

