



HAL
open science

Évaluation du niveau de fatigue chez le cheval en course d'endurance : construction d'une échelle composite de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale

Abigaël Marty

► To cite this version:

Abigaël Marty. Évaluation du niveau de fatigue chez le cheval en course d'endurance : construction d'une échelle composite de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04302981

HAL Id: dumas-04302981

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04302981v1>

Submitted on 23 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Année 2023

ÉVALUATION DU NIVEAU DE FATIGUE CHEZ LE CHEVAL EN COURSE D'ENDURANCE : CONSTRUCTION D'UNE ÉCHELLE COMPOSITE DE GRADATION DES EXPRESSIONS FACIALES ET DE L'ATTITUDE GÉNÉRALE

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE
présentée et soutenue publiquement devant
la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)
le 17 octobre 2023

par

Abigaël, Michèle, Danièle, Marie MARTY

sous la direction de

Céline ROBERT

JURY

Présidente du jury :	Mme Bénédicte GRIMARD-BALLIF	Professeur à l'EnvA
Directrice de thèse :	Mme Céline ROBERT	Professeur à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Caroline GILBERT	Professeur à l'EnvA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



Version juillet 2023

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Blot	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chatboul	Valérie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences HDR	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneq	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Benckekroun	Ghila	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	François	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Kurtz	Maxime	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespoules-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mtimot	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Quéré	Émilie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Ravary-Plumioën	Bérandère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

À Mme Bénédicte GRIMARD-BALLIF, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir accepté d'être présidente de jury de cette thèse,

Sincère reconnaissance.

À Mme Céline ROBERT, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir été à l'origine de ce projet, pour votre accompagnement tout au long de ce travail, votre grande disponibilité et vos précieux conseils,

Sincères remerciements.

À Mme Caroline GILBERT, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir accepté d'être examinatrice de cette thèse,

Sincère reconnaissance.

À M. Loïc DESQUILBET, Professeur à l'EnvA,

Pour votre aide précieuse en statistique,

Sincères remerciements.

À M. Antoine SEGUIN, Docteur Vétérinaire,

Pour votre participation dans cette thèse, et vos précieuses remarques,

Sincères remerciements.

À M. Michel PAYAN, Docteur Vétérinaire,

Pour votre participation dans cette thèse, votre soutien dans la récolte des données sur le terrain et vos précieux conseils,

Sincères remerciements.

Table des matières

Liste des tableaux	7
Liste des annexes.....	8
Liste des abréviations.....	11
Introduction	13
Première partie : Étude bibliographie	15
1. Contextualisation de l'étude.....	15
a. L'endurance équestre.....	15
b. Place des contrôles vétérinaires.....	15
c. Les éliminations en course d'endurance.....	17
2. Connaissances actuelles sur la gradation de l'état de fatigue chez le cheval d'endurance	20
a. La place du bien-être chez le cheval d'endurance.....	20
b. L'approche scientifique de la douleur	21
c. La gradation clinique de l'état de fatigue chez le cheval d'endurance.	21
d. Intérêt des expressions faciales et de la posture dans la gradation de l'état de fatigue	22
e. Présentation des grilles de gradation de la douleur	22
f. Étude de la posture dans la gradation de la douleur.....	27
3. Résultats et conclusion de l'étude préliminaire de Chloé Herfroy	29
a. Objectifs	29
b. Protocole de l'étude	29
c. Analyse statistique et conclusion sur la répétabilité et la reproductibilité de la grille	29
d. Analyse statistique et conclusion sur les expressions faciales	30
e. Limites de l'étude préliminaire.....	30
Deuxième partie : construction d'une échelle composite de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale.....	31
1. Objectifs de l'étude	31
2. Matériels et méthodes	31
a. Choix de l'échantillon	31
b. Protocole expérimental.....	31
c. Courses	33
d. Traitement des données.....	35
e. Critères utilisés pour la notation des vidéos	36
f. Données de courses utilisées.....	39
g. Analyses statistiques des résultats	39
3. Résultats de l'analyse statistique de la reproductibilité.....	42
a. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour la NGEF8 42	
b. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour la NGEF9 44	
c. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour chacun des critères.....	47
4. Résultats de l'analyse descriptive des données de l'étude	50
a. Analyse descriptive des neuf critères d'évaluation pendant la course	50
b. Analyse descriptive du score global.....	54
c. Analyse descriptive des éliminations pendant la course.....	56

d.	Synthèse de l'analyse descriptive ainsi que de l'étude de reproductibilité sur chacun des critères de la grille de notation	58
5.	Résultats de l'analyse statistique des données de l'étude	59
a.	Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des paramètres de la course.....	59
b.	Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des caractéristiques de courses	66
c.	Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des critères cliniques pendant la course.....	72
d.	Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des performances de course	76
e.	Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du statut final.....	80
6.	Résultats de l'analyse statistique sur trois critères de la grille de notation.....	86
a.	Description de la variable NGEF3.....	86
b.	Étude de la NGEF3 en fonction des paramètres de la course	87
c.	Étude de la NGEF3 en fonction des caractéristiques de course.....	90
d.	Étude de la NGEF3 en fonction des critères cliniques de fatigue	92
e.	Étude de la NGEF3 en fonction des performances de courses	94
f.	Étude de la NGEF3 en fonction du statut final	95
7.	Conclusion et comparaison des résultats de l'étude avec les résultats de l'étude préliminaire	98
a.	Au sujet de l'analyse de la reproductibilité.....	98
b.	Au sujet de l'analyse descriptive	99
c.	Au sujet des résultats de l'analyse statistique de la NGEF8 et NGEF9	100
d.	Au sujet des résultats de l'analyse statistique de la NGEF3	104
8.	Discussion.....	105
a.	Apports de l'étude.....	105
b.	Limites de l'étude	108
c.	Perspectives	110
	Conclusion	112
	Liste des références bibliographiques.....	113
	Annexes.....	119

Liste des figures

Figure 1 - Données recueillies par ATRM System pour un concurrent (2022)	18
Figure 2 - Grille CPS (Composite Pain Scale) (Bussièrès <i>et al.</i> , 2008)	23
Figure 3 - Grille EQUUS-FAP (van Loon et Van Dierendonck, 2015)	24
Figure 4 - Grille HGS (Horse Grimace Scale) (Dalla Costa <i>et al.</i> , 2014)	25
Figure 5 - Illustration des expressions faciales de la douleur décrites par Gleerup en 2015	26
Figure 6 – Illustration des deux types de postures observées dans l'étude de Sénèque et al. en 2019.	28
Figure 7 - Exemple de prise de vue, extraite d'une vidéo, montrant la vue de profil utilisée	32
Figure 8 - Environnement du contrôle vétérinaire lors de la course de Monpazier (27-28-29 août 2021)	32
Figure 9 – Répartition des vidéos selon les lieux de courses et les catégories de courses.	34
Figure 10 - Répartition des vidéos de l'étude en fonction des contrôles vétérinaires, selon la catégorie de course (CEI1*/CEI2*/CEI3*)	35
Figure 11 - Illustration du critère "Position des oreilles"	36
Figure 12 - Illustration du critère "Ouverture de l'œil "	36
Figure 13 - Illustration du critère "Tension de la région frontale"	37
Figure 14 - Illustration du critère "Tension des muscles masticateurs"	37
Figure 15 - Illustration du critère "Proéminence du menton et tension de la lèvre inférieure"	37
Figure 16 - Illustration du critère "Tension des naseaux et aplatissement de la face"	38
Figure 17 - Illustration du critère "Posture"	38
Figure 18 – Interprétation du CCC selon la table de Partik et la table de Landis et Koch	40
Figure 19 - Résultats du test de concordance pour la NGEF8 par le coefficient de Lin	42
Figure 20 – Résultats du test de concordance de la NGEF8 par la méthode graphique de Bland et Altman	43
Figure 21 – Résultats du test de concordance pour la NGEF9 par le coefficient de Lin	45
Figure 22 - Résultats du test de concordance de la NGEF9 par la méthode graphique de Bland et Altman	46
Figure 23 – Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre A.Marty et l'opérateur 1 pour chacun des critères de la grille de notation	47

Figure 24 - Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre A.Marty et l'opérateur 2 pour chacun des critères de la grille de notation	48
Figure 25 - Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 pour chacun des critères de la grille de notation	49
Figure 26 - Illustration de la répartition des notes de chacun des neuf critères	52
Figure 27 - Répartitions des notes attribuées à chacun des neuf critères de la grille d'évaluation selon les contrôles vétérinaires	53
Figure 28 - Histogramme présentant la répartition de la NGEF9 (en haut) et de la NGEF8 (en bas)	55
Figure 29 - Illustration de la répartition des vidéos en fonction du statut classé/éliminé	56
Figure 30 - Illustration de la répartition des motifs d'élimination parmi les chevaux éliminés	56
Figure 31 - Illustration du pourcentage de vidéos présentant des chevaux classés et éliminés en fonction des différents contrôles vétérinaires	57
Figure 32 - Évolution de la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	59
Figure 33 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	60
Figure 34 - Évolution de la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier	61
Figure 35 - Évolution de la NGEF9 moyenne pour la course de Fontainebleau en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	62
Figure 36 - Évolution de la NGEF9 moyenne pour la course de Compiègne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	62
Figure 37 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier	63
Figure 38 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Fontainebleau	64
Figure 39 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Compiègne	65
Figure 40 - NGEF9 selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	66
Figure 41 - NGEF8 selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	67
Figure 42 - NGEF9 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)	68
Figure 43 - NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)	69

Figure 44 – Répartition des races dans notre échantillon	69
Figure 45 - NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction de la race (Arabe / Autres)	70
Figure 46 - NGEF9 moyenne selon la race (Arabe/Autres) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	71
Figure 47 – NGEF8 moyenne selon la race (Arabe/Autres) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	71
Figure 48 - NGEF9 en fonction du temps de récupération (en minutes) (<2,05 ; [2,05 ; 4,46] ; >4,46)	72
Figure 49 – NGEF8 en fonction du temps de récupération (min) (<2,05 ; {2,05 ; 4,46} ; >4,46)	73
Figure 50 - NGEF9 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (<54 ; {54 ; 62} ; >62)	74
Figure 51 – NGEF8 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (bpm) (<54 ; {54 ; 62} ; >62)	74
Figure 52 - NGEF9 moyenne en fonction de l'IRC (<0, =0, >0)	75
Figure 53 – NGEF8 moyenne en fonction de l'IRC (<0, =0, >0)	76
Figure 54 - NGEF9 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	77
Figure 55 – NGEF8 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	78
Figure 56 - NGEF9 moyenne selon le statut final (Classé ou Éliminé)	80
Figure 57 - NGEF9 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	81
Figure 58 - NGEF9 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (Vetn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn, Vetn+1, VETn+2)	82
Figure 59 - NGEF8 moyenne selon le statut final (Classé ou Éliminé)	83
Figure 60 – NGEF8 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	83
Figure 61 - NGEF8 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (Vetn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn, Vetn+1, VETn+2)	84
Figure 62 – NGEF9 et NGEF8 moyennes en fonction du statut final et du motif d'élimination (Boiterie, Métabolique, Autres)	85
Figure 63 – Histogramme présentant la répartition de la NGEF3	86

Figure 64 – Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	87
Figure 65 – Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier	88
Figure 66 - Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Fontainebleau	88
Figure 67 - Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Compiègne	89
Figure 68 – NGEF3 moyenne selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires	90
Figure 69 – NGEF3 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)	91
Figure 70 – NGEF3 moyenne en fonction de la race (Arabe / Autres)	91
Figure 71 – NGEF3 moyenne en fonction du temps de récupération (en minutes)	92
Figure 72 – NGEF3 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (en bpm)	92
Figure 73 – NGEF3 moyenne en fonction de l'IRC	93
Figure 74 – NGEF3 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	94
Figure 75 – NGEF3 moyenne selon le statut final	95
Figure 76 – NGEF3 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)	95
Figure 77 – NGEF3 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (VETn, VETn+1, VETn+2) en fonction des contrôles vétérinaires	96
Figure 78 – NGEF3 selon le motif d'élimination	97

Liste des tableaux

Tableau 1 - Motifs de non-qualification (Fédération Équestre Internationale, 2023)	17
Tableau 2 - Motifs d'élimination (Fédération Équestre Internationale, 2023).....	17
Tableau 3 - Description des expressions faciales décrites par Dalla Costa et al. (2014) et Gleerup et al. en 2015.....	26
Tableau 4 - Description de la grille EPS (Equine Pain Scale) (Gleerup <i>et al.</i> , 2015).....	27
Tableau 5 - Détail des courses de l'étude (d'après ATRM Systems, 2022).....	33
Tableau 6 - Détails de la répartition des vidéos selon les lieux, les catégories de courses et les contrôles vétérinaires	34
Tableau 7 - Répartition des notes pour chacun des neuf critères de la grille d'évaluation	50
Tableau 8 – Moyenne, écart-type, minimum et maximum pour la NGEF9 et NGEF8	55
Tableau 9 – Synthèse de l'analyse descriptive et de l'étude de reproductibilité	58
Tableau 10 - Conditions climatiques des courses de l'étude	65
Tableau 11 - Vitesse moyenne (exprimée en km/h) durant les différentes boucles selon les catégories de course (CEI1*, CEI2*, CEI3*)	67
Tableau 12 – Moyenne, écart-type, minimum et maximum de la NGEF3.....	86
Tableau 13 – Synthèse des résultats de l'analyse de la reproductibilité par rapport aux résultats de l'étude préliminaire	98
Tableau 14 – Comparaison des résultats de l'analyse descriptive	99
Tableau 15 – Tableau de synthèse des résultats concernant la NGEF9 et la NGEF8	103
Tableau 16 - Tableau de synthèse des résultats concernant la NGEF3.....	104

Liste des annexes

Annexe 1 : Grille de lecture des expressions faciales et de l'attitude générale	119
Annexe 2 : Tableau utilisé pour la notation des expressions faciales et de l'attitude générale	120
Annexe 3 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires.....	122
Annexe 4 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires.....	123
Annexe 5 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier	124
Annexe 6 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau	125
Annexe 7 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne	126
Annexe 8 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier	127
Annexe 9 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau	128
Annexe 10 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne	129
Annexe 11 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des catégories de courses.....	130
Annexe 12 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des catégories de courses.....	130
Annexe 13 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge.....	130
Annexe 14 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de race (Arabe ou autres) et en fonction des catégories de race selon les contrôles vétérinaires.....	131
Annexe 15 : Présentation de la variable « Temps de récupération » exprimée en minutes et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de temps de récupération.....	131
Annexe 16 : Présentation de la variable « Fréquence cardiaque de récupération » exprimée en battements par minute (bpm) ; et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de fréquence cardiaque de récupération.....	132

Annexe 17 : Présentation de la variable « Indice de récupération cardiaque » ; et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'indice de récupération cardiaque	132
Annexe 18 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires	133
Annexe 19 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles	134
Annexe 20 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires	135
Annexe 21 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles	136
Annexe 22 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction du statut final (Classé / Éliminé) selon le contrôle vétérinaire.....	136
Annexe 23 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne chez les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire n	137
Annexe 24 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.....	137
Annexe 25 : Tableau des p-value comparant la NGEF8 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.....	138
Annexe 26 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction du motif d'élimination ou de la non élimination.....	138
Annexe 27 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires.....	139
Annexe 28 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier	140
Annexe 29 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau	141
Annexe 30 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne	142
Annexe 31 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de courses.....	143
Annexe 32 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge.....	143
Annexe 33 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de race (Arabe ou autres) et en fonction des catégories de race selon les contrôles vétérinaires.....	144

Annexe 34 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de temps de récupération.....	144
Annexe 35 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de fréquence cardiaque de récupération	144
Annexe 36 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories d'indice de récupération cardiaque	145
Annexe 37 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires	145
Annexe 38 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles	146
Annexe 39 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne en fonction du statut final (Classé / Éliminé) selon le contrôle vétérinaire	146
Annexe 40 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne chez les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire n	147
Annexe 41 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.....	147
Annexe 42 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne en fonction du motif d'élimination ou de la non élimination	148

Liste des abréviations

ATRM System : Automatic Timing and Race Management System

bpm : battements par minute

CCC : Coefficient de corrélation de la concordance

CCC0 : Coefficient de corrélation de la concordance de Lin minimal souhaité

CCC1 : Coefficient de Corrélation de la Concordance de Lin attendu dans l'échantillon

CEI : Concours de raid d'Endurance International

CEIYJ : Concours de raid d'Endurance International Young et Junior

CPS : Composite Pain Scale

IRC : Indice de Récupération Cardiaque

EPS : Equine Pain Scale

EquiFACS : The Equine Facial Action Coding System

EQUUS-FAP : Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain

FC : Fréquence Cardiaque

FEI : Fédération Équestre Internationale

FFE : Fédération Française d'Équitation

HGS : Horse Grimace Scale

km : kilomètres

Mpx : Méga pixel

NGEF8 : Note Globale d'Expression Faciale sur 8 critères

NGEF9 : Note Globale d'Expression Faciale sur 9 critères

SDF : Synchronous Diaphragmatic Flutter

TRC : Temps de Recoloration Capillaire

Introduction

L'endurance équestre est l'une des disciplines régies par la fédération équestre internationale (FEI). En France, cette discipline est relativement peu connue malgré les performances internationales réalisées par l'équipe de France d'endurance chaque année. Alliant sport et nature, l'endurance équestre séduit aujourd'hui de plus en plus de cavaliers qui découvrent un nouveau type de loisir équestre.

Le bien-être animal est devenu une préoccupation sociétale majeure. Les institutions nationales et internationales réaffirment en réponse leur volonté de prendre en compte le bien-être animal par des contrôles et des mouvements de sensibilisation (Fédération Équestre Internationale, 2023).

L'Académie vétérinaire de France a tenu en avril 2023 une séance sur le bien-être animal dans la filière équine. Le vétérinaire Jean-Yves Gauchot, président de la fédération des syndicats vétérinaires de France, a rappelé que la filière équine était depuis les années 2000 dans un tournant. En effet, les gens de chevaux ne représentent actuellement qu'une infime partie de la population et le cheval n'est plus un animal de travail mais un sujet de loisirs ou de sports. Lorsque l'on aborde la notion de bien-être animal dans la filière équine, la considération de ces changements profonds dans la filière est fondamentale. De plus, l'utilisation du cheval étant devenue plurielle (loisirs, sports, élevage), la notion de bien-être animal doit s'adapter à chaque situation. C'est notamment le cas en endurance équestre, où les cavaliers de loisirs se mélangent aux cavaliers professionnels, et pour lesquels les enjeux diffèrent (Gauchot, 2023).

Le vétérinaire est un expert de la santé animale, à l'interface entre le cheval et son utilisateur, il apparaît comme un passeur de connaissances. Par ailleurs, le rôle du vétérinaire dans le bien-être animal est central puisque son savoir est fondé sur un savoir académique et scientifique. De ce constat, Jean-Yves Gauchot explique que « collectivement la profession doit sans cesse se remettre en cause et dénoncer les mauvaises pratiques et les déviances, mais aussi se questionner sur la justification de ses actes » (2023).

Cette thèse s'inscrit dans cette démarche en concevant une nouvelle méthode d'évaluation du niveau de fatigue du cheval d'endurance par le biais des expressions faciales et de l'attitude générale. L'objectif de cette méthode d'évaluation est d'offrir aux vétérinaires un nouvel indicateur du niveau de forme du cheval d'endurance en accédant à une nouvelle dimension qu'est le comportement ou l'état émotionnel.

Dans une première partie bibliographique, le cadre de l'étude est présenté, puis un état des lieux sur les méthodes actuelles de gradation de la douleur est réalisé, et enfin les résultats d'une étude préliminaire sur l'utilisation des expressions faciales dans la gradation du niveau de forme du cheval d'endurance sont présentés. Une deuxième partie expose l'étude expérimentale des expressions faciales et de l'attitude générale selon différentes variables lors des courses d'endurance.

Première partie : Étude bibliographique

1. Contextualisation de l'étude

a. L'endurance équestre

L'endurance fait partie des huit disciplines équestre régies par la fédération équestre internationale. Il s'agit d'une discipline caractérisée par « des épreuves d'extérieur courues à vitesse imposée ou libre sur un itinéraire balisé avec des examens vétérinaires validant la capacité du poney / cheval à parcourir de longues distances » (Fédération Équestre Internationale, 2023).

Les courses sont chronométrées et les distances varient de 10 km à 160 km. Chaque course est fractionnée en une ou plusieurs étapes d'une distance minimale de 20 km et maximale de 40 km. Chaque étape, ou « boucle », se déroule le plus souvent autour d'un point central qui voit les concurrents partir et revenir à l'issue de chaque étape. C'est à ce point central que des contrôles vétérinaires sont réalisés, avant le départ, en cours d'épreuve et après l'arrivée de la course.

Différents types de courses existent ; on distingue les courses à vitesse imposée et les courses à vitesse libre. Les courses à vitesse imposée sont par définition des épreuves où une vitesse minimale et une vitesse maximale sont imposées aux concurrents. Ces dernières ne feront pas l'objet de notre étude car ce sont des épreuves dites qualificatives qui sollicitent peu les qualités d'endurance des chevaux. Les courses à vitesse libre sont soumises uniquement à une vitesse minimale de 12 km/h. Il existe différents types de courses à vitesse libre, caractérisées par un âge minimal du cheval, la distance parcourue et le nombre d'étapes minimales.

b. Place des contrôles vétérinaires

Chaque course d'endurance fait appel à une commission vétérinaire composée d'un président de la commission, d'un vétérinaire délégué étranger et d'un nombre de vétérinaires dépendant du niveau et du nombre de partants de la course. Les vétérinaires sont en charge des contrôles vétérinaires et un (ou plusieurs) vétérinaire(s) dit « traitant » peut prodiguer les soins aux chevaux qui en ont besoin. Un président du jury est également présent.

Lors des courses à vitesse libre, les contrôles vétérinaires se déroulent avant la course, entre chaque boucle, après la fin de la course et le lendemain. L'objectif du contrôle vétérinaire est de « mettre en évidence toute anomalie qui pourrait mettre en danger un poney/cheval, ou compromettre son avenir sportif » (Fédération Équestre Internationale, 2023).

1- Le contrôle vétérinaire initial

Le contrôle vétérinaire avant le départ de la course permet de vérifier l'identité du cheval grâce au passeport et au numéro de puce électronique. Puis, le vétérinaire vérifie que les vaccinations obligatoires sont à jour. Enfin, un examen clinique général est réalisé : examen cardiaque (fréquence, rythme, intensité), fréquence respiratoire, paramètres d'hydratation, examen des allures, absence de blessures.

2- Les contrôles vétérinaires intermédiaires

Les contrôles vétérinaires intermédiaires débutent par la mesure de la fréquence cardiaque ; celle-ci doit être inférieure ou égale à 64 bpm (battements par minute) dans les 15 minutes (temps maximal de récupération) suivant l'arrivée de la boucle intermédiaire. Le temps de récupération dépend de cette valeur et est défini comme le temps nécessaire au cheval pour atteindre une fréquence cardiaque inférieure à 64 bpm, soit la différence entre le temps d'entrée dans l'aire vétérinaire et le temps d'arrivée de la boucle. Si la fréquence cardiaque est trop élevée, le cheval peut être présenté une seconde fois dans la limite des 15 minutes imparties.

La suite du contrôle vétérinaire porte sur l'évaluation de l'indice de récupération cardiaque ou IRC. Le cheval effectue un aller-retour au trot sur une piste de 40 mètres, sans flexion préalable, sur un sol plan et ferme, permettant au vétérinaire d'évaluer les allures du cheval. Lors de cet examen, le cavalier ne doit pas restreindre le mouvement de tête du cheval en laissant la longe détendue. A l'issue de cet aller-retour, le vétérinaire mesure une seconde fois la fréquence cardiaque. Le vétérinaire évalue également le rythme et la qualité de la respiration. Il établit ensuite le statut métabolique du cheval grâce à l'évaluation des caractéristiques des muqueuses, du temps de remplissage capillaire, de l'activité intestinale (bruits intestinaux), de l'état d'hydratation estimé et du comportement général. Il vérifie aussi l'absence de douleur ou de sensibilité à la palpation des muscles du dos, et l'absence de blessures mineures.

Une fréquence cardiaque inférieure ou égale à 64 bpm, un statut métabolique et des allures sans anomalies permettent la qualification du cheval pour la boucle effectuée et l'autorisent à poursuivre la course, à l'issue d'un temps de repos imposé. Ce dernier est au minimum d'une minute par kilomètre parcouru et dépend de la catégorie de la course et des circonstances (température extérieure par exemple).

3- Le contrôle vétérinaire final

Lors du contrôle vétérinaire final, les chevaux doivent se présenter dans les 20 minutes suivant la traversée de la ligne d'arrivée de la dernière boucle de la course avec une fréquence cardiaque inférieure ou égale à 64 bpm.

Ce contrôle vétérinaire suit la même méthodologie que les contrôles intermédiaires. Cependant, le cheval ne peut pas être présenté une seconde fois. Ainsi, si la fréquence cardiaque du cheval est supérieure à 64 bpm, il est éliminé. Par ailleurs, lors de l'examen des allures, c'est un panel de trois vétérinaires ainsi que le président du jury qui évalue le cheval.

c. Les éliminations en course d'endurance

1- Les motifs de non-qualifications et les motifs d'éliminations

Les motifs de non-qualification sont détaillés dans le Tableau 1. Les motifs d'élimination sont regroupés dans le Tableau 2 (Fédération Équestre Internationale, 2023).

Tableau 1 - Motifs de non-qualification (Fédération Équestre Internationale, 2023)

Code	Intitulé	Signification
WD	Withdrawn	Le participant s'est retiré avant le premier contrôle vétérinaire (=forfait)
RET	Retired	Le participant a passé / a été accepté à un contrôle vétérinaire et s'est retiré après le contrôle vétérinaire (=abandon)
DSQ	Disqualified	Le participant est disqualifié. Voir les motifs de disqualification dans le règlement FEI.
FNR	Finished not ranked	Le participant finit la course mais n'est pas classé.
FTQ	Failed to qualify	Le participant est éliminé. Voir motifs d'éliminations. Tableau 2

Tableau 2 - Motifs d'élimination (Fédération Équestre Internationale, 2023)

Code	Intitulé	Signification
GA	Irregular Gait	Boiterie, allures irrégulières, problèmes articulaires, blessure aux membres.
ME	Metabolic	Trouble métabolique (FC > 64 bpm, déshydratation,...)
MI	Minor Injury	Douleur, blessure légère
SI	Serious Injury	Blessure grave
CI	Catastrophic Injury	Blessure très grave
OT	Out of Time	Le participant n'est pas arrivé dans le temps imparti mais a passé le contrôle vétérinaire.
FTC	Failed to Complete	Le participant a passé le contrôle vétérinaire mais n'a pas terminé la boucle

2- Les données de course recueillies

En association avec les données cliniques recueillies par les vétérinaires lors des contrôles vétérinaires, d'autres informations liées au chronométrage sont recueillies par des logiciels tel que l'ATRM System (Automatic Timing and Race Management System). Ce système est mondialement utilisé et rend disponible de nombreuses données, présentées dans la Figure 1.

Figure 1 - Données recueillies par ATRM System pour un concurrent (2022)

RANK	NUM.	AV. SPEED	NAT.	PHASE	RANK	ARRIVAL	IN TIME	RECOV. T.	PH. SPD	BPM	AV. SPD	TOTAL REC.	LAP/LEAD
1	002	17.656		1	1	07:58:33	08:00:12	00:01:39	15.979	60/60	15.979	00:01:39	02:30:12
	-Nom du cheval-			2	1	10:31:01	10:33:49	00:02:48	18.229	56/56	16.923	00:04:27	04:18:49
	-Nom du cavalier-		10	3	1	12:43:24	12:47:12	00:03:48	18.329	50/54	17.281	00:08:15	05:47:12
				4	1	15:18:20	15:22:37	00:04:17	17.932	60/60	17.438	00:12:32	07:37:37
				5	1	17:43:43	17:52:19		18.815	56/56	17.656		09:03:43
	-Nom du propriétaire-												Total Riding Time: 09:03:43

Pour chaque boucle (PHASE), nous avons accès au classement (RANK) du cheval, associé à son heure d'arrivée de la boucle (ARRIVAL), l'heure d'entrée au contrôle vétérinaire (IN TIME), le temps de récupération (RECOV. T.). Le logiciel calcule alors la vitesse du cheval pour cette boucle (PH. SPD), la vitesse moyenne depuis le début de la course (AV. SPD), le temps total de récupération (TOTAL REC.), ainsi que le temps le séparant du premier du classement (LAP/LEAD) et le temps total de course (Total Riding Time). Enfin, il a accès aux données du contrôle vétérinaire et affiche la fréquence cardiaque au contrôle (BPM).

3- Les critères cliniques de fatigue

Les contrôles vétérinaires réalisés ont pour objectif de garantir que le cheval est apte à concourir. En cas d'inaptitude, l'élimination du cheval est décidée. Certaines éliminations peuvent être dues à un état de fatigue important ou même à un syndrome d'épuisement (Foreman, 1998). Ces éliminations correspondent au motif « métabolique ».

Le syndrome d'épuisement résulte de l'association d'une déshydratation, de troubles électrolytiques et acido-basiques, de la déplétion des réserves énergétiques et d'une hyperthermie (Foreman, 1998).

Un ensemble de critères identifiables à l'examen clinique traduisent l'état de fatigue (Foreman, 1998).

On peut lister :

- Une température élevée ;
- Une fréquence cardiaque et une fréquence respiratoire élevées ;
- Une faiblesse générale ;
- Une anorexie ;
- Une déshydratation : caractérisée par une augmentation du temps de persistance du pli de peau, un temps de recoloration capillaire élevé, des muqueuses sèches et pâles, des urines très concentrées, des excréments secs, voire un enfoncement des globes oculaires dans les cas les plus graves ;
- Une réticence ou un refus à l'exercice ;

- Des signes de colique ou de la diarrhée.

La contraction du diaphragme synchronisée des battements cardiaques, appelé SDF pour Synchronous Diaphragmatic Flutter, est provoquée par un désordre électrolytique. Ce signe est un témoin de la fatigue chez les chevaux d'endurance, sa détection peut amener le vétérinaire à retirer le cheval de la course (Foreman, 1998 ; Robert, 2014).

Les coliques ont été définies comme la première cause de mortalité chez les chevaux d'endurance car la déshydratation et les désordres électrolytiques associés assombrissent leur pronostic (Fielding et Dechant, 2012).

4- Épidémiologie des éliminations en course d'endurance

Une étude menée entre 2010 et 2015 par la FEI (Bennet et Parkin, 2018a) a étudié les motifs d'élimination en course d'endurance dans le monde. Cette étude rétrospective a utilisé les données de différentes régions du monde, réparties en 9 groupes, pour des distances de course allant de 80 à 160 km. Les résultats ont montré que le taux moyen d'élimination était de 38,6%. Le motif d'élimination le plus fréquent est la boiterie avec 22,7% des chevaux éliminés pour boiterie, puis, 5,4% d'éliminés pour des troubles métaboliques.

Ces résultats concordent avec l'étude de Nagy et al. (2010), réalisée sur 9 pays et regroupant 4326 chevaux au départ des courses. Dans cette étude, 54% des chevaux n'ont pas fini leurs courses. Les boiteries étaient le premier motif d'élimination (31,8% des chevaux) suivies par les troubles métaboliques (10,8% des chevaux). Le pourcentage d'éliminés variait selon les pays mais les boiteries étaient toujours le premier motif d'élimination, suivi par les troubles métaboliques.

De même, dans l'étude de Nagy et al. (2014) réalisée avec 1435 chevaux, 51,4% des chevaux ont été éliminés, 31,6% des chevaux ont été éliminés pour boiterie et 8,9% pour troubles métaboliques.

5- Les facteurs de risque d'élimination

Au-delà des critères cliniques traduisant la fatigue, des facteurs de risque d'élimination ont été décrits. Ces facteurs de risques peuvent être regroupés en deux catégories, ceux liés au cheval et à ses caractéristiques individuelles, et ceux liés à la course.

- *Les facteurs de risques liés au cheval*

Des études ont montré une augmentation de la fréquence d'élimination avec l'âge (Di Battista *et al.*, 2019 ; Nagy *et al.*, 2012). La race est aussi un facteur de risque d'après l'étude de Fielding et al. (2009), avec un risque d'élimination plus élevé pour les autres races que pour les Pur-Sang Arabe.

Le sexe, l'âge, la taille et le surpoids ont été identifiés comme des facteurs de risque d'élimination dans les courses d'endurance (Langlois, 2008.).

D'après une étude demandée par la FEI, une irrégularité d'allures ou une fréquence cardiaque élevée sont des indicateurs d'élimination aux prochains contrôles vétérinaires (Bennet *et al.*, 2020).

- *Les facteurs de risques liés à la course*

Plusieurs études ont mis en évidence une augmentation des éliminations avec la distance parcourue (Di Battista *et al.*, 2019 ; Legg *et al.*, 2019 ; Nagy *et al.*, 2014 ; Younes *et al.*, 2013). Les éliminations

sont plus fréquentes dans les courses avec une distance supérieure à 100 km (Legg *et al.*, 2019). Aussi, la catégorie de la course (CEI*, CEI**, CEI***) est également corrélée à la fréquence d'élimination d'après l'étude de Di Battista *et al.* en 2019.

La température ambiante ainsi que le taux d'humidité sont corrélés à la fatigue et décrits comme des facteurs de risques d'élimination (Foreman, 1998 ; Robert, 2014). D'après l'étude de Robert (2014), lorsque la température ambiante est supérieure à 25° et que l'humidité dépasse 70% alors la moitié des éliminations peuvent être consécutives à des troubles métaboliques. Un temps chaud et sec est corrélé au nombre d'élimination pour boiterie car il favorise un sol dur (Legg *et al.*, 2019).

La qualité des sols et notamment un sol profond est un facteur de risque d'élimination pour troubles métaboliques car il contribue à l'épuisement des chevaux (Nagy *et al.*, 2014).

- *Les facteurs de risques liés à la gestion de course*

L'étude de Nagy *et al.* (2014) a mis en évidence qu'une période de moins de 90 jours entre deux courses était significativement corrélée avec une augmentation des éliminations pour boiterie.

Une vitesse élevée durant la course est aussi un facteur de risque d'élimination pour boiterie d'après l'étude de Bennet *et al.* (2018b). Aussi, une vitesse moyenne élevée dès la première boucle est significativement associée avec une élimination à la fin de la troisième boucle. Il apparaît qu'une augmentation d'un km/h augmente de 14% le risque d'élimination (Bennet *et al.*, 2020)

De même, un grand nombre de partants est un facteur de risque d'élimination pour troubles métaboliques. Il est supposé qu'une course avec un grand nombre de partants incite les cavaliers à être plus compétitifs, et donc à plus « pousser » leurs chevaux (Nagy *et al.*, 2014).

2. Connaissances actuelles sur la gradation de l'état de fatigue chez le cheval d'endurance

a. La place du bien-être chez le cheval d'endurance

La Fédération Équestre Internationale (FEI) a mis en place en 1991 un code de conduite pour le bien-être des chevaux de sports . Ce texte impose le respect du bien-être animal pour toutes les manifestations sportives équestres qui adhèrent au code de conduite de la FEI. Le texte décrit notamment que les chevaux ne sont autorisés à concourir que s'ils disposent des aptitudes sportives à courir et si leur état de santé leur permet. Aussi, le texte spécifie que les événements sportifs ne doivent pas compromettre le bien-être animal. Enfin, ce texte appelle toutes les personnes impliquées dans les sports équestres à tendre vers un haut niveau d'expertise concernant les soins et la gestion des chevaux de sport.

Si ce texte apparaît comme un guide, il ne définit pas ce qu'est le bien-être chez les chevaux de sports. La notion de bien-être animal a été définie par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) en 2018 comme « l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal » (Genet, 2018). Il

est important de distinguer l'état de bien-être chronique, qui reflète la perception subjective d'un individu dans une situation, d'un état transitoire lié aux émotions, à la douleur ou au stress (Lesimple et al., 2020). En effet, tant que l'animal a la possibilité de s'adapter face à l'expérience qui lui est imposée (positive ou négative), il est considéré que les perturbations seront temporaires et n'impacteront pas son état de bien-être dit chronique. (Lesimple, 2020). Cependant, une douleur chronique, une douleur ou des émotions négatives répétées dans le temps, doivent être considérées comme une atteinte de l'état de bien-être. L'évaluation du bien-être du cheval de sport doit prendre en compte cette notion et évaluer l'impact à long-terme sur l'organisme.

b. L'approche scientifique de la douleur

La douleur est définie par l'Association internationale pour l'étude de la douleur comme « une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée, ou ressemblant, à celle liée à des dommages tissulaires réels ou potentiels ». Il s'agit d'une expérience complexe multidimensionnelle qui se traduit par une réponse comportementale, physiologique et émotionnelle. L'appréciation de la douleur passe par l'étude des changements parfois subtiles du comportement ou des données physiologiques.

Chez le cheval d'endurance, le contrôle vétérinaire tel qu'il a été conçu, utilise les données physiologiques du cheval sans prendre en compte le comportement ou l'état émotionnel.

c. La gradation clinique de l'état de fatigue chez le cheval d'endurance.

L'évaluation du niveau de fatigue est réalisée grâce au contrôle vétérinaire. L'ensemble de l'examen réalisé permet d'établir si le cheval est apte à continuer la course.

Les données recueillies lors de l'examen vétérinaire sont (Fédération Équestre Internationale, 2023):

- Fréquence cardiaque : avant et après le trotting ;
- Rythme et qualité de la respiration ;
- État général, absence de blessures, palpation des muscles du dos ;
- Statut métabolique : couleur des muqueuses, temps de recoloration capillaire, état d'hydratation estimé, bruits digestifs ;
- Allures.

L'endurance est une discipline qui demande au cheval un effort de longue durée. Comme nous avons pu le voir, les éliminations sont fréquentes malgré les suivis vétérinaires réguliers, et certains chevaux nécessitent des soins à l'issue des compétitions. Face à ce constat, des études cherchent à mettre en évidence des indicateurs prédictifs de fatigue afin de prévenir les blessures ou les troubles métaboliques sévères.

Bennet et al. (2020) ont étudié l'aspect prédictif des données des contrôles vétérinaires de 3213 chevaux dans 347 courses réalisées en 2014. Les allures, les muqueuses, l'état d'hydratation, le temps de recoloration capillaire, les bruits digestifs étaient notés de 1 à 4 à chaque contrôle vétérinaire. La note de 1 correspond à un cheval en bonne santé, la note de 4 correspond à une

anomalie sévère. L'étude visait à observer à partir de quelle note quel paramètre était prédictif d'une élimination au contrôle vétérinaire suivant. Les paramètres ayant une valeur prédictive d'une élimination au prochain contrôle vétérinaire sont : les allures, les muqueuses, la fréquence cardiaque et les bruits digestifs. Pour chacun de ces paramètres, une note de 2 (ou une fréquence de plus de 60 bpm) était un facteur de risque d'élimination au prochain contrôle.

d. Intérêt des expressions faciales et de la posture dans la gradation de l'état de fatigue

Depuis plusieurs années, les expressions faciales sont utilisées chez les individus non verbaux comme les personnes âgées, les nourrissons et les animaux. Afin de traduire et mesurer les expressions faciales, celles-ci ont été regroupées en unités d'action (FACS : Facial Action Coding System).

Ce système a été transposé aux chevaux et regroupe toutes les expressions faciales observables. Le EquiFACS (Equine Facial Action Coding System) décrit 17 unités d'actions présentées dans une banque de vidéos (Wathan *et al.*, 2015). L'intérêt de ce système est qu'il décrit avec précision toutes les expressions faciales du cheval. L'étude de Rashid *et al.* (2020) a ensuite déterminé quelles expressions faciales étaient mises en jeu lorsque le cheval expérimente de la douleur. Il est apparu que le mouvement des oreilles, la dilatation des naseaux, la tension de la lèvre inférieure, le mâchonnement et le clignement des yeux sont des indicateurs de douleur.

e. Présentation des grilles de gradation de la douleur

1- Les grilles multifactorielles

Plusieurs études se sont penchées sur la gradation de la douleur via une approche multidimensionnelle. L'étude de Bussièrès *et al.* (2008) a notamment développé et validé une grille composite multifactorielle de la douleur (CPS : Composite Multifactoriel Pain Scale) dans l'évaluation de la douleur orthopédique chez le cheval. Cette grille (figure 2) propose un scoring des données physiologiques (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, bruits digestifs, température), des données comportementales (attitude, posture, sudation, mouvements de tête, grattage, coups dans l'abdomen, appétit) et la réponse aux soins (interactivité, réponse à la palpation de la région douloureuse).

Figure 2 - Grille CPS (Composite Pain Scale) (Bussières *et al.*, 2008)

Table 1 Multifactorial numerical rating composite pain scale (CPS)		
Physiologic data	Criteria	Score/12
Heart rate	Normal compared to initial value (increase <10%)	0
	11–30% increase	1
	31–50% increase	2
	>50% increase	3
Respiratory rate	Normal compared to initial value (increase <10%)	0
	11–30% increase	1
	31–50% increase	2
	>50% increase	3
Digestive sounds (bowel movements)	Normal motility	0
	Decreased motility	1
	No motility	2
	Hypermotility	3
Rectal temperature	Normal compared to initial value (variation < 0.5 °C)	0
	Variation les 1 °C	1
	Variation les 1,5 °C	2
	Variation ges 2 °C	3
Response to treatment	Criteria	Score/06
Interactive behaviour	Pays attention to people	0
	Exaggerated response to auditory stimulus	1
	Excessive-to-aggressive response to auditory stimulus	2
	Stupor, prostration, no response to auditory stimulus	3
Response to palpation of the painful area	No reaction to palpation	0
	Mild reaction to palpation	1
	Resistance to palpation	2
	Violent reaction to palpation	3
Behaviour	Criteria	Score/21
Appearance (reluctance to move, restlessness, agitation and anxiety)	Bright, lowered head and ears, no reluctance to move	0
	Bright and alert, occasional head movements, no reluctance to move	1
	Restlessness, pricked up ears, abnormal facial expressions, dilated pupils	2
	Excited, continuous body movements, abnormal facial expression	3
Sweating	No obvious signs of sweat	0
	Damp to the touch	1
	Wet to the touch, beads of sweat are apparent over the horse's body	2
	Excessive sweating, beads of water running off the animal	3
Behaviour	Criteria	Score
Kicking at abdomen	Quietly standing, no kicking	0
	Occasional kicking at abdomen (1–2 times/5 min)	1
	Frequent kicking at abdomen (3–4 times/5 min)	2
	Excessive kicking at abdomen (>5 times/5 min), intermittent attempts to lie down and roll	3
Pawing on the floor (pointing, hanging limbs)	Quietly standing, no pawing	0
	Occasional pawing (1–2 times/5 min)	1
	Frequent pawing (3–4 times/5 min)	2
	Excessive pawing (>5 times/5 min)	3
Posture (weight distribution, comfort)	Stands quietly, normal walk	0
	Occasional weight shift, slight muscle tremors	1
	Non-weight bearing, abnormal weight distribution	2
	Analgesic posture (attempts to urinate), prostration, muscle tremors)	3
Head movement	No evidence of discomfort, head straight ahead for the most part	0
	Intermittent head movements laterally or vertically, occasional looking at flanks (1–2 times/5 min), lip curling (1–2 times/5 min)	1
	Intermittent and rapid head movements laterally or vertically, frequent looking at flank (3–4 times/5 min), lip curling (3–4 times/5 min)	2
	Continuous head movements, excessively looking at flank (>5 times/5 min), lip curling (>5 times/5 min)	3
Behaviour	Criteria	Score
Appetite	Eats hay readily	0
	Hesitates to eat hay	1
	Shows little interest in hay, eats very little or takes hay in mouth but does not chew or swallow	2
	Neither shows interest in nor eats hay	3
Total CPS		39

Cette étude a montré que la posture, la sueur, l'appétit, le grattage et lorsque le cheval se tape l'abdomen étaient des critères comportementaux spécifiques de la douleur. Aussi, la sensibilité était bonne pour la posture, les mouvements de tête et le grattage. Les critères physiologiques comme la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, les bruits digestifs et la température avaient une spécificité modérée et une sensibilité médiocre. Concernant les réponses aux soins, l'interactivité était spécifique mais non sensible, alors que la réponse à la palpation de la zone douloureuse était spécifique et sensible.

La conclusion de cette étude sur la grille multifactorielle est que les paramètres physiologiques étaient peu indicatifs dans le cadre de la douleur orthopédique. Les données comportementales sont quant à elles relativement spécifiques et sensibles, permettant à la grille CPS d'être fiable dans l'évaluation de la douleur orthopédique.

Une autre étude menée par Van Loon et al. (2010) a validé cette grille pour les douleurs somatiques et viscérales.

2- La grille EQUUS-FAP

La grille EQUUS-FAP (Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain) décrit différentes expressions faciales (figure 3). Cette grille a été mise au point en 2015 (van Loon et Van Dierendonck, 2015), puis elle a été validée en 2016 et 2017 (VanDierendonck et van Loon, 2016 ; van Loon et Van Dierendonck, 2017) notamment pour les douleurs d'origine faciale comme les douleurs dentaires. Les chevaux du groupe « douleur » avait un score de douleur significativement plus élevé que les chevaux du groupe contrôle. Aussi, le score de douleur s'est avéré être efficace dans le suivi de la douleur au cours de l'hospitalisation, permettant ainsi aux vétérinaires d'évaluer l'efficacité d'un traitement analgésique. Cette grille a une bonne sensibilité (80%) et une bonne spécificité (78%).

Figure 3 - Grille EQUUS-FAP (van Loon et Van Dierendonck, 2015)

Score sheet of the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP).

Data	Categories	Score
Head	Normal head movement/interested in environment	0
	Less movement	1
	No movement	2
Eyelids	Opened, sclera can be seen in case of eye/head movement	0
	More opened eyes or tightening of eyelids. An edge of the sclera can be seen 50% of the time	1
	Obviously more opened eyes or obvious tightening of eyelids. Sclera can be seen >50% of the time	2
Focus	Focussed on environment	0
	Less focussed on environment	1
	Not focussed on environment	2
Nostrils	Relaxed	0
	A bit more opened	1
	Obviously more opened, nostril flaring and possibly audible breathing	2
Corners mouth/lips	Relaxed	0
	Lifted slightly	1
	Obviously lifted	2
Muscle tone head	No fasciculations	0
	Mild fasciculations	1
	Obvious fasciculations	2
Flehming and/or yawning	Not seen	0
	Seen	2
Teeth grinding and/or moaning	Not heard	0
	Heard	2
	Position: Orientation towards sound/clear response with both ears or ear closest to source	0
Ears	Delayed/reduced response to sounds	1
	Position: backwards/no response to sounds	2
Total		.../18

3- La grille HGS

La grille Horse Grimace Scale ou HGS a été développée et validée par Emanuela Dalla Costa et al. (2014). Elle est proposée pour évaluer la douleur chez les chevaux ayant subi une chirurgie de castration par le biais des expressions faciales.

Figure 4 - Grille HGS (Horse Grimace Scale) (Dalla Costa et al., 2014)



Figure 2. Horse Grimace Pain Scale (HGS). The Horse Grimace Pain Scale with images and explanations for each of the 6 facial action units (FAUs). Each FAU is scored according to whether it is not present (score of 0), moderately present (score of 1) and obviously present (score of 2). doi:10.1371/journal.pone.0092281.g002

Des modifications des expressions faciales ont été observées : position des oreilles, ouverture de l'œil, tension des masticateurs (figure 4). Il y avait une différence significative des scores d'expressions faciales pour les chevaux recevant une chirurgie de castration entre les scores pré-chirurgie et les scores 8 heures post-chirurgie. Cependant, aucune différence n'a été observée entre le groupe contrôle des chevaux subissant une anesthésie générale pour des procédures non-invasives et les chevaux subissant une anesthésie générale en vue de la castration chirurgicale.

Une seconde étude menée par Dalla Costa et al. (2016) étudie si la grille HGS peut être utilisée pour une douleur liée à la fourbure aiguë chez les chevaux. Dans cette étude, la gravité de la fourbure est évaluée par le grade d'Obel (Menzies-Gow *et al.*, 2010). Une association significative entre le grade d'Obel et le score de la grille HGS a été mise en évidence, corrélée avec l'intensité de la douleur évaluée par des vétérinaires à partir de leur expérience clinique. Cette étude a ainsi validé que la grille HGS permettait de grader la douleur chez les chevaux atteints de fourbure aiguë.

4- La grille EPS

La grille EPS (Equine Pain Scale) est élaborée par Gleerup et al. (2015) à partir des différentes grilles de gradation de la douleur existantes. Elle regroupe à la fois les expressions faciales décrites par Dalla Costa et al. en 2014 et Gleerup et al. en 2015 et les comportements étudiés dans différentes études (tableau 3, figure 5). Les auteurs expliquent dans cette étude que la seule façon de grader la douleur chez des individus non verbaux, comme les chevaux, est d'utiliser une grille avec des critères stricts et bien définis (tableau 4). En effet, seule une description objective et spécifique permet de contrer la subjectivité de la gradation de la douleur.

Tableau 3 - Description des expressions faciales décrites par Dalla Costa et al. (2014) et Gleerup et al. en 2015

TABLE 1: Features of the equine facial expression of pain

Facial features of horses in pain

Asymmetrical/low ears* or ears held stiffly backwards†
 Angled eye*/tension above the eye area and orbital tightening†
 Withdrawn and tense stare*
 Nostrils – square-like*/strained†
 Tension of the muzzle*/strained mouth and pronounced chin†
 Tension of the mimic muscles*/chewing muscles†

*Gleerup *et al.* 2014. †Dalla Costa *et al.* 2014

Figure 5 - Illustration des expressions faciales de la douleur décrites par Gleerup en 2015



Tableau 4 - Description de la grille EPS (Equine Pain Scale) (Gleerup *et al.*, 2015)

TABLE 6: The Equine Pain Scale, a proposed pain scale based on the findings in all reviewed studies

Behaviour category	Score				
	0	1	2	3	4
Pain face	No pain face		Pain face present	Intense pain face	
Gross pain behaviour*	None		Occasional		Continuous
Activity	Exploring, attention towards surroundings or resting	No movement		Restless	Depressed
Location in the stall**	At the door watching the environment	Standing in the middle, facing the door	Standing in the middle facing the sides	Standing in the middle facing back or standing in the back	
Posture/weightbearing	Normal posture and normal weight bearing	Foot intermittent of the ground/ occasional weight shift	Pinched (groove between abdominal muscles visible) ¹	Continuously taking foot off the ground and trying to replace it	No weightbearing. Abnormal weight distribution ²
Head position	Foraging, below withers or high	Level of withers	Below withers ³		
Attention towards the painful area	Does not pay attention to painful area		Brief attention to painful area (e.g. flank watching)		Biting, nudging or looking at painful area ⁴ (e.g. flank watching)
Interactive behaviour	Looks at observer or moves to observer when approached	Looks at observer does not move	Does not look at observer or moves away avoids contact	Does not move, not reacting/ introverted	
Response to food	Takes food with no hesitation	Looks at food		No response to food	

* Gross pain behaviour includes all readily visible behaviours such as excessive head movements (vertical/lateral), flehmen, kicking, pawing, rolling, tail swishing, mouth playing, stretching, etc. ** See Figure 2 and 3; ^{1,2,3}: See Figure 4a; ⁴: See Figure 5a,b.

f. Étude de la posture dans la gradation de la douleur

La posture est depuis très longtemps considérée comme un bon reflet de l'état émotionnel des individus (Darwin, 1877). Même si les postures sont aujourd'hui bien décrites et connues, leurs évaluations quantitatives sont pauvres et manquent d'objectivité (Sénèque *et al.*, 2019). L'analyse quantitative et objective de la posture permet d'établir des liens avec l'état émotionnel des chevaux. L'étude de la posture a notamment été développée dans le cadre de l'analyse du bien-être des chevaux (Sénèque *et al.*, 2019). De plus, le stress, la peur, l'inconfort et la douleur se traduisent par des contractions des muscles dorsaux ce qui impacte la biomécanique de toute la ligne dorsale. Ainsi l'étude de la posture est en lien direct avec l'évaluation des anomalies d'allures (Dyson *et al.*, 2018).

L'étude de Lesimple *et al.* (2012) a observé le lien entre la posture et la douleur dorsale. Les résultats ont mis en évidence que la posture de l'encolure était corrélée avec l'activité musculaire de la ligne dorsale. En effet, plus l'encolure était concave et plus l'activité musculaire, considérée comme reflétant les douleurs dorsales, était élevée. Pour les chevaux présentant des pathologies dorsales, l'activité musculaire était élevée sur l'ensemble de la ligne dorsale. Ainsi, l'évaluation de la posture de l'encolure serait un bon indicateur des douleurs dorsales.

L'étude de Sénèque et al. (2019) s'est penchée sur le lien entre la posture en lien avec l'état émotionnel et le bien-être des chevaux. Cette étude a mis en évidence que les chevaux présentant des stéréotypies, des comportements anormaux ou des postures associées à des états émotionnels dépressifs, se présentaient avec le dos, l'encolure et la croupe plus plates voire creuses (figure 6).

Figure 6 – Illustration des deux types de postures observées dans l'étude de Sénèque et al. en 2019.

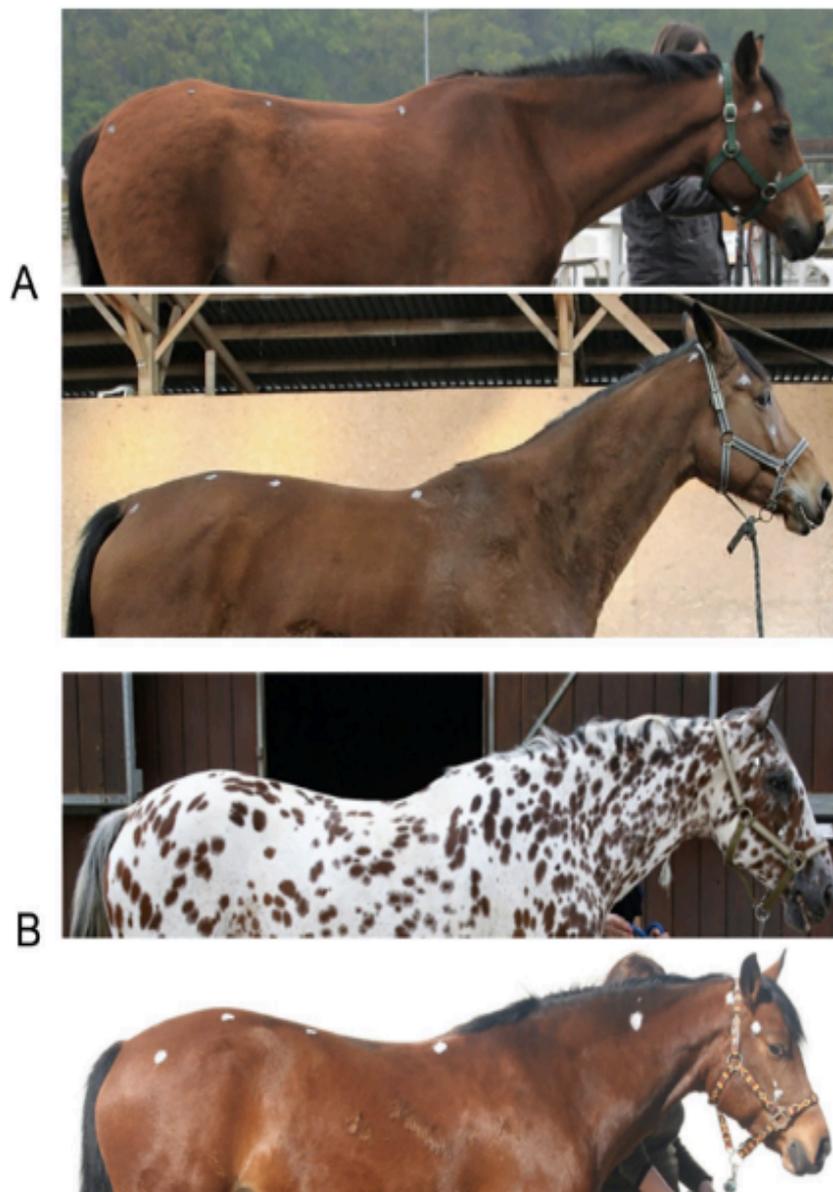


Fig 7. Photographs of two types of riding school horses. (A) Photographs of riding school horses presenting characteristic elements of posture associated with poor welfare. They all express SB/ARB and show “depressed-like” posture too. (B) Photographs of riding school horses which don't express SB/ARB and “depressed-like” posture and without characteristic elements of posture associated with poor welfare.

3. Résultats et conclusion de l'étude préliminaire de Chloé Herfroy

a. Objectifs

La thèse de Chloé Herfroy (2020) se présente comme le travail préliminaire de notre étude. L'objectif de cette thèse était d'étudier les expressions faciales des chevaux lors des courses d'endurance afin de déterminer si la grille HGS de Emanuela Dalla Costa était utilisable sur le terrain, si des variations dans les expressions faciales étaient observées en lien avec un état de fatigue, si les chevaux classés avaient des scores faciaux différents des chevaux éliminés et si un seuil de score facial était associé à un état de fatigue avancé.

b. Protocole de l'étude

Dans son étude, Chloé Herfroy a recueilli 516 vidéos exploitables des chevaux présentés aux contrôles vétérinaires lors de courses d'endurance. Elle s'est rendue sur quatre concours différents et filmait les chevaux de profil à 1-2m de distance pendant au minimum 7 secondes.

Les vidéos ont été visionnées et notées selon la grille HGS à laquelle deux critères ont été ajoutés (fixité de l'œil et mâchonnement), ainsi huit critères ont été évalués pour chaque vidéo. Chaque critère est noté entre 0 et 2, une note globale (NGEF8 : Note Globale d'Expressions Faciales sur 8 critères) correspondant à la somme des huit critères est obtenue.

c. Analyse statistique et conclusion sur la répétabilité et la reproductibilité de la grille

La répétabilité (concordance intra-opérateur) du score global a été étudiée à partir du coefficient de concordance de Lin, elle est apparue comme très bonne (0,873). La méthode graphique de Bland et Altman montrait une bonne répétabilité également. La reproductibilité (concordance inter-opérateur) du score global a été étudiée entre deux opérateurs, le coefficient de concordance de Lin est bon (0,650) mais d'après la méthode graphique de Bland et Altman la reproductibilité était peu acceptable. La répétabilité et la reproductibilité ont été étudiées pour chacun des huit critères de notation. La répétabilité est bonne pour les critères « ouverture de l'œil », « fixité de l'œil », « mâchonnement ». La reproductibilité est quant à elle bonne uniquement pour le critère « mâchonnement » et acceptable pour « fixité de l'œil » et « position des oreilles ».

Ces résultats montrent qu'il existe une part élevée de subjectivité dans la notation des critères. Ce constat concorde avec l'observation faite par Gleerup et al. en 2015, que les grilles de notation se doivent d'être le plus précises possibles dans la description des critères de notation afin de palier à cette subjectivité. Aussi, le manque de concordance peut être attribué au manque d'expérience des opérateurs attribuant les notes. Il a d'ailleurs été montré qu'une formation préalable améliorerait la reproductibilité des scores de la grille HGS (Dai *et al.*, 2020).

d. Analyse statistique et conclusion sur les expressions faciales

Ensuite, l'évolution des expressions faciales pendant la course a été analysée. Il est apparu globalement que la proportion de note 0 diminuait au long des contrôles vétérinaires alors que la proportion de 2 augmentait. L'évolution était d'autant plus marquée pour la fixité de l'œil, la position des oreilles, la tension des muscles masticateurs et la tension des naseaux. Les critères ouverture de l'œil et mâchonnement n'évoluaient que très peu durant la course.

La note globale était positivement corrélée à la distance et au temps de récupération au contrôle vétérinaire n°3. Aucune relation n'a été mise en évidence entre la note globale et la fréquence cardiaque, le temps de récupération aux contrôles vétérinaires (sauf le n°3) et l'indice de récupération cardiaque.

L'étude de la note globale en fonction des données de courses associées à la fatigue a montré que la note globale était significativement associée à l'âge au 2^{ème} contrôle vétérinaire, à la catégorie de course au 3^{ème} contrôle vétérinaire, au statut éliminé ou classé au 3^{ème} contrôle vétérinaire. Cependant, la note globale à un contrôle N n'était significativement pas associée au statut éliminé ou classé à l'issue du contrôle N+1. Ainsi, la note globale d'expression faciale n'est pas apparue comme prédictive d'une élimination.

e. Limites de l'étude préliminaire

Les limites relevées par Chloé Herfroy dans cette étude sont multiples. Tout d'abord, les chevaux ont été filmés lors de l'auscultation cardiaque donc lorsque le vétérinaire interagit avec le cheval, avec de nombreuses perturbations extérieures. Ainsi, le comportement du cheval a pu être modifié du fait de ces perturbations. Aussi, la qualité de l'image est conditionnée par les conditions environnementales, elles varient et ne sont pas toujours optimales pour observer les expressions faciales. Les conditions climatiques étaient relativement favorables avec une température et une humidité raisonnable durant les courses observées. Il a été montré qu'un temps chaud et humide favorisait les éliminations pour troubles métaboliques. Ainsi, les résultats de l'étude auraient peut-être été plus significatifs avec des conditions climatiques plus favorables aux éliminations, et donc une proportion de chevaux éliminés plus élevée.

Cette étude préliminaire présente des résultats encourageants dans l'évaluation du niveau de fatigue chez le cheval en course d'endurance. Une seconde étude est présentée ici, à partir de la connaissance des limites rencontrées dans l'étude préliminaire.

Deuxième partie : construction d'une échelle composite de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale

1. Objectifs de l'étude

L'objectif général est de construire une grille de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale permettant d'évaluer l'état de fatigue chez le cheval d'endurance.

Ainsi nous allons :

- 1- Établir une grille de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale à partir de la grille des expressions faciales de Dalla Costa et al. (2014) et évaluer si les résultats de notation sont répétables entre évaluateurs ;
- 2- Analyser les variations des expressions faciales et de l'attitude générale pendant la course ;
- 3- Comparer les valeurs chez les chevaux classés et éliminés ;
- 4- Comparer les résultats obtenus par rapport à l'étude préliminaire de Chloé Herfroy (2020) ;
- 5- Identifier s'il existe un seuil associé à un état de fatigue avancé ou à un état pathologique ;
- 6- Déterminer un seuil prédictif d'un état de fatigue.

2. Matériels et méthodes

a. Choix de l'échantillon

Nous avons filmé des chevaux au contrôle vétérinaire sur des épreuves à vitesse libre. Ce sont les épreuves d'endurance où l'effort est le plus long et généralement le plus intense, avec les taux d'élimination les plus élevés (Nagy *et al.*, 2017). Tout cheval participant à l'une des courses de l'étude a pu être inclus.

b. Protocole expérimental

Le matériel utilisé pour réaliser les vidéos est un téléphone portable, de la marque Apple®, modèle Iphone 12 possédant un double appareil photo de 12 Mpx (objectif principal et ultra grand-angle).

Les chevaux de l'étude ont été filmés pendant la première prise de la fréquence cardiaque, avant le trotting. La réalisation de la vidéo s'intégrait ainsi sans perturbation à l'examen vétérinaire à un moment où le cheval était immobile suffisamment longtemps. L'objectif ultra grand-angle était utilisé afin de filmer la tête de profil, l'encolure et le garrot. Le choix de cet objectif permettait également de pallier au manque de recul inhérent à la disposition des contrôles vétérinaires. La distance entre le téléphone portable et le cheval était d'environ 2 mètres, cette distance variait en fonction des

conditions environnementales dans l'aire de contrôle vétérinaire. Le profil droit ou gauche a été filmé indifféremment en fonction de la position la moins gênante pour la réalisation de l'examen vétérinaire (figure 7). Chaque séquence vidéo était au minimum de 4 secondes. Une seule personne réalisait les vidéos (A. Marty).

Figure 7 - Exemple de prise de vue, extraite d'une vidéo, montrant la vue de profil utilisée



Les contrôles vétérinaires des courses de l'étude se sont tous déroulés sous des tonnelles, dans des aires extérieures (figure 8).

Figure 8 - Environnement du contrôle vétérinaire lors de la course de Monpazier (27-28-29 août 2021)



Juste après la réalisation de la vidéo, une photographie était extraite de la vidéo et le numéro du cheval était annoté, afin d'obtenir par la suite grâce aux données de course le numéro du contrôle vétérinaire correspondant à la vidéo.

c. Courses

Trois évènements ont été choisis pour cette étude en raison de leur fréquentation (nombre élevé de partants) et de leur date, avec potentiellement des conditions météorologiques extrêmes. Le premier se déroule à Monpazier (Dordogne) les 27-28-29 août 2021. Le deuxième se déroule à Fontainebleau (Seine-et-Marne) le 26 mars 2022. Enfin, le troisième se déroule à Compiègne (Oise) les 25 et 26 juin 2022. Ces trois évènements regroupent des épreuves nationales et internationales jusqu'à 160 km de distance (tableau 5). Nous nous sommes intéressés aux courses de plus de 80 km. En effet, c'est au-delà de 90 km que les modifications métaboliques sont les plus marquées avec l'apparition des premiers états de fatigue (Le Moyec *et al.*, 2019). L'accord du président du jury ainsi que du président de la commission vétérinaire a été obtenu au préalable. Le système de chronométrage ATRM était présent sur ces trois évènements.

Tableau 5 - Détail des courses de l'étude (d'après ATRM Systems, 2022)

Lieu	Date	Épreuves	Partants	Classés (%)
Monpazier	27 au 29/08/2021	Amateur Elite 2x70 km Amateur Elite GP 160 km CEI3* 160 km Master de France 160 km Amateur GP 100 km CEI1* 100 km CEI1* Top7 100 km Master de France 100 km Amateur Elite 120 km CEI2* et CEIYJ2* 120 km Master de France 120 km Championnat des As 120 km	325	64,9 %
Fontainebleau	26/03/2022	Amateur GP 100 km CEI1* 100 km Amateur Elite 120 km CEI2* et CEIYJ2* 120 km	132	75,0 %
Compiègne	25 et 26/06/2022	CEI1* et CEIYJ1* 100 km CEI2* et CEIYJ2* 120 km Amateur Elite 120 km CEI3* 140 km Amateur Elite 160 km CEI3* 160 km	224	53,6 %

Au total, 744 vidéos exploitables ont été recueillies au cours de ces trois évènements (tableau 6).

Afin de faciliter la lecture de l'étude, nous avons choisi de regrouper les courses en fonction de leur distance. Les épreuves de 100 km sont toutes regroupées dans la catégorie CEI1*, les épreuves de 120 km sont regroupées dans la catégorie CEI2* et les épreuves de 2x70 km, 140 km, et de 160 km sont regroupées dans la catégorie CEI3*. La répartition des vidéos selon les lieux et les catégories de courses est présentée dans les Figures 9 et 10.

Tableau 6 - Détails de la répartition des vidéos selon les lieux, les catégories de courses et les contrôles vétérinaires

Légende utilisée dans la suite de l'étude : VET0 = contrôle initial, VETN = contrôle vétérinaire N

	Monpazier			Fontainebleau			Compiègne			Total
	CEI1*	CEI2*	CEI3*	CEI1*	CEI2*	CEI3*	CEI1*	CEI2*	CEI3*	
VET0	8	12	0	0	0	0	8	27	0	55
VET1	16	27	18	6	11	0	23	28	0	129
VET2	28	32	30	4	3	0	26	31	26	180
VET3	32	34	28	1	11	0	23	32	25	186
VET4	0	30	26	0	11	0	19	31	12	129
VET5	0	0	14	0	0	0	0	0	27	41
VET6	0	0	10	0	0	0	0	0	14	24
Total	84	135	126	11	36	0	99	149	104	744

Figure 9 – Répartition des vidéos selon les lieux de courses et les catégories de courses.

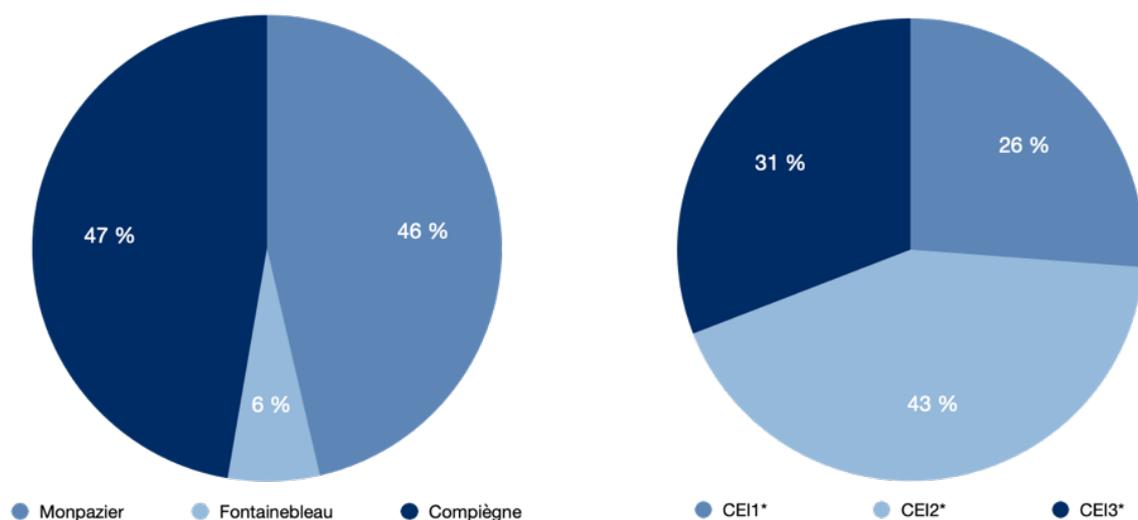
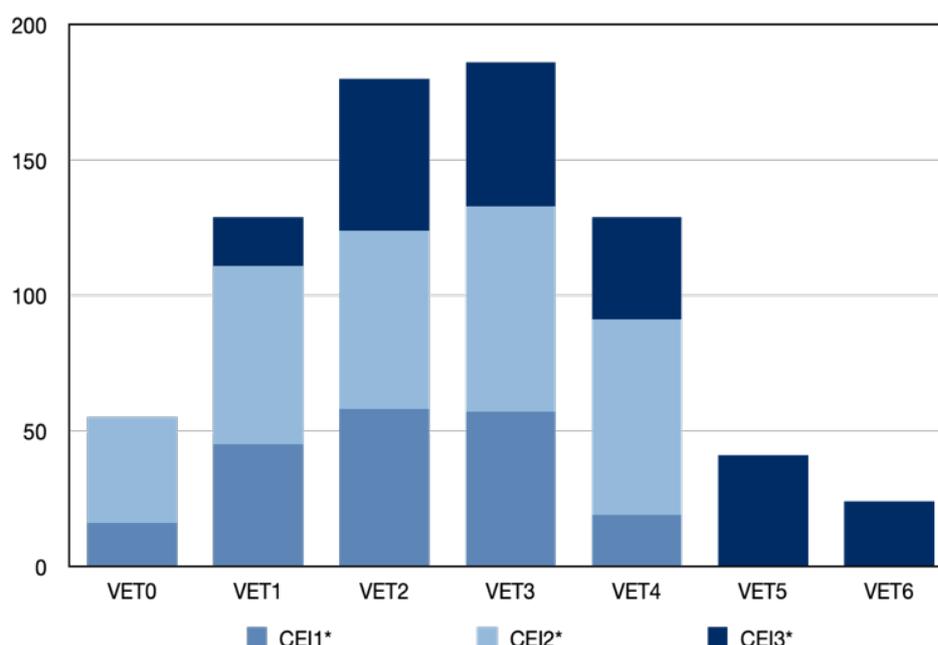


Figure 10 - Répartition des vidéos de l'étude en fonction des contrôles vétérinaires, selon la catégorie de course (CEI1*/CEI2*/CEI3*)



d. Traitement des données

Les vidéos ont été transférées sur ordinateur par système AirDrop (©Apple Inc., 2011). Le nom de chaque vidéo a été relevé dans un fichier Excel (2023) et un numéro choisi aléatoirement a été attribué à chaque vidéo grâce à la fonction ALEA.ENTRE.BORNES. Ainsi, les vidéos ont pu être regardées à l'aveugle sans connaître la distance parcourue.

Les vidéos ont été visionnées une première fois afin d'éliminer les vidéos non exploitables. Certaines vidéos étaient trop courtes, mal cadrées, ou bien la visualisation du cheval était mauvaise. Au total, 788 vidéos ont été recueillies et 744 ont été exploitables soit 94% du total.

Les vidéos ont ensuite été analysées pendant les 4 premières secondes où la tête du cheval est bien visible. Cette durée de 4 secondes a été choisie car elle correspond à la durée représentative du temps d'immobilité de la tête du cheval au contrôle vétérinaire permettant d'avoir une image de bonne qualité mais aussi à la durée minimale pour considérer que la vidéo est représentative de l'état du cheval en conservant un nombre maximal de vidéos. Chaque vidéo a été notée selon la grille créée à partir de la grille HGS de Dalla Costa et al. (2014) à laquelle nous avons ajouté les critères fixité de l'œil, mâchonnement et la posture.

Enfin, les vidéos ont été analysées une seconde fois par deux observateurs ayant connaissance des chevaux d'endurance (vétérinaire de courses d'endurance) selon les mêmes critères de notation. La grille de notation des 9 critères fournis aux vétérinaires est disponible en Annexe 1.

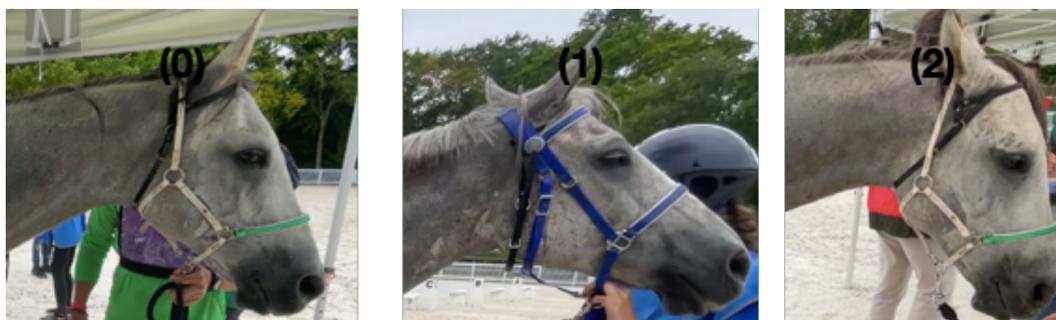
e. Critères utilisés pour la notation des vidéos

Le score attribué à chaque cheval correspond à la somme des notes des neuf critères, il est appelé NGEF9 (note globale d'expression faciale pour 9 critères) dans le reste de l'étude. Chaque critère se voit attribué une note de 0 à 2. Le score varie donc entre 0 et 18. Nous utiliserons également la NGEF8 (note globale d'expression faciale pour 8 critères), qui est le score global utilisé dans l'étude préliminaire de Chloé Herfroy (2020). Parmi ces neuf critères, six correspondent aux critères de la grille de Dalla Costa et al. (2014). Les critères fixité de l'œil et mâchonnement ainsi que la posture y ont été ajoutés. La description de la notation pour chacun des critères est illustrée et présentée dans les Figures 11 à 17.

Critère 1 : Position des oreilles (PO)

- (0) Les oreilles sont majoritairement droites, pointées vers l'avant pendant toute la vidéo
- (1) Les oreilles sont en mouvement
- (2) Les oreilles sont majoritairement plaquées vers l'arrière pendant toute la vidéo

Figure 11 - Illustration du critère "Position des oreilles"



Critère 2 : Ouverture de l'œil (OO)

- (0) Les yeux sont bien ouverts
- (1) L'ouverture des yeux est réduite entre 10% et 50%
- (2) L'ouverture de l'œil est réduite à plus de 50%

Figure 12 - Illustration du critère "Ouverture de l'œil "



Critère 3 : Tension de la région frontale (TF)

- (0) Les muscles ne sont pas contractés et la crête temporale est peu marquée
- (1) Les muscles sont modérément contractés et la crête temporale est marquée dorsalement uniquement
- (2) Les muscles sont contractés et la crête temporale est visible dorsalement et ventralement, la salière est creusée

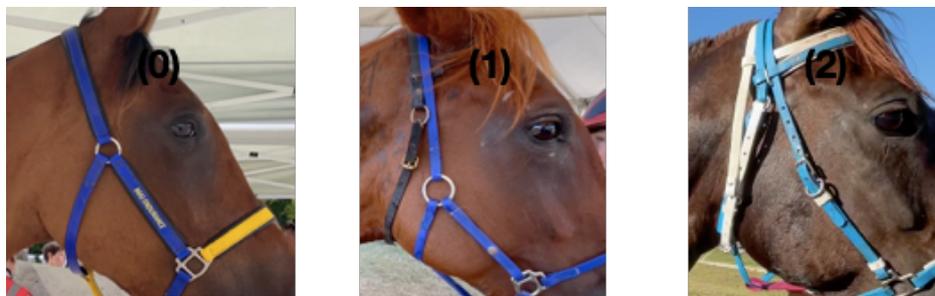
Figure 13 - Illustration du critère "Tension de la région frontale"



Critère 4 : Tension des muscles masticateurs (TM)

- (0) Les muscles et la crête faciale sont peu visibles sur la joue
- (1) Les muscles et la crête faciale sont modérément visibles
- (2) Les muscles sont très visibles, la crête faciale est saillante

Figure 14 - Illustration du critère "Tension des muscles masticateurs"



Critère 5 : Tension du menton et de la lèvre inférieure (TMLI)

- (0) La lèvre inférieure est détendue, le menton n'est pas marqué
- (1) La lèvre inférieure est tendue avec un menton marqué
- (2) Le menton est très marqué, avec présence de rides

Figure 15 - Illustration du critère "Proéminence du menton et tension de la lèvre inférieure"



Critère 6 : Tension des naseaux et de la lèvre supérieure (TNLS)

- (0) Les narines sont détendues, sans pli
- (1) Les narines sont légèrement tendues, début de plis visibles
- (2) Les narines sont très tirées vers l'arrière, présence de rides sur le bord caudal de l'aile de la narine

Figure 16 - Illustration du critère "Tension des naseaux et aplatissement de la face"



Critère 7 : Fixité de l'œil (OF)

- (0) Le cheval est vif, attentif à son environnement tout le temps ou en mouvement
- (1) Le cheval a un œil fixe, il ne regarde son environnement que lorsqu'il y a des perturbations extérieures
- (2) L'œil du cheval est totalement fixe, il ne réagit plus aux perturbations extérieures

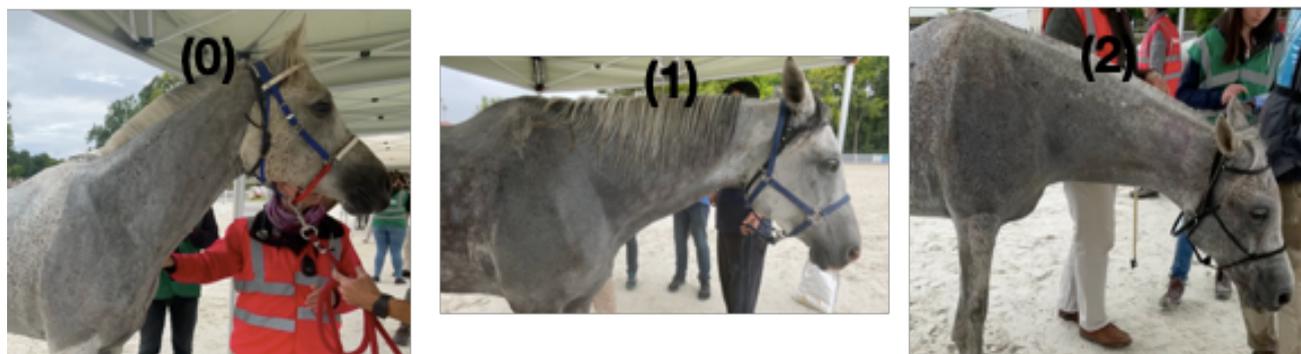
Critère 8 : Mâchonnement

- (0) Le cheval ne présente pas de mâchonnement tout au long de la vidéo
- (1) Le cheval présente quelques mâchonnements pendant la vidéo
- (2) Le cheval mâchonne tout au long de la vidéo

Critère 9 : Posture

- (0) L'encolure est au-dessus de la ligne du garrot
- (1) L'encolure est confondue avec la ligne du garrot
- (2) L'encolure est en dessous de la ligne du garrot

Figure 17 - Illustration du critère "Posture"



f. Données de courses utilisées

Les données de course ont été récoltées grâce au site internet ATRM (ATRM Systems, 2022) et au logiciel Yamamah (Symphony Technoloy LLC, 2017). Il s'agit de :

- Données concernant les chevaux : âge, race, sexe ;
- Données de course : contrôle vétérinaire, distance parcourue, vitesse moyenne, fréquence cardiaque, temps de récupération, type de course ;
- Données de performances en course : statut classé ou éliminé, cause d'élimination, rang du classement final et rang du classement par boucle.

Les courses ont été regroupées en différentes catégories selon les dénominations de la FEI. Ainsi, les courses de 100 km sont regroupées dans la catégorie CEI1*, les courses de 120 km sont des CEI2*, les courses de 2x70 km, 140 km et 160 km sont regroupées dans la catégorie CEI3*.

Pour l'âge, trois catégories ont été définies selon la littérature (Younes *et al.*, 2015, 2013) : « Jeune » de 6 à 8 ans, « Intermédiaire » de 9 à 11 ans et « Mature » pour les chevaux de 12 ans ou plus.

Concernant la race, quatre catégories sont décrites : les Pur-sang Arabes (AR), les Demi-sang Arabes (DSA), les Anglo-Arabes (AA), et les autres races (OTHER).

Le statut final (classé ou éliminé) des chevaux est en lien direct avec l'état de fatigue car l'élimination est effectuée sur des critères cliniques de fatigue. Nous avons étudié l'association entre la note globale d'expression faciale et de l'attitude générale (NGEF9) et la note globale d'expression faciale (NGEF8) et le statut final des chevaux. De même, nous avons analysé si la NGEF9 était prédictive de l'état de fatigue des chevaux d'endurance.

Enfin, les données météorologiques pour chaque course ont été recueillies sur le site Historique-météo.

g. Analyses statistiques des résultats

Comme cette étude s'inscrit dans la continuité de l'étude préliminaire de Chloé Herfroy (2020), nous étudierons dans un premier temps la concordance inter-opérateur, c'est-à-dire la reproductibilité du protocole. Puis, nous analyserons si la NGEF9 et la NGEF8 sont significativement liées à des données de courses traduisant un état de fatigue, ou bien au statut final. Nous commenterons également les différences et similitudes avec l'étude préliminaire.

Nous appellerons :

- Un individu = un cheval
- Un opérateur = une personne réalisant la notation de vidéos selon la grille définie
- Une population cible = les chevaux d'endurance

- Étude de la concordance inter-opérateur (reproductibilité)

La reproductibilité de notre protocole d'étude a été étudié selon deux méthodes. Tout d'abord, par la méthode numérique du coefficient de corrélation de concordance de Lin (1989). Puis, par la méthode graphique de Bland et Altman (1999). Cette deuxième méthode ayant pour objectif de nuancer, d'infirmer ou de confirmer les résultats obtenus par la première méthode d'un point de vue clinique (Desquilbet, 2022a)

Pour la méthode numérique, l'interprétation du coefficient de corrélation de la concordance (CCC) est réalisée selon la table de Partik (2002) et selon la table de Landis et Koch (1977) (figure 18).

Figure 18 – Interprétation du CCC selon la table de Partik et la table de Landis et Koch

Interprétation de la valeur du CCC			
Partik, 2002		Landis and Koch, 1977	
< 0.50	Inacceptable	< 0	Très mauvais (Poor)
0.51-0.60	Mauvais (Poor)	0-0.20	Mauvais (Slight)
0.61-0.70	Passable (Mediocre)	0.21-0.40	Passable (Fair)
0.71-0.80	Moyennement satisfaisant	0.41-0.60	Moyenne (Moderate)
0.81-0.90	Plutôt bon (fairly good)	0.61-0.80	Bonne (Substantial)
0.91-0.95	Très bonne (very good)	0.81-1.00	Très bonne (Almost perfect)
> 0.95	Excellente		

Pour la méthode graphique de Bland et Altman, nous fixons deux critères X et Y définis tel que : « on considère que deux opérateurs donnent des valeurs concordantes si (1) en moyenne, l'un ne surestime ou ne sous-estime par les valeurs par rapport à l'autre opérateur de plus de X, et si (2) la quasi-totalité des écarts (en valeur absolue) entre deux opérateurs est inférieure à Y » (Desquilbet, 2022a)

La « quasi-totalité des écarts » est définie comme 95% des écarts soit tous les écarts à part les 5% des écarts les plus extrêmes. Aussi, on fixera X, le biais maximal acceptable à 2 pour la note globale, et à 0,5 pour les différents critères. De même, on fixera Y, la zone d'agrément maximale acceptable à 2 pour la note globale, et à 0,5 pour les différents critères.

La validation des critères 1 et 2 définis ci-dessus confirmera les résultats de la méthode numérique.

Pour évaluer la reproductibilité du protocole, deux mesures sont nécessaires et suffisantes (Walter *et al.*, 1998). Afin de déterminer le nombre d'individus à inclure dans cette analyse, nous avons définis trois paramètres :

- Le CCC0 qui correspond au coefficient de corrélation de concordance de Lin minimale : 0,6
- Le CCC1 qui correspond au coefficient de corrélation de concordance de Lin attendu dans notre échantillon : 0,78
- La puissance statistique souhaitée : 0,8

Dans ces conditions, un échantillon de 50 individus est sélectionné pour étudier la reproductibilité. Ainsi, 50 vidéos ont été sélectionnées aléatoirement dans notre échantillon et soumises à la notation de deux vétérinaires équins (Dr. Michel Payan et Dr. Antoine Seguin). Ces deux vétérinaires sont habitués des courses d'endurance et novices en notation des expressions faciales. Chacun d'entre eux a reçu la grille de notation (disponible en Annexe 1), mais n'a pas reçu de formation ou

d'entraînement préalable. Nous comparerons les notations de chaque vétérinaire avec nos notations et nous comparerons les notations des vétérinaires entre eux.

- Analyse statistiques des résultats

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel SAS Studio®. L'ensemble des résultats présentés dans l'étude correspondent à des moyennes de la NGEF9 ou de la NGEF8. Les barres d'erreurs correspondent à l'écart type d'incertitude.

Nous allons tester l'association entre un certain nombre d'expositions (données de courses, données de performance) et le score global d'expression faciale et de l'attitude générale, sans hypothèse *a priori*.

Nous nous plaçons donc dans le cadre d'une étude multiple. Tous les paramètres doivent être testés sans hypothèse *a priori* avec les expressions faciales. (Desquilbet, 2022b)

L'hypothèse (H_0) que nous testons est : « il n'existe pas de différences significatives entre les expressions faciales, en fonction des différents paramètres étudiés ». Il faudra rejeter cette hypothèse pour conclure sur une significativité des résultats obtenus. Pour cela, il conviendra de calculer la p-value pour chaque association que nous testerons. Dans une étude multiple, le risque d'erreur en rejetant H_0 est inconnu, il peut être potentiellement grand.

Pour réduire ce risque d'erreur, nous utilisons la méthode de Holm qui calcule le degré de signification corrigé (ou p-value corrigée) et compare cette valeur avec le risque d'erreur de 1^{ère} espèce fixée à 0,05.

Les séries de données seront étudiées deux à deux par un test de Student pour séries non appariées (Desquilbet, 2022c). Nous avons considéré que les individus de l'échantillon étaient indépendants, que la distribution des variables quantitatives était normale, et nous avons vérifié que les variances dans les deux séries n'étaient pas trop différentes (comprises entre 1/3 et 3) auquel cas cela était pris en compte dans les calculs.

Des régressions linéaires ont été utilisées et nous avons utilisé le test de Pearson qui va tester si le coefficient beta de la régression linéaire est significativement différent de 0.

Notre étude étant une étude exploratoire, les conclusions que nous énoncerons seront à prendre avec précaution, des études confirmant nos résultats seront indispensables.

3. Résultats de l'analyse statistique de la reproductibilité

a. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour la NGEF8

Les résultats ont été obtenus par un fichier Excel (Microsoft®, 2023) réalisé par le Pr. Desquilbet. La concordance de notre notation (A.Marty) à celle des vétérinaires équins (opérateur 1 et opérateur 2) sont présentés en Figure 19 pour la méthode numérique et en Figure 20 pour la méthode graphique.

Figure 19 - Résultats du test de concordance pour la NGEF8 par le coefficient de Lin

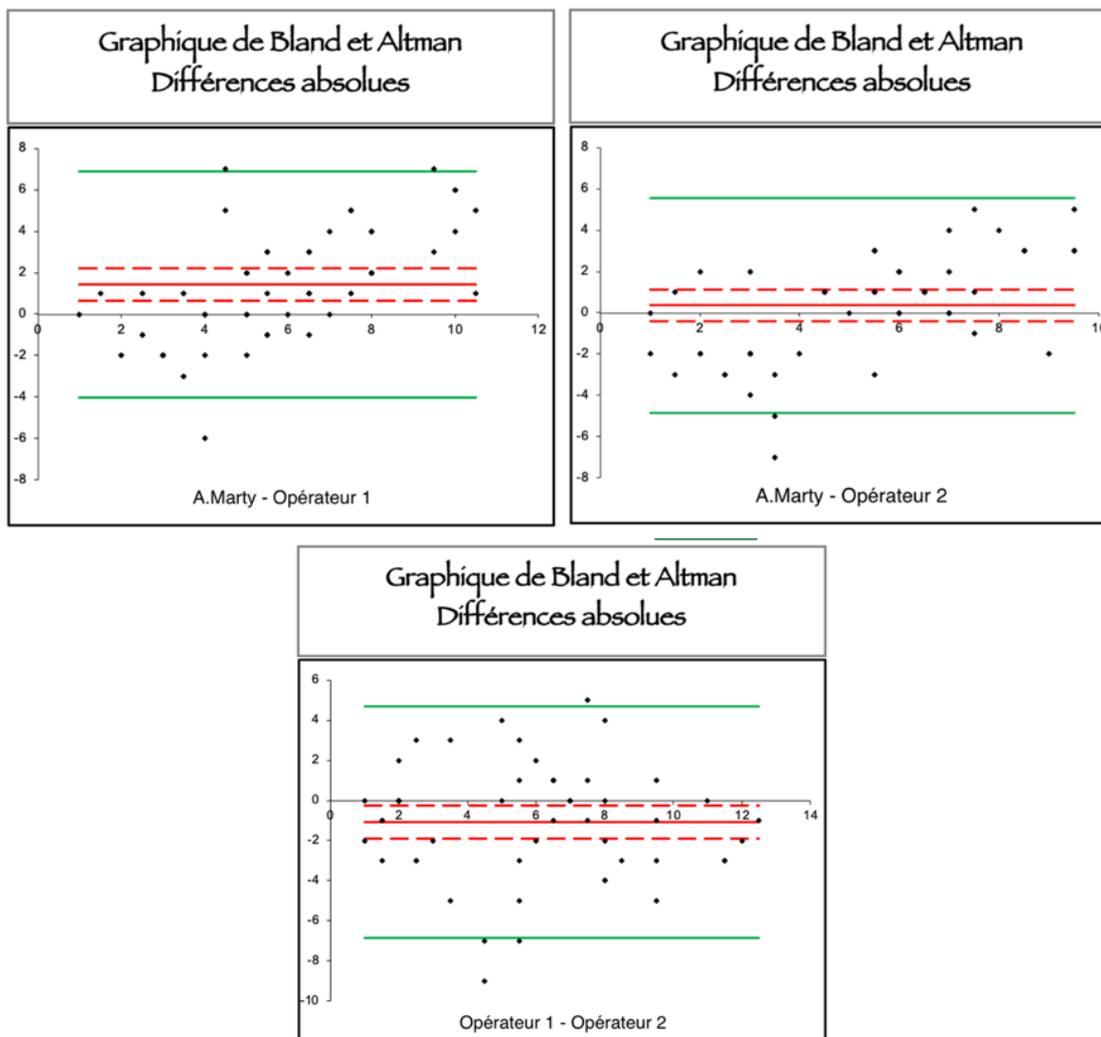
	Coefficient de concordance de Lin (CCC)	Intervalle de confiance à 95% du CCC
A.Marty - Opérateur 1	0,45	[0,26 ; 0,61]
A.Marty - Opérateur 2	0,53	[0,35 ; 0,68]
Opérateur 1 - Opérateur 2	0,61	[0,39 ; 0,76]

Les CCC de notre notation par rapport aux notations des deux opérateurs sont 0,45 et 0,53, ils sont moyens d'après la table de Landis et Koch et inacceptables à mauvais selon la table de Partik. Le CCC entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 est de 0,61, il est donc bon selon la table de Landis et Koch et médiocre selon la table de Partik. Si l'estimation de CCC n'est pas biaisée, il y a 95% de chances pour que la vraie valeur du CCC de Lin quantifiant la concordance inter-opérateur soit comprise entre 0,39 et 0,76. Le manque de concordance entre l'opérateur 1 (série 1) et l'opérateur 2 (série 2) est principalement dû à un manque de précision (90%).

Les résultats du test de concordance par la méthode graphique sont présentés en Figure 20. L'axe des abscisses correspond à la moyenne des mesures des deux séries et l'axe des ordonnées correspond à la différence entre les deux séries de mesures. Plus l'écart entre les points et l'axe des abscisses est important et plus l'écart entre les deux séries de mesures est important.

Figure 20 – Résultats du test de concordance de la NGEF8 par la méthode graphique de Bland et Altman

	Biais [IC95%]	Ecart
A.Marty - Opérateur 1	1,44 [0,648 ; 2,232]	[-4,02 ; 6,9]
A.Marty - Opérateur 2	0,36 [0,395 ; 1,115]	[-4,845 ; 5,565]
Opérateur 1 - Opérateur 2	-1,08 [-1,916 ; -0,244]	[-6,843 ; 4,683]



Le biais est représenté par la droite rouge pleine, il s'agit de la moyenne des différences entre les deux séries. Dans notre étude, entre notre notation et celle de l'opérateur 1, elle est de 1,44, cela signifie qu'en moyenne, l'opérateur 1 surestime la NGEF8 de 1,44 par rapport à notre notation. L'intervalle de confiance à 95% vaut [0,648 ; 2,232]. Cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur « 0 » donc il y a une surestimation significative de la NGEF8 entre l'opérateur 2 et nous. Nous avons fixé à 2 le biais maximal acceptable pour la note globale donc le critère 1 est accepté.

Aussi, les deux droites vertes du graphique de Bland et Altman représentent les limites d'agrément à 95%. Elles ont pour ordonnées -4,02 et 6,9, respectivement les limites d'agrément inférieure et supérieure. La méthode de Bland et Altman estime que 95% des 50 écarts de mesures entre nous

et l'opérateur 1 sont compris entre ces limites. Or, nous avons fixé la limite d'agrément maximal à +/-2, le critère 2 n'est donc pas vérifié.

Les résultats de la concordance entre notre notation et celle de l'opérateur 2 sont relativement similaires à ceux décrits précédemment. Le biais est de 0,36, l'opérateur 2 surestime la NGEF8 de 0,36 par rapport à notre notation. La surestimation de l'opérateur 2 par rapport à notre notation est inférieure à celle de l'opérateur 1 par rapport à notre notation. L'intervalle de confiance vaut [0,395 ; 1,115] et ne comprend pas la valeur « 0 » donc la surestimation de la NGEF8 est considérée comme significative. Le biais est inférieur à la valeur du biais maximal que nous avons fixé donc le critère 1 est respecté. De plus, les limites d'agrément inférieure et supérieure sont respectivement de -4,845 et 5,565. Ainsi, la limite d'agrément maximal défini à +/-2 n'est pas respecté, le critère 2 n'est pas vérifié.

Le CCC entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 est de -1,08, cela signifie qu'en moyenne, l'opérateur 2 sous-estime la NGEF8 de 1,08 par rapport à l'opérateur 1. L'intervalle de confiance à 95% de cette estimation vaut [-1,916 ; -0,244]. Cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur « 0 » donc il y a une surestimation significative de la NGEF8 entre l'opérateur 2 et l'opérateur 1. Nous avons fixé à 2 le biais maximal acceptable pour la note globale donc le critère 1 est validé. Les limites d'agrément inférieure et supérieure sont respectivement de -6,843 et 4,683. Ainsi, la limite d'agrément maximal défini à +/-2 n'est pas respecté, le critère 2 n'est pas vérifié.

Il y a donc une concordance bonne à inacceptable d'un point de vue numérique selon la table de lecture, mais d'un point de vue opérationnel, la concordance inter-opérateur ne remplit pas un des deux critères de reproductibilité et est donc peu acceptable. Des différences sont observées selon les opérateurs, le biais (ou moyenne des écarts) est le plus faible entre nous et l'opérateur 2, il est le plus important entre nous et l'opérateur 1.

b. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour la NGEF9

La même méthode d'interprétation est utilisée ici pour la reproductibilité de la NGEF9. Les résultats pour la méthode numérique sont présentés en Figure 21.

Les CCC de notre notation par rapport aux notations des deux opérateurs sont 0,56 et 0,60, ils sont moyens d'après la table de Landis et Koch et mauvais selon la table de Partik. Le CCC obtenu est de 0,65, il est donc bon selon la table de Landis et Koch et médiocre selon la table de Partik. Si l'estimation de CCC n'est pas biaisée, il y a 95% de chances pour que la vraie valeur du CCC de Lin quantifiant la concordance inter-opérateur soit comprise entre 0,45 et 0,79. Le manque de concordance entre l'opérateur 1 (série 1) et l'opérateur 2 (série 2) est principalement dû à un manque de précision (93%).

Figure 21 – Résultats du test de concordance pour la NGEF9 par le coefficient de Lin

	Coefficient de concordance de Lin (CCC)	Intervalle de confiance à 95% du CCC
A.Marty - Opérateur 1	0,56	[0,38 ; 0,7]
A.Marty - Opérateur 2	0,60	[0,44 ; 0,73]
Opérateur 1 - Opérateur 2	0,65	[0,45 ; 0,79]

Les résultats du test de concordance par la méthode graphique sont présentés en Figure 22.

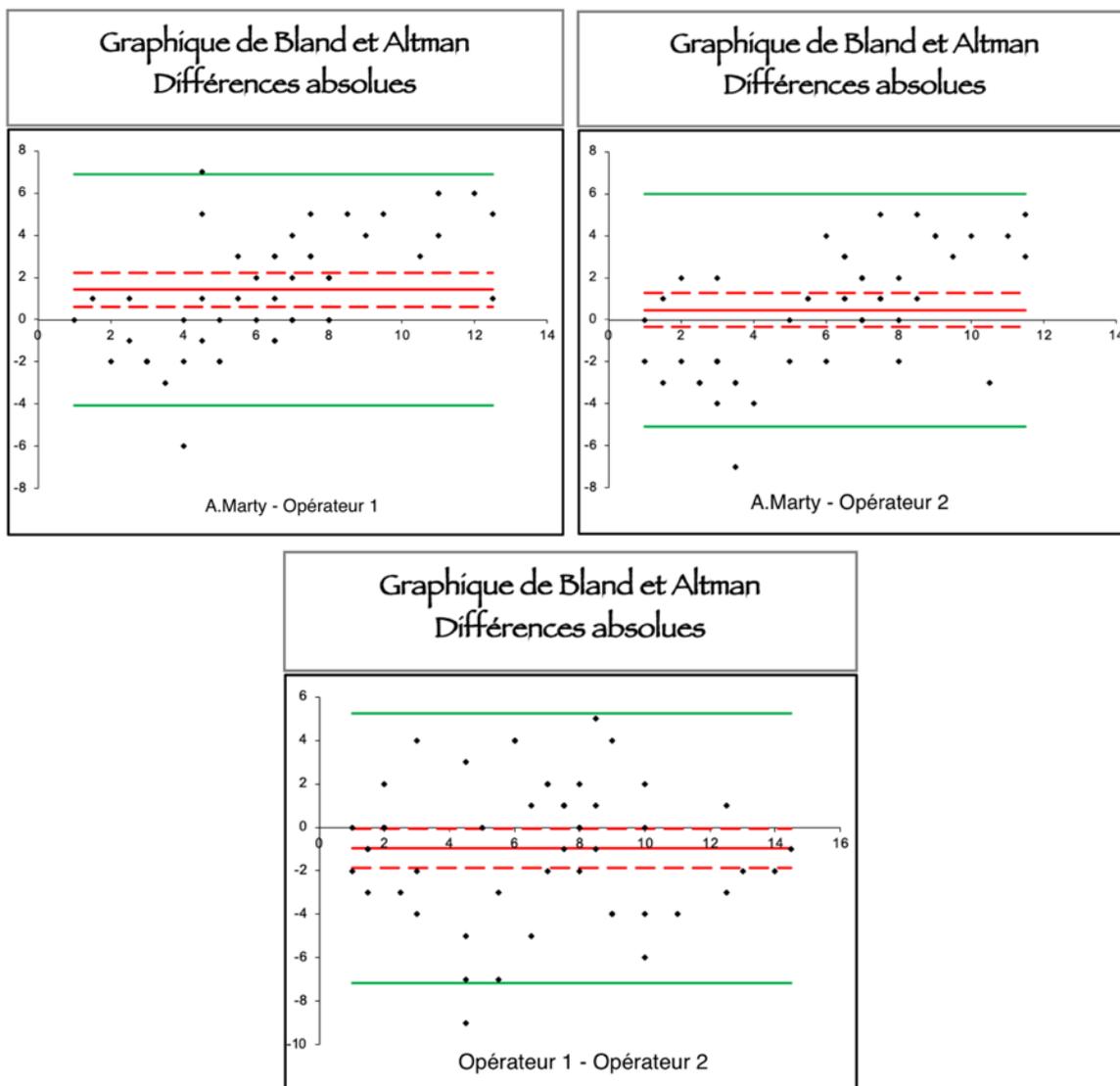
Entre notre notation et celle de l'opérateur 1, le biais est de 1,42. L'intervalle de confiance à 95% de cette estimation vaut [0,626 ; 2,214]. Cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur « 0 » donc il y a une surestimation significative de la NGEF9 entre l'opérateur 2 et l'opérateur 1. Nous avons fixé à 2 le biais maximal acceptable pour la note globale donc le critère 1 est validé. La méthode de Bland et Altman estime que 95% des 50 écarts de mesures entre nous et l'opérateur 1 sont compris entre -4,054 et 6,894. Or, nous avons fixé à +/- 2 la limite d'agrément maximal. Le critère 2 n'est donc pas vérifié.

Entre notre notation et celle de l'opérateur 2, le biais est de 0,46. L'intervalle de confiance à 95% de cette estimation vaut [-0,343 ; 1,262]. Cet intervalle de confiance comprend la valeur « 0 » donc il n'y a pas de surestimation de la NGEF9 entre nous et l'opérateur 2. Nous avons fixé à 2 le biais maximal acceptable pour la note globale donc le critère 1 est validé. La méthode de Bland et Altman estime que 95% des 50 écarts de mesures entre nous et l'opérateur 1 sont compris entre -5,072 et 5,992. Or, nous avons fixé à +/- 2 la limite d'agrément maximal. Le critère 2 n'est donc pas vérifié.

Entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2, le biais est de -0,96. L'intervalle de confiance à 95% de cette estimation vaut [-1,857 ; -0,063]. Cet intervalle de confiance ne comprend pas la valeur « 0 » donc il y a une surestimation significative de la NGEF9 entre l'opérateur 2 et l'opérateur 1. Nous avons fixé à 2 le biais maximal acceptable pour la note globale donc le critère 1 est validé. La méthode de Bland et Altman estime que 95% des 50 écarts de mesures entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 sont compris entre -5,225 et 7,145. Or, nous avons fixé à +/- 2 la limite d'agrément maximal. Le critère 2 n'est donc pas vérifié.

Figure 22 - Résultats du test de concordance de la NGEF9 par la méthode graphique de Bland et Altman

	Biais [IC95%]	Ecart
A.Marty - Opérateur 1	1,42 [0,626 ; 2,214]	[-4,054 ; 6,894]
A.Marty - Opérateur 2	0,46 [-0,342 ; 1,262]	[-5,072 ; 5,992]
Opérateur 1 - Opérateur 2	-0,96 [-1,857 ; -0,063]	[-7,145 ; 5,225]



Il y a donc une concordance bonne à médiocre d'un point de vue numérique uniquement selon la table de lecture, mais d'un point de vue opérationnel, la concordance inter-opérateur ne remplit pas un des deux critères de reproductibilité et est donc peu acceptable. Comme pour la NGEF8, le biais (c'est-à-dire la moyenne des écarts) est faible entre nous et l'opérateur 2, et important entre nous et l'opérateur 1.

c. Résultats des tests de concordance par méthode numérique et graphique pour chacun des critères

La même méthode d'analyse est utilisée pour étudier la concordance inter-opérateur pour chacun des critères de la grille de notation. Les résultats concernant la concordance entre nous et l'opérateur 1 sont présentés en Figure 23.

Figure 23 – Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre A.Marty et l'opérateur 1 pour chacun des critères de la grille de notation

A.Marty - Opérateur 1					
	Coefficient de Lin [IC95%]	Biais [IC95%]	Ecart	Landis et Koch	Partik
Position des oreilles	0,66 [0,47 ; 0,8]	-0,04 [-0,212 ; 0,132]	[-1,225 ; 1,145]	Bonne	Passable
Ouverture de l'oeil	0,26 [0,07 ; 0,42]	0,62 [0,431 ; 0,809]	[-0,687 ; 1,927]	Passable	Inacceptable
Tension de la région frontale	0,33 [0,12 ; 0,51]	-0,54 [-0,723 ; -0,357]	[-1,805 ; 0,725]	Passable	Inacceptable
Tension des muscles masticateurs	<0	Non pertinent	Non pertinent	Très mauvais	Inacceptable
Tension du menton et de la lèvre inférieure	0,14 [-0,09 ; 0,36]	0,48 [0,242 ; 0,718]	[-1,164 ; 2,124]	Mauvais	Inacceptable
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	0,24 [-0,03 ; 0,49]	0,18 [-0,061 ; 0,421]	[-1,485 ; 1,845]	Passable	Inacceptable
Fixité de l'oeil	0,37 [0,16 ; 0,55]	0,44 [0,257 ; 0,623]	[-0,822 ; 1,702]	Passable	Inacceptable
Mâchonnement	0,71 [0,55 ; 0,82]	0,14 [0,011 ; 0,269]	[-0,746 ; 1,026]	Bonne	Moyenne
Posture	0,77 [0,63 ; 0,87]	-0,02 [-0,142 ; 0,102]	[-0,859 ; 0,819]	Bonne	Moyenne

Les résultats des tests de concordance apparaissent bons d'après la table de Landis et Koch pour les critères position des oreilles, mâchonnement et posture. D'après la table de Partik, les résultats sont moyens pour les critères mâchonnement et posture ; et passable pour la position des oreilles. Le CCC maximal est de 0,77 pour le critère posture. Les résultats sont inacceptables selon la table de Partik pour les autres critères de la grille de notation. Le biais est inférieur à +/- 0,5 pour l'ensemble des critères de la grille de notation, donc le critère 1 que nous avons fixé précédemment est vérifié. Cependant, l'écart maximum était fixé à +/-0,5, l'écart est supérieur pour l'ensemble des critères de la grille de notation.

Ainsi, entre nous et l'opérateur 1, seuls les critères position des oreilles, mâchonnement et posture ont une reproductibilité acceptable d'un point de vue numérique uniquement.

Les résultats concernant la concordance entre nous et l'opérateur 2 sont présentés en Figure 24.

Figure 24 - Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre A.Marty et l'opérateur 2 pour chacun des critères de la grille de notation

A.Marty - Opérateur 2					
	Coefficient de Lin [IC95%]	Biais [IC95%]	Ecart	Landis et Koch	Partik
Position des oreilles	0,62 [0,41 ; 0,77]	-0,12 [-0,298 ; 0,058]	[-1,349 ; 1,109]	Bonne	Passable
Ouverture de l'oeil	0,28 [0,05 ; 0,49]	0,36 [0,181 ; 0,539]	[-0,877 ; 1,597]	Passable	Inacceptable
Tension de la région frontale	0,27 [0,09 ; 0,43]	-0,74 [-0,937 ; -0,543]	[-2,101 ; 0,621]	Passable	Inacceptable
Tension des muscles masticateurs	0,19 [-0,09 ; 0,45]	-0,06 [-0,262 ; 0,142]	[-1,455 ; 1,335]	Mauvais	Inacceptable
Tension du menton et de la lèvre inférieure	0,18 [-0,08 ; 0,42]	0,3 [0,076 ; 0,524]	[-1,246 ; 1,846]	Mauvais	Inacceptable
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	0,31 [0,04 ; 0,54]	0,1 [-0,124 ; 0,324]	[-1,446 ; 1,646]	Passable	Inacceptable
Fixité de l'oeil	0,28 [0,07 ; 0,41]	0,48 [0,305 ; 0,655]	[-0,724 ; 1,684]	Passable	Inacceptable
Mâchonnement	0,74 [0,59 ; 0,85]	-0,02 [-0,127 ; 0,087]	[-0,76 ; 0,72]	Bonne	Moyenne
Posture	0,69 [0,5 ; 0,81]	0,12 [-0,16 ; 0,256]	[-0,82 ; 1,06]	Bonne	Passable

Les résultats des tests de concordance inter-opérateur entre nous et l'opérateur 2 sont relativement similaires à ceux décrits précédemment. La concordance apparaît bonne selon la table de Landis et Koch pour les critères position des oreilles, mâchonnement et posture. Elle est passable pour les critères posture et position des oreilles d'après la table de Partik et moyenne pour le mâchonnement. Le CCC maximal est de 0,74 pour le mâchonnement. La concordance est inacceptable selon la table de Partik pour les autres critères de la grille de notation.

Aussi, le biais est inférieur à +/- 0,5 pour l'ensemble des critères de la grille de notation, donc le critère 1 que nous avons fixé précédemment est vérifié. Cependant, l'écart maximum était fixé à +/- 0,5, l'écart est supérieur pour l'ensemble des critères de la grille de notation.

Par conséquent, entre nous et l'opérateur 2, seuls les critères position des oreilles, mâchonnement et posture ont une reproductibilité acceptable d'un point de vue numérique uniquement.

Les résultats concernant la concordance entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 sont présentés en Figure 25.

Figure 25 - Résultats des tests de concordance inter-opérateur entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 pour chacun des critères de la grille de notation

Opérateur 1 - Opérateur 2					
	Coefficient de Lin [IC95%]	Biais [IC95%]	Ecart	Landis et Koch	Partik
Position des oreilles	0,85 [0,74 ; 0,91]	-0,08 [-0,193 ; 0,033]	[-0,856 ; 0,696]	Très bonne	Bonne
Ouverture de l'oeil	0,56 [0,34 ; 0,72]	-0,26 [-0,42 ; -0,1]	[-1,367 ; 0,847]	Moyenne	Mauvais
Tension de la région frontale	0,36 [0,1 ; 0,47]	-0,2 [-0,399 ; -0,001]	[-1,572 ; 1,172]	Passable	Inacceptable
Tension des muscles masticateurs	0,27 [0,01 ; 0,5]	-0,22 [-0,421 ; -0,019]	[-1,608 ; 1,168]	Passable	Inacceptable
Tension du menton et de la lèvre inférieure	0,16 [-0,12 ; 0,41]	-0,18 [-0,415 ; 0,055]	[-1,798 ; 1,438]	Mauvais	Inacceptable
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	0,21 [-0,07 ; 0,47]	-0,08 [-0,309 ; 0,149]	[-1,656 ; 1,496]	Passable	Inacceptable
Fixité de l'oeil	0,47 [0,22 ; 0,66]	0,04 [-0,15 ; 0,23]	[-1,271 ; 1,351]	Moyenne	Inacceptable
Mâchonnement	0,62 [0,42 ; 0,77]	-0,08 [-0,241 ; 0,081]	[-1,189 ; 1,029]	Bonne	Passable
Posture	0,66 [0,47 ; 0,8]	0,14 [-0,001 ; 0,281]	[-0,831 ; 1,111]	Bonne	Passable

Les résultats des tests de concordance entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2 sont relativement similaires à ceux décrits précédemment. La concordance est très bonne pour le critère position des oreilles, elle est bonne pour les critères mâchonnement et posture, et moyenne pour les critères ouverture de l'œil et fixité de l'œil d'après la table de Landis et Koch. D'après la table de Partik, la concordance est bonne pour la position des oreilles, passable pour le mâchonnement et la posture et mauvaise pour l'ouverture de l'œil. D'après la table de Partik, la concordance est inacceptable pour les autres critères de la grille de notation.

Comme précédemment, le biais est inférieur à +/- 0,5 pour l'ensemble des critères de la grille de notation, donc le critère 1 que nous avons fixé précédemment est vérifié. L'écart maximum était fixé à +/-0,5, l'écart est supérieur pour l'ensemble des critères de la grille de notation.

Par conséquent, entre l'opérateur 1 et l'opérateur 2, seuls les critères position des oreilles, ouverture de l'œil, mâchonnement et posture ont une reproductibilité acceptable d'un point de vue numérique uniquement.

4. Résultats de l'analyse descriptive des données de l'étude

Les résultats présentés par la suite correspondent aux résultats obtenus à partir de notre seule notation de l'échantillon de 744 vidéos.

a. Analyse descriptive des neuf critères d'évaluation pendant la course

La répartition des notes des neuf critères de la grille d'évaluation est présentée dans le Tableau 7.

Tableau 7 - Répartition des notes pour chacun des neuf critères de la grille d'évaluation

Critère « Position des oreilles »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	190	25.54	190	25.54
1	348	46.77	538	72.31
2	206	27.69	744	100.00
Critère « Ouverture de l'oeil »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	500	67.20	500	67.20
1	209	28.9	709	95.30
2	35	4.70	744	100.00
Critère « Tension de la région frontale »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	53	7.12	53	7.12
1	295	39.65	348	46.77
2	396	53.23	744	100.00
Critère « Tension des muscles masticateurs »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	351	47.18	351	47.18
1	345	46.37	696	93.55
2	48	6.45	744	100.00
Critère « Proéminence du menton et tension de la lèvre inférieure »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	453	60.89	453	60.89
1	251	33.74	704	94.62
2	40	5.38	744	100.00
Critère « Tension des naseaux et aplatissement de la face »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	410	55.11	410	55.11
1	271	36.42	681	91.53
2	63	8.47	744	100.00

Critère « Fixité de l'oeil »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	488	65.59	488	65.59
1	237	31.85	725	97.45
2	19	2.55	744	100.00
Critère « Mâchonnement »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	551	74.06	551	74.06
1	136	18.26	687	92.34
2	57	7.66	744	100.00
Critère « Posture »				
Note	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
0	383	51.48	383	51.48
1	291	39.11	674	90.59
2	70	9.41	744	100.00

On observe quatre grands types de répartition.

Un premier type de répartition avec autant de 0 , 1 et 2 pour le critère « Position des oreilles ».

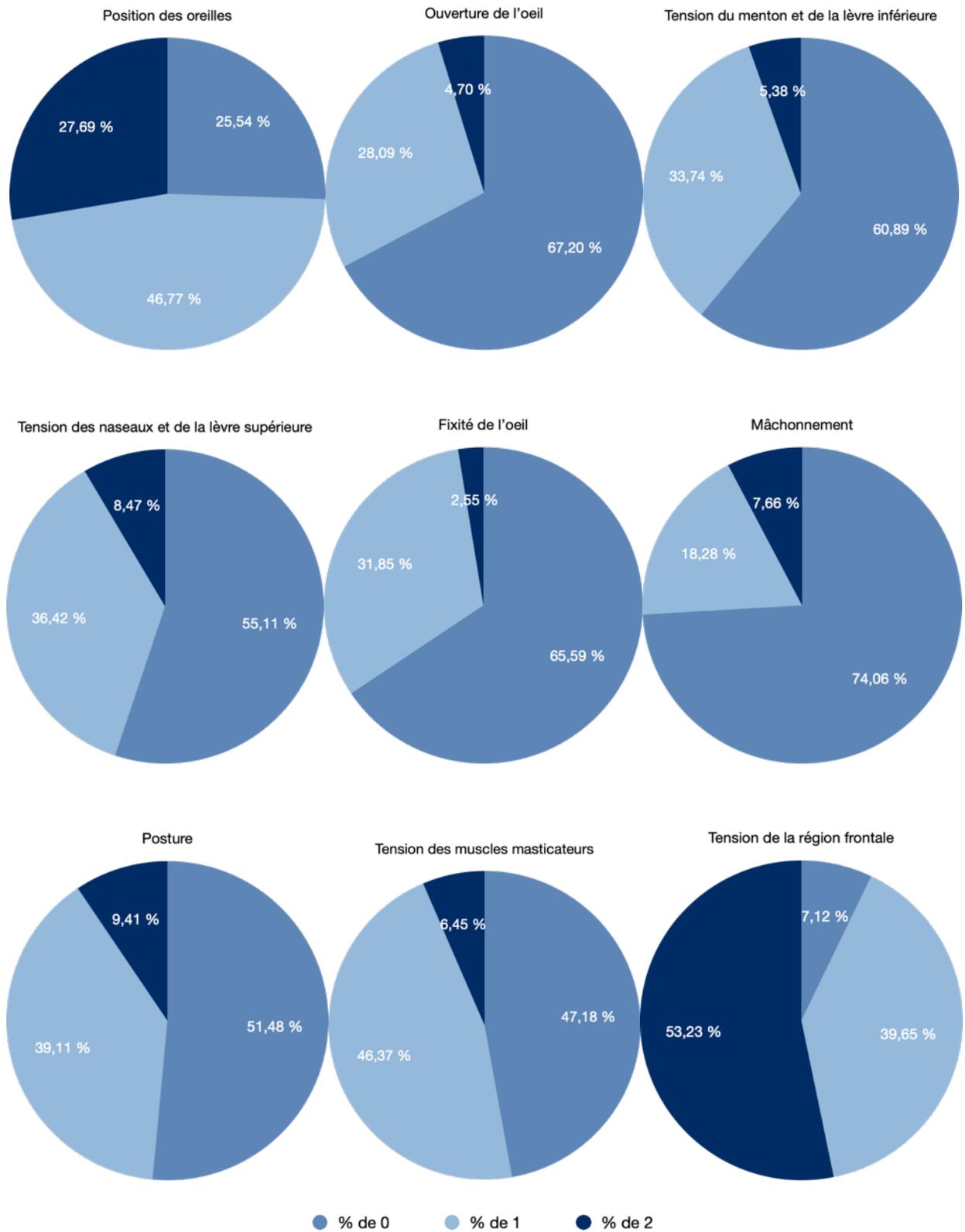
Un deuxième type avec plus de 0 que de 1 et 2 pour les critères « Ouverture de l'œil », « Tension du menton et de la lèvre inférieure », « Tension des naseaux et de la lèvre supérieure », « Fixité de l'œil », « Mâchonnement » et « Posture ».

Un troisième type de répartition avec autant de 0 que de 1 pour « Tension des muscles masticateurs ».

Et enfin un dernier type avec une part élevée de 2 pour le critère « Tension de la région frontale ».

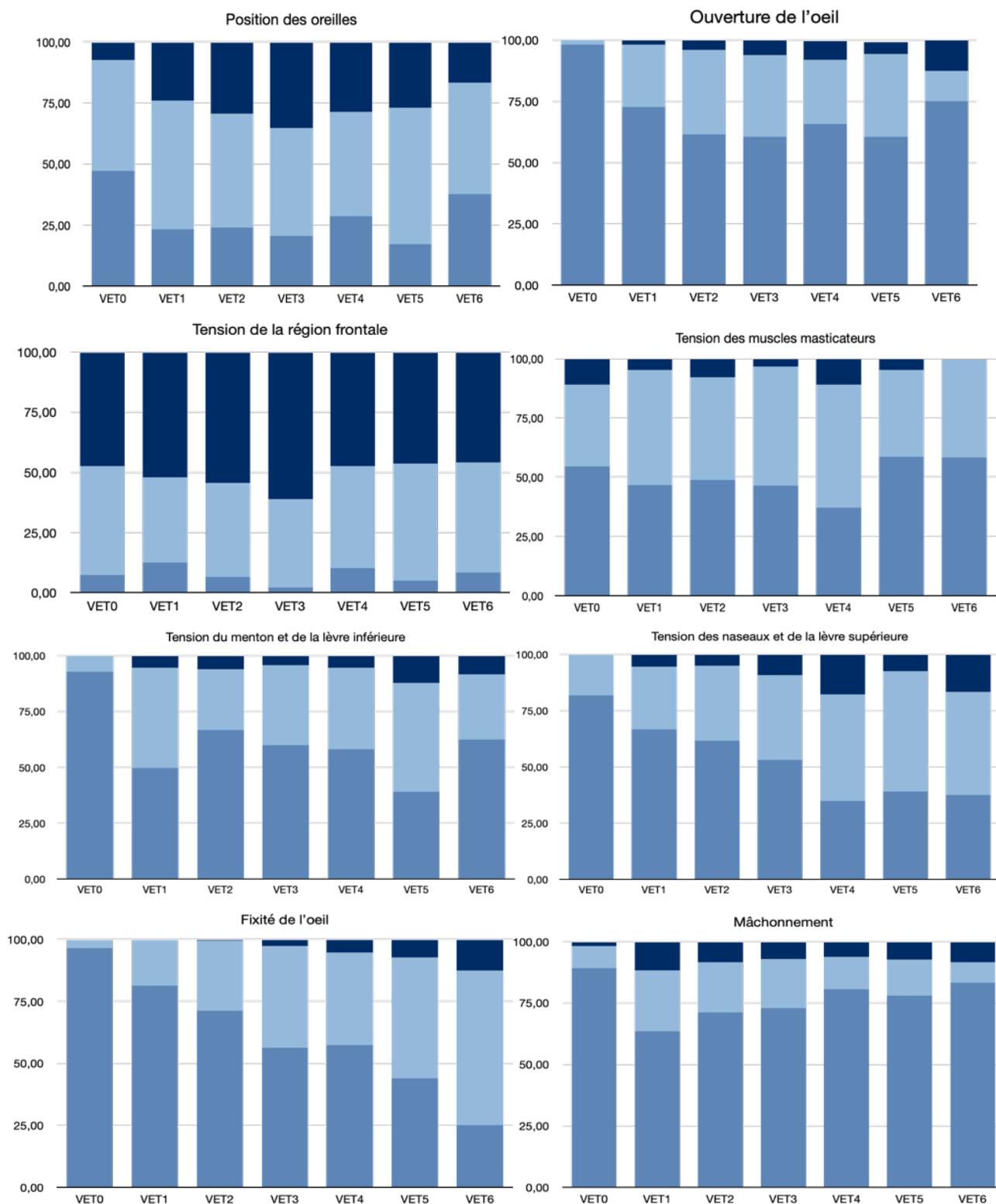
Ces différents types de répartition sont illustrées dans la Figure 26.

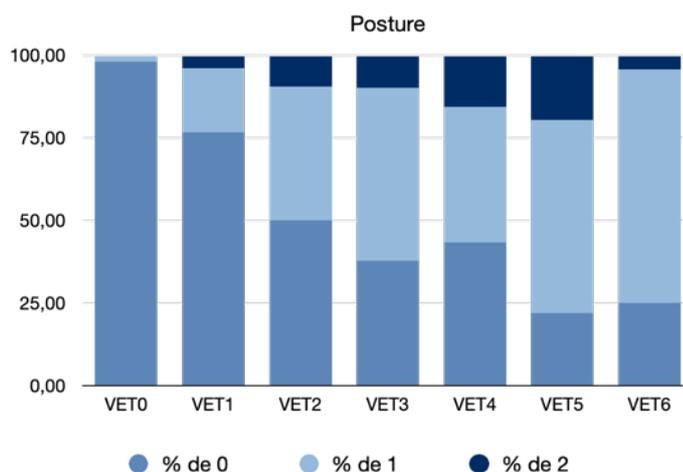
Figure 26 - Illustration de la répartition des notes de chacun des neuf critères



La répartition des notes en fonction des contrôles vétérinaires est illustrée dans la Figure 27.

Figure 27 - Répartitions des notes attribuées à chacun des neuf critères de la grille d'évaluation selon les contrôles vétérinaires





Deux critères parmi les neuf ne présentent pas de variation dans la répartition des notes au cours des contrôles vétérinaires, c'est le cas du critère « Tension de la région frontale » et du critère « Tension des muscles masticateurs ».

La répartition des notes des critères « Position des oreilles » et « Ouverture de l'œil » montre une diminution de la proportion de 0 et une augmentation de la proportion de nombre de 1 et de 2 jusqu'au contrôle vétérinaire 3.

Quatre critères ont une variation importante des notes tout au long de la course avec une diminution globale de la proportion de note 0, c'est le cas des critères « Posture », « Fixité de l'œil », « Tension du menton et de la lèvre inférieure », et « Tension des naseaux et de la lèvre supérieure ». Cette tendance est plus marquée pour le critère « Tension des naseaux et de la lèvre supérieure ».

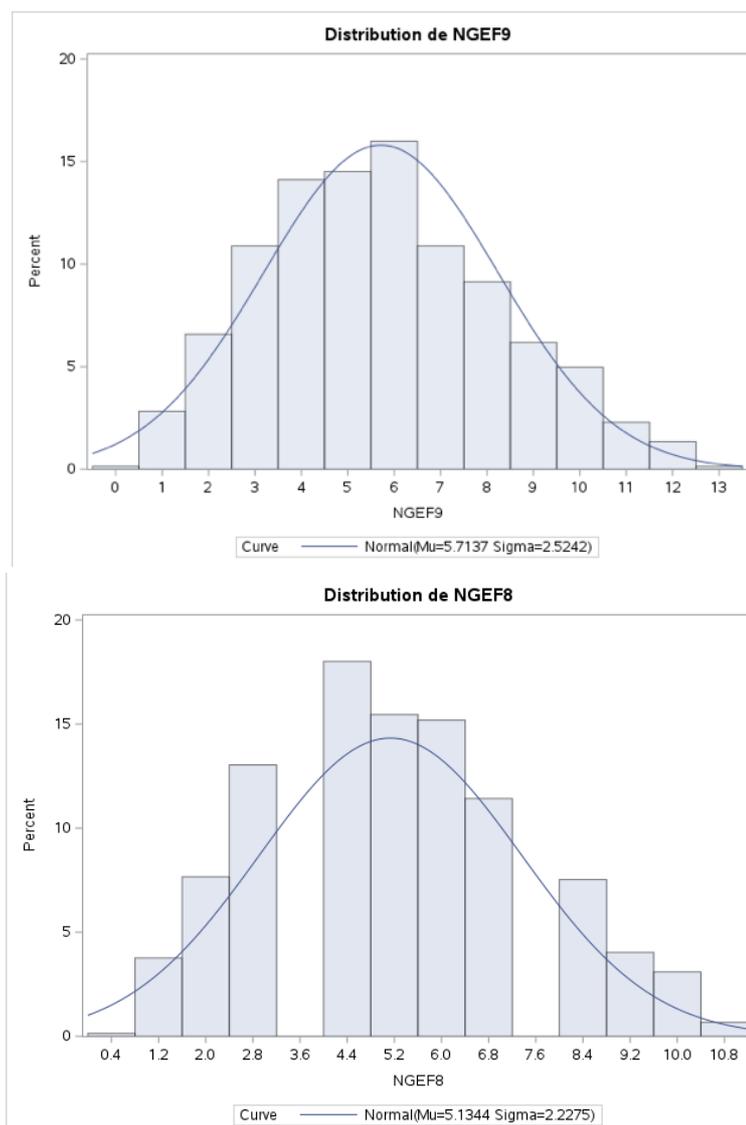
Seul le critère « Mâchonnement » présente au cours de la course une augmentation de la proportion du nombre de 0.

b. Analyse descriptive du score global

Le score global (NGEF9) correspond à la somme des notes obtenues pour chacun des neuf critères de la grille d'évaluation, il varie de 0 à 18. Dans l'étude préliminaire (Herfroy, 2020), huit critères ont été pris en compte dans la grille, le score global étudié variait de 0 à 16. Le score global obtenu à partir de huit paramètres sera appelé NGEF8 dans la suite de notre étude.

La distribution de la NGEF9 et de la NGEF8 est présentée en Figure 28. La distribution des deux scores globaux est relativement symétrique, présente peu de valeurs extrêmes avec une majorité de valeurs autour de la moyenne (respectivement 5,71 et 5,13), et une seule cloche. La distribution des valeurs de NGEF9 et NGEF8 paraît donc suivre une loi normale (Desquilbet, 2022).

Figure 28 - Histogramme présentant la répartition de la NGEF9 (en haut) et de la NGEF8 (en bas)



La moyenne, l'écart-type (« Standard Deviation ») ainsi que l'étendue (minimum et maximum) pour la NGEF9 et la NGEF8 sont présentés dans le Tableau 8.

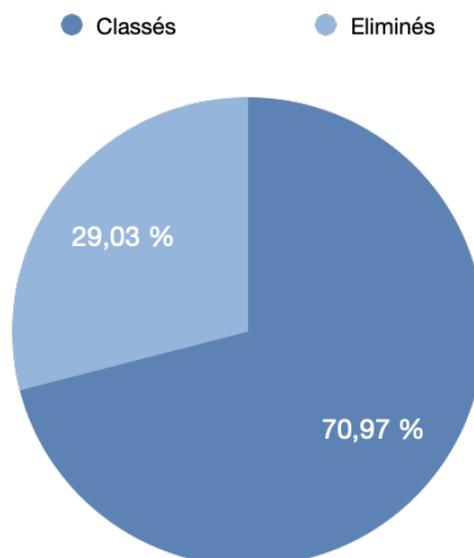
Tableau 8 – Moyenne, écart-type, minimum et maximum pour la NGEF9 et NGEF8

Variable	Moyenne	Standard Deviation	Minimum	Maximum
NGEF9	5,71	2,52	0	13
NGEF8	5,13	2,22	0	11

c. Analyse descriptive des éliminations pendant la course

La répartition des 744 vidéos en fonction de l'issue de la course est présentée en Figure 29 et en Figure 30.

Figure 29 - Illustration de la répartition des vidéos en fonction du statut classé/éliminé

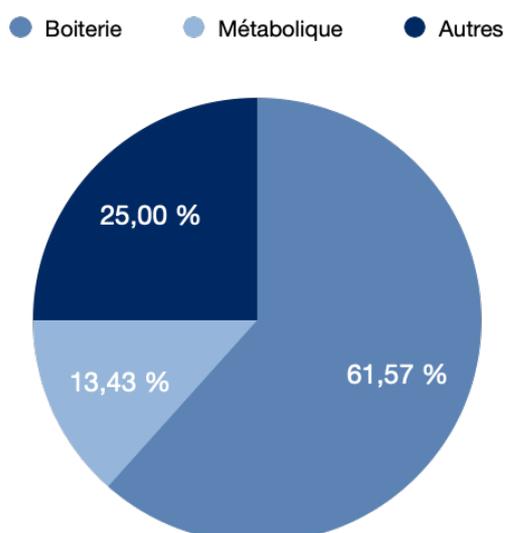


Le pourcentage de chevaux éliminés parmi les chevaux participant à l'étude est de 29,03%.

Parmi les chevaux éliminés, le premier motif d'élimination est la boiterie (61,57%), les troubles métaboliques représentaient 13,43% des motifs d'élimination dans notre échantillon.

Nos observations sont relativement en accord avec les conclusions des études portant sur les motifs d'éliminations en course d'endurance que nous avons décrits précédemment.

Figure 30 - Illustration de la répartition des motifs d'élimination parmi les chevaux éliminés

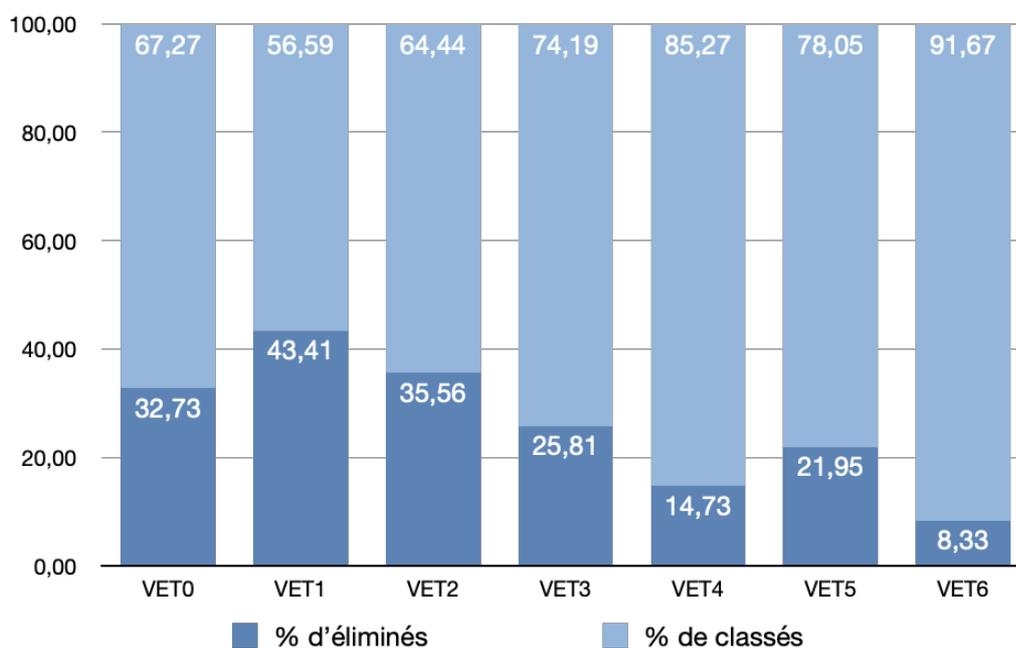


La répartition des vidéos en fonction du statut éliminé/classé à chaque contrôle vétérinaire est présentée en Figure 31.

Le pourcentage de vidéos présentant des chevaux ayant été éliminés pendant la course tend à diminuer à partir du troisième contrôle vétérinaire. Le pourcentage de vidéos présentant des chevaux éliminés parmi les vidéos de l'étude est maximum pour le contrôle vétérinaire initial, le premier et le deuxième contrôle vétérinaire.

Au fur et à mesure de la course, le nombre de concurrent diminue, les chevaux encore en course sont ceux ayant été jugés apte à continuer la course.

Figure 31 - Illustration du pourcentage de vidéos présentant des chevaux classés et éliminés en fonction des différents contrôles vétérinaires



d. Synthèse de l'analyse descriptive ainsi que de l'étude de reproductibilité sur chacun des critères de la grille de notation

Le tableau 9 présente la synthèse de l'analyse descriptive et de l'étude de reproductibilité pour chacun des neuf critères de la grille de notation.

Tableau 9 – Synthèse de l'analyse descriptive et de l'étude de reproductibilité

	Distribution des critères	Variations pendant la course	Reproductibilité
Position des oreilles	0 = 1 = 2	↘ 0 ↗ 1,2 jusqu'à VET3	Acceptable
Ouverture de l'oeil	0 > 1,2	↘ 0	Inacceptable
Tension de la région frontale	0 < 1 < 2	Pas de variation	Inacceptable
Tension des muscles masticateurs	0 = 1 < 2	Pas de variation	Inacceptable
Tension du menton et de la lèvre inférieure	0 > 1,2	↘ 0	Inacceptable
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	0 > 1,2	↘ 0	Inacceptable
Fixité de l'oeil	0 > 1,2	↘ 0	Inacceptable
Mâchonnement	0 > 1,2	↗ 0	Acceptable
Posture	0 > 1,2	↘ 0	Acceptable

Les critères position des oreilles, mâchonnement et posture sont ceux ayant une reproductibilité acceptable d'un point de vue numérique après étude de la concordance inter-opérateur. Ces trois critères présentent des caractéristiques différentes. La position des oreilles présente un nombre de 0, 1 et 2 similaires avec un nombre de 0 qui diminue et un nombre de 1 et 2 qui augmente uniquement jusqu'au troisième contrôle vétérinaire. Le critère mâchonnement présente un nombre de 0 supérieur au nombre de 1 et 2, avec une proportion de 0 qui augmente pendant la course. Le critère posture a quant à lui un nombre de 0 supérieur au nombre de 1 et 2 mais avec une proportion de 0 qui tend à diminuer pendant la course.

5. Résultats de l'analyse statistique des données de l'étude

Les résultats présentés par la suite correspondent aux résultats obtenus à partir de notre seule notation de l'échantillon de 744 vidéos.

a. Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des paramètres de la course

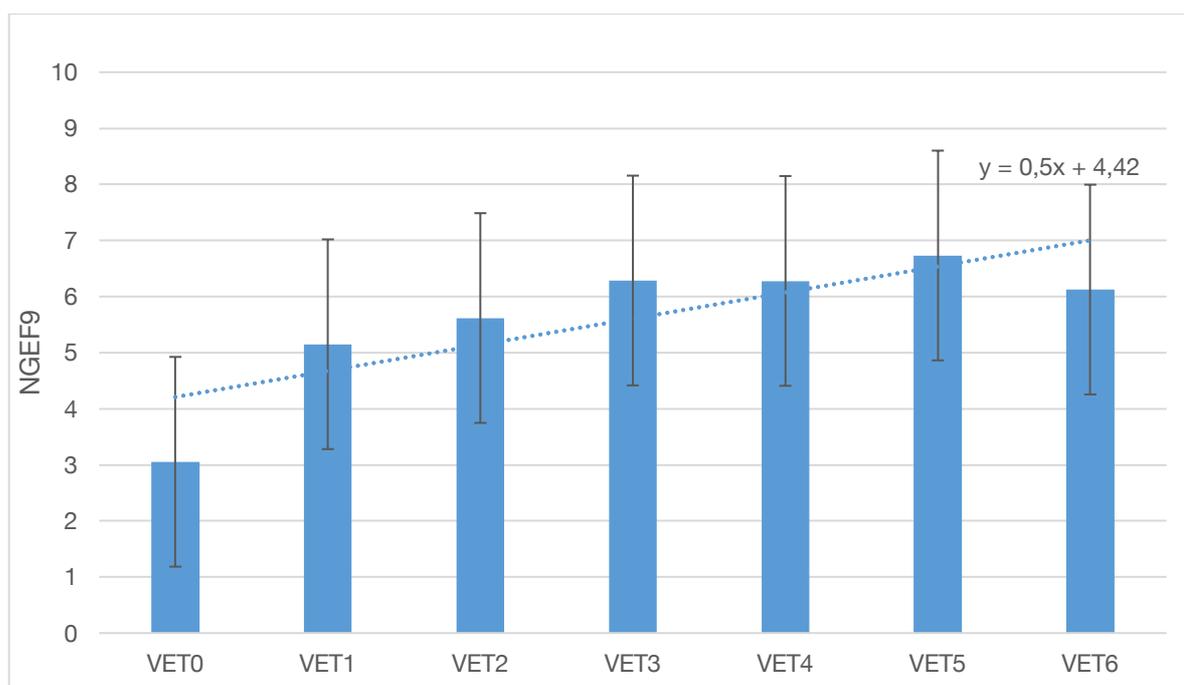
Dans cette partie nous étudierons la NGEF9 correspondant à la somme des notes des neuf critères de la grille d'évaluation mais aussi la NGEF8 utilisée dans l'étude préliminaire.

Nous étudions dans cette partie l'association entre la note globale d'expression faciale et différents paramètres de course (distance et conditions climatiques) sachant que ces paramètres sont des facteurs de risques d'élimination. Nous observerons ainsi la présence ou non, d'association entre ces facteurs de risque d'élimination et la note globale d'expression faciale.

1- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des contrôles vétérinaires

L'évolution de la moyenne de la NGEF9 pendant la course est présentée en Figure 32. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 3.

Figure 32 - Évolution de la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans l'échantillon de notre étude, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (3,054) était significativement inférieure aux moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (5,15 ; 5,617 ; 6,288 ; 6,279 ; 6,732 ; 6,125 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5, VET6).

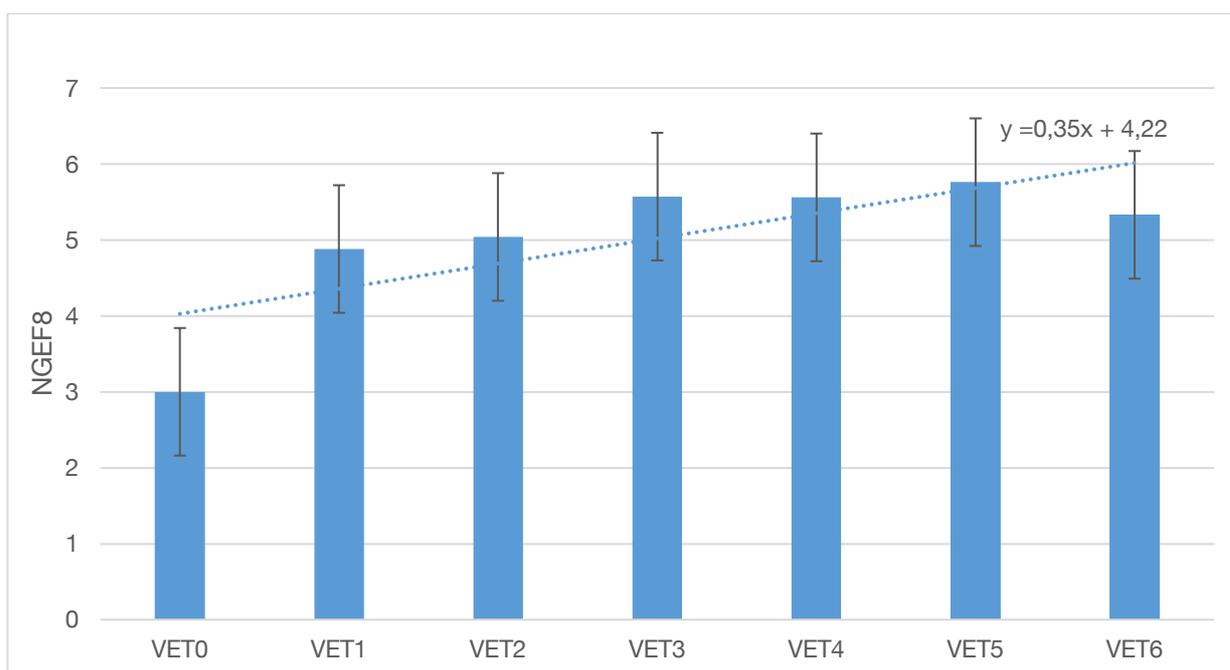
Aussi, dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux du premier contrôle vétérinaire (5,15) était significativement inférieure aux moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux des contrôles vétérinaires 3, 4 et 5 (respectivement 6,288 ; 6,279 ; 6,723).

Enfin, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF9 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,29$); $p < 0,001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF9 et le rang du contrôle vétérinaire.

La régression linéaire présentée en Figure 32 montre qu'en moyenne, et dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF9 augmente de 0,5 entre le contrôle vétérinaire n et le contrôle vétérinaire $n+1$.

L'évolution de la moyenne de la NGEF8 pendant la course est présentée en Figure 33. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 4.

Figure 33 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans l'échantillon de notre étude, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (3,00) était significativement inférieure aux NGEF8 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (4,88 ; 5,039 ; 5,57 ; 5,56 ; 5,76 ; 5,33 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5, VET6).

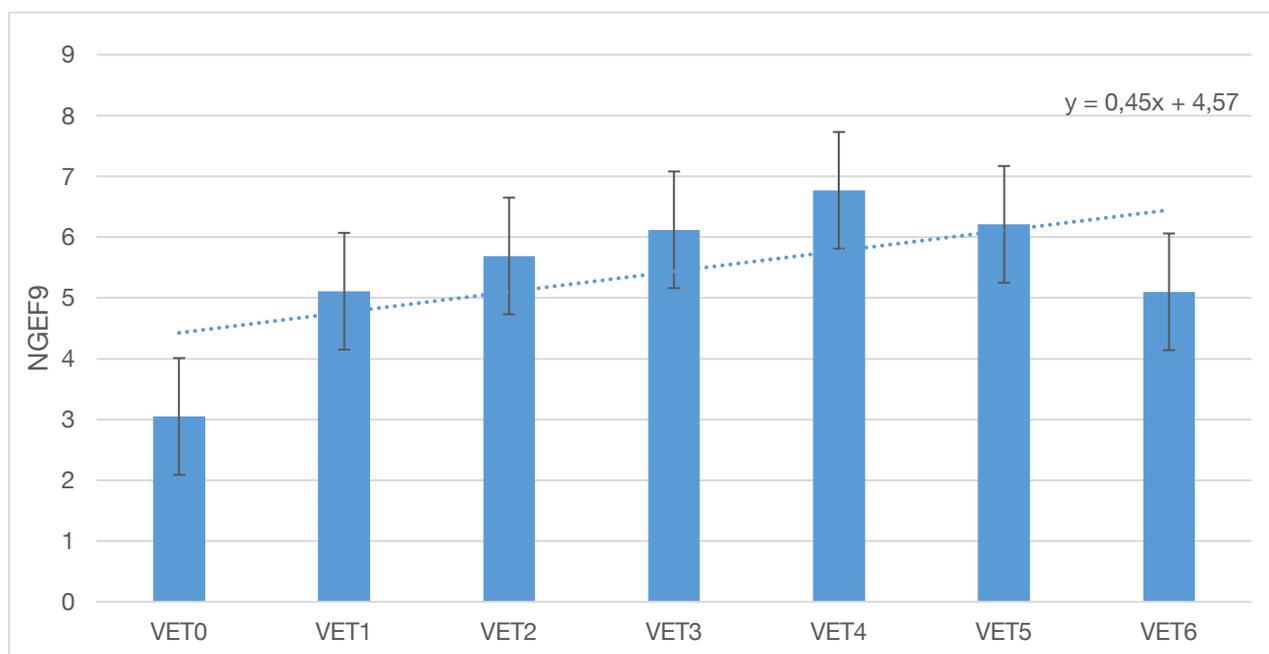
Aussi, dans notre échantillon, les moyennes de la NGEF8 parmi les chevaux des autres contrôles vétérinaires n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Enfin, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF8 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,23$); $p < 0,001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et les contrôles vétérinaires.

2- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des contrôles vétérinaires suivant le lieu de la course.

L'évolution de la moyenne de la NGEF9 pendant la course de Monpazier est présentée en Figure 34. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 5.

Figure 34 – Évolution de la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier



Dans l'échantillon de notre étude participant à la course de Monpazier, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (3,05) était significativement inférieure aux NGEF9 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (5,11 ; 5,69 ; 6,12 ; 6,77 ; 6,21 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5).

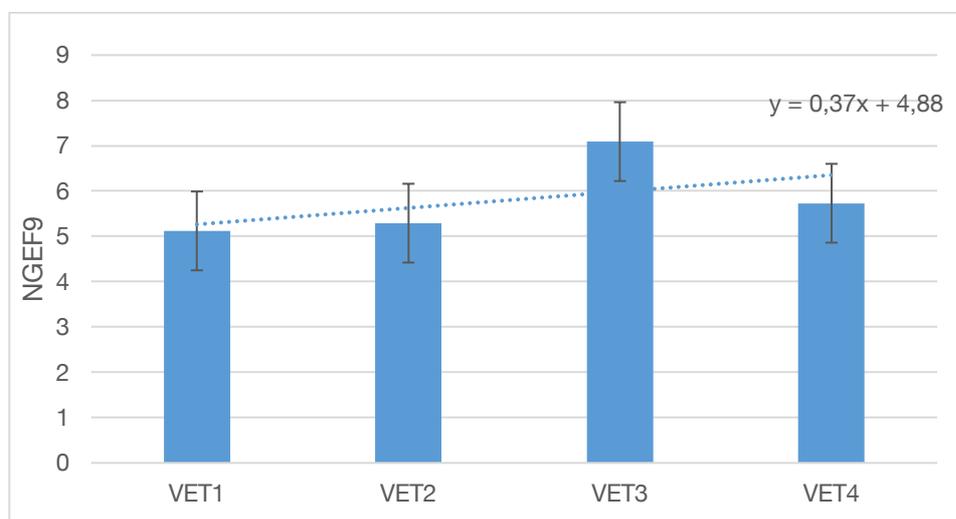
De plus, dans notre échantillon pour la course de Monpazier, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du premier contrôle vétérinaire (5,11) était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du quatrième contrôle vétérinaire (6,77), la p-value corrigée par la méthode de Holm est de 0,009.

Aussi, dans notre échantillon, les moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux des autres contrôles vétérinaire n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Enfin, dans notre échantillon concernant la course de Monpazier, la valeur moyenne de la NGEF9 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,24$) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF9 et les contrôles vétérinaires, pour la course de Monpazier.

L'évolution de la moyenne de la NGEF9 pendant la course de Fontainebleau est présentée en Figure 35. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 6.

Figure 35 - Évolution de la NGEF9 moyenne pour la course de Fontainebleau en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)

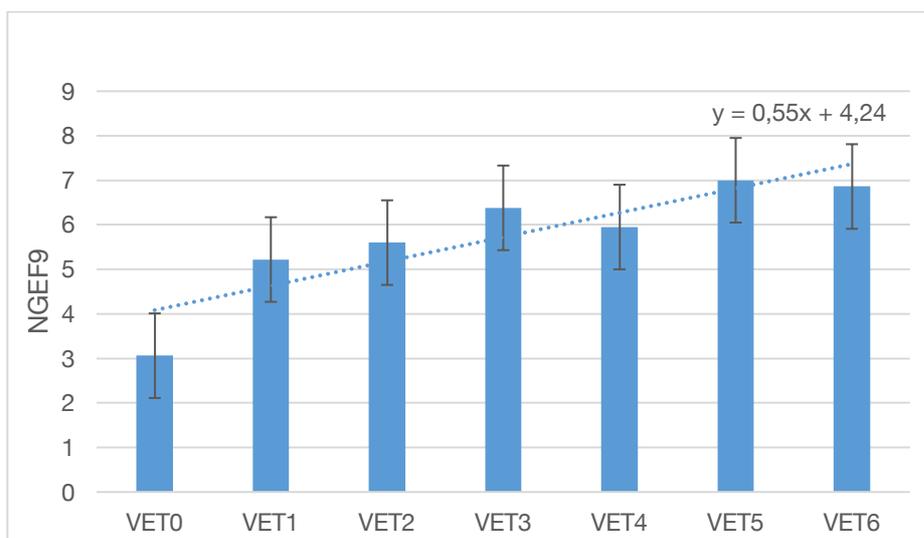


Pour la course de Fontainebleau, les moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux des contrôles vétérinaire n'étaient pas significativement différentes entre elles.

La valeur moyenne de la NGEF9 pour la course de Fontainebleau n'était pas significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,19$) ; $p=0,21$.

L'évolution de la moyenne de la NGEF9 pendant la course de Compiègne est présentée en Figure 36. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 7.

Figure 36 - Évolution de la NGEF9 moyenne pour la course de Compiègne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans l'échantillon de notre étude participant à la course de Compiègne, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (3,06) était significativement inférieure aux NGEF9 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (5,22 ; 5,6 ; 6,38 ; 5,95 ; 7,0 ; 6,86 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5, VET6).

De plus, dans notre échantillon pour la course de Compiègne, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du premier contrôle vétérinaire (5,22) était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du cinquième et sixième contrôle vétérinaire (7,0 et 6,86 respectivement), les p-values corrigées par la méthode de Holm sont respectivement de 0,042 et 0,030.

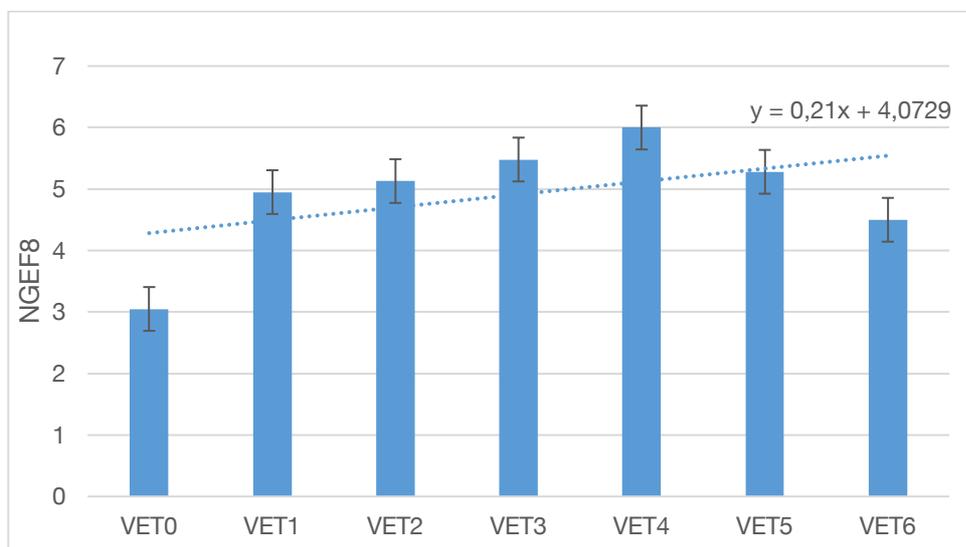
Aussi, pour la course de Compiègne, les moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux des autres contrôles vétérinaire n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Enfin, dans notre échantillon concernant la course de Compiègne, la valeur moyenne de la NGEF9 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,34$) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF9 et les contrôles vétérinaires, pour la course de Compiègne.

Concernant la NGEF8, la même analyse est présentée ci-dessous.

L'évolution de la moyenne de la NGEF8 pendant la course de Monpazier est présentée en Figure 37. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 8.

Figure 37 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier



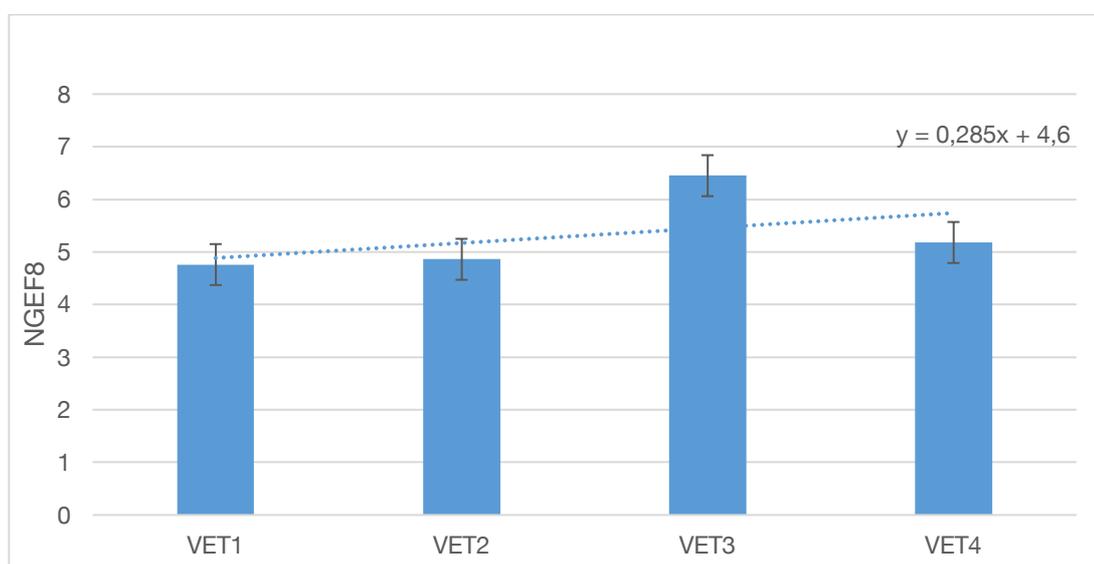
Dans l'échantillon de notre étude participant à la course de Monpazier, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (3,05) était significativement inférieure aux NGEF8 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (4,95 ; 5,13 ; 5,48 ; 6,0 ; 5,28 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5).

Pour la course de Monpazier, les moyennes de la NGEF8 parmi les chevaux des autres contrôles vétérinaire n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Enfin, dans notre échantillon, pour la course de Monpazier, la valeur moyenne de la NGEF8 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,18$) ; $p=0,0009$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et les contrôles vétérinaires, pour la course de Monpazier.

L'évolution de la moyenne de la NGEF8 pendant la course de Fontainebleau est présentée en Figure 38. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 9.

Figure 38 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Fontainebleau

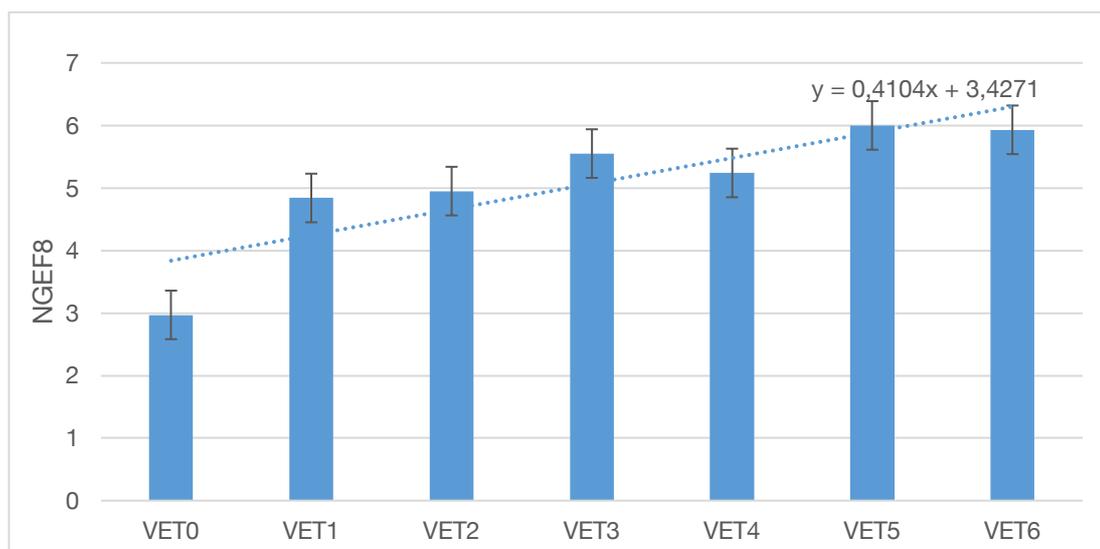


Pour la course de Fontainebleau, les moyennes de la NGEF8 parmi les chevaux des différents contrôles vétérinaire n'étaient pas significativement différentes entre elles.

La valeur moyenne de la NGEF9 pour la course de Fontainebleau n'était pas significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,16$) ; $p=0,28$.

L'évolution de la moyenne de la NGEF8 pendant la course de Compiègne est présentée en Figure 39. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 10.

Figure 39 - Évolution de la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Compiègne



Dans l'échantillon de notre étude participant à la course de Compiègne, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial (2,97) était significativement inférieure aux NGEF8 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants (4,84 ; 4,95 ; 5,55 ; 5,24 ; 6,0 ; 5,93 respectivement pour les VET1, VET2, VET3, VET4, VET5, VET6).

Pour la course de Compiègne, les moyennes de la NGEF8 parmi les chevaux des autres contrôles vétérinaires n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Aussi, dans notre échantillon, pour la course de Compiègne, la valeur moyenne de la NGEF8 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r = 0,29$) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et les contrôles vétérinaires, pour la course de Compiègne.

Les conditions climatiques des trois courses sont présentées dans le Tableau 10.

Tableau 10 - Conditions climatiques des courses de l'étude

	Date	Température minimale	Température maximale	Hygrométrie moyenne	Commentaires
Monpazier	27 au 29/08/2021	10°C	31°C	87 %	Soleil
Fontainebleau	26/03/2022	7°C	20°C	82 %	Globalement ensoleillé
Compiègne	25 et 26/06/2022	11°C	23°C	87 %	Rares averses, éclaircies

Pour les trois courses de l'étude, les températures maximales atteintes sont supérieures ou égales à 20°C, avec une humidité supérieure à 80%.

b. Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des caractéristiques de courses

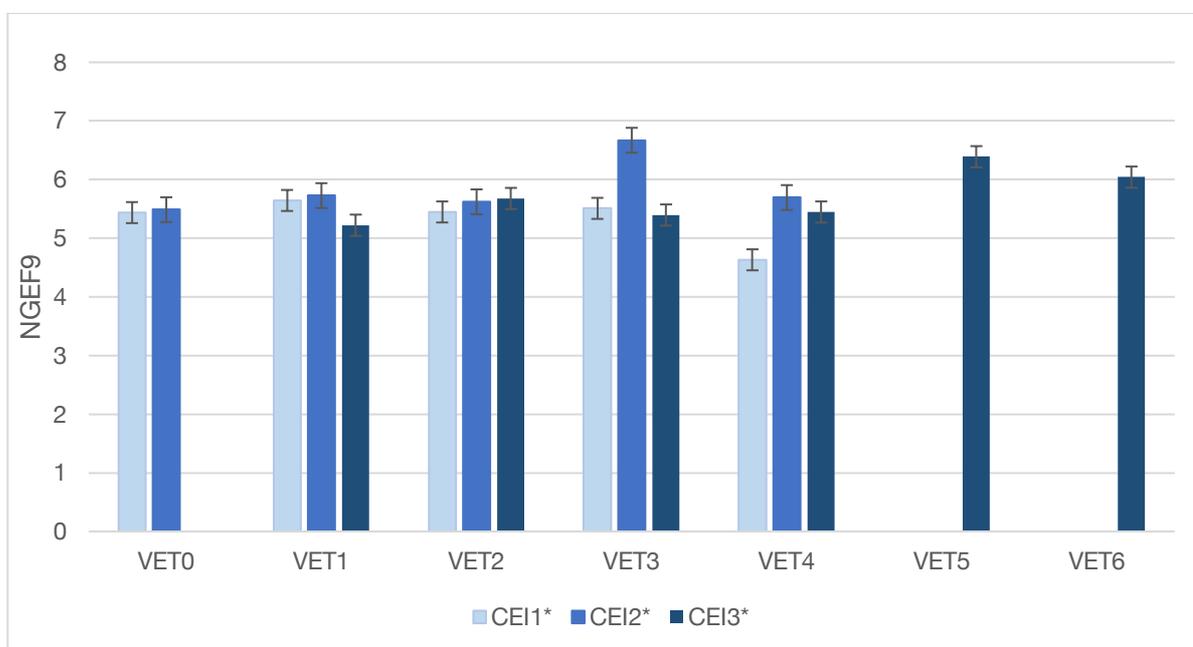
Nous étudions dans cette partie l'association entre la note globale d'expression faciale et différentes caractéristiques de course (type de course, âge, race) sachant que ces caractéristiques sont des facteurs de risques d'élimination. Nous observerons ainsi la présence ou non, d'association entre ces facteurs de risque d'élimination et la note globale d'expression faciale.

1- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du type de course

Les courses ont été regroupées en trois catégories comme décrits précédemment.

La NGEF9 moyenne selon les types de courses en fonction des contrôles vétérinaires est illustrée en Figure 40, les p-values et les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 11.

Figure 40 - NGEF9 selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



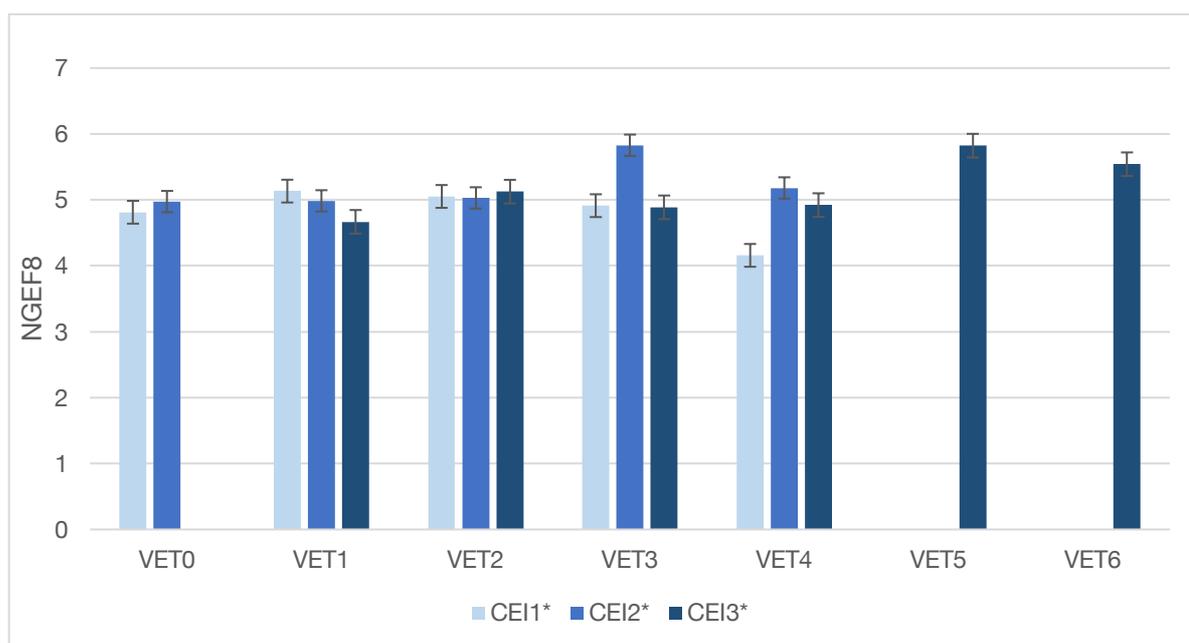
Dans notre échantillon, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux des courses CEI2* au contrôle vétérinaire 3 (6,67) était significativement supérieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux des courses CEI1* et CEI3* à ce même contrôle vétérinaire (respectivement 5,51 et 5,40) ; les p-values corrigées sont respectivement 0,04 et 0,03.

Il n'y a pas de différence significative de la NGEF9 moyenne observée entre les différentes catégories de course aux autres contrôles vétérinaires.

De même pour la NGEF8 moyenne selon les types de courses en fonction des contrôles vétérinaires est illustrée en Figure 41.

Les p-values et les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponible en Annexe 12.

Figure 41 – NGEF8 selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans notre échantillon, il n'y a pas de différence significative de la NGEF8 moyenne entre les catégories de course en fonction des contrôles vétérinaires.

La vitesse moyenne selon les différentes boucles est présentée dans le Tableau 11.

Tableau 11 - Vitesse moyenne (exprimée en km/h) durant les différentes boucles selon les catégories de course (CEI1*, CEI2*, CEI3*)

Boucle	CEI1*	CEI2*	CEI3*
1	17,81	18,26	16,68
2	18,78	18,82	18,05
3	19,41	17,75	19,17
4	20,15	20,4	18,89
5	/	/	18,22
6	/	/	20,93

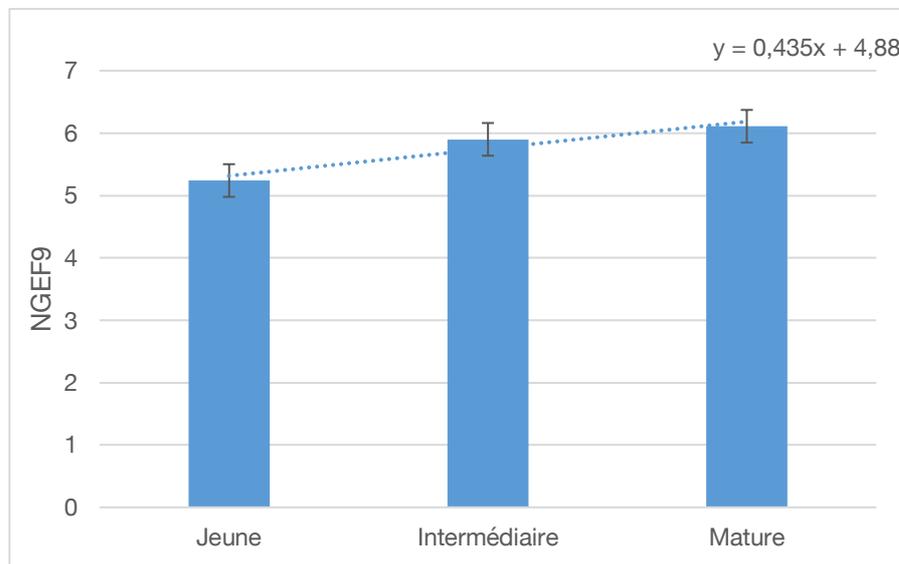
On observe que les concurrents des courses CEI2* ont une vitesse supérieure par rapport aux autres courses, sauf durant la 3^{ème} boucle. Les chevaux de la catégorie CEI1* ont une vitesse croissante tout au long de la course. Les chevaux de la catégorie CEI3* ont la vitesse la plus faible durant la première boucle puis leur vitesse est relativement constante le reste de la course, elle augmente ensuite fortement lors de la dernière boucle.

2- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de l'âge

Les chevaux sont répartis en trois catégories selon leur âge comme décrits précédemment.

La NGEF9 moyenne en fonction de ces trois catégories est illustrée en Figure 42, les p-values et p-values corrigées sont disponibles en Annexe 13.

Figure 42 - NGEF9 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)

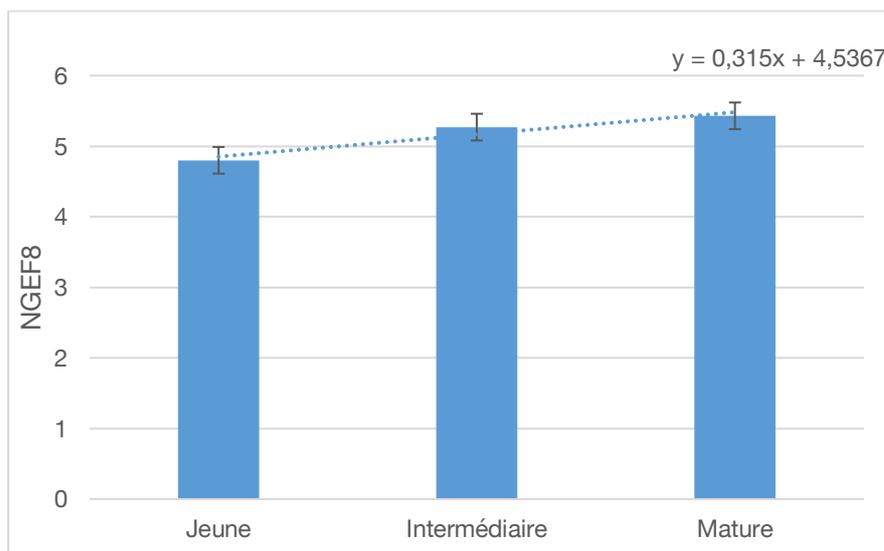


Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux jeunes (5,24) était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux d'âge intermédiaire et mature (respectivement 5,9 et 6,11) ; les p-values corrigées par la méthode de Holm sont de 0,03.

La valeur moyenne de la NGEF9 était significativement corrélée aux catégories d'âge ($r = 0,13$) ; $p=0,0003$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF9 et l'âge.

La NGEF8 moyenne en fonction de ces trois catégories est illustrée en Figure 43, les p-values et p-values corrigées sont disponibles en Annexe 13.

Figure 43 - NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)



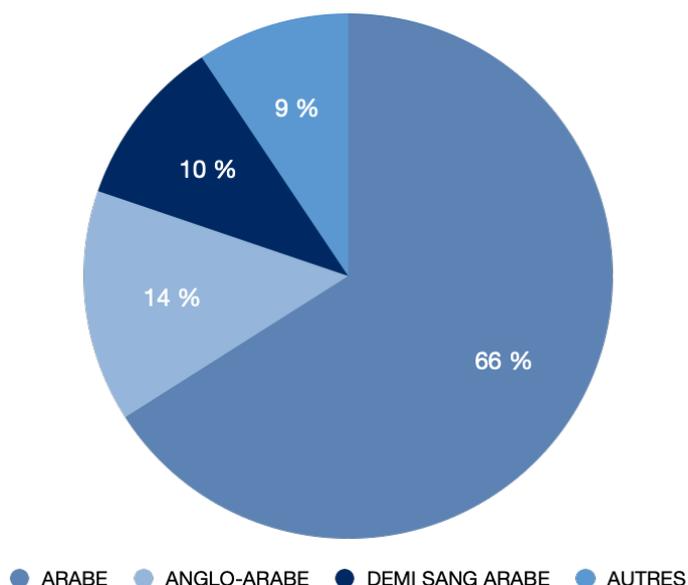
Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF8 parmi les chevaux jeunes (4,80) était significativement inférieure à la NGEF8 moyenne parmi les chevaux d'âge intermédiaire et mature (respectivement 5,27 et 5,43) ; les p-values corrigées par la méthode de Holm sont de 0,02.

De plus, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF8 était significativement corrélée aux catégories d'âge ($r = 0,11$) ; $p=0,0031$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et l'âge.

3- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de la race

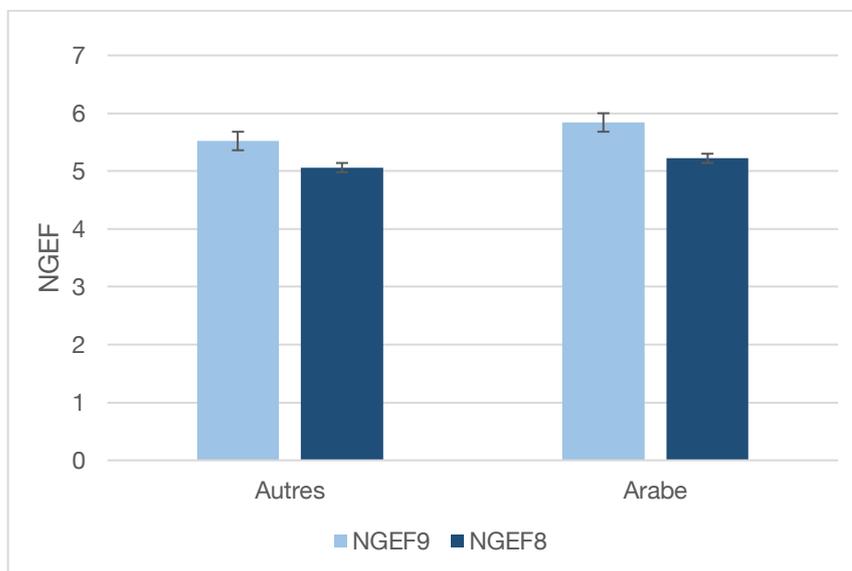
La répartition des races des chevaux est illustrée en Figure 44.

Figure 44 – Répartition des races dans notre échantillon



Afin d'étudier des groupes comparables, les chevaux de races anglo-arabe, demi-sang arabe et les autres races ont été regroupés. La NGEF9 et la NGEF8 moyenne en fonction de la race est présentée en Figure 45, les p-values sont disponibles en Annexe 14.

Figure 45 - NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction de la race (Arabe / Autres)



Dans notre échantillon, il n'y a pas de différence significative de la NGEF9 et NGEF8 moyennes entre les chevaux de race Arabe et les autres races.

La Figure 46 et la Figure 47 illustrent respectivement la NGEF9 moyenne et la NGEF8 moyenne selon la race en fonction des contrôles vétérinaires, les p-values et p-values corrigées sont disponibles en Annexe 14.

Figure 46 - NGEF9 moyenne selon la race (Arabe/Autres) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)

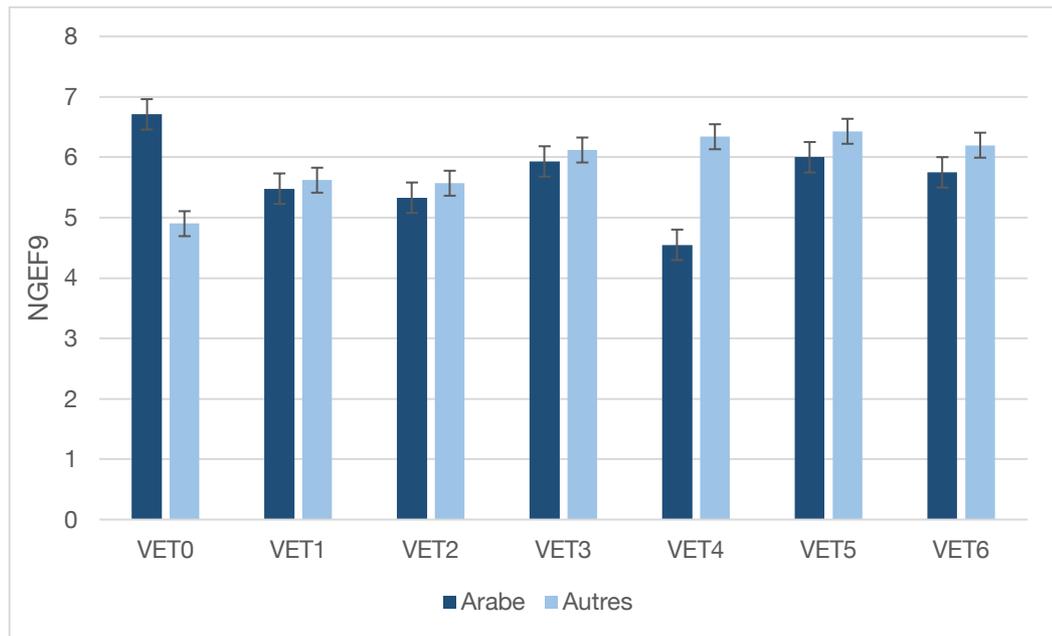
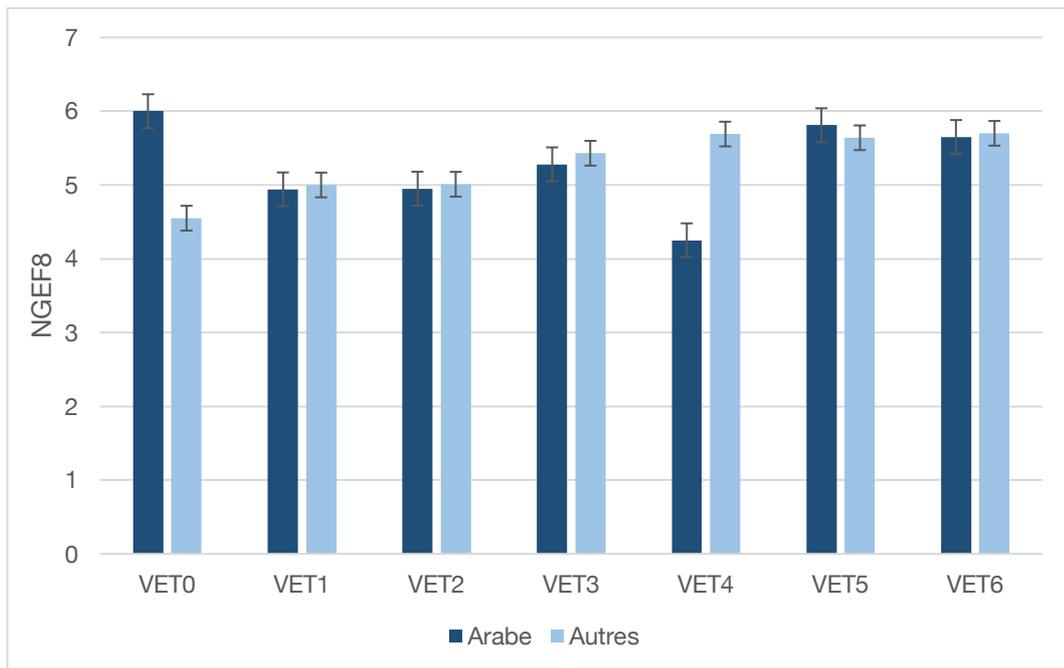


Figure 47 – NGEF8 moyenne selon la race (Arabe/Autres) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Il n'y a pas de différence significative pour la NGEF9 et la NGEF8 entre les chevaux de race Arabe et les autres races aux cours des différents contrôles vétérinaires.

c. Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des critères cliniques pendant la course

Nous étudions dans cette partie l'association entre la note globale d'expression faciale et différents critères cliniques (temps de récupération, fréquence cardiaque de récupération, indice de récupération cardiaque) sachant que ces critères sont des facteurs de risques d'élimination. Nous observerons ainsi la présence ou non, d'association entre ces facteurs de risque d'élimination et la note globale d'expression faciale.

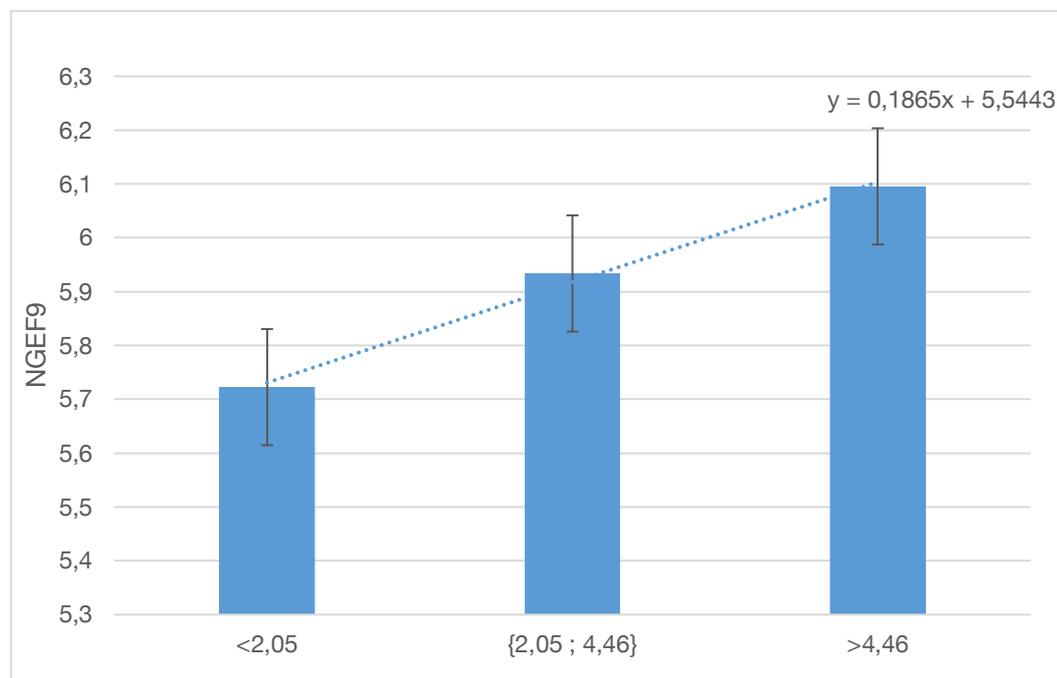
1- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du temps de récupération

La distribution de la variable « Temps de récupération » n'étant pas considérée comme normale, la description de cette variable fait appel à la médiane et aux quartiles.

La variable « Temps de récupération » est divisée en trois catégories : les valeurs inférieures à 2,05 ; les valeurs comprises entre 2,05 et 4,46 ; les valeurs supérieures à 4,46. Elle s'exprime en minutes (min).

La NGEF9 selon les trois catégories de temps de récupération est présentée en Figure 48, les p-values sont disponibles en Annexe 15.

Figure 48 - NGEF9 en fonction du temps de récupération (en minutes) (<2,05 ; [2,05 ; 4,46] ; >4,46)

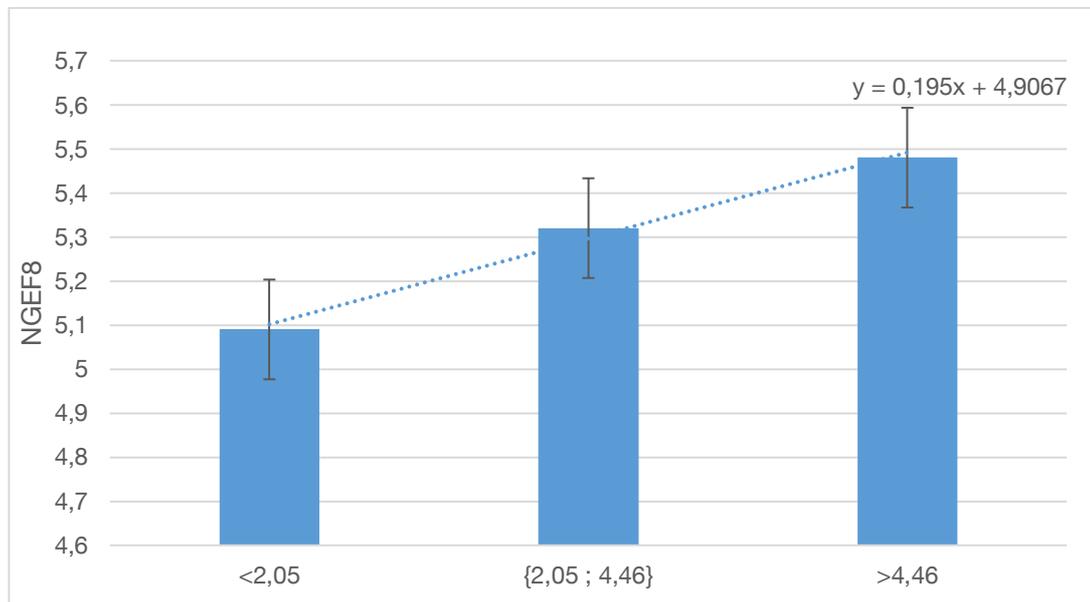


Dans notre échantillon, la NGEF9 n'était pas significativement différente entre les différentes catégories de temps de récupération.

Aussi, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF9 n'était pas significativement corrélée au temps de récupération ($r = 0,05$) ; $p=0,21$.

La NGEF8 selon les trois catégories de temps de récupération est présentée en Figure 49, les p-values sont disponibles en Annexe 15.

Figure 49 – NGEF8 en fonction du temps de récupération (min) (<2,05 ; {2,05 ; 4,46} ; >4,46)



Dans notre échantillon, la NGEF8 n'était pas significativement différente entre les différentes catégories de temps de récupération.

Enfin, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF8 n'était pas significativement corrélée au temps de récupération ($r = 0,06$) ; $p=0,15$.

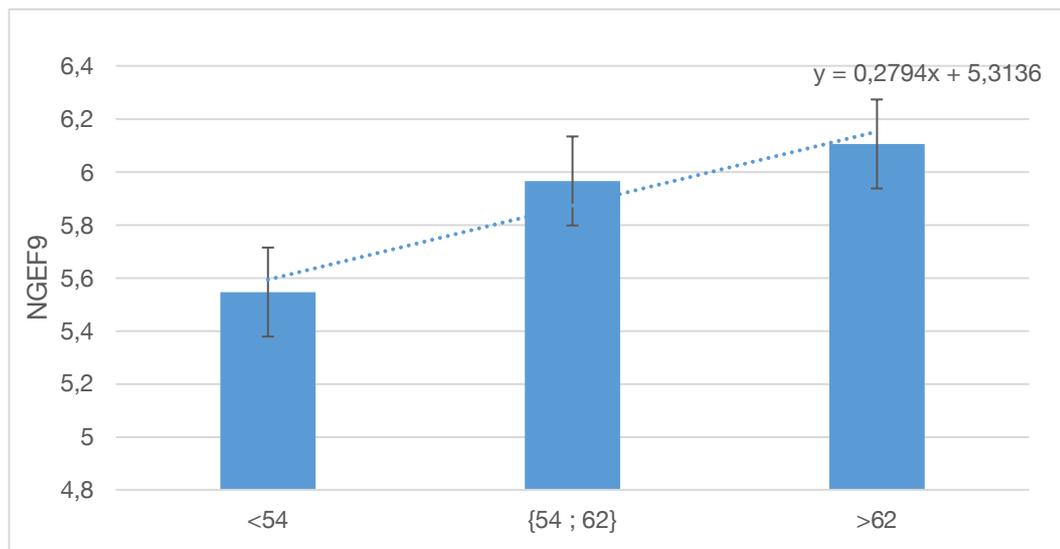
2- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de de la fréquence cardiaque de récupération

La distribution de la variable « Fréquence cardiaque de récupération » suit une loi normale, la description de cette variable est présentée en Annexe 16, elle est exprimée en battements par minute (bpm). La variable a été scindée en trois catégories selon les valeurs des 1^{er} et 3^{ème} quartile.

Les catégories obtenues sont : inférieure à 54 bpm, comprise entre 54 et 62 bpm et supérieure à 62 bpm.

La NGEF9 moyenne en fonction de ces trois catégories est présentée en Figure 50.

Figure 50 - NGEF9 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (<54 ; {54 ; 62} ; >62)

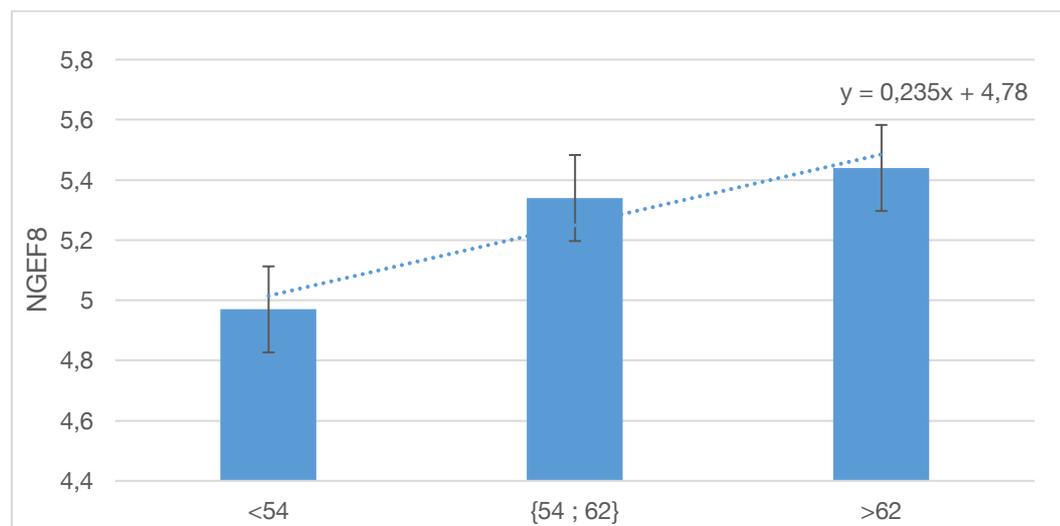


Dans notre échantillon, la NGEF9 n'était pas significativement différente selon les trois catégories de fréquence cardiaque de récupération (p-values disponible en Annexe 16). La NGEF9 varie de 1 à 12 pour des fréquences cardiaques de récupération inférieure ou égale à 62 bpm. Elle varie de 2 à 13 lorsque la fréquence cardiaque de récupération est supérieure à 62 bpm.

De plus, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF9 n'était pas significativement corrélée à la fréquence cardiaque de récupération ($r = 0,06$; $p=0,11$).

De même, la NGEF8 moyenne selon les trois catégories de fréquence cardiaque de récupération est présentée en Figure 51.

Figure 51 – NGEF8 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (bpm) (<54 ; {54 ; 62} ; >62)



Dans notre échantillon, la NGEF8 n'était pas significativement différente selon les trois catégories de fréquence cardiaque de récupération (p-values disponible en Annexe 16).

Également, la valeur moyenne de la NGEF8 n'était pas significativement corrélée à la fréquence cardiaque de récupération ($r = 0,06$) ; $p=0,12$.

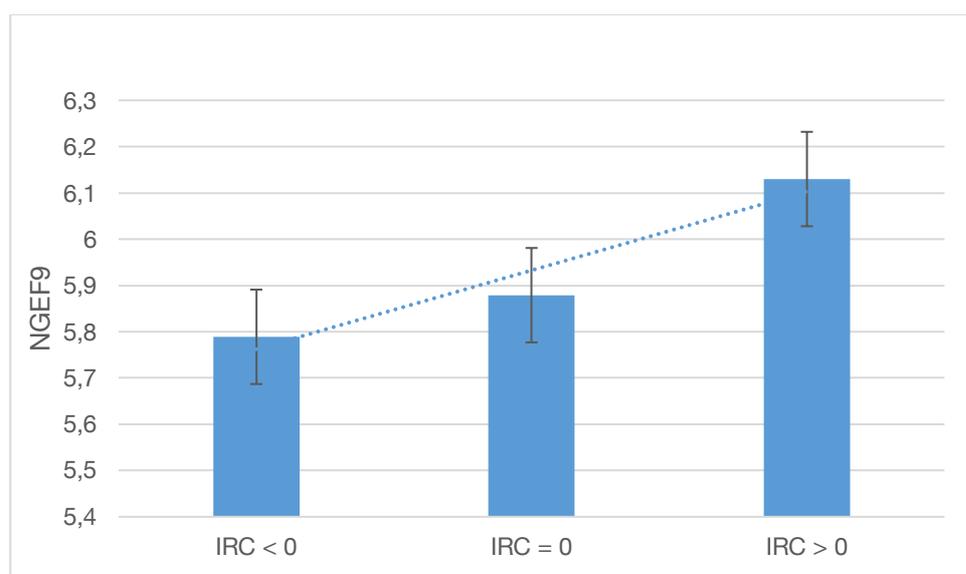
3- Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de l'indice de récupération cardiaque.

L'indice de récupération cardiaque, noté IRC, est défini comme la différence entre la fréquence cardiaque de récupération et la fréquence cardiaque après le trotting, elle s'exprime en minutes (min). Cette valeur varie de -15 à 24 dans notre échantillon.

La distribution de cette variable suit une loi normale, la description de cette dernière est disponible en Annexe 17. L'IRC est défini en trois catégories : inférieur strictement à 0, égal à 0, strictement supérieur à 0.

La NGEF9 selon ces trois catégories est présentée en Figure 52, les p-values sont disponibles en Annexe 17.

Figure 52 - NGEF9 moyenne en fonction de l'IRC (<0, =0, >0)

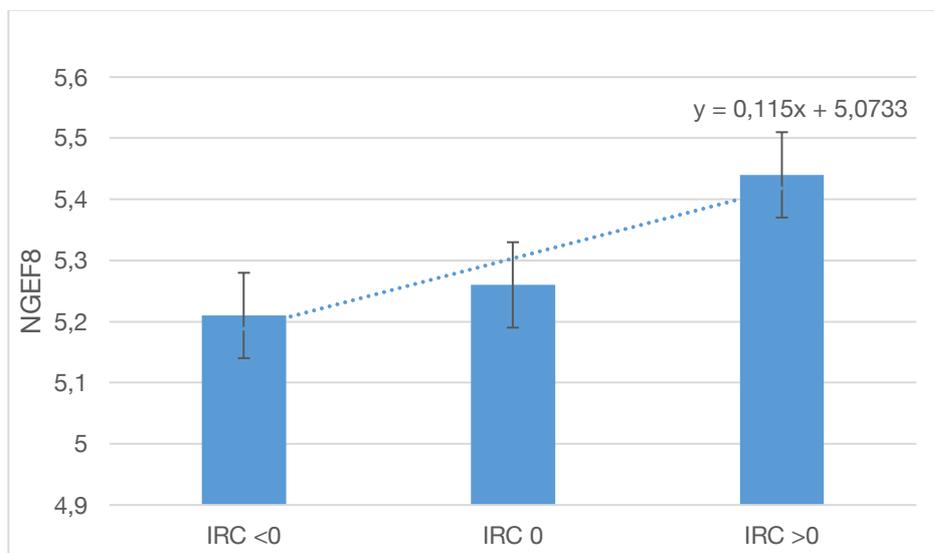


Dans notre échantillon, la NGEF9 n'était pas significativement différente selon les catégories d'indice de récupération cardiaque (p-values disponible en Annexe 17).

Aussi, la valeur moyenne de la NGEF9 n'était pas significativement corrélée à l'indice de récupération cardiaque ($r = 0,05$) ; $p=0,15$.

La NGEF8 selon ces trois catégories est présentée en Figure 53, les p-values sont disponibles en Annexe 17.

Figure 53 – NGEF8 moyenne en fonction de l'IRC (<0, =0, >0)



Dans notre échantillon, la NGEF8 n'était pas significativement différente selon les catégories d'indice de récupération cardiaque (p-values disponible en Annexe 17).

Enfin, la valeur moyenne de la NGEF8 n'était pas significativement corrélée à l'indice de récupération cardiaque ($r = 0,03$) ; $p=0,27$.

d. Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des performances de course

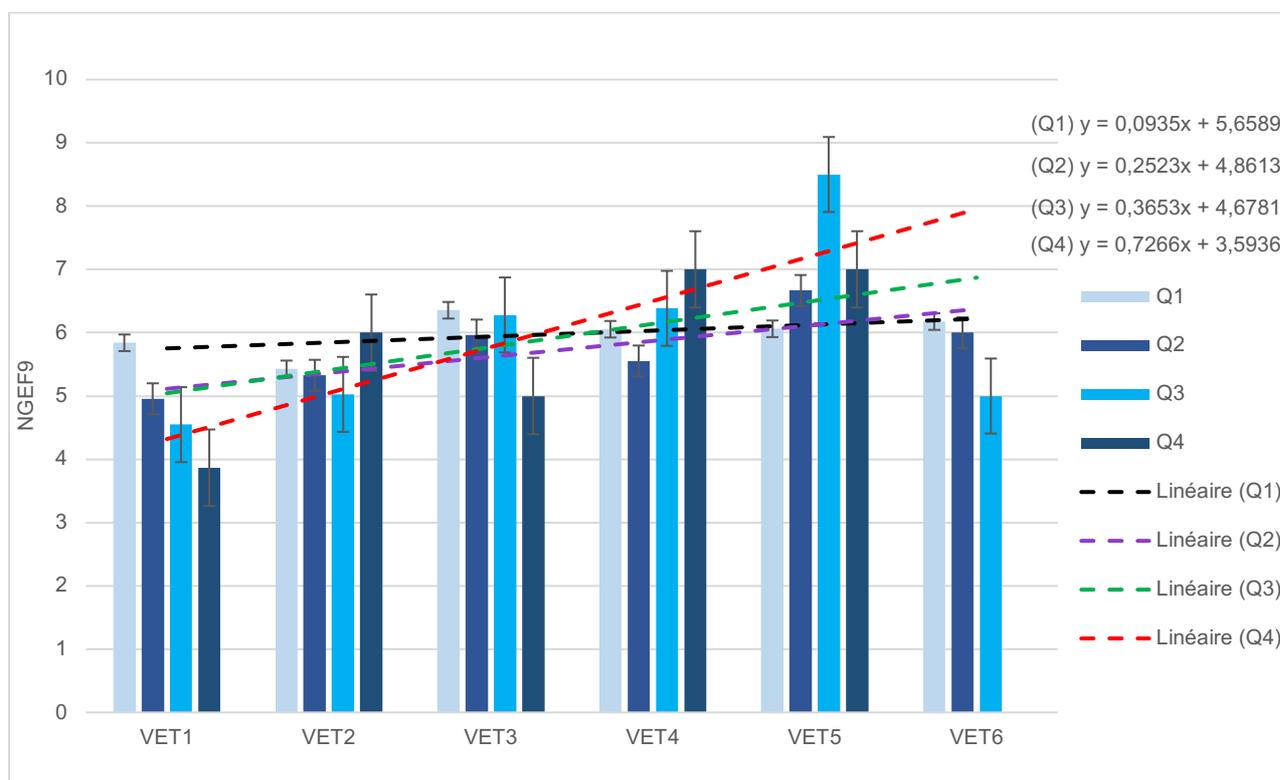
Nous étudions dans cette partie l'association entre la note globale d'expression faciale et les performances de course (classement du cheval à chaque contrôle vétérinaire). Nous observerons ainsi la présence ou non, d'association entre les performances du cheval et la note globale d'expression faciale. Nous posons l'hypothèse qu'un cheval concourant en tête de course, dès le début de l'épreuve, présentera plus rapidement un état de fatigue qu'un cheval concourant en queue de course. Par ailleurs, nous posons l'hypothèse qu'un cheval finissant une épreuve en queue de course montrera d'avantage des signes de fatigue qu'un cheval finissant en tête de course.

Les quartiles sont obtenus à partir du classement à chaque contrôle vétérinaire du concurrent par rapport aux autres concurrents. Ils représentent le classement du concurrent à l'issue de chaque boucle réalisée.

Le premier quartile correspond aux concurrents appartenant au premier quart, le deuxième quartile à ceux appartenant au deuxième quart, etc. On écrira dans la suite : Q1 pour premier quartile, Q2 pour deuxième quartile, Q3 pour le troisième quartile et Q4 pour le quatrième quartile. Ainsi, les chevaux appartenant au premier quartile (Q1) sont les chevaux en tête de course, alors que les chevaux appartenant au quatrième quartile (Q4) sont ceux en queue de course.

La NGEF9 selon les quartiles en fonction des contrôles vétérinaires est présentée en Figure 54, les p-values et p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 18.

Figure 54 - NGEF9 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



La première analyse réalisée concerne les NGEF9 moyennes entre les contrôles vétérinaires au sein d'un même quartile, les p-values sont disponibles en Annexe 18.

Ainsi, dans notre échantillon, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du troisième quartile au deuxième contrôle vétérinaire (5,026) était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du troisième quartile au troisième contrôle vétérinaire (6,281) ; la p-value corrigée par la méthode de Holm vaut 0,039.

De même, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du quatrième quartile au premier contrôle vétérinaire (3,867) était significativement inférieure à celle du cinquième contrôle vétérinaire (7,0) ; la p-value corrigée par la méthode de Holm est $< 0,0001$.

Cependant, pour chaque quartile, on n'observe pas de différence significative entre les moyennes de la NGEF9 aux autres contrôles vétérinaires.

Aussi, la valeur moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux des premier et second quartiles n'était pas significativement corrélée aux contrôles vétérinaires (respectivement $r = 0,07$ et $r=0,13$) ; les p-values sont respectivement de 0,26 et 0,06.

Parmi les chevaux du troisième et quatrième quartile, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF9 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires (respectivement $r = 0,3$ et $r=0,41$) ; respectivement la p-value est de 0,001 et 0,01. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de

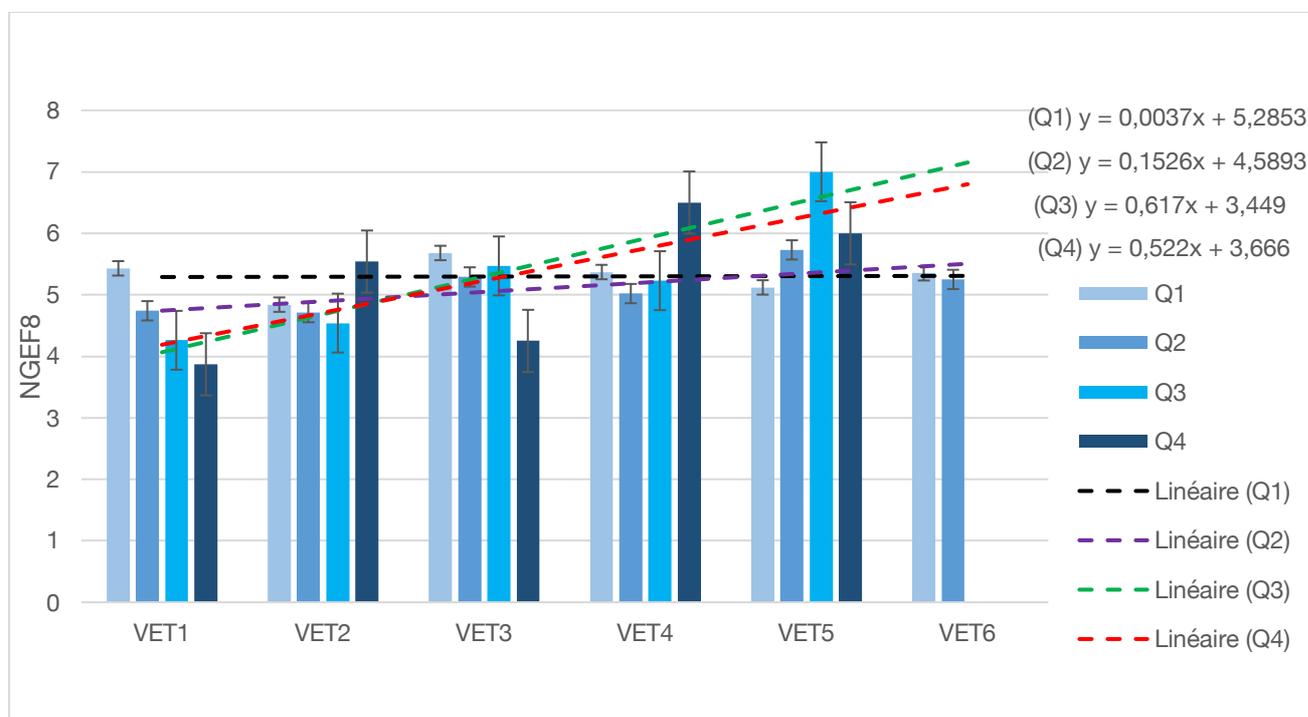
la NGEF9 et les contrôles vétérinaires pour les chevaux appartenant au troisième et quatrième quartile.

La seconde analyse réalisée compare la NGEF9 moyenne entre les différents quartiles pour un même contrôle vétérinaire, les p-values et p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 19.

Dans notre échantillon, pour le premier contrôle vétérinaire, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du premier quartile (5,84) était significativement supérieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux des troisième et quatrième quartile (respectivement 4,96 et 4,55) ; les p-values corrigées par la méthode de Holm sont respectivement 0,042 et 0,011.

La NGEF8 selon les quartiles en fonction des contrôles vétérinaires est présentée en Figure 55, les p-values et p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 20.

Figure 55 – NGEF8 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Comme pour la NGEF9, l'analyse se déroule en deux temps. Nous étudions dans un premier temps la NGEF8 moyenne pour un même quartile en fonction des contrôles vétérinaires.

Dans notre échantillon, pour les chevaux du troisième quartile, la NGEF8 moyenne au cinquième contrôle vétérinaire (7,0) était significativement supérieure à la NGEF8 moyenne aux premier, deuxième et troisième contrôles vétérinaires (respectivement 4,26 ; 4,54 ; 5,47) ; les p-values corrigées par la méthode de Holm sont respectivement <0,0001, <0,0001 et 0,012.

De même, pour les chevaux du quatrième quartile, la NGEF8 moyenne au cinquième contrôle vétérinaire (6,0) était significativement supérieure à la NGEF8 moyenne au premier contrôle vétérinaire (3,87) ; la p-value corrigée par la méthode de Holm est de 0,018.

La valeur moyenne de la NGEF8, parmi les chevaux du premier et second quartile, n'était pas significativement corrélée aux contrôles vétérinaires.

Parmi les chevaux du troisième et quatrième quartile, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF8 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires (respectivement $r = 0,2$ et $r=0,32$) ; respectivement la p-value est de 0,03 et 0,05. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et les contrôles vétérinaires pour les chevaux appartenant au troisième et quatrième quartile.

Dans un second temps, nous comparons la NGEF8 moyenne entre les différents quartiles pour un même contrôle vétérinaire, les p-values et p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 21.

Dans notre échantillon, pour le premier contrôle vétérinaire, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du premier quartile (5,43) était significativement supérieure à la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du troisième et quatrième quartile (respectivement 4,74 et 4,26) ; les p-values corrigées par la méthode de Holm sont de 0,05.

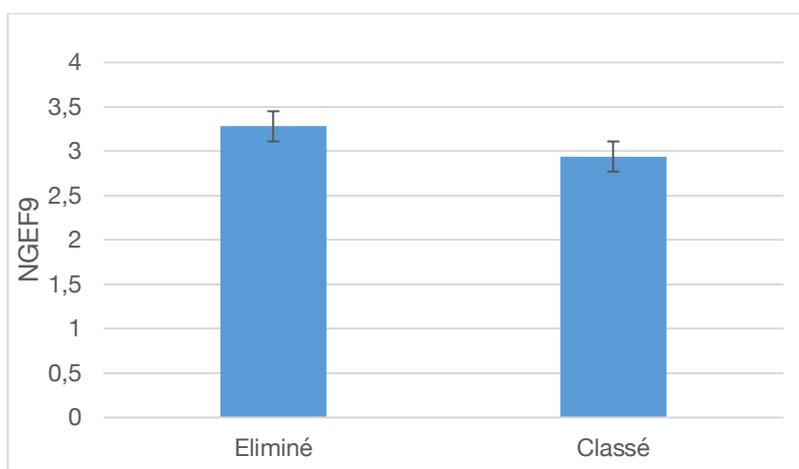
De plus, pour le cinquième contrôle vétérinaire, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du premier quartile (5,12) était significativement inférieure à la NGEF8 moyenne parmi les chevaux du troisième quartile (7,0) ; la p-value corrigée par la méthode de Holm est de 0,005.

e. Étude de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du statut final

Nous étudions dans cette partie l'association entre la note globale d'expression faciale et le statut final (classé ou éliminé). Nous observerons ainsi la présence ou non, d'association entre le statut final et la note globale d'expression faciale. Nous posons l'hypothèse qu'un cheval éliminé présente des signes de fatigue par rapport à un cheval classé. Également, nous supposons que la note globale d'expression faciale est prédictive d'une élimination et participe ainsi à la détection précoce d'un état de fatigue. Enfin, nous posons l'hypothèse que la note globale d'expression faciale est différente selon les motifs d'élimination (boiterie, métabolique ou autre).

Le score global d'expression faciale et de l'attitude générale selon le statut final est présenté en Figure 56.

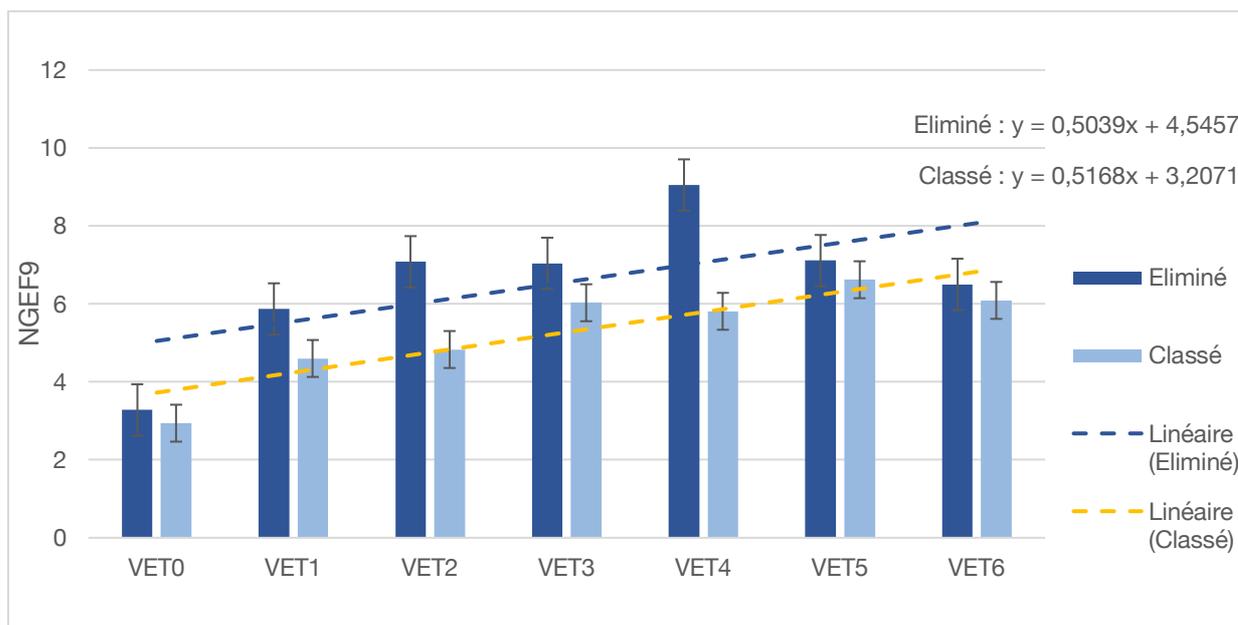
Figure 56 - NGEF9 moyenne selon le statut final (Classé ou Éliminé)



Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux éliminés (6,61) était significativement supérieure à la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux classés (5,35) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, chez les chevaux d'endurance, il y a des chances pour que la moyenne de la NGEF9 chez les chevaux éliminés soit réellement supérieure à la moyenne de la NGEF9 chez les chevaux classés.

La NGEF9 selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires est présenté en Figure 57. Les p-values sont disponibles en Annexe 22.

Figure 57 - NGEF9 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)

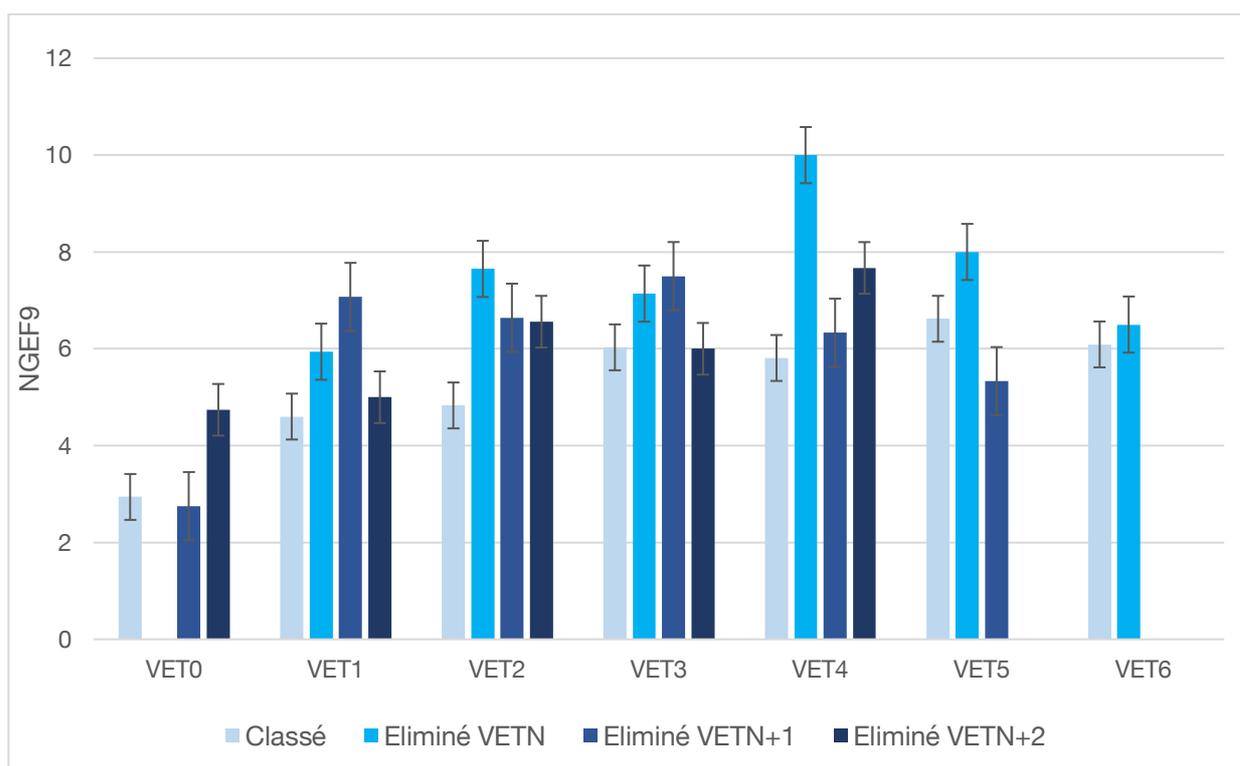


Dans notre échantillon, les moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux éliminés présentés aux VET1, VET2, VET3, VET4 (respectivement 5,87 ; 7,08 ; 7,04 ; 9,05) étaient significativement supérieures aux moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux classés présentés à ces mêmes contrôles vétérinaires (respectivement 4,6 ; 4,83 ; 6,03 ; 5,81). Les p-values sont disponibles en Annexe. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, chez les chevaux d'endurance, il y a des chances pour que la moyenne de la NGEF9 chez les chevaux éliminés présentés durant les contrôles vétérinaires 1,2,3 et 4 soit réellement supérieure à la NGEF9 chez les chevaux classés présentés à ces mêmes contrôles vétérinaires.

De plus, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF9 chez les chevaux classés et chez les chevaux éliminés était significativement corrélée aux contrôles vétérinaires (respectivement $r = 0,38$ et $r = 0,34$) ; les p-values sont inférieures à 0,0001. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF9 et les contrôles vétérinaires, à la fois pour les chevaux classés et les chevaux éliminés.

La NGEF9 en fonction du statut aux contrôles vétérinaires est présentée en Figure 58. Les p-values sont disponibles en Annexe 23 et 24.

Figure 58 - NGEF9 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (Vetn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn, Vetn+1, VETn+2)



Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux du contrôle vétérinaire 1 et éliminés au contrôle vétérinaire 1 (5,94) était significativement inférieure à la NGEF9 parmi les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire 2 (7,65), $p < 0,0001$.

Aussi, la moyenne de la NGEF9 parmi les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire 4 (10,0) était significativement supérieure aux NGEF9 moyennes parmi les chevaux présentés et éliminés aux contrôles vétérinaires 1, 2 et 3 (respectivement 5,94 ; 7,65 ; 7,14) ; les p-values sont disponibles en Annexe 23.

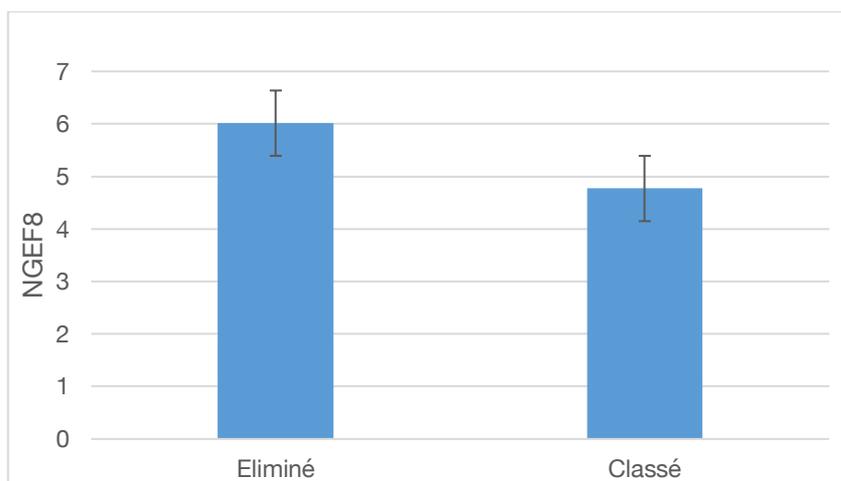
De plus, nous avons étudié le caractère prédictif de la NGEF9. Pour cela, nous avons comparé la NGEF9 moyenne des chevaux présentés au contrôle n, parmi les chevaux classés et parmi les chevaux éliminés aux contrôles vétérinaires n+1 et n+2.

La NGEF9 est apparue prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+1. En effet, dans notre échantillon, parmi les chevaux présentés aux contrôles vétérinaires 1, 2 et 3, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux classés (respectivement 4,6 ; 4,83 ; 6,03) était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux éliminés aux contrôles vétérinaire 2,3 et 4 (respectivement 7,07 ; 6,64 ; 7,5) ; les p-values sont disponibles en Annexe 24.

Aussi, nous avons observés que la NGEF9 était prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2. Dans notre échantillon, parmi les chevaux présentés aux contrôles vétérinaires initial et 2, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux classés (respectivement 2,94 et 4,83) étaient respectivement significativement inférieures aux NGEF9 moyennes parmi les chevaux éliminés aux contrôles vétérinaires 2 et 4 (respectivement 4,74 et 6,65), les p-values sont disponibles en Annexe 24.

Concernant la NGEF8, la NGEF8 moyenne selon le statut final est illustrée en Figure 59.

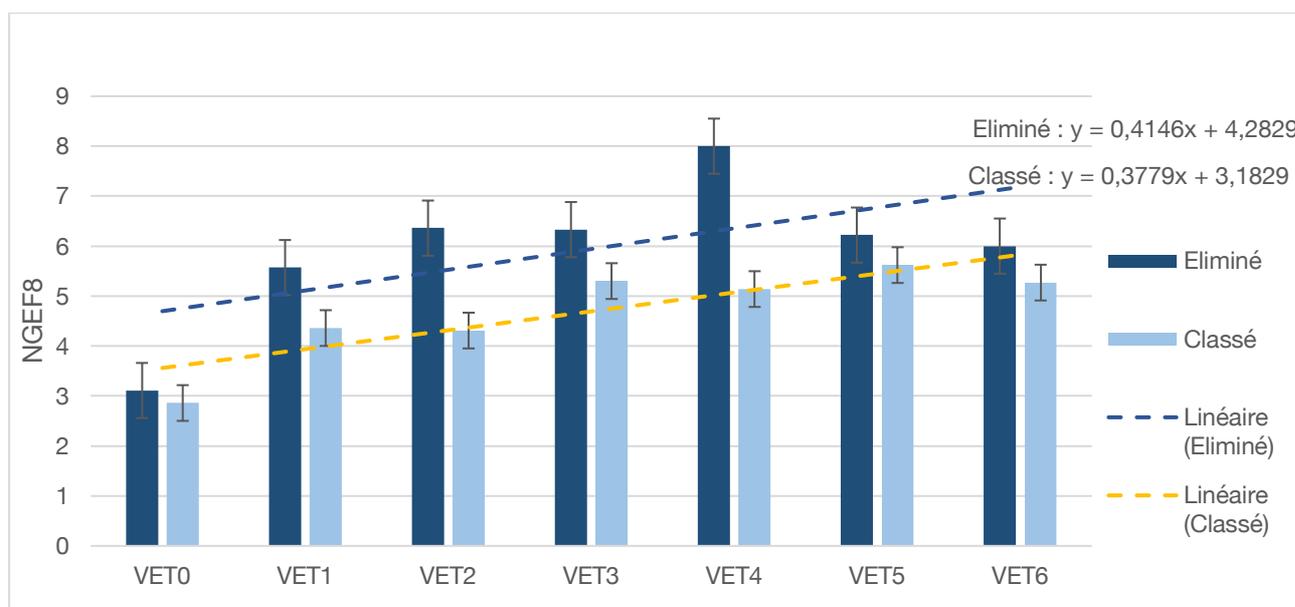
Figure 59 - NGEF8 moyenne selon le statut final (Classé ou Éliminé)



Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF8 parmi les chevaux éliminés (6,01) était significativement supérieure à la moyenne de la NGEF8 parmi les chevaux classés (4,77) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, chez les chevaux d'endurance, il y a des chances pour que la moyenne de la NGEF8 chez les chevaux éliminés soit réellement supérieure à la moyenne de la NGEF8 chez les chevaux classés.

La NGEF8 selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires est présenté en Figure 60. Les p-values sont disponibles en Annexe 23.

Figure 60 – NGEF8 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)

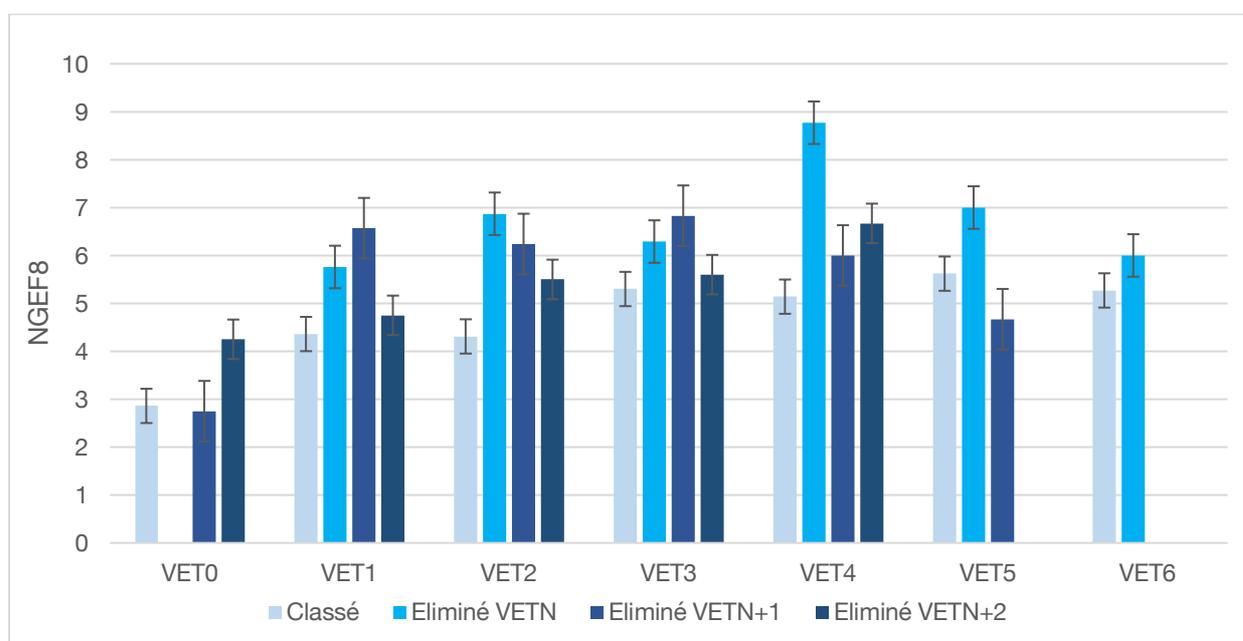


Dans notre échantillon, pour les contrôles vétérinaires 1 à 4, les moyennes de la NGEF8 parmi les chevaux éliminés (respectivement 5,57 ; 6,36 ; 6,33 ; 8,0) étaient significativement supérieures aux moyennes de la NGEF9 parmi les chevaux classés (respectivement 4,36 ; 4,31 ; 5,3 ; 5,14). Les p-values sont disponibles en Annexe 23.

De plus, dans notre échantillon, la valeur moyenne de la NGEF8 chez les chevaux classés et chez les chevaux éliminés était significativement corrélée aux contrôles vétérinaires (respectivement $r = 0,35$ et $r = 0,28$) ; les p-values sont inférieures à 0,0001. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF8 et les contrôles vétérinaires, à la fois pour les chevaux classés et les chevaux éliminés.

La NGEF8 en fonction du statut aux contrôles vétérinaires est présentée en Figure 61. Les p-values sont disponibles en Annexe 23 et 25.

Figure 61 - NGEF8 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (Vetn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn, VETn+1, VETn+2)



Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF8 parmi les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire 4 (8,77) était significativement supérieure aux NGEF8 moyennes parmi les chevaux présentés et éliminés aux contrôles vétérinaires 1, 2 et 3 (respectivement 5,76 ; 6,87 ; 6,29) ; les p-values sont disponibles en Annexe 23.

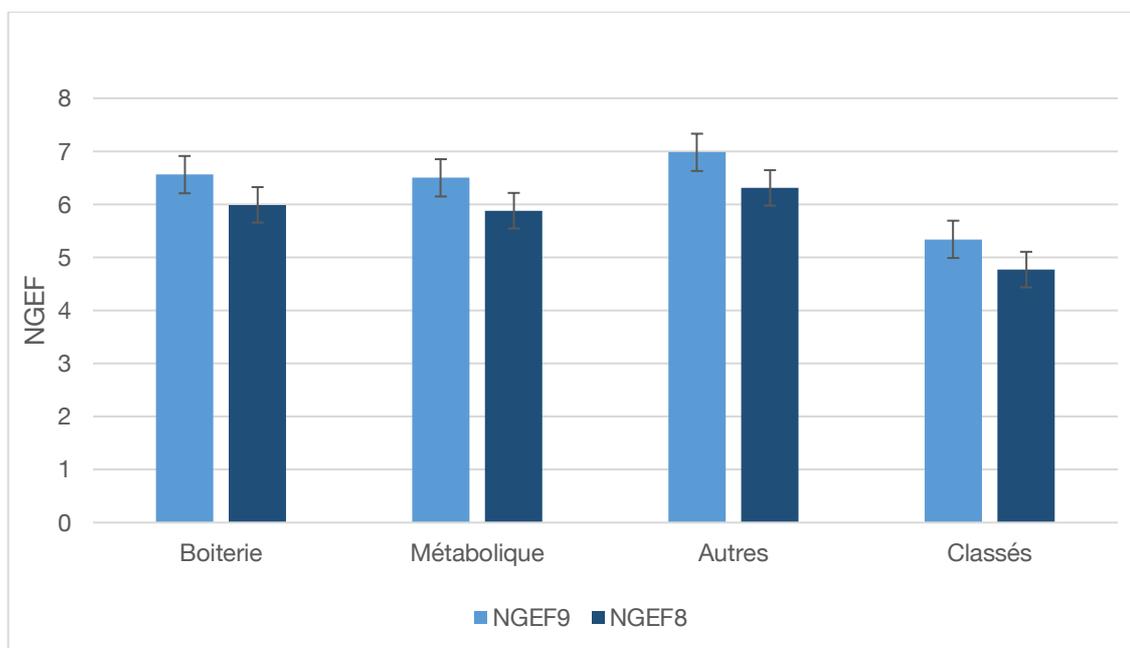
Comme pour la NGEF9, nous avons étudié le caractère prédictif de la NGEF8.

Dans notre échantillon, la NGEF8 est prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+1 pour les contrôles vétérinaires 1,2,3. En effet, parmi les chevaux présentés aux contrôles vétérinaires 1,2 et 3, les NGEF8 moyennes parmi les chevaux classés (respectivement 4,36 ; 4,31 ; 5,3) étaient significativement inférieures aux NGEF8 moyennes parmi les chevaux éliminés aux contrôles vétérinaires 2,3,4 (respectivement 6,57 ; 6,24 ; 6,83) ; les p-values sont disponibles en Annexe 25.

Aussi, la NGEF8 semble être prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2 pour les chevaux présentés au contrôle vétérinaire 2. En effet, parmi les chevaux présentés au contrôle vétérinaire 2, la NGEF8 moyenne parmi les chevaux classés (4,31) était significativement inférieure à la NGEF8 moyenne parmi les chevaux éliminés au contrôle vétérinaire 4 (5,5) ; $p = 0,02$.

Par ailleurs, la NGEF9 et la NGEF8 en fonction du motif d'élimination est présentée en Figure 62, les p-values sont disponibles en Annexe 26.

Figure 62 – NGEF9 et NGEF8 moyennes en fonction du statut final et du motif d'élimination (Boiterie, Métabolique, Autres)



Dans notre échantillon, il n'y a pas de différence significative pour la NGEF9 et NGEF8 selon le motif d'élimination.

Aussi, la NGEF8 et la NGEF9 parmi les chevaux classés (respectivement 4,77 et 5,34) sont significativement inférieures à la NGEF8 et NGEF9 parmi les chevaux éliminés pour boiterie, métabolique ou autres (respectivement pour la NGEF8 5,99 ; 5,88 ; 6,31 et pour la NGEF9 6,56 ; 6,50 ; 6,98) ; les p-values sont disponibles en Annexe 26.

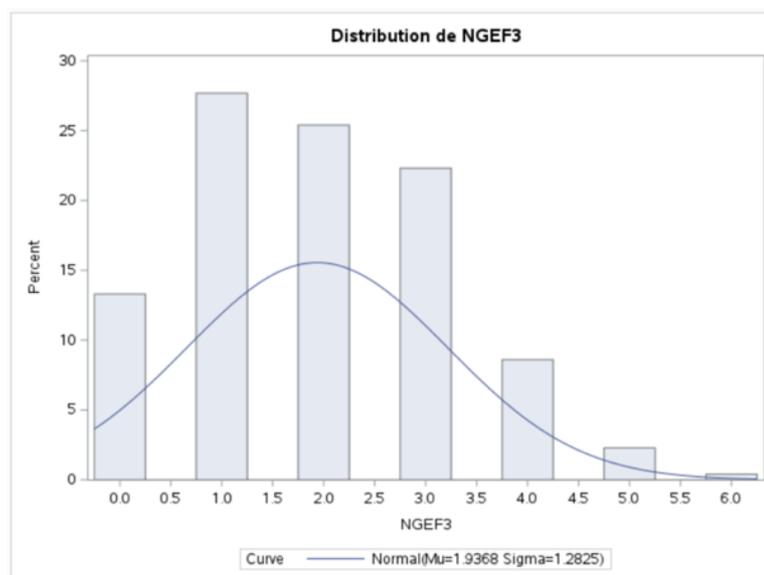
6. Résultats de l'analyse statistique sur trois critères de la grille de notation

Parmi les neuf critères de la grille de notation, trois disposent d'une reproductibilité acceptable d'après l'étude de concordance inter-opérateur décrite précédemment. Ces trois critères sont : la position des oreilles, le mâchonnement et la posture. Une analyse statistique de ces trois critères comme réalisé précédemment est décrite succinctement dans cette partie.

a. Description de la variable NGEF3

La NGEF3 est définie comme la note globale sur trois critères (position des oreilles, mâchonnement, posture). La distribution de la NGEF3 paraît suivre une loi normale (Desquilbet, 2022a) et est présentée en Figure 63.

Figure 63 – Histogramme présentant la répartition de la NGEF3



La moyenne, l'écart-type (« Standard Deviation ») ainsi que l'étendue (minimum et maximum) de la variable NGEF3 sont présentés dans le Tableau 12.

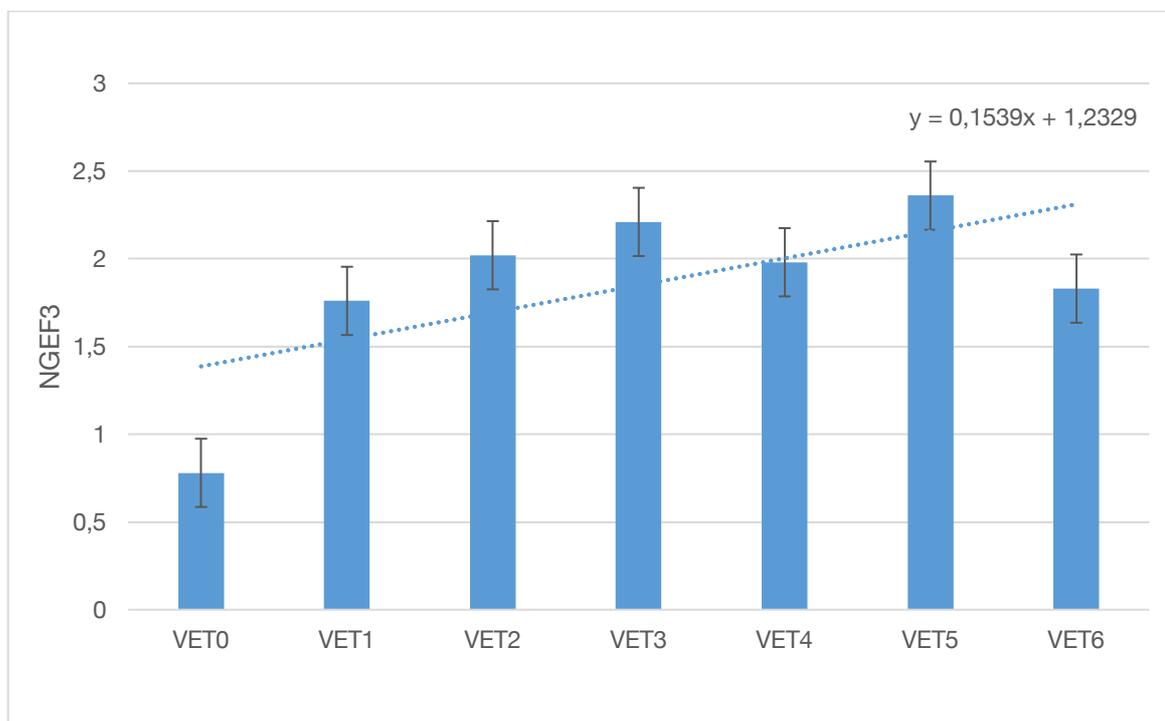
Tableau 12 – Moyenne, écart-type, minimum et maximum de la NGEF3

Variable	Moyenne	Standard Deviation	Minimum	Maximum
NGEF3	1,94	1,28	0	6

b. Étude de la NGEF3 en fonction des paramètres de la course

L'évolution de la moyenne de la NGEF3 pendant la course est présentée en Figure 64. Les p-values ainsi que les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponibles en Annexe 27.

Figure 64 – Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans notre échantillon, la moyenne de la NGEF3 parmi les chevaux du contrôle initial était significativement inférieure aux moyennes de la NGEF3 parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants. Aussi, la moyenne de la NGEF3 parmi les chevaux du contrôle vétérinaire 1 était significativement inférieure à la moyenne de la NGEF3 parmi les chevaux du troisième contrôle vétérinaire.

De plus, la valeur moyenne de la NGEF3 était significativement corrélée aux différents contrôles vétérinaires ($r=0,18$) ; $p < 0,0001$. Sous l'hypothèse d'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la moyenne de la NGEF3 et les contrôles vétérinaires.

L'évolution de la moyenne de la NGEF3 selon les lieux de courses sont disponibles en Figure 65, 66 et 67. Les p-values sont disponibles en Annexe 28, 29 et 30.

Figure 65 – Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Monpazier

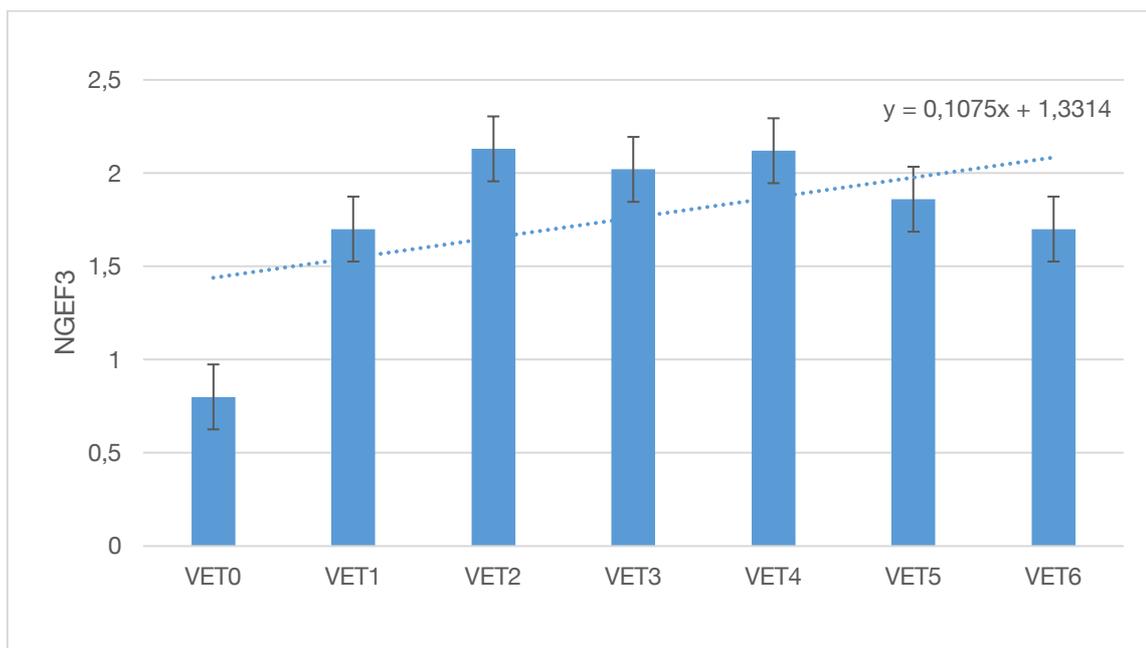


Figure 66 - Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Fontainebleau

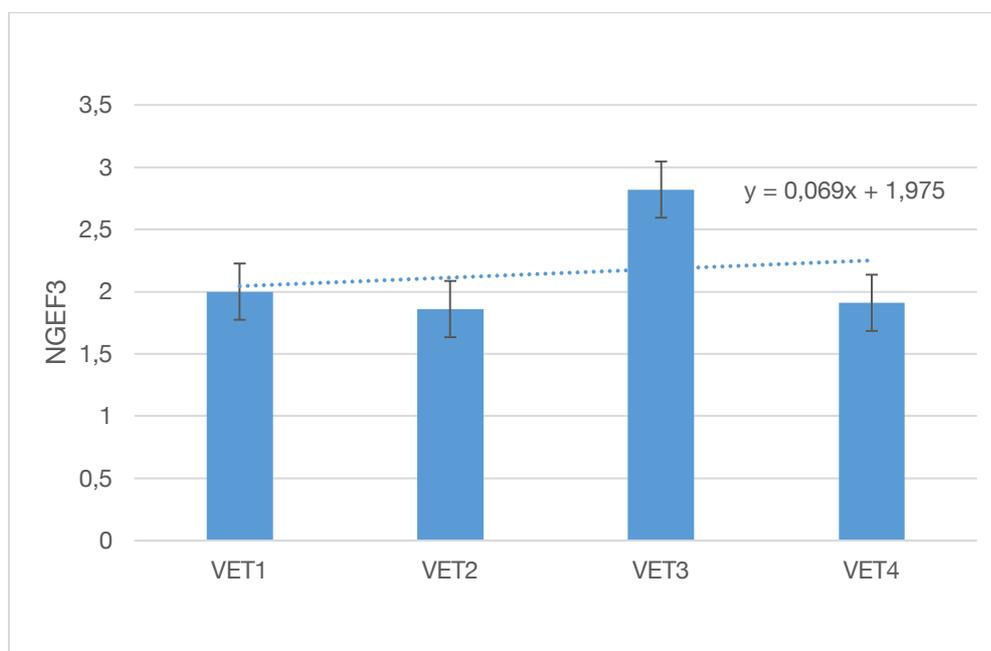
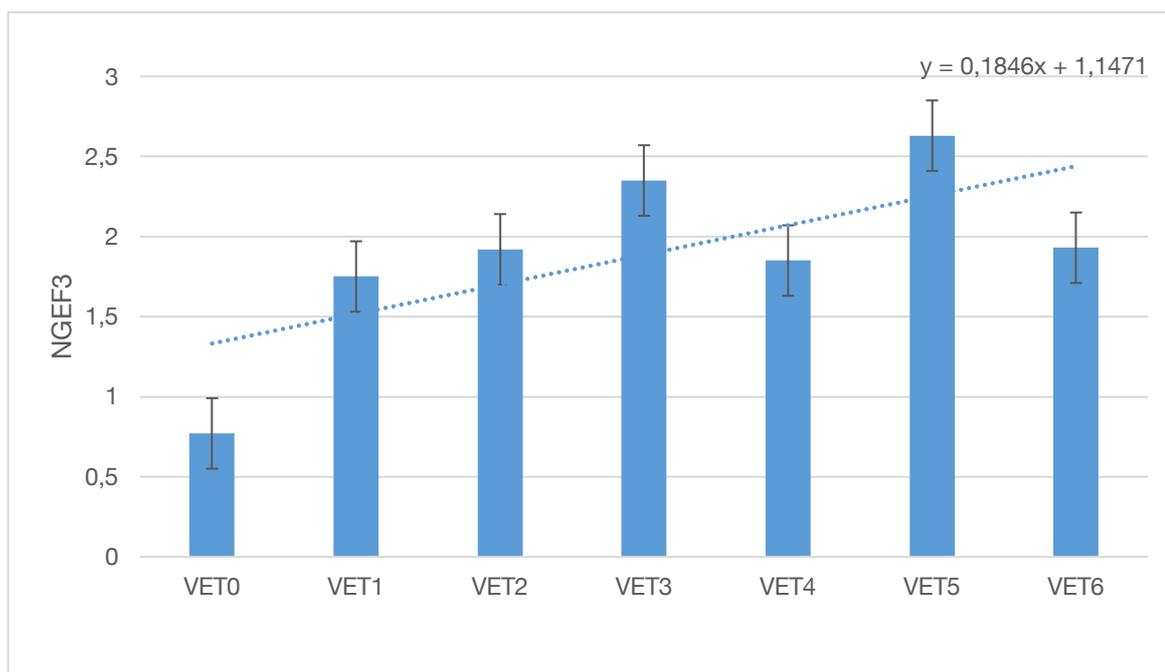


Figure 67 - Évolution de la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires (VETn) pour la course de Compiègne



Dans l'échantillon de notre étude participant à la course de Monpazier, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial était significativement inférieure aux NGEF3 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires 1,2,3,4 et 5.

Concernant la course de Fontainebleau, les moyennes de la NGEF3 parmi les chevaux des différents contrôles vétérinaires n'étaient pas significativement différentes entre elles.

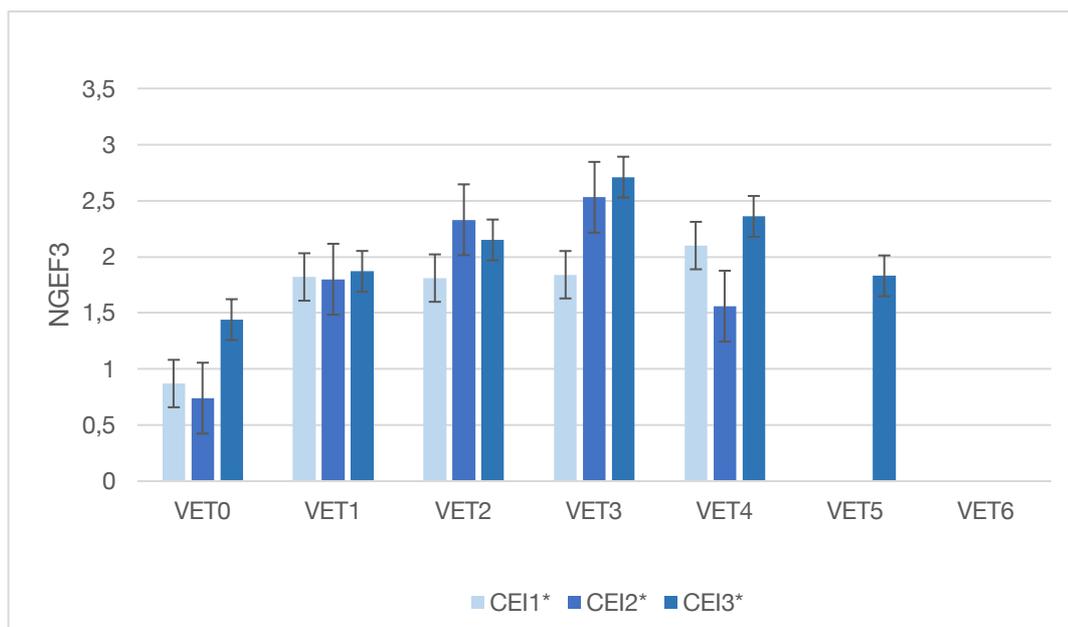
Enfin, parmi les participants de la course de Compiègne, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire initial était significativement inférieure aux NGEF3 moyennes parmi les chevaux des contrôles vétérinaires suivants. Aussi, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire 1 était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire 5.

Par ailleurs, la NGEF3 moyenne était significativement corrélée aux contrôles vétérinaires pour les courses de Monpazier ($r = 0,13$ et $p = 0,02$) et Compiègne ($r = 0,25$ et $p < 0,0001$). Ainsi, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la NGEF3 moyenne et les contrôles vétérinaires pour ces deux courses. Cependant, la NGEF3 moyenne n'était pas corrélée aux contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau.

c. Étude de la NGEF3 en fonction des caractéristiques de course

L'évolution de la NGEF3 moyenne selon les types de courses en fonction des contrôles vétérinaires est illustrée en Figure 68. Les p-values et les p-values corrigées par la méthode de Holm sont disponible en Annexe 31.

Figure 68 – NGEF3 moyenne selon les catégories de courses en fonction des contrôles vétérinaires



Dans notre échantillon, parmi les chevaux présentés au troisième vétérinaire, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux des courses CEI1* était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux des courses CEI2*. Aussi, parmi les chevaux du quatrième contrôle vétérinaire, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux des courses CEI2* était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux des courses CEI3*.

Il n'y a pas de différence significative de la NGEF3 moyenne observée entre les différentes catégories de courses aux autres contrôles vétérinaires.

La NGEF3 moyenne selon les trois catégories d'âge et selon la race est présentée en Figure 69 et 70. Les p-values sont disponibles en Annexe 32 et 33.

Figure 69 – NGEF3 moyenne en fonction des catégories d'âge (jeune, intermédiaire, mature)

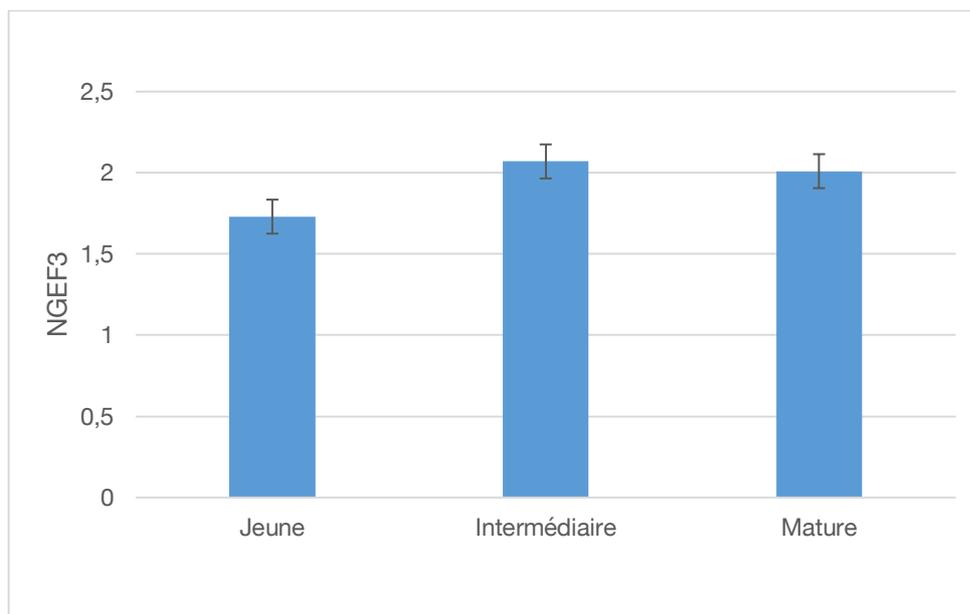
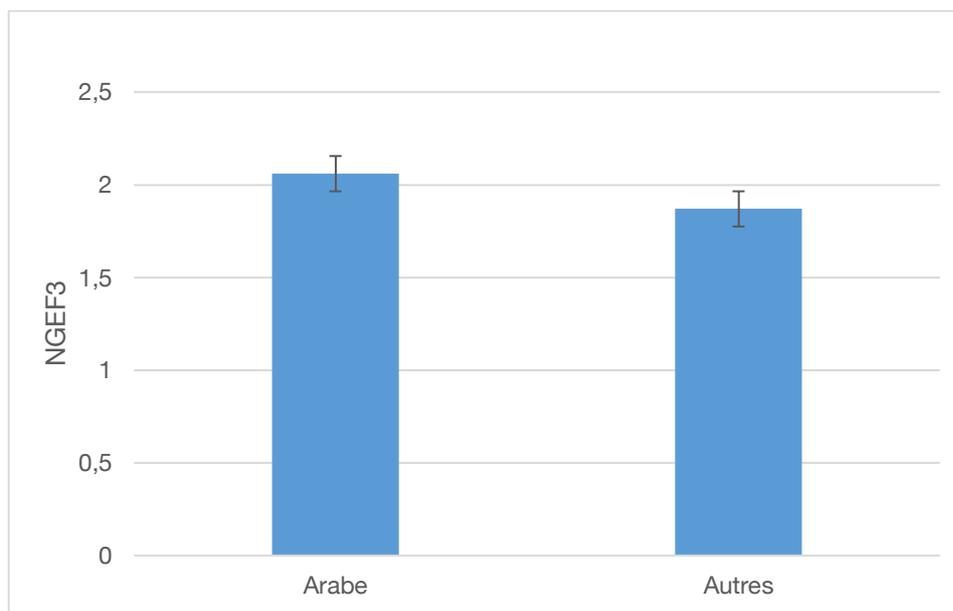


Figure 70 – NGEF3 moyenne en fonction de la race (Arabe / Autres)



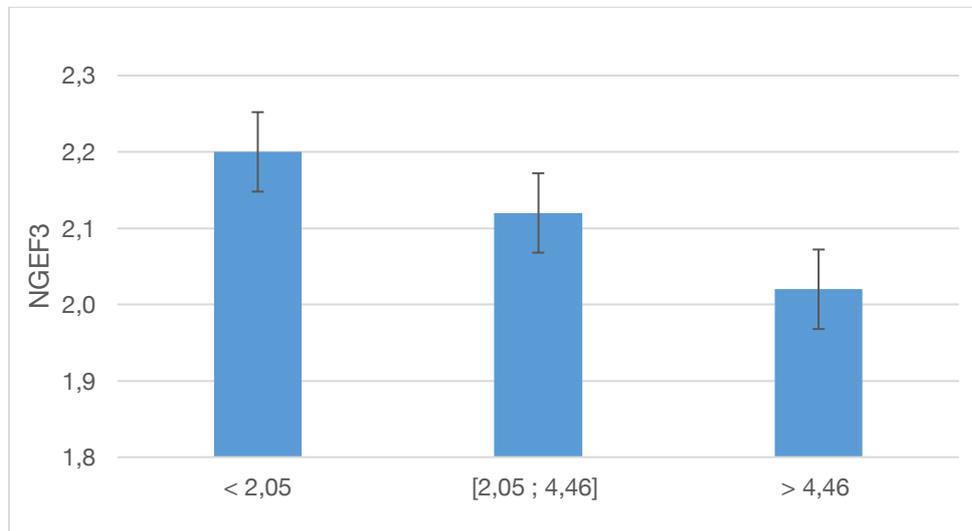
Concernant l'âge, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux jeunes était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux d'âge intermédiaire. On n'observe pas de différence significative de la NGEF3 moyenne entre les autres catégories d'âge.

Concernant la race, aucune différence significative de NGEF3 moyenne n'est observée dans notre échantillon.

d. Étude de la NGEF3 en fonction des critères cliniques de fatigue

La NGEF3 moyenne selon les temps de récupération est présentée en Figure 71. Les p-values sont disponibles en Annexe 34.

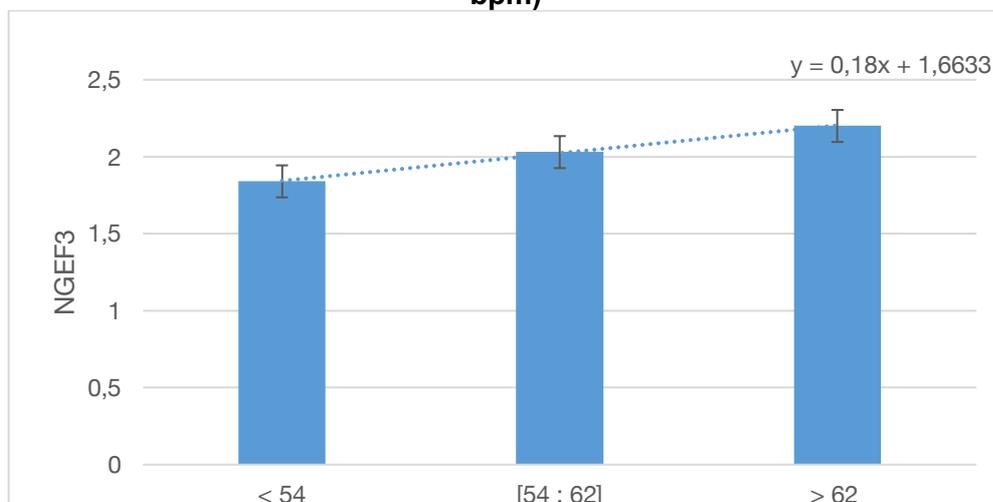
Figure 71 – NGEF3 moyenne en fonction du temps de récupération (en minutes)



Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne n'était pas significativement différente entre les différentes catégories de temps de récupération. Aussi, la valeur moyenne de la NGEF3 n'était pas significativement corrélée au temps de récupération.

La NGEF3 moyenne selon la fréquence cardiaque de récupération est présentée en Figure 72. Les p-values sont disponibles en Annexe 35.

Figure 72 – NGEF3 moyenne en fonction de la fréquence cardiaque de récupération (en bpm)

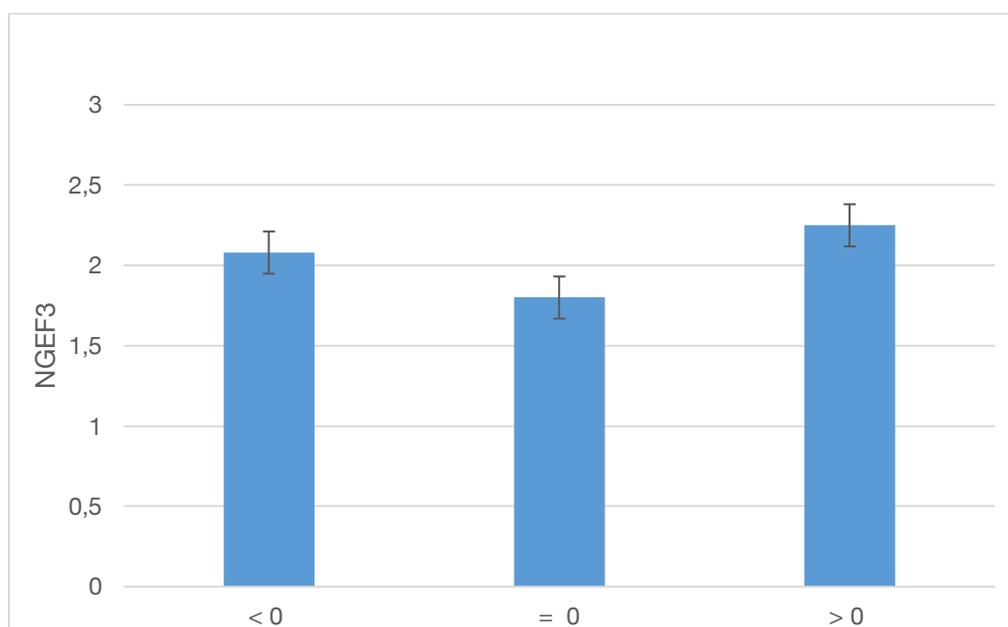


Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux présentant une fréquence cardiaque de récupération inférieure à 54 bpm était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux présentant une fréquence cardiaque de récupération supérieure à 62 bpm.

De plus, dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne était significativement corrélée à la fréquence cardiaque de récupération ($r = 0,08$; $p = 0,04$). Ainsi, sous l'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une corrélation réelle entre la NGEF3 moyenne et la fréquence cardiaque de récupération.

La NGEF3 moyenne en fonction de l'indice de récupération cardiaque (IRC) est présentée en Figure 73. Les p-values sont disponibles en Annexe 36.

Figure 73 – NGEF3 moyenne en fonction de l'IRC



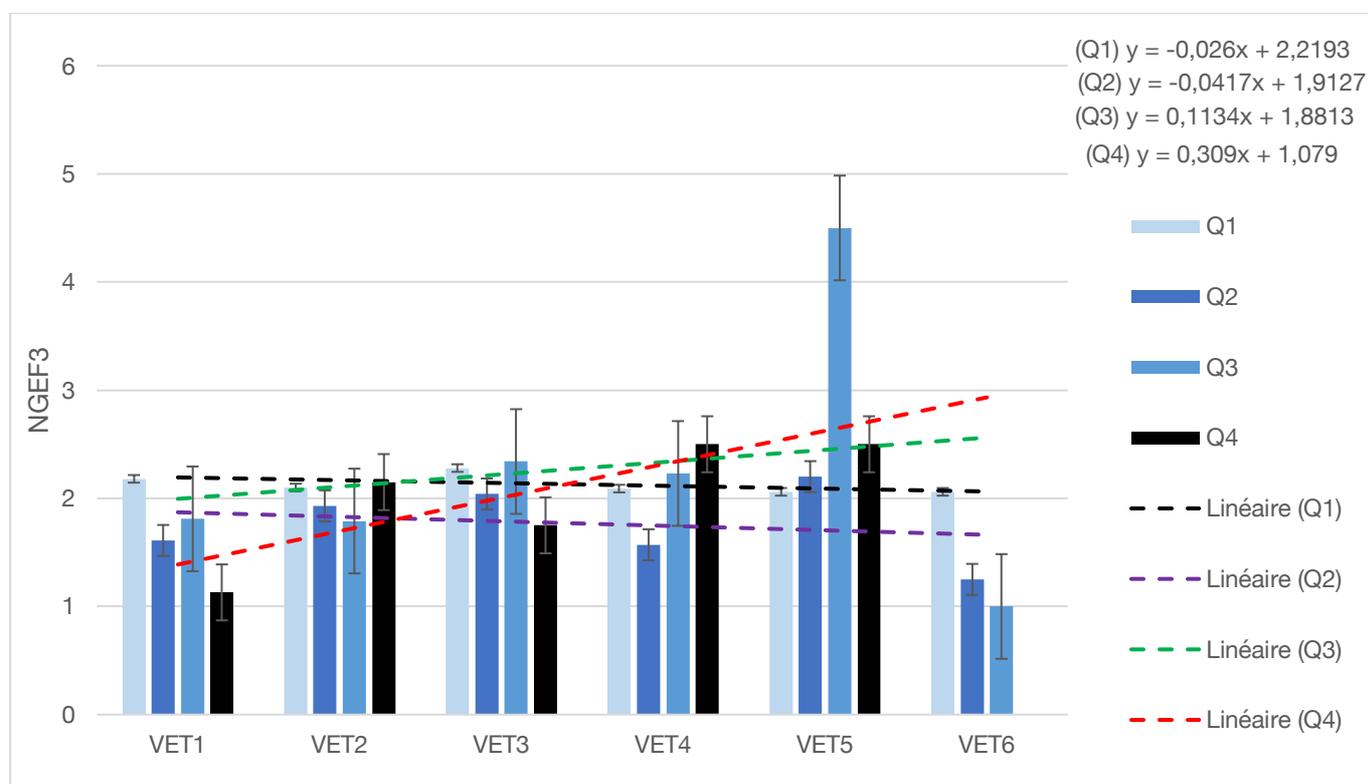
Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux ayant une IRC = 0 était significativement inférieure aux NGEF3 moyennes parmi les chevaux ayant une IRC > 0 ou une IRC < 0.

La NGEF3 moyenne n'était pas significativement corrélée à l'indice de récupération cardiaque.

e. Étude de la NGEF3 en fonction des performances de courses

La NGEF3 moyenne selon les quartiles et en fonction des contrôles vétérinaires est présentée en Figure 74. Les p-values sont disponibles en Annexe 37 et 38.

Figure 74 – NGEF3 moyenne selon les quartiles (Qn) en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)



Dans notre échantillon, au sein de chevaux faisant parti du troisième quartile, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du contrôle vétérinaire 1 était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du cinquième contrôle vétérinaire. La NGEF3 moyenne n'était pas significativement différentes entre les autres contrôles vétérinaires. De plus, parmi les autres quartiles, la NGEF3 moyenne n'était pas significativement différentes entre les différents contrôles vétérinaires.

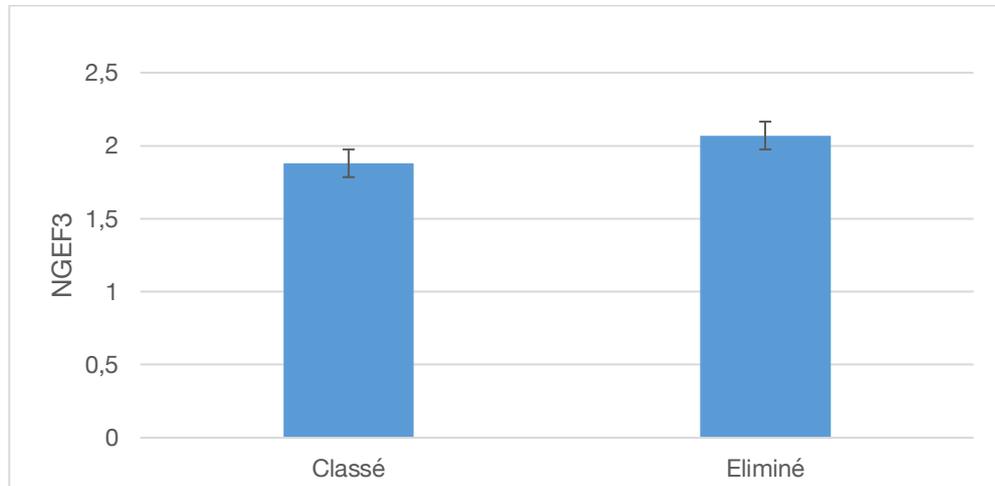
Par ailleurs, au contrôle vétérinaire 1, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du premier quartile était significativement supérieure à la NGEF3 parmi les chevaux du quatrième quartile. Aussi, au contrôle vétérinaire 5, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du 1er quartile était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux du 3ème quartile.

Enfin, la NGEF3 moyenne était significativement corrélée aux contrôles vétérinaires pour les chevaux appartenant au 3ème quartile ($r=0,21$ et $p = 0,02$) et au 4ème quartile ($r=0,31$ et $p = 0,02$). Ainsi, sous l'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour qu'il existe une réelle corrélation entre la NGEF3 moyenne et les contrôles vétérinaires pour les chevaux appartenant aux 3ème et 4ème quartile. Cependant, la NGEF3 moyenne n'est pas corrélée aux contrôles vétérinaires pour les chevaux appartenant aux 1er et 2ème quartile.

f. Étude de la NGEF3 en fonction du statut final

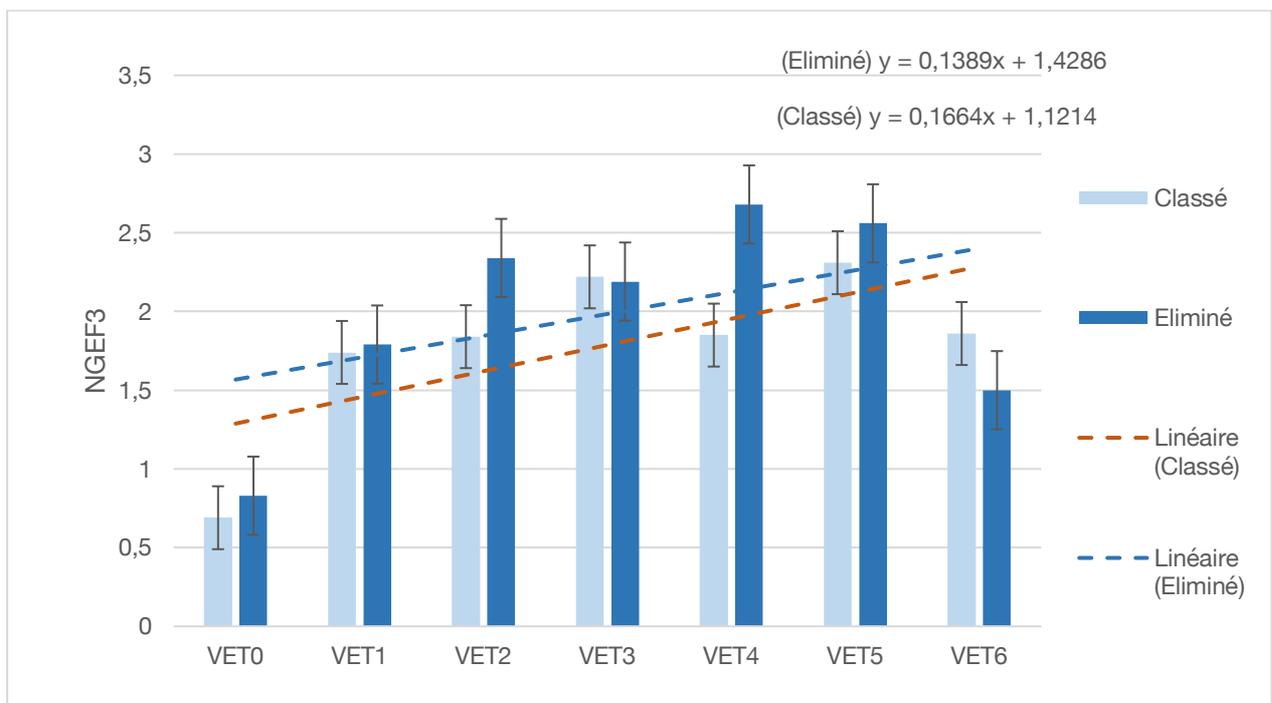
La NGEF3 moyenne selon le statut final est présentée en Figure 75. La NGEF3 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires est présentée en Figure 76. Les p-values sont disponibles en Annexe 39.

Figure 75 – NGEF3 moyenne selon le statut final



La NGEF3 moyenne n'est pas significativement différente entre les chevaux classés et éliminés.

Figure 76 – NGEF3 moyenne selon le statut final en fonction des contrôles vétérinaires (VETn)

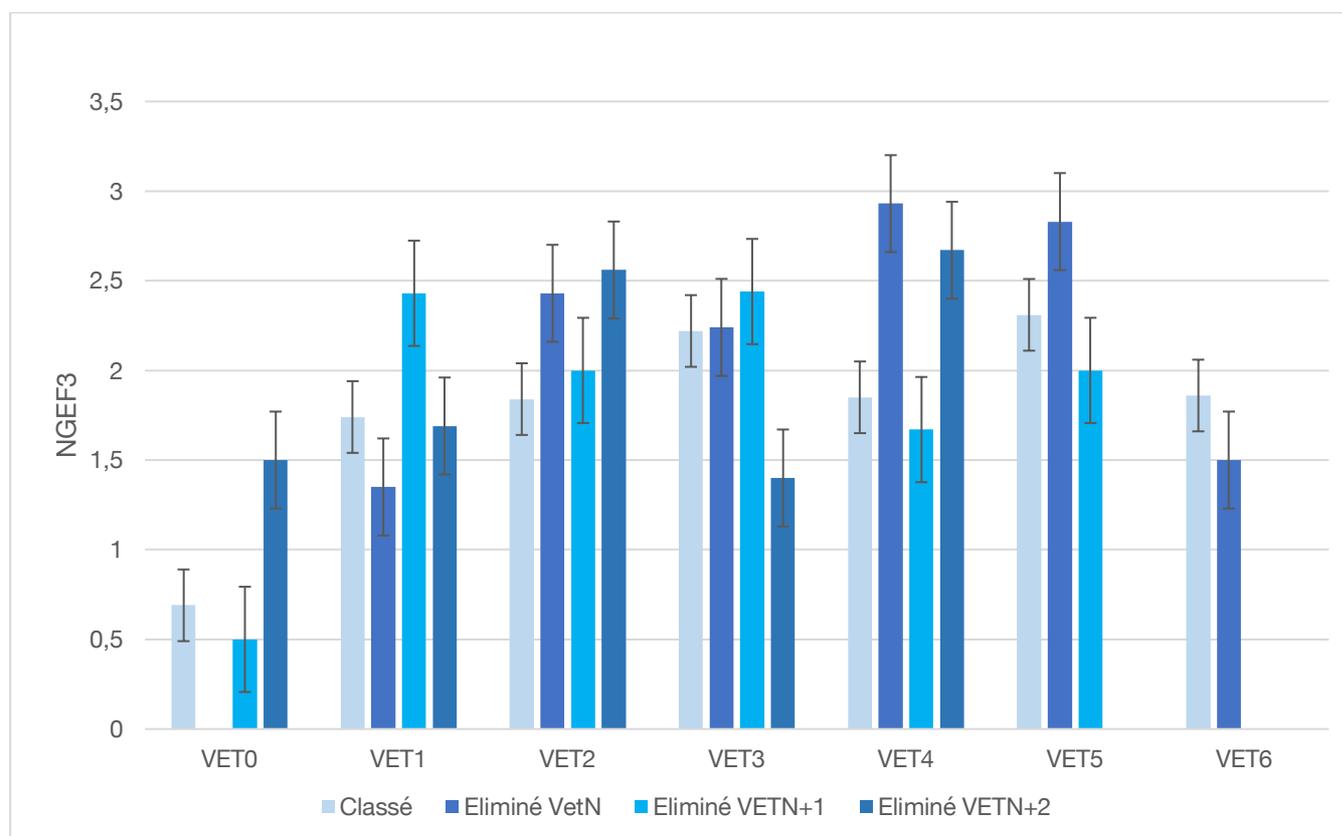


Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne était significativement inférieure parmi les chevaux classés au contrôle vétérinaire 2 et 4 à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux éliminés.

Aussi, la NGEF3 moyenne était significativement corrélée aux contrôles vétérinaires pour les chevaux classés ($r = 0,18$ et $p < 0,0001$) et pour les chevaux éliminés ($r = 0,24$ et $p = 0,02$). Ainsi, sous l'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour que la NGEF3 moyenne parmi les chevaux éliminés et parmi les chevaux classés soit réellement corrélée au contrôle vétérinaire d'élimination.

La NGEF3 en fonction du statut aux contrôles vétérinaires est présentée en Figure 77. Les p-values sont disponibles en Annexe 40 et en Annexe 41.

Figure 77 – NGEF3 moyenne selon le statut aux contrôles vétérinaires (VETn, VETn+1, VETn+2) en fonction des contrôles vétérinaires



Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire 1 était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire 4. Aussi, les NGEF3 moyennes parmi les chevaux présentés et éliminés aux autres contrôles vétérinaires n'étaient pas significativement différentes entre elles.

La NGEF3 moyenne parmi les chevaux éliminés était significativement corrélée au contrôle vétérinaire d'élimination ($r = 0,25$ et $p = 0,02$). Ainsi, sous l'absence de biais d'association, il y a de grandes chances pour que la NGEF3 moyenne parmi les chevaux éliminés soit réellement corrélée au contrôle vétérinaire d'élimination.

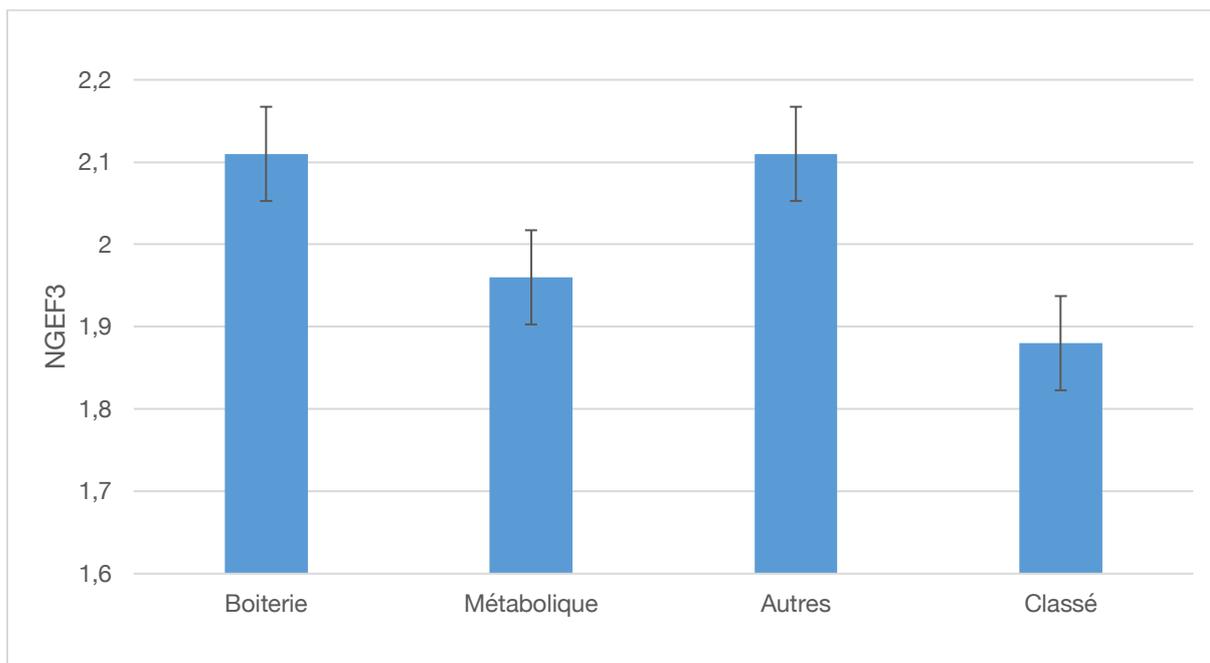
Ensuite, on étudie le caractère prédictif de la NGEF3 concernant les éliminations. Dans notre échantillon, parmi les chevaux présentés au contrôle vétérinaire 1, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux classés était significativement inférieure à la NGEF3 parmi les chevaux éliminés au contrôle

vétérinaire 2. Également, parmi les chevaux présentés au contrôle vétérinaire 2, la NGEF3 moyenne parmi les chevaux classés était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi les chevaux éliminés au contrôle vétérinaire 4.

Ainsi, la NGEF3 semble prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+1 au contrôle vétérinaire 1, et prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2 au contrôle vétérinaire 4.

La NGEF3 selon le motif d'élimination est présentée en Figure 78. Les p-values sont disponibles en Annexe 42.

Figure 78 – NGEF3 selon le motif d'élimination



Dans notre échantillon, la NGEF3 moyenne n'est pas significativement différente selon le motif d'élimination. Aussi, la NGEF3 moyenne n'est pas significativement différente entre les chevaux éliminés et les chevaux classés selon les motifs d'élimination.

7. Conclusion et comparaison des résultats de l'étude avec les résultats de l'étude préliminaire

Notre étude s'inscrit dans la continuité de l'étude de Chloé Herfroy (2020). Il convient d'étudier nos résultats par rapport aux résultats de la précédente étude. Mais aussi d'étudier l'apport de la NGEF9 par rapport à la NGEF8. Enfin, nous pouvons étudier la pertinence de la NGEF3 par rapport à la NGEF8 ou à la NGEF9.

a. Au sujet de l'analyse de la reproductibilité

Les résultats de l'analyse de la reproductibilité de la NGEF8 sont relativement en accord avec ceux obtenus par l'étude préliminaire. La reproductibilité de la NGEF8 est peu acceptable. Les résultats sont similaires concernant la NGEF9.

Concernant l'étude de la reproductibilité de chacun des neuf critères de la grille de notation, il apparaît que nos résultats sont en accord avec l'étude préliminaire pour le critère mâchonnement, qui a une reproductibilité acceptable d'après notre étude et l'étude préliminaire. Cependant, la fixité de l'œil et la position des oreilles présentaient une reproductibilité acceptable dans l'étude préliminaire alors qu'elle apparaît inacceptable dans notre étude. Les autres critères de la grille de notation (ouverture de l'œil, tension de la région frontale, tension des muscles masticateurs, tension du menton et de la lèvre inférieure, tension des naseaux et de la lèvre supérieure) ont une reproductibilité inacceptable d'après notre étude et l'étude préliminaire.

Le tableau 13 présente une synthèse des résultats décrits précédemment.

Tableau 13 – Synthèse des résultats de l'analyse de la reproductibilité par rapport aux résultats de l'étude préliminaire

	Comparaison de la reproductibilité par rapport à l'étude préliminaire
Position des oreilles	Différent (inacceptable -> acceptable)
Ouverture de l'oeil	Similaire
Tension de la région frontale	Similaire
Tension des muscles masticateurs	Similaire
Tension du menton et de la lèvre inférieure	Similaire
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	Similaire
Fixité de l'œil	Différent (acceptable -> inacceptable)
Mâchonnement	Similaire
Posture	Nouveau critère

b. Au sujet de l'analyse descriptive

La comparaison de l'analyse descriptive des résultats de notation de chacun des critères de la grille de notation entre notre étude et l'étude préliminaire est présentée dans le tableau 14.

Tableau 14 – Comparaison des résultats de l'analyse descriptive

	Dans l'étude préliminaire	Dans notre étude	Comparaison
Position des oreilles	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	0 ▸ 1,2 jusqu'à VET3	Différent
Ouverture de l'œil	Peu de variation	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	Différent
Tension de la région frontale	▾ 1 ▸ 2	Pas de variation	Différent
Tension des muscles masticateurs	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	Pas de variation	Différent
Tension du menton et de la lèvre inférieure	▾ 0 ▸ 1,2	▾ 0 ▸ 1,2	Similaire
Tension des naseaux et de la lèvre supérieure	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	Similaire
Fixité de l'œil	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	▾ 0 ▸ 1,2 Forte variation	Similaire
Mâchonnement	Peu de variation	▸ 0 ▾ 1,2	Différent
Posture		▾ 0 ▸ 1,2	Nouveau critère

Entre notre étude et l'étude préliminaire, les résultats de l'analyse descriptive diffèrent pour les critères position des oreilles, ouverture de l'œil, tension de la région frontale, tension des muscles masticateurs et mâchonnement. Ils sont similaires pour les critères tension du menton et de la lèvre inférieure, tension des naseaux et de la lèvre supérieure et fixité de l'œil.

c. Au sujet des résultats de l'analyse statistique de la NGEF8 et NGEF9

1- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des contrôles vétérinaires

Pour la NGEF8, nos résultats sont similaires à ceux de l'étude préliminaire. La NGEF8 moyenne est significativement corrélée au rang du contrôle vétérinaire pendant la course, avec une NGEF8 moyenne minimale au contrôle vétérinaire initial.

Cependant, dans l'étude préliminaire, la NGEF8 moyenne du deuxième contrôle vétérinaire était significativement inférieure aux NGEF8 moyennes des contrôles vétérinaire 3 et 4, ce que nous ne retrouvons pas dans notre étude. Dans notre étude, seule la NGEF8 moyenne du contrôle vétérinaire initial est significativement inférieure à la NGEF8 moyenne des autres contrôles vétérinaires.

Les résultats concernant la NGEF9 sont similaires, il y a une association significative entre la NGEF9 moyenne et le rang du contrôle vétérinaire pendant la course. Par ailleurs, la NGEF9 moyenne du contrôle vétérinaire initial est significativement inférieure aux NGEF9 moyennes des autres contrôles vétérinaires. Aussi, la NGEF9 moyenne du premier contrôle vétérinaire est significativement inférieure à celle de contrôle vétérinaire 3,4 et 5.

2- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction des contrôles vétérinaires selon le lieu de la course

Nous ne pouvons comparer nos résultats à ceux de l'étude préliminaire car les sites de course et les conditions climatiques ne sont pas similaires. En effet, les températures maximales dans l'étude initiale sont inférieures ou égales à 20°C alors que dans notre étude, les températures maximales sont supérieures ou égales à 20°C. De plus, l'humidité était supérieure ou égale à 70% dans l'étude préliminaire alors qu'elle est supérieure ou égale à 82% dans notre étude.

Cependant, nous avons pu observer dans notre étude que pour les courses avec une humidité de 87% (Compiègne et Monpazier), la NGEF8 moyenne au contrôle vétérinaire initial était significativement inférieure à la NGEF8 moyenne des contrôles vétérinaires suivant. Alors que, pour la course de Fontainebleau (température maximale la plus faible, humidité la plus faible), nous n'avons pas observé de différence significative entre les différents contrôles vétérinaires. Les résultats concernant la NGEF9 étaient relativement similaires.

Les différences de la NGEF8 et de la NGEF9 selon les lieux de course s'expliquent également par les conditions environnementales inhérentes aux lieux de courses : terrain (sol dur, sol souple, sol profond, etc), par le moment de l'année (début de la saison de course, fin de saison de course). Aussi, les conditions de course peuvent expliquer certaines différences : nombre de chevaux engagés, niveau de la course.

3- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du type de course

Pour la NGEF8, nos résultats sont similaires car nous n'observons pas de différence significative entre les catégories de courses (CEI1*, CEI2*, CEI3*).

Pour la NGEF9, il y avait une différence significative entre les courses CEI2* et les courses CEI1* et CEI3*, au troisième contrôle vétérinaire.

4- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de l'âge

Nos résultats divergent avec l'étude préliminaire. En effet, dans l'étude préliminaire, les chevaux de la catégorie « mature » avaient une NGEF8 moyenne significativement inférieure aux catégories « jeune » et « intermédiaire ». Alors que dans notre étude, ce sont les chevaux de la catégorie « jeune » qui avaient une NGEF8 moyenne inférieure aux autres catégories d'âge. Les mêmes résultats ont été obtenus avec la NGEF9.

5- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de la race

Concernant la race, nos résultats sont similaires avec l'étude préliminaire. Nous n'observons pas de différence significative entre les races (Arabe versus autres), pour la NGEF8 et la NGEF9.

6- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du temps de récupération

Dans l'étude préliminaire, un résultat aberrant avait été observé. Dans notre étude, nous n'observons pas de différence significative de la NGEF8 et de la NGEF9 selon les temps de récupération.

7- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de la fréquence cardiaque et de l'indice de récupération cardiaque

Nos résultats sont similaires avec l'étude préliminaire, nous n'observons pas d'association significative entre la NGEF8 et la fréquence cardiaque, et entre la NGEF9 et la fréquence cardiaque.

Aussi, comme dans l'étude préliminaire, la NGEF8 et la NGEF9 n'est pas significativement corrélée à l'indice de récupération cardiaque.

8- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du classement au cours de la course

Dans l'étude préliminaire, aucune différence significative n'avait été observée. Dans notre étude, les chevaux appartenant au troisième quartile au contrôle vétérinaire 5 ont une NGEF8 moyenne supérieure aux chevaux appartenant à ce même quartile aux contrôles vétérinaire 1,2 et 3. Pour les chevaux appartenant au quatrième quartile, la NGEF8 moyenne au contrôle vétérinaire 5 était significativement supérieure à la NGEF8 moyenne au contrôle vétérinaire 1. Aussi, nous avons pu observer une corrélation entre la NGEF8 et la distance pour les chevaux appartenant au troisième et quatrième quartile.

Par ailleurs, au premier contrôle vétérinaire, les chevaux du premier quartile ont une NGEF8 moyenne plus élevée que les chevaux des autres quartiles. Au cinquième contrôle vétérinaire, les chevaux du premier quartile ont une note inférieure aux chevaux des autres quartiles.

Les résultats concernant la NGEF9 sont relativement similaires. Cependant, concernant les chevaux du troisième quartile, la NGEF9 moyenne au contrôle vétérinaire 2 était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne au contrôle vétérinaire 3. Concernant les chevaux du quatrième quartile, la NGEF9 moyenne au contrôle vétérinaire 5 était significativement supérieure à la NGEF9 moyenne au contrôle vétérinaire 1. Aussi, la NGEF9 moyenne et la distance sont corrélées pour les chevaux appartenant au troisième et quatrième quartile uniquement. Enfin, la NGEF9 moyenne parmi les chevaux du premier quartile était significativement supérieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux des troisième et quatrième quartile au contrôle vétérinaire initial.

9- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du statut final

Dans l'étude préliminaire, les chevaux éliminés avaient une NGEF8 moyenne supérieure aux chevaux classés uniquement au troisième contrôle vétérinaire. Dans notre étude, la NGEF8 moyenne était supérieure pour les chevaux éliminés par rapport aux chevaux classés pour les contrôles vétérinaires 1 à 4. Aussi, nous avons pu observer une corrélation entre le contrôle vétérinaire et la NGEF8 chez les chevaux éliminés et chez les chevaux classés.

Des résultats similaires ont été observés concernant la NGEF9.

10- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de l'issue du contrôle vétérinaire n

Nous avons pu observer que la NGEF8 moyenne parmi les chevaux éliminés au contrôle vétérinaire 4 était significativement supérieure à la NGEF8 moyenne parmi les chevaux éliminés aux contrôles vétérinaire 1,2 et 3.

Les mêmes résultats sont obtenus pour la NGEF9. On a pu mettre en évidence que la NGEF9 moyenne parmi les chevaux éliminés au contrôle vétérinaire 1 était significativement inférieure à la NGEF9 moyenne parmi les chevaux éliminés au contrôle vétérinaire 2.

11- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction de l'issue du contrôle vétérinaire n+1 et n+2

Dans l'étude préliminaire, l'aspect prédictif de la NGEF8 n'avait pas été observé. Dans notre étude, la NGEF8 moyenne aux contrôles vétérinaires 1,2,3 était prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire suivant. Aussi, la NGEF8 moyenne était prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2 pour les chevaux du contrôle vétérinaire 2.

Des résultats similaires ont été observés concernant la NGEF9. Nous avons pu observer également que la NGEF9 était prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2 pour les chevaux du contrôle initial.

12- Au sujet de la NGEF9 et de la NGEF8 en fonction du motif d'élimination

Comme dans l'étude préliminaire, nous n'avons pas observé de différence significative, pour la NGEF8 et la NGEF9 en fonction du motif d'élimination.

13-Synthèse des résultats concernant la NGEF9 et la NGEF8

Le tableau 15 rassemble l'ensemble des résultats décrits ci-dessus.

Tableau 15 – Tableau de synthèse des résultats concernant la NGEF9 et la NGEF8

		NGEF8	NGEF9
Paramètres de course	Contrôles vétérinaires ou distance	NGEF8 corrélée aux VET NGEF8 VET0 < NGEF8 VET1,2,3,4,5,6	Similaire à NGEF8 Aussi, NGEF9 VET1 < NGEF9 VET3,4,5
Caractéristique de course	Lieu de course	Si humidité ≥ 87% : NGEF8 corrélée aux VET	Similaire à NGEF8
	Type de course	Pas de différence significative	VET 3 : NGEF9 CEI2* > NGEF9 CEI1* et CEI3*
	Âge	NGEF8 « Jeune » < NGEF8 « Mature » « Intermédiaire »	Similaire à NGEF8
	Race	Pas de différence significative	Similaire à NGEF8
Critères cliniques pendant la course	Temps de récupération	Pas de différence significative	Similaire à NGEF8
	Fréquence cardiaque et Indice de récupération cardiaque	Pas de différence significative	Similaire à NGEF8
Performances de course	Classement	Q3 : NGEF8 VET 5 > NGEF8 VET1,2,3 et NGEF8 corrélée aux VET Q4 : NGEF8 VET5 > NGEF8 VET1 et NGEF8 corrélée aux VET VET 1 : NGEF8 Q1 > NGEF8 Q2,3,4 VET 5 : NGEF8 Q1 < NGEF8 Q2,3,4	Q3 : NGEF9 VET2 < NGEF9 VET3 et NGEF9 corrélée aux VET Q4 : NGEF9 VET5 > NGEF9 VET1 et NGEF9 corrélée aux VET VET 1 : NGEF9 Q1 > NGEF9 Q3,4
	Statut final	VET1 à 4 : NGEF8 Éliminés > NGEF8 Classés Éliminés : NGEF8 corrélée aux VET Classés : NGEF8 corrélée aux VET	Similaire à NGEF8
	Statut au contrôle vétérinaire n	NGEF8 Éliminés VET4 > NGEF8 Éliminés VET1,2,3	Similaire à NGEF8 NGEF9 Éliminés VET1 < NGEF9 Éliminés VET2
	Statut au contrôle vétérinaire n+1 et n+2	Prédictif n+1 pour VET1,2,3 Prédictif n+2 pour VET2	Similaire à NGEF8 Aussi, prédictif n+2 pour VET0
	Motif d'élimination	Pas de différence significative	Similaire à NGEF8

d. Au sujet des résultats de l'analyse statistique de la NGEF3

Le tableau 16 est une synthèse des résultats de l'analyse statistique de la NGEF3.

Tableau 16 - Tableau de synthèse des résultats concernant la NGEF3

		NGEF3
Paramètres de course	Contrôles vétérinaires ou distance	NGEF3 corrélée aux VET NGEF3 VET0 < NGEF3 VET1,2,3,4,5,6 NGEF3 VET1 < NGEF3 VET3
Caractéristique de course	Lieu de course	Si humidité ≥ 87% : NGEF3 corrélée aux VET
	Type de course	VET 3 : NGEF3 CEI1* < NGEF3 CEI2* VET4 : NGEF3 CEI2* < NGEF3 CEI3*
	Âge	NGEF3 « Jeune » < NGEF3 « Intermédiaire »
	Race	Pas de différence significative
Critères cliniques pendant la course	Temps de récupération	Pas de différence significative
	Fréquence cardiaque et Indice de récupération cardiaque	NGEF3 corrélée à la fréquence cardiaque de récupération NGEF3 « <54 bpm » < NGEF4 « >62bpm » NGEF3 IRC=0 < NGEF3 IRC <0 et IRC <0
Performances de course	Classement	Q3 : NGEF3 VET1 < NGEF3 VET5 et NGEF3 corrélée aux VET Q4 : NGEF3 corrélée aux VET VET1 : NGEF3 Q1 > NGEF3 Q4 VET 5 : NGEF3 Q1 < NGEF3 Q3
	Statut final	VET2,4 : NGEF3 Éliminés > NGEF3 Classés Éliminés : NGEF3 corrélée aux VET Classés : NGEF3 corrélée aux VET
	Statut au contrôle vétérinaire n	NGEF3 Éliminés VET1 < NGEF3 Éliminés VET4 NGEF3 Éliminés corrélée aux VET
	Statut au contrôle vétérinaire n+1 et n+2	Prédicatif n+1 pour VET 1 Prédicatif n+2 pour VET2
	Motif d'élimination	Pas de différence significative

Les résultats de la NGEF3 concernant les paramètres et les caractéristiques de course sont relativement similaires à ceux obtenus avec la NGEF8 et la NGEF9.

Par ailleurs, les résultats de la NGEF3 concernant les critères cliniques diffèrent avec ceux obtenus avec la NGEF8 ou la NGEF9. En effet, nous avons pu observer que la NGEF3 était corrélée à la fréquence cardiaque de récupération et que la NGEF3 moyenne pour les chevaux ayant une IRC = 0 était significativement inférieure à la NGEF3 moyenne parmi ceux ayant une IRC supérieure ou inférieure à 0.

Concernant les performances de course, les résultats obtenus avec la NGEF3 moyenne étaient relativement similaires à ceux obtenus avec la NGEF8 ou la NGEF9.

8. Discussion

a. Apports de l'étude

Cette étude s'inscrit dans la continuité du travail réalisé par Chloé Herfroy (2020) au sujet de l'utilisation des expressions faciales dans l'évaluation de l'état de fatigue chez les chevaux à l'effort. Il s'agit de la première étude combinant les expressions faciales et l'attitude générale dans cette évaluation. Cette étude apporte de nouveaux éléments de réponse par rapport à l'étude précédente et laisse place à de nouvelles perspectives concernant l'utilisation des expressions faciales et de l'attitude générale dans la gradation du niveau de fatigue chez les chevaux en courses d'endurance.

Premièrement, notre protocole d'étude est fondé sur le protocole mis en place dans l'étude préliminaire. La récolte des données (protocole de réalisation des vidéos et de notation) ainsi que l'analyse réalisée (analyse de la reproductibilité, analyse descriptive, analyse statistique) sont similaires entre les deux études afin de s'inscrire dans la continuité du travail réalisé. De nouveaux éléments ont été ajoutés afin de compléter et d'approfondir notre étude en répondant aux limites rencontrées dans l'étude préliminaire. En effet, l'effectif de notre étude est plus important que l'effectif de l'étude préliminaire (744 vidéos analysées dans notre étude contre 516 dans l'étude préliminaire) de manière à augmenter la puissance statistique dans notre étude (Desquilbet, 2022a). Aussi, les courses de notre étude présentaient des conditions de terrain et de climat plus variées que les courses de l'étude préliminaire dans le but d'observer l'impact de ces variations sur les éliminations et sur la note globale d'expression faciale. De plus, l'analyse de la concordance inter-opérateur a été réalisée avec deux vétérinaires équins de manière à comparer la notation entre deux experts. Les deux vétérinaires sollicités dans cette étude sont habitués des courses d'endurance et des contrôles vétérinaires mais sont toutefois novices en notation des expressions faciales. Enfin, la grille de notation a été modifiée avec l'ajout du critère posture.

Deuxièmement, comme pour l'étude préliminaire, nous avons pu observer que la note globale des expressions faciales et de l'attitude générale augmentait durant la course. L'étude préliminaire avait mis en avant qu'une augmentation de la note d'expression faciale en fonction de la distance pouvait traduire l'apparition d'un état de fatigue pendant la course. Ici, l'utilisation de l'attitude générale, décrite comme un indicateur d'état émotionnel (Sénèque *et al.*, 2019) et donc potentiellement indicatrice d'un état de fatigue, est apparue être un critère supplémentaire et complémentaire aux huit critères faciaux initiaux. En effet, le critère posture est apparu dans notre étude comme un critère avec une reproductibilité acceptable. Aussi la note attribuée au critère posture présente une augmentation globale pendant la course avec une diminution du nombre de 0 associée à une augmentation du nombre de 1 et de 2. Enfin, les résultats de l'analyse statistique de la NGEF9 par rapport à la NGEF8 sont relativement en accord.

Par ailleurs, nous avons pu mettre en évidence une différence significative de la note globale en fonction du statut classé/éliminé pour les contrôles vétérinaires 1 à 4. L'étude préliminaire ne montrait qu'une différence significative entre les chevaux éliminés et les chevaux classés au 3^{ème} contrôle vétérinaire. Nos résultats sont davantage en accord avec les hypothèses et nous confortent dans l'utilisation des expressions faciales et de l'attitude générale dans la gradation du niveau de fatigue chez le cheval d'endurance.

Nous avons complété notre étude avec l'analyse statistique de la note globale d'expression faciale sur 3 critères (position des oreilles, mâchonnement et posture) car ceux-ci présentaient la meilleure reproductibilité. Il est apparu que nous avons pu observer une association significative entre la NGEF3 et des critères cliniques de fatigue (fréquence cardiaque de récupération et indice de récupération cardiaque). Ces trois critères semblent donc intéressants dans la gradation de l'état de fatigue chez le cheval d'endurance, d'autant plus que ce sont des critères ayant une concordance inter-opérateur acceptable.

De plus, une des limites rencontrées dans l'étude préliminaire était des conditions météorologiques favorables avec un temps frais et peu humide, il avait été suggéré que des conditions moins favorables comme un temps chaud et humide constitueraient un stress plus élevé pour les compétiteurs et induirait probablement davantage de fatigue. Dans notre étude, les deux courses avec des taux d'humidité importants (87%) et des températures élevées (< 23°C) ont eu des notes globales significativement corrélées à la distance, comparées à la course de Fontainebleau qui s'est déroulée sous des températures plus fraîches et avec une humidité moins élevée.

Aussi, la note globale était significativement plus élevée chez les chevaux éliminés en fonction de la distance pour les contrôles vétérinaires 1 à 4. Cette augmentation n'avait pas été observée dans l'étude préliminaire et est à mettre en relation avec l'évolution de la note globale en fonction du classement. En effet, il a été montré que les chevaux concourant en tête au début de la course avaient une note globale plus élevée que les autres concurrents, puis à partir du 5^{ème} contrôle vétérinaire ce sont les chevaux en bas de classement qui présentent une note globale plus élevée. Cette observation pourrait traduire le fait que les chevaux poussés en tête de course dès le début de la course présentent plus rapidement un état de fatigue avancé.

Par ailleurs, les courses de notre étude présentent toutes un nombre relativement élevé de concurrents au départ : l'étude de Nagy et al. (2014) avait observé qu'un grand nombre de participants était un facteur de risque d'élimination qu'il était possible d'associer à une monte plus compétitive.

De plus, notre étude a mis en évidence une différence significative de la note globale entre les catégories de course. Notre approche était différente de l'étude préliminaire puisque nous avons regroupés les courses en trois catégories (CEI1*, CEI2*, CEI3*). Dans l'étude préliminaire, les catégories de course étudiée étaient : amateur 1, amateur 1 grand prix, amateur élite, amateur élite grand prix, amateur élite 2 x 70 km, CEI1*, CEI2* et CEI2* jeunes cavaliers. Il a été observé une différence significative de la note globale entre les courses CEI2* et les CEI1*/CEI3* au troisième contrôle vétérinaire. Cette différence entre les catégories peut être expliquée par le fait qu'au troisième contrôle vétérinaire, les chevaux concourant pour les courses CEI1* arrivent à la fin de leurs courses. Ainsi, les chevaux encore en course au 3^{ème} contrôle vétérinaire sont ceux ayant été jugés apte à finir la course. De même, les chevaux concourant pour les courses CEI3* sont au moment du 3^{ème} contrôle vétérinaire à mi-chemin avec la fin de la course, ils apparaissent donc moins fatigués que les chevaux des courses CEI2* qui ont réalisés ¾ de l'effort demandé.

Troisièmement, l'étude des expressions faciales associées à l'attitude générale est apparue comme prédictive d'une élimination. Cette observation n'avait pas été possible dans l'étude préliminaire. Il a été possible de montrer que la note globale était un paramètre prédictif d'une élimination au contrôle vétérinaire suivant pour les chevaux présentés durant les trois premiers contrôles vétérinaires. Les chevaux présentant une note globale de 5 au contrôle vétérinaire 1 et 2 sont plus

susceptibles d'être éliminés au contrôle vétérinaire suivant. Et, les chevaux avec une note globale de 6 au contrôle vétérinaire 3 sont plus susceptibles d'être éliminés au contrôle vétérinaire 4. Aussi, la note globale était prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire n+2 pour les chevaux présentés au contrôle initial et au deuxième contrôle vétérinaire.

Tout comme l'étude préliminaire, il n'a pas été possible de montrer une différence significative de la note globale en fonction du motif d'élimination. Ces résultats sont décevants car la littérature montre que les chevaux éliminés pour cause métabolique ont un temps de récupération plus long, une fréquence cardiaque plus élevée que les chevaux éliminés pour cause de boiterie (Younes *et al.*, 2015, 2013). Cependant, la relation entre troubles métaboliques et boiterie est complexe. La cause initiale (déshydratation, irrégularité d'allure, ...) n'est pas nécessairement la manifestation clinique la plus évidente, et n'est donc pas nécessairement la cause d'élimination.

Dans une étude récente (Dyson et Pollard, 2023), le comportement a été étudié chez des chevaux présentant des contre-performances. Le Ridden Horse Pain Ethogram (RHpE) a été développé par Dyson et al. (2018) pour faciliter la détection de la douleur chez les chevaux montés ; il regroupe 24 comportements dont la majorité s'avèrent être dix fois plus présents chez les chevaux souffrant des troubles musculosquelettiques que chez les chevaux sains.

Dans l'étude de 2023, le RHpE a été évalué avant et après une anesthésie diagnostic chez des chevaux ayant un historique de contre-performances. Les chevaux présentaient un grade de boiterie de 2/8 en moyenne (minimal 0 - maximal 4) lorsqu'ils étaient montés. Le RHpE était en moyenne de 9/24 avant l'anesthésie diagnostic. Il a été mis en évidence que chacun des 24 comportements ont été réduits après l'anesthésie diagnostic. Les comportements montrant la plus grande réduction d'occurrence après anesthésie sont : les mouvements de bas en haut de la tête, l'inclinaison répétée de la tête, les oreilles en arrière, les bâillements. Cette étude met en évidence que le jugement d'une irrégularité d'allure de bas grade ou d'une contre-performance doit être envisagé par un examen monté, ce qui n'est pas le cas lors des contrôles vétérinaires en course d'endurance où les chevaux sont examinés en main au trot uniquement en ligne droite. Aussi, l'utilisation d'indicateurs comportementaux est intéressante dans la détection précoce des troubles musculosquelettiques (Dyson *et al.*, 2018 ; Dyson et Pollard, 2023, 2020).

Il est alors possible de suggérer que les boiteries de bas grade sont sous-estimées en course d'endurance compte tenu des conditions d'examen, de nouvelles études visant à détecter les boiteries grâce à l'utilisation d'une grille comportementale comme la RHpE seraient intéressantes.

Comme dans l'étude préliminaire, nos résultats divergent avec la littérature et nous n'avons pas observé de différence significative entre la note globale et le temps de récupération alors que ce paramètre est un marqueur de fatigue (Younes *et al.*, 2013).

Dans notre étude nous n'avons pas montré de différence significative de la note globale selon la race. Ces résultats s'accordent avec les résultats de l'étude préliminaire et avec les données de la littérature (Herfroy, 2020 ; van Loon et Van Dierendonck, 2017).

La littérature ne rapporte pas d'influence de l'âge sur les expressions faciales (van Loon et Van Dierendonck, 2015). Cependant, nous avons pu observer que les chevaux jeunes avaient des notes globales plus faibles que les chevaux d'âge intermédiaire ou les chevaux matures. Nos résultats divergent également avec les résultats de l'étude préliminaire.

b. Limites de l'étude

La limite principale de notre étude est le manque de reproductibilité. La reproductibilité a été étudiée avec deux opérateurs vétérinaires équins, habitués des chevaux d'endurance, mais n'ayant pas d'expérience dans la gradation des expressions faciales et de l'attitude générale chez le cheval. Ceux-ci n'ont pas reçu de formation mais ont reçu la grille de notation détaillée avec des images permettant d'illustrer les différents grades pour chaque critère de notation. Leurs notations se sont avérées être relativement différentes entre eux et par rapport à notre notation, avec des différences de plus de 2 points de note globale pour un même cheval. Ainsi, la concordance inter-opérateur s'est avérée être médiocre pour la note globale, inacceptable pour 6 critères et acceptable pour 3 critères de la grille de notation. Cette limite était attendue compte tenu des résultats obtenus dans l'étude préliminaire. En effet, la gradation des expressions faciales est peu aisée pour des observateurs non entraînés, elle requiert une formation et un entraînement préalable. Ces résultats sont cependant conformes avec la littérature (Dai *et al.*, 2020), une formation est nécessaire pour réduire l'écart dans la notation des expressions faciales.

Par ailleurs, l'utilisation de la vidéo a comme avantage de présenter aux deux opérateurs des données strictement similaires. Cependant, elle présente comme désavantage d'être circonscrite à un cadrage, d'être limitée à une durée et de dépendre de la luminosité à l'instant t de sa réalisation. Ces désavantages peuvent être perçus comme des biais de notre étude.

Le nombre de vidéos obtenu dans notre étude est supérieur à celui de l'étude préliminaire, une augmentation de la taille de l'échantillon est satisfaisante afin de garantir un échantillon représentatif. La répartition des vidéos selon les contrôles vétérinaires est relativement similaire à l'étude préliminaire avec une plus grande représentation des contrôles vétérinaires 2 et 3 par rapport aux contrôles vétérinaires initial, 4 et 5.

Les conditions de prise des films étaient similaires à l'étude préliminaire et rencontrent les mêmes limites. En effet, la vidéo était réalisée durant l'auscultation cardiaque donc lorsque le vétérinaire interagit avec le cheval ce qui peut influencer certains de nos critères comme la position des oreilles. De même, toutes les aires de contrôles vétérinaires étaient en extérieur sous des tonnelles avec de nombreuses perturbations extérieures : autres chevaux à proximité, nombreuses personnes aux alentours. La présence du téléphone filmant le cheval influence également le comportement du cheval. Nous avons tenu compte de ce facteur en nous éloignant du cheval et en utilisant un objectif grand angle pour cadrer au mieux le cheval sans avoir besoin de se placer à proximité.

Le temps de vidéo a été raccourci par rapport à l'étude préliminaire (4 secondes dans notre étude contre 7 secondes dans l'étude préliminaire). Ce temps a été choisi afin de garantir un maximum de vidéo exploitables pour notre étude. Ce temps est très court et ne permet qu'une vision succincte des paramètres évolutifs comme la position des oreilles, la fixité de l'œil ou le mâchonnement. Dans la littérature, les temps d'observation utilisés sont nettement plus long, jusqu'à 10 minutes dans l'étude de Gleerup *et al.* (2015), et dans d'autres études ce temps est court, avec 15 secondes (Dalla Costa *et al.*, 2014). Cependant, en course d'endurance, la réalisation de l'examen clinique est rapide. Ainsi, en conditions de terrain, le temps alloué à l'évaluation des expressions faciales ne pourra pas être très élevé.

Une limite dans le protocole de l'étude avait été énoncée dans l'étude préliminaire, il s'agit de l'étalonnage de la notation allant de 0 à 2. Cet étalonnage laisse la possibilité de donner un avis neutre (note de 1), ce qui n'est pas possible avec une note paire (par exemple de 0 à 4). Cependant,

dans notre étude, seuls deux critères sur les 9 semblent impactés par ce choix de notation (tension de la région frontale et tension des muscles masticateurs). L'ensemble des autres critères varie avec la distance parcourue. Il est possible que les tensions de la région frontale et des muscles masticateurs soient plus difficiles à évaluer et qu'ainsi leurs notes varient peu. Aussi, des éléments de l'examen clinique en course d'endurance sont également notés selon trois valeurs (temps de remplissage capillaire, tonus musculaire, sensibilité dorsale (FEI, 2022)). Ces observations sont relativement similaires aux observations de l'étude préliminaire qui avait noté que 2 critères parmi les 8 étudiés semblaient peu évoluer (ouverture de l'œil et mâchonnement). Dans notre étude, ce ne sont pas les mêmes critères qui évoluent peu (tension de la région frontale et tension des muscles masticateurs).

Concernant le critère position des oreilles, nous avons pu noter qu'il variait fortement dans l'étude préliminaire, avec une diminution du nombre de 0 et une augmentation du nombre de 1 et de 2 pendant la course. Dans notre étude, ces variations ont été observées uniquement jusqu'au contrôle vétérinaire 3. Or, dans l'étude préliminaire, l'étude des variations au cours de la course s'effectue uniquement jusqu'au contrôle vétérinaire 4, alors que dans notre étude nous effectuons cette analyse jusqu'au contrôle vétérinaire 6. Ainsi, nous pouvons envisager que si les courses de l'étude préliminaire se déroulaient sur des distances similaires à celles de notre étude, et donc avec un nombre de contrôle vétérinaire similaire, alors la description du critère position des oreilles aurait été similaire.

Concernant le critère ouverture de l'œil, ce critère présentait peu de variations dans l'étude préliminaire alors qu'il présentait de fortes variations (diminution du nombre de 0, augmentation du nombre de 1 et de 2) dans notre étude. Nous pouvons envisager que ce critère était apparu comme difficile à noter dans l'étude préliminaire (reproductibilité de 0,03 dans l'étude préliminaire, contre minimum 0,26 dans notre étude). Ainsi, l'ouverture de l'œil est un critère relativement subjectif avec une concordance inter-opérateur inacceptable pouvant expliquer ces différences de variation entre les deux études.

Concernant les critères tension de la région frontale et tension des muscles masticateurs, de fortes variations étaient notées dans l'étude préliminaire alors que nous n'observons pas de variations dans notre étude. Il est envisageable que ces critères, ayant une reproductibilité inacceptable d'après l'analyse de la concordance inter-opérateur, nous soit apparus plus difficile à noter que les autres critères de la grille de notation. Ces deux critères étaient apparus comme les plus difficiles à noter dans l'étude de Dalla Costa et al. (Dalla Costa *et al.*, 2014) avec 21% de vidéos n'ayant pas été notées pour le critère tension de la région frontale et 15% des vidéos n'ayant pas été notées pour le critère tension des muscles masticateurs. Comme le critère ouverture de l'œil, la concordance inter-opérateur est inacceptable pour ces deux critères, ce qui peut expliquer les différences observées.

Concernant le critère mâchonnement, ce critère présentait peu de variation dans l'étude préliminaire alors que dans notre étude nous avons observé que ce critère présentait une augmentation du nombre de 0 et une diminution du nombre de 1 et de 2. Une diminution de la note globale du critère mâchonnement pendant la course est surprenante et n'est observée pour aucun autre critère de la grille de notation. Il est concevable que le mâchonnement soit un comportement inversement proportionnel à la présence d'une tension des muscles masticateurs. Ainsi, nous pouvons suggérer que la présence de mâchonnement soit davantage une mimique de stress ou d'excitation, plutôt que liée à un état de fatigue ou une douleur. Par ailleurs, aucune association significative entre la

présence de mâchonnement et la douleur n'avait été démontrée dans l'étude de Glerup et al. (2015).

Les autres critères étudiés présentent des variations similaires entre l'étude préliminaire et notre étude.

Notre effectif étant composé en majorité par des chevaux de race Arabe ou apparentés, ceci explique en partie pourquoi nous n'avons pas mis en évidence de différence dans la note globale en fonction de la race. Ce résultat était attendu et en accord avec les résultats de l'étude préliminaire.

Concernant les conditions d'examen, il apparaît également que le choix des courses de notre étude favorisait les éliminations par troubles métaboliques (temps chaud et humide)(Foreman, 1998 ; Robert, 2014). Cette observation était vérifiée dans l'étude préliminaire et nous avons également pu le montrer dans notre étude.

L'évaluation des expressions faciales et de la posture dans notre étude ne prend pas en compte un certain nombre de paramètres pouvant être des témoins de l'état de fatigue chez le cheval, et plus généralement de son état de bien-être. Nous avons évoqué précédemment que l'évaluation du bien-être du cheval peut être réalisée sous différents aspects (comportementale, physiologique, émotionnelle). Les valeurs des paramètres hémato-biochimiques (électrolytes, lactates, protéines totales, hémocrite) sont des témoins de troubles métaboliques, parfois sans répercussions sur le statut final des chevaux en course d'endurance (Robert, 2014). La prise en compte de données physiologiques telles que les paramètres hémato-biochimique serait intéressante à évaluer à la lueur des données comportementales telles que les expressions faciales ou l'attitude générale.

De plus, notre étude ne prend pas en compte l'âge, le genre du cavalier ou bien l'état d'entraînement du cheval qui sont des paramètres ayant été identifiés comme des facteurs de risque d'élimination (Bennet *et al.*, 2020). La présence d'affections subcliniques, à l'origine de contre-performance ou d'éliminations (Fraipont *et al.*, 2011) n'a pas été prise en compte également mais pourrait impacter la note globale d'expression faciale et de l'attitude générale sans que le cheval n'ait été éliminé.

Enfin, notre étude s'est déroulée exclusivement en France, dans des conditions de températures tempérées et avec des sols variés mais relativement similaires entre les lieux de courses. Or, l'étude de Bennet et Parkin (2018a) a pu identifier que les courses ayant lieu en Afrique du Nord ou au Moyen-Orient présentaient des taux d'éliminations pour raison métabolique plus élevés. Nos résultats seraient sûrement différents dans ces pays où les conditions climatiques sont plus exigeantes pour un effort intense de longue durée comme en course d'endurance.

c. Perspectives

Les résultats de notre étude sont satisfaisants car nous avons pu mettre en évidence une différence significative dans les expressions faciales et l'attitude générale entre les chevaux éliminés et les chevaux classés. Aussi, la note globale tend à augmenter avec la distance et celle-ci s'avère prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire suivant. Ces résultats sont cependant à nuancer compte tenu des limites de reproductibilité que nous avons pu observer.

Il serait intéressant de prolonger cette étude sur le terrain après avoir formé des vétérinaires équins, habitués aux courses d'endurance, à la notation des expressions faciales et de l'attitude générale. La formation pourrait comprendre une présentation approfondie de chacun des critères de la grille

par un formateur expérimenté, puis par un entraînement sur de courtes vidéos avant d'effectuer un essai sur le terrain. Chaque vétérinaire noterait alors selon la grille de notation des expressions faciales et de l'attitude générale chaque cheval, au même moment de l'examen clinique, par exemple après avoir pris la deuxième fréquence cardiaque. La notation devra être réalisée en un temps limité dans un souci de standardisation, sans interagir avec le cheval. Les résultats de cet essai sur le terrain pourraient faire l'objet d'une analyse statistique.

Conclusion

Cette étude, réalisée à la suite de l'étude de Chloé Herfroy (2020) à partir de 744 vidéos obtenues sur trois compétitions d'endurance internationales en France avait pour but de valider les résultats précédemment obtenus et d'explorer l'évolution des expressions faciales et de l'attitude générale pendant la course. Nous avons utilisé la grille de l'étude précédente à laquelle nous avons associé l'attitude générale comme critère supplémentaire. Comme pour l'étude préliminaire, une note de 0 à 2 était attribuée à chacun des neuf critères de la grille, pour chacune des vidéos réalisées. Notre objectif était dans un premier temps de déterminer si les résultats de notation étaient répétables entre évaluateurs ; puis dans un second temps d'analyser les résultats selon des paramètres de courses afin d'établir si les expressions faciales et l'attitude générale pouvaient être liées à un état de fatigue. Enfin, l'objectif était de déterminer si la note globale était significativement différente chez les chevaux éliminés et chez les chevaux classés, et d'identifier si la note globale était prédictive d'un état de fatigue.

Cette étude montre que la note d'expression faciale et d'attitude générale augmente pendant la course. Parmi les 9 critères étudiés, deux évoluent peu : la tension de la région frontale et la tension des muscles masticateurs. Aussi, la notation est peu reproductible entre deux opérateurs novices dans la gradation des expressions faciales et de l'attitude générale. Nous avons pu mettre en évidence que la note globale était corrélée aux éliminations et au classement sans pouvoir la mettre en relation avec des paramètres indicateurs de l'état de fatigue comme la fréquence cardiaque ou l'indice de récupération cardiaque. Nous pouvons ainsi envisager que les expressions faciales et l'attitude générale sont des indicateurs intéressants dans l'évaluation du niveau de fatigue, d'autant plus que nous avons pu montrer qu'il était possible de prédire une élimination selon la note globale obtenue.

La suite de notre étude serait d'envisager un test de la grille de notation en condition de terrain, après avoir formé des vétérinaires équins habitués des courses d'endurance à la notation des expressions faciales et de l'attitude générale.

Liste des références bibliographiques

®APPLE INC. (2011) [Logiciel], AirDrop iOS 16.2. Cupertino, Californie, Etats-Unis.

ATRM SYSTEMS (2022) Résultats passés et listes de départ. In *ATRM Systems*. [<https://atrm-systems.fr/Past.html>] (consulté le 19/04/2023).

BENNET, E.D., HAYES, M.E., FRIEND, L., *et al.* (2020) The association between clinical parameters recorded at vet gates during Fédération Equestre Internationale endurance rides and the imminent risk of elimination. *Equine Veterinary Journal* vol. 52, n° 6, p. 832-840. [<https://doi.org/10.1111/evj.13264>]

BENNET, E.D., PARKIN, T.D.H. (2018a) Fédération Equestre Internationale endurance events: Risk factors for failure to qualify outcomes at the level of the horse, ride and rider (2010–2015). *The Veterinary Journal* vol. 236, p. 44-48. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.011>]

BENNET, E.D., PARKIN, T.D.H. (2018b) Fédération Equestre Internationale (FEI) endurance events: Riding speeds as a risk factor for failure to qualify outcomes (2012–2015). *The Veterinary Journal* vol. 236, p. 37-43. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.012>]

BLAND, J., ALTMAN, D. (1999) Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* vol. 8, n° 2, p. 135. [<https://doi.org/10.1177/096228029900800204>]

BUSSIÈRES, G., JACQUES, C., LAINAY, O., *et al.* (2008) Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Research in Veterinary Science* vol. 85, n° 2, p. 294-306. [<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2007.10.011>]

DAI, F., LEACH, M., MACRAE, A.M., *et al.* (2020) Does Thirty-Minute Standardised Training Improve the Inter-Observer Reliability of the Horse Grimace Scale (HGS)? A Case Study. *Animals* vol. 10, n° 5, p. 781. [<https://doi.org/10.3390/ani10050781>]

DALLA COSTA, E., MINERO, M., LEBELT, D., *et al.* (2014) Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a Pain Assessment Tool in Horses Undergoing Routine Castration. *PLoS One* vol. 9, n° 3, p. e92281. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092281>]

DALLA COSTA, E., STUCKE, D., DAI, F., *et al.* (2016) Using the Horse Grimace Scale (HGS) to Assess Pain Associated with Acute Laminitis in Horses (*Equus caballus*). *Animals* vol. 6, n° 8, p. 47. [<https://doi.org/10.3390/ani6080047>]

DARWIN, C. (1877) *L'expression des émotions chez l'homme et les animaux*, 2ème éd. Paris, C. Reinwald et Cie.

DESQUILBET, L. (2022a) Guide pratique de validation statistique de méthodes de mesure : répétabilité, reproductibilité, et concordance. Polycopié. Maisons-Alfort, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, UC0213 - Communication et réglementation dans la profession vétérinaire.

DESQUILBET, L. (2022b) Introduction aux tests statistiques multiples. Polycopié. Maisons-Alfort, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, UC0213 - Communication et réglementation dans la profession vétérinaire.

DESQUILBET, L. (2022c) Biostatistique en médecine vétérinaire. Polycopié. Maisons-Alfort, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, UC0213 - Communication et réglementation dans la profession vétérinaire.

DI BATTISTA, C., CONTE, M., PEPE, M., *et al.* (2019) Epidemiology and risk factors for eliminations from Fédération Equestre Internationale endurance rides between 2004–2015 in Italy. *Preventive Veterinary Medicine* vol. 170, p. 104737. [<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104737>]

DYSON, S., BERGER, J., ELLIS, A.D., *et al.* (2018) Development of an ethogram for a pain scoring system in ridden horses and its application to determine the presence of musculoskeletal pain. *Journal of Veterinary Behavior* vol. 23, p. 47-57. [<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.10.008>]

DYSON, S., POLLARD, D. (2023) Application of the Ridden Horse Pain Ethogram to 150 Horses with Musculoskeletal Pain before and after Diagnostic Anaesthesia. *Animals* vol. 13, n° 12, p. 1940. [<https://doi.org/10.3390/ani13121940>]

DYSON, S., POLLARD, D. (2020) Application of a Ridden Horse Pain Ethogram and Its Relationship with Gait in a Convenience Sample of 60 Riding Horses. *Animals* vol. 10, n° 6, p. 1044. [<https://doi.org/10.3390/ani10061044>]

FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE (2023) Veterinary Regulations. *In* Fédération Équestre Internationale. [https://inside.fei.org/sites/default/files/2023%20Veterinary%20Regulations%20-%20Clean_0.pdf] (consulté le 28/03/2023).

FÉDÉRATION EQUESTRE INTERNATIONALE (1991) FEI Code of Conduct of the Welfare of Horses. *In* Fédération Équestre Internationale. [<https://inside.fei.org/fei/your-role/veterinarians/welfare>] (consulté le 14/06/2023).

FEI (2022) Endurance Rules. *In* Fédération Équestre Internationale. [<https://inside.fei.org/sites/default/files/FEI%20Endurance%20Rules%20-%201%20January%202023%20-%20CLEAN%20-%20Gender%20Neutral.pdf>] (consulté le 05/07/2023).

FIELDING, C.L., DECHANT, J.E. (2012) Colic in competing endurance horses presenting to referral centres: 36 cases: Colic in competing endurance horses. *Equine Veterinary Journal* vol. 44, n° 4, p. 472-475. [<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2011.00462.x>]

FIELDING, C.L., MAGDESIAN, K.G., RHODES, D.M., *et al.* (2009) Clinical and biochemical abnormalities in endurance horses eliminated from competition for medical complications and requiring emergency medical treatment: 30 cases (2005-2006). *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* vol. 19, n° 5, p. 473-478. [<https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2009.00441.x>]

FOREMAN, J.H. (1998) The Exhausted Horse Syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* vol. 14, n° 1, p. 205-219. [[https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30220-1](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30220-1)]

FRAIPONT, A., VAN ERCK, E., RAMERY, E., *et al.* (2011) Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Veterinary Record* vol. 169, n° 6, p. 154-154. [<https://doi.org/10.1136/vr.d4142>]

GAUCHOT, J.-Y. (2023) Quels enjeux pour la profession vétérinaire dans les filières équinées face aux attentes sociétales du bien-être des équidés. *Séance de l'Académie Vétérinaire de France, le bien-être animal dans la filière équine*, École nationale vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, 27 avril 2023.

GENET, R. (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/content/avis-de-lances-relatif-au-«%C2%A0bien-être-animal-contexte-définition-et-évaluation-»>] (consulté le 05/07/2023).

GLEERUP, K.B., FORKMAN, B., LINDEGAARD, C., *et al.* (2015) An equine pain face. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* vol. 42, n° 1, p. 103-114. [<https://doi.org/10.1111/vaa.12212>]

HERFROY, C. (2020) Intérêt des expressions faciales dans l'évaluation du niveau de forme chez le cheval en course d'endurance. Thèse de médecine vétérinaire. École Nationale Vétérinaire d'Alfort.

LANDIS, J., KOCH, G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* vol. 33, n° 1, p. 74.

LANGLOIS, C., ROBERT, C. (2008) Épidémiologie des troubles métaboliques chez les chevaux d'endurance. *Pratique Vétérinaire Equine N°157* p. 51.

LE MOYEC, L., ROBERT, C., TRIBA, M.N., *et al.* (2019) A First Step Toward Unraveling the Energy Metabolism in Endurance Horses: Comparison of Plasma Nuclear Magnetic Resonance Metabolomic Profiles Before and After Different Endurance Race Distances. *Frontiers in Molecular Biosciences* vol. 6, p. 45. [<https://doi.org/10.3389/fmolb.2019.00045>]

LEGG, K.A., WESTON, J.F., GEE, E.K., *et al.* (2019) Characteristics of Endurance Competitions and Risk Factors for Elimination in New Zealand during Six Seasons of Competition (2010/11–2015/16). *Animals* vol. 9, n° 9, p. 611. [<https://doi.org/10.3390/ani9090611>]

LESIMPLE, C. (2020) Indicators of Horse Welfare: State-of-the-Art. *Animals* vol. 10, n° 2, p. 294. [<https://doi.org/10.3390/ani10020294>]

LESIMPLE, C., FUREIX, C., DE MARGERIE, E., *et al.* (2012) Towards a Postural Indicator of Back Pain in Horses (*Equus caballus*). *PLoS One* vol. 7, n° 9, p. e44604. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044604>]

LIN, L. (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* vol. 45, n° 1, p. 255.

MENZIES-GOW, N.J., STEVENS, K.B., SEPULVEDA, M.F., *et al.* (2010) Repeatability and reproducibility of the Obel grading system for equine laminitis. *Veterinary Record* vol. 167, n° 2, p. 52-55. [<https://doi.org/10.1136/vr.c3668>]

MICROSOFT® (2023) [Logiciel], Microsoft® Excel pour Mac Version 16.74 (23061100). Redmont, Etats-Unis.

NAGY, A., DYSON, S.J., MURRAY, J.K. (2017) Veterinary problems of endurance horses in England and Wales. *Preventive Veterinary Medicine* vol. 140, p. 45-52. [<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.02.018>]

NAGY, A., DYSON, S.J., MURRAY, J.K. (2012) A veterinary review of endurance riding as an international competitive sport. *The Veterinary Journal* vol. 194, n° 3, p. 288-293. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.022>]

NAGY, A., MURRAY, J.K., DYSON, S. (2010) Elimination from elite endurance rides in nine countries: A preliminary study: Elimination from endurance rides. *Equine Veterinary Journal* vol. 42, p. 637-643. [<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00220.x>]

NAGY, A., MURRAY, J.K., DYSON, S.J. (2014) Horse-, rider-, venue- and environment-related risk factors for elimination from Fédération Equestre Internationale endurance rides due to lameness and metabolic reasons: Risk factors for elimination from endurance rides. *Equine Veterinary Journal* vol. 46, n° 3, p. 294-299. [<https://doi.org/10.1111/evj.12170>]

PARTIK, B.L., STADLER, A., SCHAMP, S., *et al.* (2002) 3D Versus 2D Ultrasound: Accuracy of Volume Measurement in Human Cadaver Kidneys. *Investigative Radiology* vol. 37, n° 9, p. 489-495.

RASHID, M., SILVENTOINEN, A., GLEERUP, K.B., *et al.* (2020) Equine Facial Action Coding System for determination of pain-related facial responses in videos of horses. *PLoS One* vol. 15, n° 11, p. e0231608. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231608>]

ROBERT, C. (2014) Veterinary aspects of training and racing endurance horses. In Hinchcliff, K.W. (Éd.), *Equine Sports Medicine and Surgery*, 2ème éd. Edinburgh, W.B. Saunders, p. 1083-1106. [<https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4771-8.00052-1>]

SÉNÈQUE, E., LESIMPLE, C., MORISSET, S., *et al.* (2019) Could posture reflect welfare state? A study using geometric morphometrics in riding school horses. *PLoS One* vol. 14, n° 2, p. e0211852. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211852>]

SYMPHONY TECHNOLOGY LLC (2017) [Logiciel], Yamamah. Palo Alto, Calidornia, United States.

VANDIERENDONCK, M.C., VAN LOON, J.P.A.M. (2016) Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A validation study. *The Veterinary Journal* vol. 216, p. 175-177. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.08.004>]

VAN LOON, J.P.A.M., BACK, W., HELLEBREKERS, L.J., *et al.* (2010) Application of a Composite Pain Scale to Objectively Monitor Horses with Somatic and Visceral Pain under Hospital Conditions. *Journal of Equine Veterinary Science* vol. 30, n° 11, p. 641-649. [<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2010.09.011>]

VAN LOON, J.P.A.M., VAN DIERENDONCK, M.C. (2017) Monitoring equine head-related pain with the Equine Utrecht University scale for facial assessment of pain (EQUUS-FAP). *The Veterinary Journal* vol. 220, p. 88-90. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.01.006>]

VAN LOON, J.P.A.M., VAN DIERENDONCK, M.C. (2015) Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A scale-construction study. *The Veterinary Journal* vol. 206, n° 3, p. 356-364. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.023>]

WALTER, S., ELIASZIW, M., DONNER, A. (1998) Sample size and optimal designs for reliability studies. *Statistics in Medicine* vol. 15, n° 1, p. 101-110. [[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0258\(19980115\)17:1<101::aid-sim727>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0258(19980115)17:1<101::aid-sim727>3.0.co;2-e).]

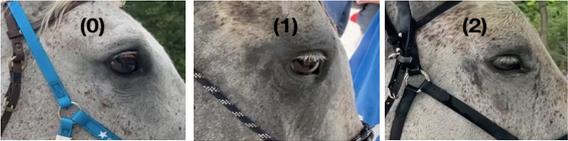
WATHAN, J., BURROWS, A.M., WALLER, B.M., *et al.* (2015) EquiFACS: The Equine Facial Action Coding System. *PLoS One* vol. 10, n° 8, p. e0131738. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131738>]

YOUNES, M., ROBERT, C., COTTIN, F., *et al.* (2015) Speed and Cardiac Recovery Variables Predict the Probability of Elimination in Equine Endurance Events. *PLoS One* vol. 10, n° 8, p. e0137013. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137013>]

YOUNES, M., ROBERT, C., COTTIN, F. (2013) Y-a-t-il une relation entre la vitesse, la récupération cardiaque et le risque d'élimination en course d'endurance de longue distance (80 à 160 km)? *39ème Journée de la Recherche Équine, Paris, 28 février 2013, pp 18-27.*

Annexes

Annexe 1 : Grille de lecture des expressions faciales et de l'attitude générale

<p>Critère 1 : Position des oreilles</p> <p>(0) Les oreilles sont majoritairement droites, pointées vers l'avant pendant toute la vidéo (1) Les oreilles sont en mouvement (2) Les oreilles sont majoritairement plaquées vers l'arrière pendant toute la vidéo</p> 	<p>Critère 2 : Ouverture de l'oeil</p> <p>(0) Les yeux sont bien ouverts (1) L'ouverture des yeux est réduite entre 10% et 50% (2) L'ouverture de l'oeil est réduite à plus de 50%</p> 
<p>Critère 3 : Tension de la région frontale</p> <p>(0) Les muscles ne sont pas contractés et la crête temporale est peu marquée (1) Les muscles sont modérément contractés et la crête temporale est marquée dorsalement uniquement (2) Les muscles sont contractés et la crête temporale est visible dorsalement et ventralement, la saignée est creusée</p> 	<p>Critère 4 : Tension des muscles masticateurs</p> <p>(0) Les muscles et la crête faciale sont peu visibles sur la joue (1) Les muscles et de la crête faciale sont modérément visibles (2) Les muscles sont très visibles, la crête faciale est saillante</p> 
<p>Critère 5 : Proéminence du menton et tension de la lèvre inférieure</p> <p>(0) La lèvre inférieure est détendue, le menton n'est pas marqué (1) La lèvre inférieure est tendue avec un menton marqué (2) Le menton est très marqué, avec présence de rides</p> 	<p>Critère 6 : Tension des naseaux et aplatissement de la face</p> <p>(0) Les narines sont détendues, sans pli (1) Les narines sont légèrement tendues, début de plis visibles (2) Les narines sont très tirées vers l'arrière, présence de rides sur le bord caudal de l'aile de la narine</p> 
<p>Critère 7 : Fixité de l'oeil</p> <p>(0) Le cheval est vif, attentif à son environnement tout le temps ou en mouvement (1) Le cheval a un oeil fixe, il ne regarde son environnement que lorsqu'il y a des perturbations extérieures (2) L'oeil du cheval est totalement fixe, il ne réagit plus aux perturbations extérieures</p>	<p>Critère 9 : Posture</p> <p>(0) L'encolure est au dessus de la ligne du garrot (1) L'encolure est confondue avec la ligne du garrot (2) L'encolure est en dessous de la ligne du garrot</p> 
<p>Critère 8 : Mâchonnements</p> <p>(0) Le cheval ne présente pas de mâchonnements tout au long de la vidéo (1) Le cheval présente quelques mâchonnements pendant la vidéo (2) Le cheval mâchonne tout au long de la vidéo</p>	

Annexe 2 : Tableau utilisé pour la notation des expressions faciales et de l'attitude générale

Le N°_VET correspond au contrôle vétérinaire auquel la vidéo a été réalisée. Chaque ligne du tableau correspond à une vidéo à un contrôle vétérinaire donné pour un cheval.

Le Sexe du cheval est dénommé GELDING pour les hongres, MARE pour les juments et STALLION pour les entiers.

La Distance parcourue correspond à la distance totale courue par le cheval depuis le départ, elle est exprimée en km.

Le Temps de récupération est exprimé en minutes.

La VmX correspond à la vitesse moyenne en km/h du cheval pour la boucle réalisée.

FC1 et FC2 correspondent respectivement à la fréquence cardiaque de récupération et à la fréquence cardiaque après le trotting.

Le Rang_VX correspond au rang de classement du cheval à l'issue de la boucle réalisée.

Le Quart correspond au classement du cheval à l'issue de la boucle selon des quartiles avec Q1 le premier quartile, Q2 le deuxième quartile etc.

La colonne Classé_Éliminé correspond au statut final du cheval à l'issue de la course.

La Cause_Élimination est dénommée selon les critères de la FEI (tableau 2).

Le N°_Vet_Élimination correspond au contrôle vétérinaire auquel le cheval a été éliminé.

Les expressions faciales sont nommées selon la dénomination suivante : PO : Position des Oreilles ; OO : Ouverture de l'œil ; TF : Tension de la région Frontale ; TM : Tension des muscles masticateurs ; TMLI : Tension du menton et de la Lèvre Inférieure ; TNLS : Tension des Naseaux et de la Lèvre Supérieure ; OF : Fixité de l'œil ; Mâchonnement ; Posture

La NGEF8 et la NGEF9 correspondent respectivement à la somme de 8 critères ou de 9 critères (voir 2^{ème} partie, 2.e.).

N°_VET	Date et Lieu	Course	N° Dossard	Age	Râce	Sexe	Distance parcourue	Vm X	Temps de récupération	FC1	FC2	IRC	PO	OO	TF	TM	TMLI	TNLS	OF	Mâcho nnement	NGEF8	Posture	NGEF9	Rang_VX	Rand_Final	Quart	Classé Eliminé	Cause Elimination	N° Vet Elimination	
1	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	754	11	DEMI-SANG ARABE	GELDING	20	20,42	4,24	62	62	0	0	0	2	1	0	0	0	1	4	0	4	1		Q1	0	GA	6	
1	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	749	11	SHAGYA	GELDING	20	16,416	2,11	62	58	-4	0	0	1	1	0	0	0	1	3	0	3	16	9	Q3	1			
1	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	741	14		GELDING	20	13,862	5,27	61	56	-5	0	0	2	1	1	0	0	0	4	0	4	20	13	Q4	1			
1	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	750	9	ANGLO-ARABE	GELDING	20	19,068	2,14	62	60	-2	1	1	0	1	0	0	0	2	5	0	5	4		Q1	0	GA	4	
1	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	756	8	ARABE	GELDING	20	19,078	2,11	63	60	-3	0	1	0	1	1	0	0	0	3	0	3	4	1	Q1	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	754	11	DEMI-SANG ARABE	GELDING	53	18,393	4,48	63	60	-3	1	0	1	1	0	0	0	0	3	0	3	1		Q1	0	GA	6	
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	753	11	ANGLO-ARABE	GELDING	53	18,65	3,58	62	68	6	2	1	2	1	0	0	0	0	6	1	7	2		Q1	0	RET	5	
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	740	12		MARE	53	18,319	5,54	63	56	-7	1	0	2	2	0	1	0	0	6	1	7	9	3	Q2	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	757	12	ANGLO-ARABE	MARE	53	18,302	6,12	56	60	4	0	0	1	1	0	1	0	0	3	0	3	0		Q2	0	RET	3	
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	752	11	ARABE	GELDING	53	17,551	2,41	55	52	-3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	11	5	Q2	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	743	10	OC	GELDING	53	17,101	6,29	58	52	-6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	15	11	Q3	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	749	11	SHAGYA	GELDING	53	17,071	3,34	52	60	8	0	0	2	1	0	0	0	0	3	1	4	16	9	Q3	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	747	14	ARABE	MARE	53	16,375	4,29	57	52	-5	1	0	2	1	1	0	0	2	7	1	8	18	12	Q4	1			
2	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	748	13	ARABE	MARE	53	16,83	4,06	54	54	0	2	0	1	0	2	0	0	0	5	1	6				0	GA	2	
3	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	754	11	DEMI-SANG ARABE	GELDING	73	19,381	5,06	58	60	2	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	2	1		Q1	0	GA	6	
3	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	753	11	ANGLO-ARABE	GELDING	73	18,957	4,57	53	64	11	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0	3	7		Q2	0	RET	5	
3	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	757	12	ANGLO-ARABE	MARE	73	18,937	3,22	57	60	3	1	0	2	1	2	1	1	0	8	0	8				0	RET	3	
3	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	743	10	OC	GELDING	73	16,357	5,27	54	62	8	2	1	1	1	1	1	1	0	8	0	8	14	11	Q3	1			
3	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	749	11	SHAGYA	GELDING	73	17,098	3,26	62	56	-8	2	1	2	1	2	0	0	0	8	0	8	15	9	Q3	1			
4	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	754	11	DEMI-SANG ARABE	GELDING	20	19,818	4,13	61	60	-2	1	0	1	2	1	0	0	1	6	0	6	1		Q1	0	GA	6	
4	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	756	8	ARABE	GELDING	20	19,46	2,30	62	60	-2	2	1	1	2	1	1	0	0	8	1	9	4	1	Q1	1			
4	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	753	11	ANGLO-ARABE	GELDING	20	17,506	10,54	61	60	-1	1	0	1	2	0	1	0	2	7	1	8	6		Q1	0	GA	5	
4	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	740	12		MARE	20	17,875	5,23	61	60	-1	1	0	1	1	0	0	0	1	4	0	4	7	3	Q2	1			
4	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	743	10	OC	GELDING	20	18,372	2,15	55	54	-1	2	0	0	0	1	0	0	0	3	1	4	13	11	Q3	1			
5	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	754	11	DEMI-SANG ARABE	GELDING	53	19,267	9,11	62	64	2	1	1	2	1	1	0	0	0	6	1	7	1		Q1	0	GA	6	
5	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	753	11	ANGLO-ARABE	GELDING	53	17,892	15,00	60	70	10	2	1	2	1	1	1	1	0	9	1	10				0	RET	5	
5	27/08/2021 _ MONPAZIER	2x70 KM CEI	759	7	SHAGYA	MARE	53	18,39	2,25	55	56	1	1	0	0	2	0	0	1	1	5	1	6	7	6	Q2	1			

Annexe 3 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET2	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET3	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET4	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET5	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET6	<0,001	<0,001	Oui
VET1-VET2	0,0755	0,604	Non
VET1-VET3	<0,001	<0,001	Oui
VET1-VET4	0,0002	0,003	Oui
VET1-VET5	0,0002	0,003	Oui
VET1-VET6	0,0493	0,444	Non
VET2-VET3	0,0098	0,118	Non
VET2-VET4	0,0244	0,244	Non
VET2-VET5	0,0100	0,118	Non
VET2-VET6	0,3480	>1,000	Non
VET3-VET4	0,9903	>1,000	Non
VET3-VET5	0,2960	1,000	Non
VET3-VET6	0,7518	>1,000	Non
VET4-VET5	0,3410	>1,000	Non
VET4-VET6	0,7773	>1,000	Non
VET5-VET6	0,3393	>1,000	Non

Annexe 4 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET6	<0,0001	<0,0001	Oui
VET1-VET2	0,5208	>1,01	Non
VET1-VET3	0,0057	0,0860	Non
VET1-VET4	0,0111	0,1550	Non
VET1-VET5	0,0183	0,2380	Non
VET1-VET6	0,3208	1,0000	Non
VET2-VET3	0,0212	0,2540	Non
VET2-VET4	0,0381	0,4190	Non
VET2-VET5	0,0540	0,5400	Non
VET2-VET6	0,5271	>1,02	Non
VET3-VET4	0,9876	>1,07	Non
VET3-VET5	0,6274	>1,04	Non
VET3-VET6	0,6247	>1,03	Non
VET4-VET5	0,6344	>1,05	Non
VET4-VET6	0,6406	>1,06	Non
VET5-VET6	0,4389	>1,00	Non

Annexe 5 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Monpazier	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET6	0,004	0,056	Non
VET1-VET2	0,154	>1,000	Non
VET1-VET3	0,009	0,117	Non
VET1-VET4	0,001	0,009	Oui
VET1-VET5	0,089	1,000	Non
VET1-VET6	0,984	>1,000	Non
VET2-VET3	0,243	>1,000	Non
VET2-VET4	0,020	0,242	Non
VET2-VET5	0,469	>1,000	Non
VET2-VET6	0,488	>1,000	Non
VET3-VET4	0,139	>1,000	Non
VET3-VET5	0,886	>1,000	Non
VET3-VET6	0,201	>1,000	Non
VET4-VET5	0,505	>1,000	Non
VET4-VET6	0,089	>1,000	Non
VET5-VET6	0,227	>1,000	Non

Annexe 6 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Fontainebleau	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET1-VET2	0,864	>1	Non
VET1-VET3	0,052	0,312	Non
VET1-VET4	0,512	1,000	Non
VET2-VET3	0,136	0,680	Non
VET2-VET4	0,676	>1	Non
VET3-VET4	0,229	0,916	Non

Annexe 7 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Compiègne	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET6	<0,0001	<0,0001	Oui
VET1-VET2	0,342	>1	Non
VET1-VET3	0,006	0,078	Non
VET1-VET4	0,090	0,720	Non
VET1-VET5	0,003	0,042	Oui
VET1-VET6	0,002	0,030	Oui
VET2-VET3	0,037	0,407	Non
VET2-VET4	0,374	>1	Non
VET2-VET5	0,011	0,132	Non
VET2-VET6	0,062	0,620	Non
VET3-VET4	0,285	>1	Non
VET3-VET5	0,269	>1	Non
VET3-VET6	0,492	>1	Non
VET4-VET5	0,068	0,620	Non
VET4-VET6	0,187	1,000	Non
VET5-VET6	0,865	>1	Non

Annexe 8 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Monpazier	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	0,0002	0,003	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	0,0003	0,004	Oui
VET0-VET6	0,0304	0,334	Non
VET1-VET2	0,6172	>1	Non
VET1-VET3	0,1448	1	Non
VET1-VET4	0,0118	0,142	Non
VET1-VET5	0,5682	>1	Non
VET1-VET6	0,5135	>1	Non
VET2-VET3	0,3132	>1	Non
VET2-VET4	0,0331	0,334	Non
VET2-VET5	0,8157	>1	Non
VET2-VET6	0,4119	>1	Non
VET3-VET4	0,1920	>1	Non
VET3-VET5	0,766	>1	Non
VET3-VET6	0,2022	>1	Non
VET4-VET5	0,3096	>1	Non
VET4-VET6	0,0725	0,653	Non
VET5_VET6	0,3458	>1	Non

Annexe 9 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Fontainebleau	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET1-VET3	0,0690	0,414	Non
VET2-VET3	0,1116	0,558	Non
VET3-VET4	0,1934	0,774	Non
VET1-VET4	0,6397	1	Non
VET2-VET4	0,73	>1	Non
VET1-VET2	0,9232	>1	Non

Annexe 10 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Compiègne	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET6	<0,0001	<0,0001	Oui
VET1-VET2	0,7598	>1	Non
VET1-VET3	0,054	0,702	Non
VET1-VET4	0,3003	>1	Non
VET1-VET5	0,0213	0,320	Non
VET1-VET6	0,0721	0,793	Non
VET2-VET3	0,0655	0,786	Non
VET2-VET4	0,3967	>1	Non
VET2-VET5	0,0238	0,333	Non
VET2-VET6	0,0937	0,937	Non
VET3-VET4	0,3828	>1	Non
VET3-VET5	0,3611	>1	Non
VET3-VET6	0,5471	>1	Non
VET4-VET5	0,1248	1	Non
VET4-VET6	0,2608	>1	Non
VET5_VET6	0,9199	>1	Non

Annexe 11 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne en fonction des catégories de courses

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	VET0	VET1		VET2	
	p-value	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
CEI1*/CEI2*	0,943	0,8582	>1	0,6731	>1
CEI1*/CEI3*		0,5329	>1	0,5996	>1
CEI2*/CEI3*		0,3959	>1	0,8911	>1
		VET3		VET4	
		p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
CEI1*/CEI2*		0,0215	0,043	0,1406	0,422
CEI1*/CEI3*		0,8206	0,821	0,2159	0,432
CEI2*/CEI3*		0,096	0,029	0,6014	0,6

Annexe 12 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne en fonction des catégories de courses

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	VET0	VET1		VET2	
	p-value	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
CEI1*/CEI2*	0,796	0,705	>1	0,954	>1
CEI1*/CEI3*		0,4072	>1	0,8596	>1
CEI2*/CEI3*		0,5228	>1	0,8056	>1
		VET3		VET4	
		p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
CEI1*/CEI2*		0,0329	0,08	0,1062	0,319
CEI1*/CEI3*		0,954	0,954	0,202	0,404
CEI2*/CEI3*		0,0265	0,08	0,5775	0,578

Annexe 13 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

	NGEF9		NGEF8	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Jeune/Intermédiaire	0,0013	0,03	0,01	0,02
Jeune/Mature	0,0009	0,03	0,0065	0,02
Intermédiaire/Mature	0,3984	0,39	0,4663	0,46

Annexe 14 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de race (Arabe ou autres) et en fonction des catégories de race selon les contrôles vétérinaires

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF9		NGEF8	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Global	0,4933	/	0,6869	/
VET0	0,3913	>1	0,5173	>1
VET1	0,8674	>1	0,8144	>1
VET2	0,7184	>1	0,8007	>1
VET3	0,7674	>1	0,6573	>1
VET4	0,3889	1	0,3553	1
VET5	0,7824	>1	0,9137	>1
VET6	0,0526	0,421	0,0737	0,59

Annexe 15 : Présentation de la variable « Temps de récupération » exprimée en minutes et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de temps de récupération

Cat0 : temps de récupération < 2,05 minutes

Cat1 : temps de récupération {2,05 ; 4,46} minutes

Cat2 : temps de récupération > 4,46 minutes

Temps de récupération		
1er quartile	Médiane	3ème quartile
2,05	2,59	4,46
NGEF9 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-2
0,4050	0,2114	0,5453
NGEF8 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,303	0,1319	0,5133

Annexe 16 : Présentation de la variable « Fréquence cardiaque de récupération » exprimée en battements par minute (bpm) ; et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories de fréquence cardiaque de récupération

Cat0 : fréquence cardiaque de récupération < 54 bpm

Cat1 : fréquence cardiaque de récupération {54 ; 62} bpm

Cat2 : fréquence cardiaque de récupération > 62 bpm

Fréquence cardiaque de récupération		
Moyenne	Écart-type	Min/Max
58	4	13/24
NGEF9 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,1299	0,1142	0,6081
NGEF8 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,1325	0,1135	0,6091

Annexe 17 : Présentation de la variable « Indice de récupération cardiaque » ; et des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'indice de récupération cardiaque

Cat0 : indice de récupération cardiaque < 0

Cat1 : indice de récupération cardiaque = 0

Cat2 : indice de récupération cardiaque > 0

Indice de récupération cardiaque		
Moyenne	Ecart-type	Min/Max
0,016	4,288	-15,0 / 24
NGEF9 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,6769	0,1509	0,3046
NGEF8 : p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,2706	0,7928	0,3977

Annexe 18 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile

Q2 : deuxième quartile

Q3 : troisième quartile

Q4 : quatrième quartile

	Q1		Q2		Q3		Q4	
	p-value	p-value corrigée						
VET1-VET2	0,3325	>1	0,5522	>1	0,1895	>1	0,0116	0,104
VET1-VET3	0,2252	>1	0,1117	>1	0,9923	>1	0,3128	1
VET1-VET4	0,6364	>1	0,2749	>1	0,406	>1	0,0837	0,586
VET1-VET5	0,712	>1	0,0623	0,935	0,0363	0,436	<0,0001	<0,0001
VET1-VET6	0,5823	>1	0,4405	>1	0,0187	0,243		
VET2-VET3	0,0255	0,383	0,1967	>1	0,0026	0,039	0,3956	>1
VET2-VET4	0,1591	1	0,6236	>1	0,5878	>1	0,5295	>1
VET2-VET5	0,2942	>1	0,0892	1	0,112	1	0,0116	0,104
VET2-VET6	0,2215	>1	0,615	>1	0,0121	0,169	0,5854	>1
VET3-VET4	0,4772	>1	0,3775	>1	0,8309	>1	0,3992	>1
VET3-VET5	0,6461	>1	0,3715	>1	0,8976	>1	0,0663	0,53
VET3-VET6	0,7777	>1	0,978	>1	0,308	>1	1	>1
VET4-VET5	0,9917	>1	0,206	>1	0,0687	0,75	0,1149	0,689
VET4-VET6	0,8564	>1	0,6801	>1	0,6332	>1		
VET5-VET6	0,8869	>1	0,7036	>1	0,1544	>1		

Annexe 19 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile

Q2 : deuxième quartile

Q3 : troisième quartile

Q4 : quatrième quartile

	VET1		VET2		VET3	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,1138	0,455	0,8253	>1	0,3672	>1
Q1-Q3	0,0083	0,042	0,4186	>1	0,8805	>1
Q1-Q4	0,0018	0,011	0,3806	>1	0,2569	>1
Q2-Q3	0,504	0,594	0,5856	>1	0,565	>1
Q2-Q4	0,1536	0,461	0,3812	>1	0,4629	>1
Q3-Q4	0,2968	0,594	0,2267	>1	0,2882	>1
	VET4		VET5		VET6	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,2587	>1	0,5294	>1	0,9001	>1
Q1-Q3	0,6659	>1	0,1383	0,692	0,6408	>1
Q1-Q4	0,5927	>1	0,1007	0,604		
Q2-Q3	0,226	>1	0,4276	1	0,7811	>1
Q2-Q4	0,3382	>1	0,6821	>1		
Q3-Q4	0,7822	>1	0,2048	0,819		

Annexe 20 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile

Q2 : deuxième quartile

Q3 : troisième quartile

Q4 : quatrième quartile

	Q1		Q2		Q3		Q4	
	p-value	p-value corrigée						
VET1-VET2	0,1237	1	0,9565	>1	0,5961	>1	0,0261	0,365
VET1-VET3	0,5142	>1	0,3355	>1	0,0286	0,372	0,7347	>1
VET1-VET4	0,8764	>1	0,5691	>1	0,1695	>1	0,1268	>1
VET1-VET5	0,5722	>1	0,1904	>1	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,018
VET1-VET6	0,8869	>1	0,6794	>1	/	/	/	/
VET2-VET3	0,0236	0,354	0,1857	1	0,1018	1	0,1980	>1
VET2-VET4	0,1625	>1	0,4462	>1	0,3721	>1	0,5115	>1
VET2-VET5	0,5858	>1	0,1249	0,88	<0,0001	<0,0001	0,3370	>1
VET2-VET6	0,3397	>1	0,6474	>1	/	/	/	/
VET3-VET4	0,3978	>1	0,5195	>1	0,7620	>1	0,3227	>1
VET3-VET5	0,3315	>1	0,5296	>1	0,0008	0,012	0,1328	>1
VET3-VET6	0,5633	>1	0,9704	>1	/	/	/	/
VET4-VET5	0,6621	>1	0,2267	>1	0,0248	0,347	0,8743	>1
VET4-VET6	0,9755	>1	0,8186	>1	/	/	/	/
VET5-VET6	0,7433	>1	0,7323	>1	/	/	/	/

Annexe 21 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF8 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile

Q2 : deuxième quartile

Q3 : troisième quartile

Q4 : quatrième quartile

	VET1		VET2		VET3	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,1756	0,702	0,7523	>1	0,3307	>1
Q1-Q3	0,0099	0,05	0,5070	>1	0,6416	>1
Q1-Q4	0,008	0,048	0,2157	>1	0,1902	1,141
Q2-Q3	0,3932	0,786	0,7229	>1	0,7434	>1
Q2-Q4	0,2207	0,702	0,2135	1	0,3914	>1
Q3-Q4	0,5296	0,786	0,1662	0,997	0,3206	1
	VET4		VET5		VET6	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,3647	1	0,4282	0,856	0,9354	/
Q1-Q3	0,8304	>1	0,0009	0,005	/	/
Q1-Q4	0,4456	>1	0,0738	0,231	/	/
Q2-Q3	0,7368	>1	0,0578	0,231	/	/
Q2-Q4	0,2806	1,684	0,6702	0,856	/	/
Q3-Q4	0,5291	>1	/	/	/	/

Annexe 22 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction du statut final (Classé / Éliminé) selon le contrôle vétérinaire

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF9 : p-value	NGEF8 : p-value
Global	<0,0001	<0,0001
VET0	0,5004	0,5892
VET1	0,0014	0,0006
VET2	<0,0001	<0,0001
VET3	0,0122	0,0058
VET4	<0,0001	<0,0001
VET5	0,6182	0,462
VET6	0,815	0,6493

Annexe 23 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne chez les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire n

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF9		NGEF8	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
VET1-VET2	0,0056	0,067	0,0339	0,407
VET1-VET3	0,1134	>1	0,4223	>1
VET1-VET4	<0,0001	<0,0001	0,0003	0,005
VET1-VET5	0,0496	0,546	0,1943	>1
VET1-VET6	0,6943	>1	0,8552	>1
VET2-VET3	0,4447	>1	0,2935	>1
VET2-VET4	0,0032	0,045	0,004	0,05
VET2-VET5	0,6954	>1	0,8688	>1
VET2-VET6	0,3718	>1	0,4255	>1
VET3-VET4	0,0038	0,049	0,0029	0,041
VET3-VET5	0,4691	>1	0,4953	>1
VET3-VET6	0,7275	>1	0,8573	>1
VET4-VET5	0,1456	>1	0,1424	>1
VET4-VET6	0,1008	1	0,1197	1
VET5-VET6	0,46	>1	0,6253	>1

Annexe 24 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

NGEF9		Classé					
		VET0	VET1	VET2	VET3	VET4	VET5
Éliminé	VET1	0,8846	0,0083				
	VET2	0,03	0,0026	<0,0001			
	VET3		0,4616	0,0017	0,0476		
	VET4			0,0033	0,0133	<0,0001	
	VET5				0,9786	0,6943	0,2367
	VET6					0,1654	0,4027

Annexe 25 : Tableau des p-value comparant la NGEF8 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

NGEF8		Classé					
		VET0	VET1	VET2	VET3	VET4	VET5
Éliminé	VET1	0,8846					
	VET2	0,0969	<0,0001				
	VET3		0,4284	0,0002			
	VET4			0,0214	0,0062		
	VET5				0,7699	0,4616	
	VET6					0,1915	0,4368

Annexe 26 : Tableau des p-value comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction du motif d'élimination ou de la non élimination

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

	NGEF9	NGEF8
Boiterie/Métabolique	0,9102	0,8265
Boiterie/Autres	0,3189	0,3815
Métabolique/Autres	0,4668	0,4543
Classés/Boiterie	<0,0001	<0,0001
Classés/Métabolique	0,02	0,01
Classés/Autres	<0,0001	<0,0001

Annexe 27 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET2	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET3	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET4	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET5	<0,001	<0,001	Oui
VET0-VET6	<0,001	<0,001	Oui
VET1-VET2	0,0684	0,889	Non
VET1-VET3	0,0014	0,021	Oui
VET1-VET4	0,1604	>1,000	Non
VET1-VET5	0,0059	0,083	Non
VET1-VET6	0,7754	>1,000	Non
VET2-VET3	0,1595	>1,000	Non
VET2-VET4	0,7615	>1,000	Non
VET2-VET5	0,1288	>1,000	Non
VET2-VET6	0,4954	>1,000	Non
VET3-VET4	0,1108	>1,000	Non
VET3-VET5	0,4752	>1,000	Non
VET3-VET6	0,1608	>1,000	Non
VET4-VET5	0,0995	1,000	Non
VET4-VET6	0,6127	>1,000	Non
VET5-VET6	0,1031	>1,000	Non

Annexe 28 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Monpazier

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Monpazier	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	0,002	0,030	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	0,003	0,042	Oui
VET0-VET6	0,036	0,469	Non
VET1-VET2	0,0475	0,5700	Non
VET1-VET3	0,1031	1,0000	Non
VET1-VET4	0,0682	0,7500	Non
VET1-VET5	0,6457	>1,000	Non
VET1-VET6	0,9901	>1,000	Non
VET2-VET3	0,5588	>1,000	Non
VET2-VET4	0,9716	>1,000	Non
VET2-VET5	0,4783	>1,000	Non
VET2-VET6	0,3509	>1,000	Non
VET3-VET4	0,6244	>1,000	Non
VET3-VET5	0,6284	>1,000	Non
VET3-VET6	0,4277	>1,000	Non
VET4-VET5	0,4869	>1,000	Non
VET4-VET6	0,3576	>1,000	Non
VET5-VET6	0,7475	>1,000	Non

Annexe 29 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Fontainebleau

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Fontainebleau	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET1-VET2	0,8081	>1	Non
VET1-VET3	0,1882	>1	Non
VET1-VET4	0,8653	>1	Non
VET2-VET3	0,1821	>1	Non
VET2-VET4	0,9201	>1	Non
VET3-VET4	0,1686	1,0000	Non

Annexe 30 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des contrôles vétérinaires pour la course de Compiègne

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Compiègne	p-value	Correction de Holm	Significatif
VET0-VET1	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET2	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET3	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET4	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET5	<0,0001	<0,0001	Oui
VET0-VET6	0,0002	0,003	Oui
VET1-VET2	0,4209	>1,000	Non
VET1-VET3	0,0050	0,0650	Non
VET1-VET4	0,6353	>1,000	Non
VET1-VET5	0,0036	0,0500	Oui
VET1-VET6	0,5783	>1,000	Non
VET2-VET3	0,0246	0,2210	Non
VET2-VET4	0,7727	>1,000	Non
VET2-VET5	0,0127	0,1520	Non
VET2-VET6	0,9700	>1,000	Non
VET3-VET4	0,0207	0,2070	Non
VET3-VET5	0,3133	>1,000	Non
VET3-VET6	0,2211	1,0000	Non
VET4-VET5	0,0134	0,1520	Non
VET4-VET6	0,8405	>1,000	Non
VET5-VET6	0,1026	0,8210	Non

Annexe 31 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de courses

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	VET0	VET1		VET2	
	p-value	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
CEI1*/CEI2*	0,6177	0,9334	0,933	0,0248	0,074
CEI1*/CEI3*		0,2327	0,698	0,7865	0,787
CEI2*/CEI3*		0,2620	0,699	0,0522	0,104
	VET3		VET4		
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	
CEI1*/CEI2*	0,0018	0,005	0,0670	0,134	
CEI1*/CEI3*	0,1923	0,192	0,1044	0,134	
CEI2*/CEI3*	0,0853	0,171	<0,0001	<0,0001	

Annexe 32 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF9 et NGEF8 moyenne en fonction des catégories d'âge

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

	NGEF3	
	p-value	p-value corrigée
Jeune/Intermédiaire	0,0009	0,003
Jeune/Mature	0,0324	0,065
Intermédiaire /Mature	0,6053	0,605

Annexe 33 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de race (Arabe ou autres) et en fonction des catégories de race selon les contrôles vétérinaires

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF3	
	p-value	p-value corrigée
Global	0,0962	/
VET0	0,9749	>1
VET1	0,1326	0,796
VET2	0,5042	1
VET3	0,7849	>1
VET4	0,4854	1
VET5	0,8966	>1
VET6	0,0086	0,060

Annexe 34 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de temps de récupération

Cat0 : temps de récupération < 2,05 minutes

Cat1 : temps de récupération {2,05 ; 4,46} minutes

Cat2 : temps de récupération > 4,46 minutes

NGEF3		
p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-2
0,5495	0,2586	0,4456

Annexe 35 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories de fréquence cardiaque de récupération

Cat0 : fréquence cardiaque de récupération < 54 bpm

Cat1 : fréquence cardiaque de récupération {54 ; 62} bpm

Cat2 : fréquence cardiaque de récupération > 62 bpm

NGEF3		
p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,1611	0,0416	0,2397

Annexe 36 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne en fonction des catégories d'indice de récupération cardiaque

Cat0 : indice de récupération cardiaque < 0

Cat1 : indice de récupération cardiaque = 0

Cat2 : indice de récupération cardiaque > 0

NGEF3		
p-values		
Cat0-Cat1	Cat0-Cat2	Cat1-Cat2
0,0105	0,2354	0,0005

Annexe 37 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne pour chaque quartile en fonction des contrôles vétérinaires

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile / Q2 : deuxième quartile / Q3 : troisième quartile / Q4 : quatrième quartile

	Q1		Q2		Q3		Q4	
	p-value	p-value corrigée						
VET1-VET2	0,7399	>1	0,3282	>1	0,9698	>1	0,0213	0,192
VET1-VET3	0,6916	>1	0,1696	>1	0,0511	0,358	0,3080	>1
VET1-VET4	0,7287	>1	0,8998	>1	0,2772	1	0,1566	1
VET1-VET5	0,7120	>1	0,1961	>1	0,0021	0,021	0,1204	0,963
VET1-VET6	0,7047	>1	0,5765	>1	/		/	
VET2-VET3	0,4590	>1	0,6574	>1	0,0599	0,359	0,4827	>1
VET2-VET4	0,9705	>1	0,1354	1	0,3222	>1	0,7063	>1
VET2-VET5	0,9065	>1	0,4975	>1	0,0095	0,086	0,6699	>1
VET2-VET6	0,8982	>1	0,3190	>1	/		/	
VET3-VET4	0,4463	1	0,0420	0,6320	0,7597	>1	0,4918	>1
VET3-VET5	0,5488	>1	0,6704	>1	0,1105	0,553	0,1963	>1
VET3-VET6	0,5375	>1	0,2165	>1	/		/	
VET4-VET5	0,9361	>1	0,0656	0,853	0,0345	0,276	1	>1
VET4-VET6	0,9279	>1	0,5151	>1	/		/	
VET5-VET6	0,9926	>1	0,0586	0,820	/		/	

Annexe 38 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne pour chaque contrôle vétérinaire en fonction des quartiles

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

Q1 : premier quartile / Q2 : deuxième quartile / Q3 : troisième quartile / Q4 : quatrième quartile

	VET1		VET2		VET3	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,0572	0,286	0,4848	>1	0,3017	>1
Q1-Q3	0,1523	0,457	0,2665	1	0,7989	>1
Q1-Q4	0,0025	0,015	0,8876	>1	0,4360	>1
Q2-Q3	0,5393	0,539	0,6409	>1	0,2436	1
Q2-Q4	0,2376	0,475	0,5702	>1	0,6502	>1
Q3-Q4	0,0611	0,286	0,3969	>1	0,0975	0,585
	VET4		VET5		VET6	
	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée	p-value	p-value corrigée
Q1-Q2	0,0337	0,202	0,7714	>1	0,2080	/
Q1-Q3	0,7439	>1	0,0067	0,034	/	/
Q1-Q4	0,6866	1	0,5841	1	/	/
Q2-Q3	0,0505	0,253	0,0569	0,228	/	/
Q2-Q4	0,2108	0,843	0,7915	>1	/	/
Q3-Q4	0,8015	>1	/	/	/	/

Annexe 39 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne en fonction du statut final (Classé / Éliminé) selon le contrôle vétérinaire

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X ($X = 0$ pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF3
	p-value
Global	0,0682
VET0	0,5663
VET1	0,8260
VET2	0,0129
VET3	0,8869
VET4	0,0098
VET5	0,6359
VET6	0,6616

Annexe 40 : Tableau des p-value et p-value corrigées comparant la NGEF3 moyenne chez les chevaux présentés et éliminés au contrôle vétérinaire n

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

	NGEF3	
	p-value	p-value corrigée
VET1-VET2	0,0102	0,143
VET1-VET3	0,0358	0,430
VET1-VET4	0,0022	0,033
VET1-VET5	0,0116	0,151
VET1-VET6	0,8522	>1
VET2-VET3	0,6381	>1
VET2-VET4	0,3287	>1
VET2-VET5	0,5303	>1
VET2-VET6	0,3587	>1
VET3-VET4	0,1819	1
VET3-VET5	0,3555	>1
VET3-VET6	0,4684	>1
VET4-VET5	0,9017	>1
VET4-VET6	0,2195	>1
VET5-VET6	0,2383	>1

Annexe 41 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne pour un contrôle vétérinaire n entre les chevaux classés au VETn et les chevaux éliminés au VETn+1 et VETn+2.

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

Les contrôles vétérinaires sont notés VETX pour contrôle vétérinaire X (X = 0 pour le contrôle vétérinaire initial).

NGEF3		Classé					
		VET0	VET1	VET2	VET3	VET4	VET5
Éliminé	VET1	0,6354					
	VET2	0,0758	0,0441				
	VET3		0,8677	0,6253			
	VET4			0,0332	0,4653		
	VET5				0,1287	0,7983	
	VET6					0,2594	0,7056

Annexe 42 : Tableau des p-value comparant la NGEF3 moyenne en fonction du motif d'élimination ou de la non élimination

Les valeurs grisées correspondent aux valeurs significatives ($p < 0,01$)

	NGEF3
Boiterie/Métabolique	0,6223
Boiterie/Autres	0,9866
Métabolique/Autres	0,6775
Classés/Boiterie	0,0646
Classés/Métabolique	0,7428
Classés/Autres	0,1999

ÉVALUATION DU NIVEAU DE FATIGUE CHEZ LE CHEVAL EN COURSE D'ENDURANCE : CONSTRUCTION D'UNE ÉCHELLE COMPOSITE DE GRADATION DES EXPRESSIONS FACIALES ET DE L'ATTITUDE GÉNÉRALE

AUTEUR : Abigaël MARTY

RÉSUMÉ :

L'endurance équestre est une discipline qui demande un effort de longue durée et sollicite très fortement l'organisme des chevaux. En course d'endurance, le vétérinaire, garant du bien-être animal, a pour rôle de juger le niveau de fatigue des chevaux et de les arrêter avant qu'ils ne déclarent des troubles majeurs. Les expressions faciales et l'attitude générale sont décrits dans la littérature comme des témoins de douleur chez les chevaux. Une thèse vétérinaire a étudié l'intérêt des expressions faciales chez le cheval d'endurance. La note d'expression faciale s'est avérée pertinente dans l'évaluation du niveau de fatigue mais peu précise du fait d'un effectif d'étude limité et de conditions de course homogènes et peu difficiles.

L'objectif de notre étude est de construire une grille de gradation des expressions faciales et de l'attitude générale permettant d'évaluer le niveau de fatigue chez le cheval d'endurance. La grille a été utilisée pour 744 enregistrements issus de trois courses d'endurances différentes. Les notes d'expression faciale et d'attitude générale (NGEF) ont été analysées en fonction des données individuelles relevées sur les courses.

Les résultats montrent une augmentation de la NGEF tout au long de la course. Du 1er au 4ème contrôle vétérinaire, la NGEF est plus élevée chez les chevaux éliminés que chez les classés. Du 1er au 3ème contrôle vétérinaire, la NGEF est prédictive d'une élimination au contrôle vétérinaire suivant. La NGEF est plus élevée en début de course chez les chevaux en tête de course, et en fin de course chez les chevaux classés en queue de course. Enfin, la NGEF est influencée par l'âge, mais pas par la race, ni par les critères cliniques de fatigue étudiés durant la course.

Les résultats obtenus sont encourageants, cependant la principale limite rencontrée est le manque de reproductibilité. Des études ultérieures avec une meilleure formation des évaluateurs seront nécessaires afin de valider l'utilisation de la grille.

MOTS CLÉS :

ENDURANCE, FATIGUE, GRADATION, EXPRESSION FACIALE, ÉQUIDÉ, CHEVAL DE COURSE, CHEVAL D'ENDURANCE, ATTITUDE, ÉCHELLE

JURY :

Présidente : Pr Bénédicte GRIMARD-BALLIF

Directrice de thèse : Pr Céline ROBERT

Examinatrice : Pr Caroline GILBERT

EVALUATION OF FATIGUE LEVEL IN ENDURANCE HORSES: DEVELOPMENT OF A COMPOSITE SCALE FOR GRADING FACIAL EXPRESSIONS AND POSTURE

AUTHOR: Abigaël MARTY

SUMMARY:

Equestrian endurance is a discipline that requires long-lasting effort and places significant demands on horses' bodies. In endurance racing, the veterinarian, responsible for animal welfare, assesses the level of fatigue in horses and stops them before they develop major issues. Facial expressions and general demeanor are described in literature as indicators of pain in horses. A veterinary thesis studied the significance of facial expressions in endurance horses. The facial expression score proved to be valuable in evaluating fatigue levels but was imprecise due to a limited study population and relatively uniform and undemanding race conditions.

The objective of our study is to develop a grading scale for facial expressions and posture to assess fatigue levels in endurance horses. The scale was applied to 744 recordings from three different endurance races. Facial expression and posture scores were analyzed based on individual data collected during the races.

The results show a gradual increase in the overall score throughout the race. From the 1st to the 4th veterinary check, scores were higher in eliminated horses compared to those that finished. From the 1st to the 3rd veterinary check, scores predicted elimination at the subsequent veterinary check. Additionally, scores were higher at the beginning of the race for horses in the first quartile and higher at the end of the race for horses in the last quartile. Finally, scores were influenced by age but not by breed or the clinical fatigue criteria studied during the race.

The obtained results are promising. However, the main limitation encountered is the lack of reproducibility. Further studies with better evaluator training will be necessary to validate the use of the scale.

KEYWORDS:

ENDURANCE, TIREDNESS, ASSESSMENT, FACIAL EXPRESSION, EQUINE, RACE HORSE, ENDURANCE HORSE, BEHAVIOUR, RATING

JURY:

Chairperson: Pr Bénédicte GRIMARD-BALLIF

Thesis Director: Pr Céline ROBERT

Reviewer: Pr Caroline GILBERT