

Année 2014

**VALIDATION DE L'UTILISATION DE LA
THERMOGRAPHIE INFRAROUGE POUR LA
MISE EN ÉVIDENCE DU STRESS CHEZ LE
CHEVAL DE SPECTACLE**

THÈSE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

le

Manon Pascale Frédérique DUROZEY

Née le 17 septembre 1988 à Rouen (Seine-Maritime)

JURY

Président : Pr.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

Membres

Directeur : Madame GILBERT

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

Assesseur : Madame GRIMARD-BALLIF

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur GOGNY Marc

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs : COTARD Jean-Pierre, MIALOT Jean-Paul, MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard.

Professeurs honoraires : Mme et MM. : BENET Jean-Jacques, BRUGERE Henri, BRUGERE-PICOUX Jeanne, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard,

CRESPEAU François, DEPUTTE Bertrand, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, POUCHELON Jean-Louis, ROZIER Jacques.

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département par intérim : M. GRANDJEAN Dominique, Professeur - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

UNITE DE CARDIOLOGIE - Mme CHETBOUL Valérie, Professeur * - Mme GKOUNI Vassiliki, Praticien hospitalier - Mme SECHI-TREHIOU, Praticien hospitalier UNITE DE CLINIQUE EQUINE - M. AUDIGIE Fabrice, Professeur - M. DENOIX Jean-Marie, Professeur - Mme BERTONI Lélia, Maître de conférences contractuel - Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier * - M. LECHARTIER Antoine, Maître de conférences contractuel - Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Praticien hospitalier - Mme TRACHSEL Dagmar, Maître de conférences contractuel UNITE D'IMAGERIE MEDICALE - Mme PEY Pascaline, Maître de conférences contractuel - Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier UNITE DE MEDECINE - Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences contractuel - M. BLOT Stéphane, Professeur* - Mme FREICHE-LEGROS Valérie, Praticien hospitalier - Mme MAUREY-GUENEC Christelle, Maître de conférences UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT - Mme CLERO Delphine, Maître de conférences contractuel - M. GRANDJEAN Dominique, Professeur * - Mme YAGUIYAN-COLLIARD Laurence, Maître de conférences contractuel	DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION - M. PARAGON Bernard, Professeur DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE - Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES - M. BLAGA Radu Gheorghe, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - M. CHERMETTE René, Professeur (rattaché au DSBP) - Mme FAIVRE Noëlle, Praticien hospitalier - M. GUILLOT Jacques, Professeur * - Mme MARGINAC Geneviève, Maître de conférences - M. POLACK Bruno, Maître de conférences UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE - M. FAYOLLE Pascal, Professeur - M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences - M. MANASSERO Mathieu, Maître de conférences contractuel - M. MOISSONNIER Pierre, Professeur* - Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérangère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) - Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Professeur - M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS - Mme STEBLAJ Barbara, Praticien Hospitalier DISCIPLINE : NOUVEAUX ANIMAUX DE COMPAGNIE - M. PIGNON Charly, Praticien hospitalier
---	--

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MILLEMANN Yves, Professeur - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Professeur

UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES - M. CHATEAU Henry, Maître de conférences* - Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur - M. DEGUEURCE Christophe, Professeur - Mme ROBERT Céline, Maître de conférences DISCIPLINE : ANGLAIS - Mme CONAN Muriel, Professeur certifié UNITE DE BIOCHIMIE - M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences* - Mme LAGRANGE Isabelle, Praticien hospitalier - M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES - M. DESQUILBET Loïc, Maître de conférences DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE - M. PHILIPS Pascal, Professeur certifié DISCIPLINE : ETHOLOGIE - Mme GILBERT Caroline, Maître de conférences UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE - Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences - M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur*	UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE - Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences* - M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur - Mme LALOY Eve, Maître de conférences contractuel - M. REYES GOMEZ Edouard, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE - M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur - Mme LE ROUX Delphine, Maître de conférences - Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE - Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur - M. PERROT Sébastien, Maître de conférences - M. TISSIER Renaud, Professeur* UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE - Mme COMBRISSON Hélène, Professeur - Mme PILOT-STORCK Fanny, Maître de conférences - M. TIRET Laurent, Maître de conférences* UNITE DE VIROLOGIE - M. ELOIT Marc, Professeur - Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences *
--	---

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISSON Hélène, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE - M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences - M. BOLNOT François, Maître de conférences * - M. CARLIER Vincent, Professeur UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES - Mme DUFOUR Barbara, Professeur* - Mme HADDAD/HOANG-XUAN Nadia, Professeur - Mme PRAUD Anne, Maître de conférences - Mme RIVIERE Julie, Maître de conférences contractuel UNITE DE PATHOLOGIE DES ANIMAUX DE PRODUCTION - M. ADJOU Karim, Maître de conférences * - M. BELBIS Guillaume, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel - M. HESKIA Bernard, Professeur contractuel - M. MILLEMANN Yves, Professeur	UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE - Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences - M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Mme MAENHOUDT Cindy, Praticien hospitalier - Mme MASSE-MOREL Gaëlle, Maître de conférences contractuel - M. MAUFFRE Vincent, Assistant d'enseignement et de recherche contractuel - M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - M. REMY Dominique, Maître de conférences* UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE - M. ARNE Pascal, Maître de conférences - M. BOSSE Philippe, Professeur* - M. COURREAU Jean-François, Professeur - Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur - Mme LEROY-BARASSIN Isabelle, Maître de conférences - M. PONTER Andrew, Professeur
---	--

* responsable d'unité

REMERCIEMENTS

A

*Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil,
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Hommage respectueux.*

A Madame Caroline Gilbert,

*Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Pour m'avoir encadrée tout au long de ce projet et y avoir cru sans relâche,
merci pour votre gentillesse et votre optimisme,
En témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon grand respect.*

A Madame Bénédicte Grimard-Ballif,

*Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui m'a fait l'honneur de faire partie du jury de cette thèse,
Sincères remerciements.*

A la Troupe de l'Académie Equestre de Versailles,

*Pour nous avoir accueillis sans retenue dans votre univers,
Et vous être prêtés aux besoins de notre étude,
Mille mercis.*

**A Madame Claire Diederich, Madame Laetitia Wiggers et toute l'Unité de Recherche
Vétérinaire Intégrée de l'Université de Namur,**

Un très grand merci pour votre précieuse contribution,

**A l'Unité de Recherche en Génétique fonctionnelle et médicale de l'Ecole Nationale
Vétérinaire d'Alfort,**

*Pour votre aide très appréciée et votre grande gentillesse,
Sincères remerciements,*

A l'Unité de Dermatologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,

*Pour le prêt de matériel qui nous permet de voir plus grand dans la réalisation de cette thèse
expérimentale,
Sincères remerciements,*

A ma mère,

*Merci d'avoir eu la patience de me faire travailler enfant, de m'avoir poussé à aller au bout
de mes ambitions, de t'être toujours dévouée pour me soutenir malgré
mon mauvais caractère et mon exigence.*

*Si assurément tu n'es pas parfaite, on ne trouvera guère que très peu de défauts
à la mère que tu es.*

A mon père,

*Je m'excuse par avance de ne pas te remercier pour m'avoir transmis tout le savoir qui me
permet aujourd'hui d'exercer la médecine vétérinaire. Mais, à défaut, j'admettrai que sans
toi je n'aurais certainement pas eu ce goût pour la nature qui m'a tirée vers cette nouvelle
part de ma vie que j'entame avec bonheur.*

***A mon frère Paul et à ma sœur Laura, à mes grands-mères Biquette et Manou et au
restant de ma famille,***

*Merci d'avoir contribué, avec plus ou moins de ferveur et à votre manière à chacun, à la
réussite de mes longues années d'étude.*

A Rémy,

*Tu n'as certes pas eu le loisir de vivre ces huit années d'études à mes côtés
mais tu es arrivé à temps pour m'encourager à la ligne d'arrivée.
Sans toi, cette petite victoire aurait eu bien moins de saveur.*

A Mathieu,

*Parce que ces cinq années sont passées bien trop vite pour épuiser notre créativité,
Et que j'espère ne jamais te perdre,*

A Anne-Laure,

*Parce que rares sont les amies avec qui l'on peut parler, rire, profiter de la vie et s'exiler
dans une bergerie à l'autre bout de la France,
Et parce que grâce à toi, Iliade est dans ma vie aujourd'hui,*

A Robin,

*Merci d'avoir supporté mes humeurs parfois difficiles avec patience et gentillesse,
Si tu n'avais pas été à mes côtés, jamais cette thèse n'aurait abouti,*

A mes amis de groupe de clinique,

Cindy, Mathilde, Claire, Isabelle, Alexis, Amaury, Céline, Ludivine, Emma,

Et à celles qui ont partagé cette dernière année avec moi,

Clotilde et Charlotte,

A mes poulots Bastien et Elodie,

Mille mercis, je n'aurais pas réussi seule,

A Julien,

Nos vies sont maintenant séparées mais je n'oublierai jamais

Le soutien et l'amour que tu m'as portés et qui m'ont permis

D'être là où j'en suis aujourd'hui,

A mes autres amis,

Charlotte, Raphaëlle, Mathilde et bien d'autres que j'oublie,

A tous ceux qui sont un jour passés dans ma vie et l'ont embellie,

Merci

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	5
INTRODUCTION.....	11
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
I- QU'EST-CE QUE LE STRESS?.....	15
<u>I-A) GENERALITES.....</u>	15
I-A-1) Définition	15
I-A-2) Composante physiologique du stress.....	16
I-A-3) Composante psychologique du stress	19
I-A- 4) Manifestations de la réponse de stress.....	21
I-A-5) Facteurs déclenchants de la réponse de stress	22
I-A-6) Variations individuelles des réponses de stress aigu et chronique chez le cheval	23
<u>I-B) LE CHEVAL DE SPECTACLE.....</u>	26
I-B-1) Races et activités.....	26
I-B-2) Pourquoi s'intéresser au stress du cheval en spectacle ?	27
II- LA THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE : OUTIL DE MISE EN EVIDENCE DU STRESS CHEZ	
L'ANIMAL.....	29
<u>II-A) LA THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE : UNE TECHNIQUE REVELATRICE DE LA REACTION DE STRESS ?</u>	29
II-A-1) Rayonnement infra-rouge.....	29
II-A-2) Pourquoi utiliser la thermographie infra-rouge ?	30
II-A-3) Facteurs intervenant dans la radiation détectée par la caméra	31
II-A-4) Quelle température de surface analyser ?.....	33
II-A-5) Comment varie la température oculaire maximale ?	34
<u>II-B) AVEC QUELS AUTRES INDICATEURS CORRELER LES RESULTATS DE THERMOGRAPHIE</u>	
<u>INFRA-ROUGE ?</u>	38
II-B-1) La concentration en cortisol salivaire.....	38
II-B-1-a) Le cortisol salivaire.....	38
II-B-1-b) Facteurs de variations du cortisol salivaire.....	39
II-B-2) Les paramètres physiologiques.....	41
II-B-3) Les paramètres comportementaux.....	46
<u>II-C) RESULTATS DE RELEVÉ DE THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE SUR DIFFÉRENTES</u>	

ESPECES.....	55
II-C-1) Chez le cheval de sport	55
II-C-2) Chez les autres espèces (bovins, lapins, singes...)	57
II-C-3) La thermographie infra-rouge, un indicateur de types de stress très variés : douleur, peur, stress psychologique	58
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	61
I- ECHANTILLON UTILISE.....	63
<u>I-A) PRESENTATION DE L'ACADEMIE EQUESTRE DE VERSAILLES</u>	63
I-A-1) Les écuries	63
I-A-2) Les chevaux	64
I-A-3) La compagnie	65
<u>I-B) CHOIX DES CHEVAUX SUIVIS.....</u>	65
<u>I-C) STRUCTURE DU TRAVAIL ET DES SPECTACLES.....</u>	66
I-C-1) Entraînements quotidiens	66
I-C-2) Spectacles.....	67
II- MATERIEL ET METHODE.....	69
<u>II-A) LES INDICES EVALUES.....</u>	69
II-A-1) Indices Physiologiques	69
II-A-2) Indices comportementaux	72
<u>II-B) METHODES DE MESURES.....</u>	73
<u>II-C) THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE</u>	77
II-C-1) Matériel utilisé et prise des clichés de thermographie infrarouge.....	77
II-C-2) Températures mesurées	77
II-C-3) Analyses des données.....	79
<u>II-D) DOSAGE DU CORTISOL SALIVAIRE.....</u>	80
II-D-1) Récolte des prélèvements salivaires	80
II-D-2) Mesure du cortisol.....	80
II-D-3) Paramètres influant sur la réaction de dosage du cortisol.....	81
III- RESULTATS.....	83
<u>III-A) EXPLOITATION DES DONNEES</u>	83
III-A-1) Traitement des données brutes	83
III-A-2) Analyses statistiques utilisées	83
<u>III-B) RESULTATS DE L'ETUDE : COMPARAISON DES INDICES EN ENTRAINEMENT ET EN SPECTACLE</u>	85
III-B-1) Variations des indices physiologiques	85

III-B-1-a) Comparaison avant le spectacle chez les chevaux détendus et non détendus de la fréquence cardiaque, de la température interne et du cortisol salivaire.....	85
III-B-1-b) Comparaison en entraînement et en spectacle des moyennes individuelles de température interne, fréquence cardiaque et des concentrations en cortisol salivaire.....	86
III-B-1-c) Comparaison des moyennes individuelles de deltas de température interne, fréquence cardiaque et cortisol salivaire en entraînement et en spectacle.....	88
III-B-2) Corrélations des températures de surface oculaire, nasale et auriculaire et comparaison des résultats des chevaux détendus et non détendus.....	89
III-B-2-a) Corrélations des températures de surface et de la fréquence cardiaque, de la température interne et de la concentration en cortisol salivaire.....	89
III-B-2-b) Comparaison des trois températures de surface chez les chevaux détendus et chez les chevaux non détendus avant le spectacle.....	93
III-B-3) Variations des températures de surface oculaire, nasale et auriculaire	95
III-B-3-a) Comparaison des indices physiologiques, des températures oculaires, nasales et auriculaires au cours de l'entraînement et du spectacle.....	95
III-B-3-b) Comparaison entre entraînement et spectacle des températures oculaires, nasales et auriculaires.....	97
III-B-3-b) α) Températures oculaires de surface.....	97
III-B-3-b) β) Températures nasales de surface.....	100
III-B-3-b) γ) Températures auriculaires de surface.....	103
III-B-3-c) Comparaison des deltas de températures de surface calculés	107
III-B-3-c) α) Deltas de températures oculaires.....	107
III-B-3-c) β) Deltas de températures nasales.....	109
III-B-3-c) γ) Deltas de températures auriculaires.....	111
IV- DISCUSSION.....	115
CONCLUSION.....	123
BIBLIOGRAPHIE.....	125
ANNEXES	
<i>Annexe 1 : Grille de notation des indices physiologiques et comportementaux.....</i>	<i>129</i>
<i>Annexe 2 : Valeurs des moyennes individuelles de fréquence cardiaque et de température interne et des différents deltas.....</i>	<i>131</i>
<i>Annexe 3 : Moyennes individuelles de concentration en cortisol salivaire et des deltas associés et leurs écarts types.....</i>	<i>133</i>

<i>Annexe 4 : Moyennes individuelles, deltas et écarts types des températures oculaire.....</i>	<i>134</i>
<i>Annexe 5 : Moyennes individuelles, deltas et écarts types des températures nasales.....</i>	<i>136</i>
<i>Annexe 6 : Moyennes individuelles, deltas et écarts types des températures auriculaires.....</i>	<i>138</i>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

INDEX DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Moyennes des températures oculaires maximales (°C) des chevaux de sport espagnols d'âge différent</i>	<i>57</i>
<i>Tableau 2 : Différents numéros ainsi que leur intensité physique et chevaux y participant.....</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 3 : Nombres d'entraînements et de spectacles et numéros réalisés en 2012 et en 2013 pour chaque cheval.....</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 4 : Moyennes de la fréquence cardiaque (FC en battements/min), de la température interne (Tint en °C), de la concentration en cortisol salivaire (C° en mmol/L) avant le spectacle des chevaux non détendus et détendus - Résultats du test de Mann-Whitney . $\Delta 2-1 = T2-T1$.....</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 5 : Valeurs moyennes de fréquence cardiaque (FC en battements/min) en entraînement et en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 6 : Valeurs moyennes de température interne (Tint en °C) en entraînement et en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 7 : Valeurs moyennes de concentration en cortisol salivaire (C° nmol/L) en entraînement en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé.....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 8 : Valeurs des deltas moyens de fréquence cardiaque (battements/min) en entraînement et en spectacle et résultats du test de Wilcoxon associé).....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 9 : Comparaison des deltas moyens individuels de température interne</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 10 : Corrélations sur la fréquence cardiaque (FC), la température interne (Tint) et la concentration en cortisol salivaire (C° cortisol)</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 11 : Corrélations de la fréquence cardiaque (FC), de la température interne (Tint) et des températures maximales de surface oculaire (Toc max), nasale (Tnas max) et auriculaire (Tor max).....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 12 : Régressions linéaires calculées entre la fréquence cardiaque (FC) et les températures maximales de surface oculaire (Toc max), nasale (Tnas max), auriculaire (Tor max).....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 13 : Moyennes des températures oculaires maximale, moyenne et minimale des chevaux détenteurs et des chevaux non détenteurs, et résultats du test de Mann-Whitney.....</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 14 : Moyennes des températures nasales maximale, moyenne et minimale des</i>	

<i>chevaux détendus et non détendus, et résultats du test de Mann-Whitney</i>	<i>95</i>
<i>Tableau 15 : Moyennes des températures auriculaires maximale, moyenne et minimale, et résultats du test de Mann-Whitney.....</i>	<i>95</i>
<i>Tableau 16 : Moyennes des températures moyennes oculaires, nasales et auriculaires de l'ensemble des chevaux pour chaque période de l'entraînement et du spectacle, et résultats du test de Friedman associé.....</i>	<i>96</i>
<i>Tableau 17 : Moyennes des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats des tests de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 18 : Moyennes des températures oculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>99</i>
<i>Tableau 19 : Moyennes des températures oculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 20 : Moyennes des températures nasales maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>101</i>
<i>Tableau 21 : Moyennes des températures nasales moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>102</i>
<i>Tableau 22 : Moyennes des températures nasales minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>103</i>
<i>Tableau 23 : Moyennes des températures auriculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 24 : Moyennes des températures auriculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 25 : Moyennes de températures auriculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>106</i>
<i>Tableau 26 : Deltas moyens de température oculaire maximale de l'ensemble des</i>	

<i>chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>107</i>
<i>Tableau 27 : Deltas moyens de température oculaire moyenne de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>108</i>
<i>Tableau 28 : Deltas moyens de température oculaire minimale de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et le spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 29 : Deltas moyens de température nasale maximale de l'ensemble des chevaux relevée pour les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 30 : Deltas moyens de température nasale moyenne de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 31 : Deltas moyens de température nasale minimale de l'ensemble des chevaux relevée pour l'entraînement et le spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 32 : Deltas moyens de température auriculaire maximale de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>112</i>
<i>Tableau 33 : Deltas moyens de température auriculaire moyenne de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 34 : Deltas moyens de température auriculaire minimale de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon.....</i>	<i>113</i>

INDEX DES FIGURES

<i>Figure 1 : Graphique présentant l'évolution du cortisol sanguin au cours d'un évènement stressant ou de la répétition d'évènements stressants</i>	18
<i>Figure 2 : Graphique présentant la cinétique des deux réponses physiologiques</i>	19
<i>Figure 3 : Variations de la température oculaire maximale (°C) suivant une injection d'épinéphrine (de 0 à 5min), d'après Stewart et al. (2010)</i>	36
<i>Figure 4 : Variations de la température oculaire, de la fréquence cardiaque, du cortisol sanguin et de l'adrénaline sanguine en fonction du temps</i>	37
<i>Figure 5 : Variations de la concentration en cortisol salivaire au cours de la journée, d'après la notice d'utilisation des kits de dosage de cortisol salivaire Salimetrics (2013)</i>	40
<i>Figure 6 : Trois positions de la tête et de l'encolure. D'après Christensen et al., 2014</i>	51
<i>Figure 7 : Une des deux grandes écuries de l'Académie</i>	63
<i>Figure 8 : Séance d'entraînement dans la carrière extérieure</i>	64
<i>Figure 9 : Salivation au retour de l'exercice - Note 2</i>	71
<i>Figure 10 : Chronogramme de la séquence de prises de mesure autour de l'entraînement</i>	75
<i>Figure 11 : Chronogramme de la séquence de prises de mesures autour du spectacle</i>	75
<i>Figure 12 : Clichés de thermographie infra-rouge d'Intrépide (Criollo Argentin) avant (à gauche) et après (à droite) traitement informatique</i>	78
<i>Figure 13 : Pourcentage de peroxydase fixée en fonction de la concentration en cortisol salivaire - d'après la notice d'utilisation des kits de dosage du cortisol salivaire Salimetrics</i>	81
<i>Figure 14 : Graphiques présentant les températures maximales moyennes de surface individuelles (14a : oculaire, 14b : nasale, 14c : auriculaire) en fonction des fréquences cardiaques moyennes individuelles et droites de régression linéaire</i>	92
<i>Figure 15 : Moyennes des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle</i>	98
<i>Figure 16 : Moyennes des températures oculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle</i>	99
<i>Figure 17 : Moyennes des températures oculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle</i>	100
<i>Figure 18 : Moyennes des températures nasales maximales de l'ensemble des chevaux</i>	

<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>101</i>
<i>Figure 19 : Moyennes des températures nasales moyennes de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 20 : Moyennes des températures nasales minimales de l'ensemble des chevaux pour</i>	
<i>les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 21 : Moyennes des températures auriculaires maximales de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de</i>	
<i>Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 22 : Moyennes des températures auriculaires moyennes de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 23 : Moyennes des températures auriculaires minimales pour l'ensemble des</i>	
<i>chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 24: Deltas moyens de températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>pour l'entraînement et le spectacle.....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 25 : Deltas moyens de température oculaire moyenne de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées sur les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 26 : Deltas moyens de température nasale maximale de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 27 : Deltas moyens de température nasale moyenne de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 28 : Deltas moyens de température nasale minimale de l'ensemble des chevaux</i>	
<i>relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle.....</i>	<i>111</i>

INTRODUCTION

L'Académie du Spectacle Equestre, située dans la Grande Ecurie du château de Versailles, regroupe une trentaine de chevaux au sein de représentations jouées chaque semaine. Afin de privilégier un travail de dressage de qualité, l'Académie propose depuis ses débuts un même spectacle qui s'est transformé lentement au fil des années. Mais si le spectacle conserve le même scénario, chaque représentation demeure unique de par son public, l'ambiance en coulisse et l'humeur des écuyers. En assistant à ce spectacle ainsi qu'en ressentant l'ambiance des coulisses, nous nous sommes demandé si le cheval, au même titre que tout artiste, était sujet au « trac ». En d'autres termes, le cheval ressent-il du stress ou de l'anxiété vis-à-vis du spectacle, ou plus précisément du stress autour du spectacle ?

La réponse de stress chez le cheval possède de nombreuses composantes à l'origine de modifications physiologiques et comportementales. Parmi les modifications physiologiques on notera notamment des variations de la fréquence cardiaque ou de la température interne par exemple, mais également des variations dans les concentrations sanguine et salivaire en cortisol, hormone du stress. Le suivi de ces paramètres est, depuis de nombreuses années, utilisé pour la mise en évidence du stress. La thermographie infrarouge, en évaluant indirectement l'ouverture des territoires circulatoires cutanés variant au cours de la réponse de stress, s'affiche aujourd'hui comme une nouvelle technique d'évaluation non invasive du stress chez l'animal. Mais la réponse de stress chez le cheval se traduit également par des manifestations comportementales comme des modifications dans le port de l'encolure ou encore le mouvement des oreilles.

Pour répondre à notre problématique, nous avons suivi treize chevaux de l'Académie Equestre de Versailles chez lesquels ont été réalisés des relevés d'indices physiologiques et comportementaux, des clichés de thermographie infrarouge ainsi que le dosage de cortisol salivaire autour d'un spectacle. La comparaison des valeurs obtenues avant, juste après et après un spectacle avec celles obtenues autour de l'entraînement quotidien du cheval nous a permis de nous affranchir de l'effet de l'exercice pouvant en particulier modifier les indices physiologiques.

Dans une première partie, la définition du stress ainsi que ses manifestations physiologiques et comportementales seront évoquées puis nous aborderons les différentes méthodes de mise en évidence du stress en expliquant plus particulièrement la technique de thermographie infra-rouge. La

deuxième partie présentera quant à elle l'étude que nous avons menée à l'Académie Equestre de Versailles ainsi que ses résultats. L'étude regroupe l'utilisation de diverses méthodes : relevés de paramètres physiologiques et comportementaux, dosage de cortisol salivaire et prise de clichés de thermographie infrarouge.

PREMIERE PARTIE : ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

Ces dernières années ont vu naître un engouement tout particulier du public pour les questions de bien-être animal. Outre la souffrance physique et les mauvais traitements, l'importance de l'environnement est à présent soulevée et avec cela les effets néfastes sur l'individu de conditions externes « stressantes ». De manière à s'affranchir d'un anthropomorphisme certain, la définition du stress doit être clairement définie et l'on se doit de dissocier deux notions distinctes associées à l'emploi du terme « stress » : d'une part la perturbation des conditions environnementales, et d'autre part la réponse physiologique et comportementale de l'individu à cette perturbation. Nous avons dans notre étude ainsi évalué cette réaction physiologique et comportementale chez le cheval. Les études sur le stress se multiplient chez diverses espèces utilisant des méthodes d'évaluation très différentes. De la mesure du cortisol à la thermographie infrarouge en passant par l'utilisation de répertoires comportementaux, les méthodes d'évaluation de la réponse de stress se diversifient et permettent de s'adapter aux différentes situations auxquelles le cheval peut être confronté.

I- QU'EST-CE QUE LE STRESS ?

I-A) GENERALITES

Dans cette partie, nous allons étudier quelques grandes généralités sur le mécanisme du stress applicables à l'ensemble des animaux. Quand les publications sont présentes, nous nous intéresserons au cas particulier du cheval.

I-A-1) Définition

Le stress peut être défini comme l'ensemble des manifestations physiologiques et comportementales ayant lieu chez un individu en réponse à des pressions et des contraintes de son environnement interne et externe. La notion de stress apparaît au début du XXème siècle et est définie par Hans Selye (1978) comme la réponse d'un organisme à des pathogènes ou à des conditions environnementales sévères (froid ou choc électrique par exemple). Il constate que tout organisme soumis à un élément stressant et qui veut maintenir son homéostasie réagit par une double réponse. La première réponse est spécifique et varie en fonction de l'élément stressant ; alors que la seconde est non spécifique et invariante, que l'élément stressant soit agréable ou non. Il décompose la réponse de l'organisme à une modification environnementale en trois phases : premièrement la phase d'alarme où l'animal va choisir entre fuir ou combattre, deuxièmement le stade de résistance dans lequel l'animal s'adapte à l'élément stressant puis pour finir la phase d'épuisement dans le cas où l'élément stressant est trop puissant en intensité ou en durée. Il résume ces trois phases sous le nom de Syndrome Général d'Adaptation (Selye, 1978), qui est spécifique à chaque individu et qui explique la différence observée entre les réponses au stress des différents organismes.

L'anxiété se différencie de la notion de stress par la notion d'anticipation. On peut la considérer comme une forme de stress mais alors que pendant un épisode de stress aigu l'individu réagit immédiatement sans préméditation à une modification environnementale avérée; en phase d'anxiété, l'individu répond en l'absence de l'événement qu'il considère comme contraignant et réagit par anticipation. Dans l'état d'anxiété, il existe donc la même réponse de l'organisme que dans le phénomène de réponse de stress aigu mais sans présence d'élément stressant. Cet état d'anticipation est à l'origine de réponses non adaptées.

Au final, on peut qualifier le « stress » comme un terme générique utilisé pour décrire la réponse généralisée de l'organisme, non-spécifique, à tous les types de défis lorsque ceux-ci sont susceptibles de mettre en cause l'intégrité de l'organisme ou de représenter une menace pour l'animal. Cette réponse comporte une composante psychique (des émotions négatives par nature éphémères, dont la peur, à des états affectifs négatifs plus durables), une composante comportementale (fuir, combattre, être inhibé) et une composante physiologique (via le système autonome et l'axe corticotrope).

Le réponse de stress de l'organisme peut varier en durée. On différenciera le stress aigu du stress chronique. Le stress aigu n'a que peu de conséquences sur la biologie de l'animal, il peut s'avérer néfaste sur certains événements très courts comme pour l'ovulation par exemple (Peeters, 2011). Le stress chronique possède des conséquences plus graves. Il est le plus souvent l'addition de plusieurs épisodes de stress aigu séparés par des laps de temps trop courts pour que l'organisme récupère du coût biologique que lui cause cette épreuve. Dans le cas où l'organisme ne peut s'adapter, celui-ci entre dans un état de maladaptation ou de stress chronique (*Figure 1*). De même on distingue différents types d'anxiété : l'anxiété paroxystique qui est un état de stress intense anticipant l'évènement et l'anxiété permanente qui s'étale sur la durée et sera la plus contraignante puisque engendrant un manque d'adaptabilité important (cette anxiété peut être constante ou intermittente).

L'état de stress est divisible en deux étapes fondamentales : l'intégration de l'information (« le milieu a été modifié ») et la réponse de l'individu. Ces deux phases possèdent elles-mêmes deux composantes : une composante physiologique (sympathique, neuro-endocrine et immunitaire) et une composante psychologique.

I-A-2) Composantes physiologiques du stress

Lors d'un stress, deux types de mécanismes vont se mettre en place. Ces deux mécanismes font suite à l'analyse de la situation par le système nerveux central, en particulier le système limbique (Godyń, 2013).

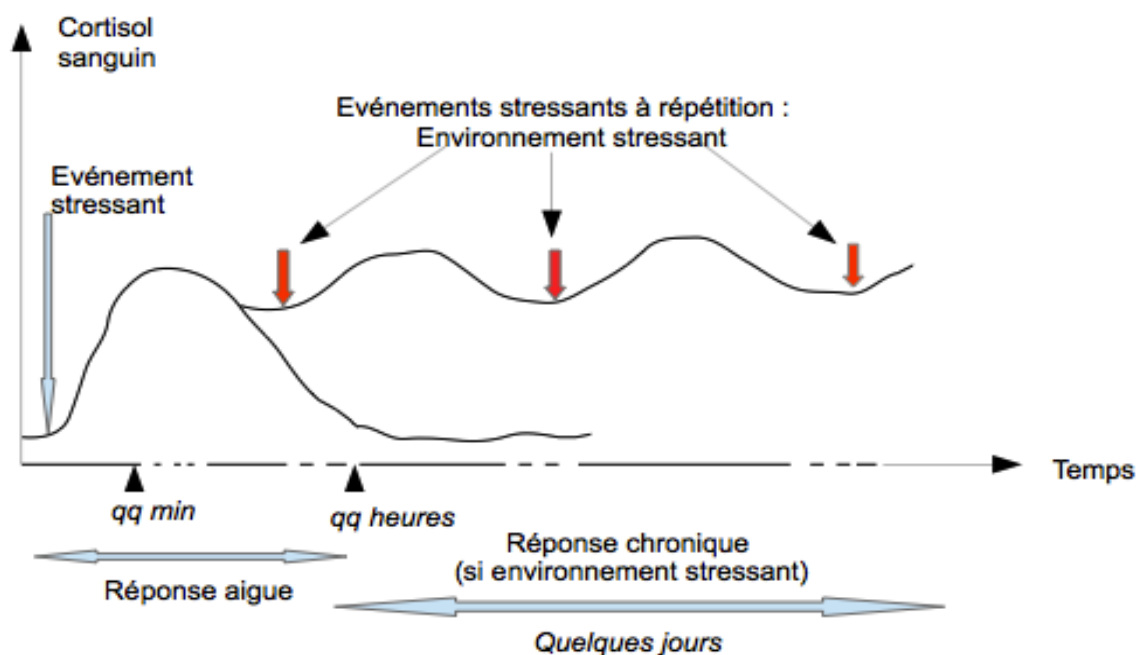
- Le premier mécanisme à se mettre en place est de nature sympathique, sa latence est de l'ordre de quelques secondes (*Figure 2*). Suite à l'activation du système nerveux autonome un relargage d'adrénaline (ou épinéphrine), produite par la partie médullaire des glandes surrénales, se réalise. L'adrénaline agit sur les récepteurs β_1 présents sur le cœur et le rein

d'où une augmentation de contraction des fibres myocardiques et le relargage de rénine ; ainsi que sur les récepteurs β_2 présents sur les fibres musculaires lisses des coronaires et des poumons d'où une bronchodilatation et la dilatation des coronaires qui permet une augmentation de la perfusion du muscle cardiaque. Une augmentation du rythme cardiaque et une libération de glucose et d'acides gras dans le sang vont suivre. Les vaisseaux irriguant les muscles squelettiques et cardiaques se dilatent, tandis que ceux de la peau et des intestins se contractent. Ce mécanisme est à l'origine d'une part du maintien des structures participant à la réponse comportementale au stress : fuir ou combattre (réponse « *flight or fight* »), et d'autre part à la limitation des pertes sanguines en cas de blessure par fermeture des territoires sanguins superficiels. Afin d'optimiser l'apport en oxygène des tissus rentrant en jeu dans la phase de réponse au stress, la fréquence respiratoire augmente, il y a bronchodilatation et la rate libère des globules rouges. Les pupilles se dilatent. La noradrénaline, produite également par la medulla de la surrénale, est libérée avec l'adrénaline et possède les mêmes effets, son rôle est cependant moindre que celui de l'adrénaline.

- Le second mécanisme est de nature neuro-endocrine (Reece, 2009) (*Figure 2*). C'est encore une fois Hans Selye qui travaille en premier sur l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien. Lors d'un stress, l'hypothalamus produit de la CRH (Corticotropin-Releasing Hormon) qui agit sur l'hypophyse. Le lobe antérieur ainsi qu'une petite partie du lobe intermédiaire de l'hypophyse sécrètent à leur tour l'ACTH (Adrenocorticotropin Hormon) qui rejoint les parties fasciculée et réticulée du cortex des glandes surrénales, productrices de glucocorticoïdes comme le cortisol (notons que la cortisone est la forme inactive du cortisol). Ainsi la seconde partie de la réponse physiologique est une libération sanguine de cortisol. Ses actions seront entre autres l'augmentation du glucose sanguin, la sensibilisation des fibres musculaires lisses vasculaires aux catécholamines et à l'angiotensine II. Le relargage de cortisol n'est cependant pas seulement marqueur de stress. Par exemple, le cortisol sanguin d'un étalon sera similaire s'il subit un stress ou s'il s'accouple avec une jument (Peeters, 2011). Cet axe hormonal est nommé l'axe corticotrope ou axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien. On estime que la sécrétion de CRH se réalise en quelques secondes, celle d'ACTH en quinze secondes. Il faut tout de même attendre quelques minutes pour retrouver le cortisol dans le sang, et sa sécrétion peut continuer jusqu'à une heure après le début de la réaction de stress. Le cortisol réalise une rétroaction négative sur l'hypothalamus et l'hypophyse. De nombreuses autres hormones voient leur concentration varier avec le stress comme la prolactine, la somatotropine, la TSH

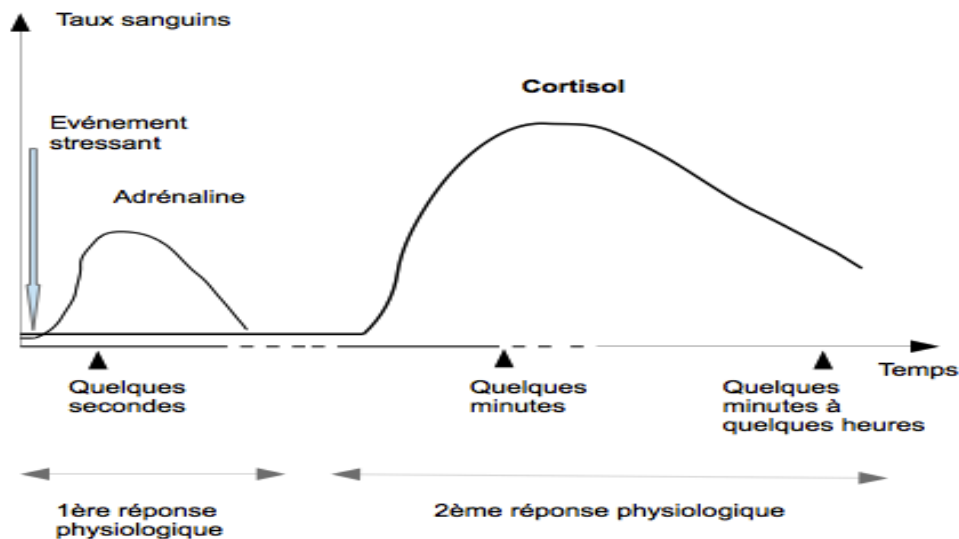
(Thyroid Stimulating Hormon) ainsi que des hormones intervenant dans la reproduction comme la LH (Luteinizing Hormon) et la FSH (Follicule-Stimulating Hormon). On comprend ainsi l'action du stress sur la reproduction (Peeters, 2011).

Figure 1 : Graphique présentant l'évolution du cortisol sanguin au cours d'un évènement stressant ou de la répétition d'évènements stressants



Remarquons qu'il existe également une composante immunitaire du stress, avec les actions anti-inflammatoire et immunosuppressive du cortisol. Cette réaction ne sera pas traitée ici.

Figure 2 : Graphique présentant la cinétique des deux réponses physiologiques



I-A-3) Composante psychologique du stress

Cette deuxième composante est sous estimée et pourtant extrêmement importante. On la divise en deux phases : la première phase de cognition et la phase de réponse comportementale.

Lorsqu'un animal ressent une émotion négative, le processus cognitif associé regroupe l'acquisition, le traitement et le stockage de l'information. Ce processus est très certainement nécessaire à la mise en place de la réponse comportementale d'une part mais également de la réponse physiologique comme en témoigne une expérience réalisée chez la vache par Stewart *et al.* (2007). Les auteurs ont réalisé des injections intraveineuses d'ACTH, de CRH (à deux concentrations différentes : 20µg et 40µg) et d'épinéphrine. A des intervalles très réguliers autour de ces injections (toutes les 5 minutes), ils dosent le cortisol et réalisent des photos à l'aide d'une caméra thermique. Les auteurs réalisent également les mêmes dosages et clichés chez une vache témoin qui reçoit une injection de sérum physiologique, ainsi que sur une vache isolée de ses autres congénères donc soumise à un stress social. Seules, les injections ne déclenchent pas une réponse au stress chez la vache (pas d'augmentation des températures oculaires et du cortisol suite à l'injection d'épinéphrine, pas d'augmentation des températures oculaires pour les autres injections) alors que des élévations de températures oculaires et de cortisol sont visibles et significatives après la pose du deuxième cathéter réalisée la seconde semaine de l'étude (épreuve stressante dont l'animal a pleine conscience et qu'il a déjà vécu). De même, les températures oculaires tendent à augmenter après l'isolement. Cette augmentation reste non significative, mais se différencie tout de même de l'absence d'évolution des températures oculaires dans les autres expériences (vaches injectées). Ainsi, seule, la libération des médiateurs chimiques du stress dans la circulation sanguine ne semble pas suffisante pour déclencher

la phase de réponse au stress. Ceci suggère que le processus cognitif joue un rôle prépondérant dans le déclenchement du stress chez l'individu. L'activité sympathique n'est pas suffisante pour déclencher un stress chez l'individu, mais si l'individu est déjà en état de stress ou de peur, le système sympathique va activer d'autant plus la réponse. L'animal semble donc nécessiter une phase de prise de conscience du stress pour y répondre de manière efficace. De même, Petters (2011) explique dans sa thèse qu'une augmentation lente de la température extérieure provoque une diminution du cortisol sanguin chez les vaches d'où une diminution des phénomènes de thermorégulation positive (extraction de chaleur par le corps) ; en revanche une augmentation brutale de température crée une élévation puis une baisse de cortisol sanguin. Un facteur variant de la même façon mais plus ou moins brutalement induit donc des réponses variables. Cette différence entre les deux concentrations en cortisol serait due à la perception de l'élément stressant. En effet, dans la première situation, l'élévation lente est perçue par le corps qui peut s'adapter au fur et à mesure. Cette lente évolution n'est pas ressentie comme une perturbation menaçante du milieu, il n'y a donc pas d'élévation de cortisol d'une part, et pas de message nerveux cortical d'alerte d'où l'absence de prise de conscience de l'animal. Cette absence d'information centrale est en lien direct avec l'absence de nécessité de lutter contre la modification environnementale. Dans le deuxième cas, la hausse rapide de la température est perçue comme une menace : le cortisol plasmatique augmente et l'animal est alerté au niveau central.

La composante psychologique regroupe donc la composante psychique et la composante comportementale citées toutes deux dans une définition précédente. La composante comportementale est donc la phase de réponse visible par un observateur, pendant laquelle l'animal va interagir avec son environnement. Elle comprend la phase d'intégration de l'information et la phase de réponse : fuir ou combattre ou s'inhiber.

La composante psychique de la réponse de stress comprend des émotions négatives (peur, anxiété, et autres types de stress aigu) de courte durée et des états négatifs par définition de durée plus longue (comme les états dépressifs). Il faut remarquer que le développement d'une émotion voire d'un état de stress dépend plus de la manière dont l'animal perçoit les événements auxquels il fait face, que des événements eux-mêmes. Il est par conséquent indispensable d'appréhender les capacités perceptives de l'animal et son état psychique puisque la réponse de stress qu'il produira sera totalement dépendante de ces derniers.

I-A-4) Manifestations de la réponse de stress

Des manifestations physiologiques et comportementales sont visibles. Les paramètres physiologiques modifiés à la suite d'un événement stressant sont :

- La libération d'adrénaline qui engendre une augmentation du rythme cardiaque ;
- La température interne du corps qui a tendance à augmenter. Dans son étude sur les vaches laitières, Stewart *et al.* (2007) mettent en évidence une élévation de la température interne des vaches laitières suite aux différentes manipulations (injection d'ACTH, de CRH, d'épinéphrine) grâce à une sonde thermique vaginale, cette élévation de température étant néanmoins non statistiquement significative ;
- L'augmentation de la sudation, générée par la libération d'adrénaline (Robertshaw, 1969).

Les modifications comportementales sont nombreuses. Rappelons auparavant que le comportement est l'ensemble des réactions observables d'un organisme qui agit en réponse à une stimulation venue de son milieu interne ou du milieu externe (Jechoux, 2004) :

- Par exemple, dans le cas du cheval, l'animal va contrôler son environnement pour juger du changement environnemental perçu et l'identifier ou non comme un danger. Physiquement, on voit l'animal se tendre, ses muscles se contractent, il porte son encolure et sa queue plus hautes. Ses sens sont en éveil : les oreilles sont mobiles ou immobiles tournées vers l'avant, les yeux sont bien ouverts, les narines peuvent être dilatées. Le cheval prépare son corps à la fuite ou au combat, d'où une augmentation des mouvements et une diminution des postures d'appui tripédal (Peeters, 2011) au profit de l'appui sur les quatre pieds ou de trépignements. Bien sûr, selon la race, ces signes sont plus ou moins marqués. Ainsi, certaines races comme les pur-sangs arabes ou anglais manifestent bien mieux leur stress que les chevaux lourds par exemple, ils sont également plus émotifs et plus sujets à manifester une réaction de stress suite à une perturbation environnementale d'où une fréquence plus importante de ce type de comportements ;

- Les chevaux soumis à un environnement non adéquat de manière chronique sont très sujets à développer des stéréotypies (Jechoux, 2004) : tic à l'ours, tic à l'appui, tic de la langue serpentine, individu qui tape des postérieurs ou des antérieurs, cheval qui se frappe la lèvre inférieure sur la lèvre supérieure, qui gratte le sol... ;
- Les comportements buccaux exploratoires non alimentaires au box sont augmentés lors de stress chronique (Young *et al.*, 2012) comme le léchage ou le toucher d'objets avec le bout des naseaux ;
- Le comportement alimentaire : on remarque que les chevaux stressés de manière chronique ingèrent plus vite leur ration. Sans restriction de quantité, on remarque que leur consommation d'aliment est augmentée (Young *et al.*, 2012). Ceci est très certainement dû à l'action centrale du cortisol qui tend à augmenter la prise alimentaire. Les manifestations d'agressivité et les stéréotypies sont fréquentes lors des distributions d'aliment (Jechoux, 2004).

I-A-5) Facteurs déclenchants de la réponse de stress

Les facteurs déclenchant le stress sont très variables : il peut s'agir d'une modification du milieu interne de l'individu comme une blessure, une douleur, une variation de température corporelle, une sensation de faim ou d'une modification du milieu externe : modification du contexte social, changement dans la routine du quotidien (d'exercice, de lieu d'entraînement...). Veissier & Boissy (2007) expliquent que les facteurs de stress sont tous les éléments qui éloignent l'organisme d'un environnement idéal. Peeters (2011) rappelle que la réalité de la dangerosité de la perturbation environnementale importe peu, c'est l'impression de menace qui compte et, par le biais du processus cognitif, déclenche les réponses physiologique et comportementale. De ce fait découle la variabilité des facteurs déclenchants puisque deux individus distincts ne réagiront pas de manière semblable à une même situation. De plus, un animal n'aura pas toujours la possibilité de répondre comme il l'aurait voulu d'où une variation dans les réponses (exemple d'un cheval dans son box qui ne peut pas fuir).

I-A-6) Variations individuelles des réponses de stress aigu et chronique chez le cheval

Nous avons vu qu'un épisode de stress peut se décomposer en deux temps : la phase d'intégration et la phase de réponse. La phase de réponse va varier en fonction de la perception du cheval de la modification de son milieu mais également en fonction de ses possibilités de réponse : possibilité de fuite, ou espace confiné.

La perception du cheval de la modification environnementale est proprement individuelle. Elle va varier en fonction de l'environnement interne et externe, de son âge et de sa génétique, de ses émotions, de son expérience, de son tempérament.

Peeters (2011) souligne que la présence d'éléments stressants augmente la sensibilité de l'individu à un nouvel agent stressant. Ainsi une modification de milieu interne comme une pathologie ou une modification du milieu externe (et en particulier un stress chronique : confinement, environnement social inadéquat, conditions climatiques difficiles) vont abaisser le seuil de tolérance du cheval aux perturbations environnementales : il réagira plus vite et avec plus d'ampleur. Au contraire, l'élevage des jeunes dans de bonnes conditions : environnements social et physique enrichis, permet l'obtention d'animaux moins émotifs.

L'âge, parce qu'il conditionne l'étendue de l'expérience passée et le comportement de l'individu, est un facteur déterminant. Peeters (2011) rappelle que les chevaux âgés présentent des taux de cortisol moindres après un intense effort, comparativement aux chevaux plus jeunes. Cette faible concentration plasmatique en cortisol pourrait être à l'origine d'une moins bonne récupération après l'effort. Les chevaux âgés produisent-ils moins de cortisol par manque de stimulation nerveuse (habitués pendant des années à réaliser diverses exercices, il n'y a plus d'influx nerveux créant la réponse par l'axe corticotrope) ou la production de cortisol est-elle diminuée dans les cellules des zones fasciculée et réticulée, stimulées pourtant toujours de la même manière ? (Mormède *et al.*, 2007).

Le statut physiologique de l'individu comme la grossesse ou la période péri-natale influencent la réponse de l'organisme (Mormède *et al.*, 2007). De même le sexe de l'individu influence la réponse de stress.

Nous évoquions précédemment la différence entre les chevaux de sang et les chevaux lourds. Il paraît évident qu'il existe des variations entre les races, avec l'existence de certaines races plus émotives que d'autres et sélectionnées pour cette caractéristique. En dressage, la réactivité du cheval aux stimuli externes est recherchée. Dans l'élevage industriel, les races et les lignées de porcs, de lapins ou de volailles ont été sélectionnées génétiquement pour leur capacité à bien se développer (bon gain moyen quotidien et résistance du système immunitaire) malgré le stress causé par le sur-effectif, le confinement et la modification de l'environnement par rapport au milieu naturel. Il est donc clair que la réponse au stress est conditionnée génétiquement. Mormède *et al.* (2007) expliquent que la réponse corticosurrénalienne à l'ACTH est génétiquement déterminée. Ils ajoutent que la biodisponibilité des hormones corticoïdes est déterminée par des facteurs génétiques. Par exemple il est prouvé que chez le porc, le polymorphisme génétique du gène codant pour la protéine de transport du cortisol CBG est à l'origine de taux variables de cortisol circulant entre les individus porteurs des différents allèles. La variabilité des récepteurs, génétiquement déterminée, influence également la réponse physiologique de stress. Soulignons que les réponses comportementales de fuite ou de combat sont génétiquement, au moins en partie, déterminées. Bien sûr au sein d'une race, il existe encore beaucoup de variations entre individus et entre lignées sélectionnées. Il existe également des spécificités de réponse de stress pour chaque espèce (Mormède *et al.*, 2007).

L'état émotif de l'animal conditionne la représentation de l'élément stressant. Ainsi, un animal soumis à un stress quelconque (frustration alimentaire, confinement, isolement, maladie débilitante...) réagira plus rapidement à un nouvel élément stressant. Il existe donc un seuil de perturbations environnementales qui, une fois franchi, donne lieu à une réponse comportementale et physiologique. L'impact des différents stress s'additionne et on comprend qu'un animal évoluant dans un univers non adéquat soit plus sujet à déclencher des réponses de stress. Mormède *et al.* (2007) expliquent que l'exposition répétée à des événements stressants chez le rat augmente les réponses prochaines à des événements stressants. En effet, le taux de corticostérone est augmenté chez ces rats lors d'un phénomène de réponse de stress par rapport à un groupe de rats non soumis régulièrement à des événements stressants. Concrètement, cela se traduit par une augmentation de la réactivité chez ces individus soumis de manière chronique à un stress environnemental.

L'expérience passée, qu'elle soit positive ou négative aura également une part importante. On comprend aisément l'association que l'animal fera entre un élément désagréable (douleur ou stress) et un autre élément ou une expérience présent simultanément. C'est le principe du renforcement positif

ou négatif utilisé en éducation ou dressage des animaux : caresser ou donner une friandise à un chien qui a réalisé l'action que l'on attendait. Biochimiquement parlant, on met même en évidence qu'une gestation conduite dans un environnement stressant est responsable d'un taux élevé de corticostéroïdes plasmatiques foetaux et de troubles de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien des petits (Peeters, 2011).

L'environnement où se développeront les juvéniles est très important : un environnement légèrement stressant augmentera la faculté d'adaptation du jeune alors qu'un environnement trop stressant pourra avoir des effets néfastes. La qualité de l'élevage prend ici toute son importance, mais alors qu'il sera aisé de juger de celle-ci en ce qui concerne les carnivores puisque le propriétaire est souvent amené à le visiter, cela devient plus difficile dans le monde du cheval où les intermédiaires sont nombreux.

Enfin, deux individus génétiquement identiques, élevés dans les mêmes conditions et possédant la même expérience ainsi que le même milieu externe pourront réagir différemment à la même situation. Cette différence est liée au tempérament, notion difficile à appréhender correspondant à la personnalité chez l'humain. Une étude de Valençon *et al.* (2013) s'attache à déterminer le tempérament d'un groupe de chevaux et à mettre en évidence les effets du tempérament sur l'apprentissage chez le cheval. Ils mettent en évidence la nécessité de travailler dans un univers stressant pour faire ressortir les effets du tempérament. Dans leur étude, les auteurs mettent en situation d'apprentissage différents chevaux préalablement notés du point de vue du tempérament et les soumettent à un élément stressant avant ou après l'apprentissage. Ils réitèrent l'expérience une semaine plus tard sans élément stressant. Les tests de tempérament ont été réalisés d'après les publications de Lansade *et al.* (2008) et s'attachent au suivi des cinq critères suivants : le caractère apeuré, le caractère grégaire, la réactivité à l'humain, le niveau d'activité locomotrice et la sensibilité au toucher. Les auteurs mettent en évidence d'une part que la présence de l'élément stressant, et ce surtout avant la séance d'acquisition, accroît les capacités d'apprentissage et que le souvenir d'un élément stressant, et en particulier s'il est survenu après la première séance d'acquisition diminue les capacités d'apprentissage lors de la deuxième séance. Enfin, les effets du tempérament sur la facilité d'apprentissage ne sont mis en évidence qu'en situation environnementale stressante. Un environnement stressant est donc nécessaire pour la mise en exergue des effets du tempérament sur les capacités cognitives du cheval.

I-B) LE CHEVAL DE SPECTACLE

I-B-1) Races et activités

Il en va de la variabilité des chevaux utilisés en spectacle comme de la diversité des expressions artistiques. Ainsi les chevaux retrouvés en spectacle sont d'une grande hétérogénéité, et choisis à la faveur des inspirations des metteurs en scène. Chacun y va de son goût personnel et de sa tradition, tout en choisissant des chevaux adaptés aux disciplines développées. Par exemple, le Cadre Noir de Saumur mettant un point d'honneur à défendre les différents horizons de l'Équitation Traditionnelle Française (dressage, saut d'obstacles et sauts académiques) sélectionnent essentiellement des Selles Français, des Anglo-arabes et des Pur-Sangs. L'Ecole Espagnole de Vienne, quant à elle, ne travaille que des Lipizzans (originaires de Slovénie) et depuis son origine, L'Ecole d'Art Équestre du Portugal des Lusitaniens. Beaucoup d'institutions moins traditionalistes s'orientent souvent vers les chevaux ibériques très prompts au dressage de Basse et Haute Ecoles et décrits comme des animaux très à l'écoute de leur cavalier. On retrouve ainsi des chevaux de Pure Race Espagnole et des Lusitaniens. L'aspect physique est évidemment très pris en compte dans le choix des chevaux de Spectacle. Enfin, en fonction des disciplines retrouvées en show, on retrouvera une grande variabilité ethnologique. La voltige nécessitera des chevaux tranquilles au dos large et solide (chevaux lourds par exemple), certains exercices comme le spin (figure de reining, discipline d'équitation western) où le cheval se déplace autour d'un pied postérieur pivot pour réaliser plusieurs tours sur lui même à vive allure ne pourront quasiment être réalisées que par des Quarter Horses.

Ainsi à l'Académie du Spectacle Équestre de Versailles, on retrouve beaucoup de Lusitaniens dont la majorité Cremellos (sélectionnés pour leur couleur particulière) ; des Criollos Argentins qui sont les chevaux de travail des Gauchos argentins, utilisés ici pour leur maniabilité dans les numéros d'Écime à cheval ; des poneys Sorrayas, originaires du Portugal où ils vivent encore à l'état semi-sauvage, pour des chorégraphies en longues rênes ; et enfin quelques Quarter Horses.

Enfin, un cheval de spectacle est avant tout un cheval soumis à un public, à un lieu de travail très particulier (jeux de lumière, musique...), l'éloignant totalement de son milieu naturel. Certains chevaux réaliseront un même numéro pendant de longues années alors que d'autres seront en quasi-improvisation lors de chaque représentation. Enfin, le cheval de spectacle n'est pas seul sur scène très généralement. Si le cavalier ou si ses congénères sont stressés, il peut le devenir. Le stress peut naître de nombreux éléments différents.

I-B-2) Pourquoi s'intéresser au stress du cheval en spectacle ?

➤ Parce que ses conditions de travail sont stressantes

En effet, peut-on parler de trac comme pour l'homme ? Le trac correspond à l'anxiété et au stress ressentis par l'homme avant et pendant une action réalisée en public : discours, prestation artistique ou simple parution. Si le cheval ne réalise peut-être pas l'enjeu du spectacle et ne cherche pas à produire des sentiments positifs chez le spectateur, il est cependant soumis à un stress. Ce stress est avant tout lié aux conditions de travail. Les transitions entre les numéros se font souvent dans le noir, les passages sur scène quant à eux se réalisent dans des lumières tamisées ou au contraire sous des éclairages pouvant être très intenses. De plus si un filet de musique classique peut s'avérer apaisant quand il est diffusé en bruit de fond dans les écuries, on comprend que le son des spectacles souvent assez fort et parfois moins relaxant puisse être à l'origine d'une réponse de stress.

Ensuite, le public rassemble en général des personnes qui ne connaissent rien aux chevaux et donc ne prêtent pas du tout attention à leurs comportements effrayants pour le cheval. Une personne habillée avec des matières en plastique (bruits du froissement de la matière), des couleurs très vives ; un mouvement un peu brusque ou simplement un spectateur qui étend ses jambes, ou bien encore quelqu'un qui par réflexe se couvre les yeux parce qu'il a reçu des projections de sable de la scène ; les flashes des appareils photos (bien qu'interdits) enfin les rires, les cris, les éternuements... Nombreuses sont les situations générant un environnement stressant.

➤ Parce que la nature même des exercices est stressante

Le spectateur n'est pas là pour voir un simple exercice de détente mais quelque chose d'un peu extraordinaire. On demande donc à l'animal de fournir le meilleur de lui-même, on le pousse au bout de ses capacités. De plus, et on retrouve cet exemple à l'Académie d'Art Equestre de Versailles, les chevaux sont souvent très nombreux sur scène. Les distances entre les individus sont diminuées et la création artistique ne souffre pas toujours de considérer les affinités de tel ou tel individu. Au contraire, durant les périodes d'entraînement, les chevaux sont en faible effectif dans le manège et les affinités sont prises en compte. Rappelons d'ailleurs que les étalons sont plus couramment utilisés que nulle part ailleurs, et que réussir à faire évoluer de nombreux entiers les uns à côté des autres sans agression peut s'avérer très délicat.

➤ **Parce que le cavalier lui-même peut être sujet au stress**

En effet, le cavalier stressé est plus tendu, moins à l'écoute du cheval, moins patient, moins souple dans la main, moins relâché dans l'assiette et toutes ces modifications peuvent être ressenties par le cheval. Or ce sont autant de signaux pour le cheval qui vont modifier son attitude, la qualité de sa mise en place (de son positionnement), sa réponse aux stimuli et donc diminuer sa performance. De plus, le cheval peut également devenir stressé. Il peut donc être essentiel de prendre en compte le trac du cavalier lors de l'évaluation du stress du cheval.

➤ **Parce que ce sont des chevaux de dressage**

La majorité des chevaux de spectacle sont en réalité des chevaux de dressage de Haute ou Basse Ecoles (en fonction de la difficulté des figures réalisées), mis à part les quelques chevaux de voltige ou ceux qui évoluent seuls pour des numéros d'improvisation. Hausberger *et al.* (2009) mettent en évidence, par l'étude des stéréotypies chez des chevaux de différentes disciplines, que les chevaux de dressage sont sujets à développer plus de réactions de stress que les autres car ils manifestent différents types de stéréotypies et surtout les types les plus graves. Ceci est dû au type de travail même. Le cheval de dressage est forcé à conserver une position arrondie bien spécifique (encolure et tête incurvées), de refréner ses mouvements mais de conserver une grande énergie. Ces contraintes sont source de stress et de nervosité chez le cheval. Le cheval de voltige est beaucoup moins sujet au stress (peu de stéréotypies et de types les moins graves).

II- LA THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE - OUTIL DE MISE EN EVIDENCE DU STRESS CHEZ L'ANIMAL

II-A) LA THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE : UNE TECHNIQUE REVELATRICE DE LA REACTION DE STRESS ?

II-A-1) Rayonnement infra-rouge

À température ambiante, tout objet dont la température est supérieure au zéro absolu émet spontanément des rayons infra-rouges. Le rayonnement infra-rouge est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde inférieure à celle de la lumière visible et en particulier du rouge. L'émission d'infra-rouges est directement liée à la chaleur d'un corps, puisque la température du corps détermine la longueur d'onde des rayons infra-rouges émis. L'émission est maximale pour des températures comprises entre -40 et 100°C ce qui correspond à des longueurs d'ondes comprises entre 8 et 12µm (Mc Cafferty, 2013).

Les caméras thermiques vont mesurer une radiation R (W/m^2) et la transformer en température (K) grâce à la loi de Stefan Boltzmann :

$$R = \epsilon \sigma T^4$$

avec :

ϵ = émissivité de la surface : capacité d'une surface à émettre et absorber des rayons (0,96 ; 0,98 à 1,0 pour un corps animal en général, voir le paragraphe A-3)).

σ = constante de Stefan Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2/K^4$.

T = Température (K).

L'émission par le corps d'infra-rouges est exploitée par de nombreuses techniques. Les équipements de vision nocturne par exemple détectent l'émission d'infra-rouges et les amplifient pour former une image dont les éléments les plus lumineux sont les plus chauds. La thermographie infra-rouge, grâce à l'utilisation d'une caméra thermique, détecte la différence d'émission d'infra-rouges et

permet de détecter les différentes températures de surface d'un corps. Elle fut également utilisée comme détecteur de mensonge chez l'humain puisqu'une augmentation de la température oculaire est visible lorsqu'un individu ressent une émotion. La réflectographie infra-rouge permet de visualiser des couches de carbone sous la peinture, cette technique est utilisée pour démasquer les dessins préparatoires de peintures sur toile.

Dans le domaine médical vétérinaire, la thermographie infra-rouge est utilisée davantage chez le cheval pour le dépistage de lésions inflammatoires du pied, des tendons, des ligaments et des muscles. Cependant de nombreuses études étendent son utilisation. Le rôle de la circulation sanguine périphérique, du tissu adipeux brun ainsi que de la fourrure est mis en évidence dans le maintien de la chaleur. Des changements de températures corporelles sont mises en évidence chez des animaux pendant certains comportements comme les vocalisations, la chasse ou les rassemblements (Mc Cafferty, 2007). Scolari (2010) montre un changement de la température cutanée lors de l'oestrus chez la truie, tandis que Rainwater-Lovet *et al.* (2009) l'utilisent afin de détecter les animaux infectés par le virus de la FCO (Fièvre Catarrhale Ovine). La thermographie a également été utilisée sur des cas de gale sarcoptique. Des équipes travaillent actuellement sur le lien entre la température de surface d'un animal et sa température interne pour à terme pouvoir mesurer à distance la température interne d'un animal.

Enfin, la thermographie infra-rouge peut être utilisée à distance pour la détection de corps chauds et donc le suivi de populations en particulier des phénomènes migratoires nocturnes. Elle a été proposée pour la surveillance nocturne des champs mais la technique semble encore trop coûteuse comparée à de simples caméras nocturnes.

La thermographie infra-rouge est également aujourd'hui de plus en plus utilisée dans le domaine de l'éthologie et de la physiologie intégrative pour les raisons citées dans le paragraphe suivant.

II-A-2) Pourquoi utiliser la thermographie infra-rouge ?

L'utilisation de la thermographie infra-rouge pour la mesure des réponses de stress est toute récente, et date de moins de dix ans. Cependant, son utilisation est de plus en plus fréquente et ce, chez de nombreuses espèces, quelles soient sauvages ou domestiques. On retrouve des publications entre autres chez la vache (Stewart *et al.*, 2007), le cheval (Valera *et al.*, 2012 ; Bartolome *et al.*, 2013, Mc Greevy *et al.*, 2012), le singe (Kuraoka et Nakamura, 2011), la poule (Mc Cafferty., 2013) et le lapin (Ludwig *et al.*, 2007). Cette technique est en grande expansion et ceci pour diverses raisons.

D'une part, les premiers résultats ont donné des résultats très satisfaisants, corrélables à l'évolution du cortisol plasmatique (voir chapitre suivant). De plus cette technique est assez fine puisqu'elle détecte des différences de température de l'ordre de 0,1°C.

D'autre part, cette méthode non-invasive est particulièrement rapide et simple et ne crée pas de stress manipulation-dépendante. En effet, après deux ou trois clichés, les animaux s'habituent rapidement à la caméra ; au contraire la réalisation d'une prise de sang avec la contention adéquate ou même le prélèvement de salive sont beaucoup plus contraignants et traumatisants, pouvant entraîner des élévations de cortisol. De plus, la pose d'un cathéter pour le recueil du sang n'est possible que sur les animaux d'expérimentation, la mesure du stress sur des individus non expérimentaux et de propriétaires nécessitent donc des prises de sang régulières (un cheval de propriétaire ne peut pas faire un parcours avec un cathéter en place). La répétition des prises de sang comporte toujours un risque de thromboses notamment chez le cheval. Enfin dans le cas particulier du cheval de spectacle, et surtout des Lusitaniens Cremellos que nous avons suivis, la réalisation de prises de sang peut s'avérer périlleuse car laisser ne serait-ce qu'une goutte de sang au point de prélèvement se voit beaucoup et serait très mal vu du public. Enfin, la conservation et l'analyse de centaines de clichés thermiques est beaucoup moins coûteuse que celles de prélèvements de cortisol.

Pour les espèces sauvages ou très sujettes au stress comme le lapin, la thermographie infrarouge est une méthode de choix puisque la caméra peut être fixée au dessus de l'aire où évoluent les animaux et le manipulateur peut récupérer à distance ses clichés. La thermographie nécessite de positionner la caméra à 1m de la surface étudiée mais cette proximité n'est nécessaire uniquement pour les relevés fins de température. La thermographie appliquée au recensement d'espèces ou au suivi des oiseaux migrateurs la nuit par exemple est moins fine puisqu'elle ne s'attache qu'à détecter la présence de corps chauds. Dans ce cas, la caméra peut être espacée d'environ 1000m de sa cible.

Les relevés peuvent se présenter sous forme de clichés réalisés manuellement ou automatiquement, ou de films (Mc Cafferty, 2013).

II-A-3) Facteurs intervenant dans la radiation détectée par la caméra

- **Les phanères**

La radiation d'une surface et donc son image thermique va dépendre de la présence de poils ou non et du gradient de température présent entre la surface de la peau et la surface du pelage (Mc Cafferty, 2007). A cela, nous devons ajouter les flux présents dans l'air au contact du pelage. Au final, la température à la surface du pelage est fonction de la perte de chaleur par radiation et convection vers l'environnement externe, de la conduction de la chaleur à travers le pelage et de

l'échange de chaleurs et de courtes ondes. Bien sûr, la température, l'hygrométrie et l'ensoleillement de l'environnement sont importantes puisque vont déterminer l'importance des différents échanges thermiques.

Par exemple on met en évidence que la température de surface des pelages noirs est plus importante que celle des pelages blancs. Ce phénomène est retrouvé chez les oiseaux chez qui un plumage noir va présenter une absorbance solaire plus importante et donc des températures de surface plus élevées. Notons que l'émissivité n'est pas modifiée par la couleur des surfaces (Mc Cafferty, 2013).

La couleur n'est pas le seul élément entrant en jeu dans l'importance des transferts de chaleur à travers le pelage. L'épaisseur, la densité ainsi que la qualité du poil influent beaucoup sur ces derniers et donc sur la température de surface mesurée.

- **Hygrométrie et température ambiante**

Comme expliqué ci dessus, les transferts thermiques vont varier en intensité selon les conditions climatiques. Plus le gradient de température présent entre la peau ou la surface du pelage et l'air sera élevé et plus les transferts thermiques seront importants. L'hygrométrie va également intervenir dans les phénomènes de sudation et donc dans les transferts thermiques. De plus, une atmosphère humide peut être à l'origine du dépôt d'une fine couche d'eau sur la peau et donc d'une variation de l'émissivité du corps.

- **Présence de substances sur le pelage**

L'émissivité est relativement stable d'un mammifère à l'autre : de 0,98 à 1,0 (Mc Cafferty, 2013), l'émissivité chez les oiseaux variant de 0,96 à 0,98 (Mc Cafferty, 2007). Cependant, la présence d'eau (0,96) ou de terre (0,93-0,96) font diminuer l'émissivité de pelage ou de plumage. La technique est donc utilisable en milieu aérien, sur des animaux au pelage sec et propre. Cependant, la variation de température a été estimée à moins de 0,5°C (Mc Cafferty, 2007) et peut être prise en compte et gérée par informatique de manière à s'affranchir de l'effet de l'eau ou de la terre sur le pelage.

- **Angle de prise du cliché par rapport à la surface photographiée**

Afin de pouvoir comparer des températures d'une même surface à deux moments différents ou sur deux individus différents, il est nécessaire que les clichés soient effectués de manière homogène et avec le même angle. Il a été prouvé qu'une variation de l'angle de prise de moins de 30° reste sans

conséquences. Cependant, pour une variation de l'angle de prise du cliché comprise entre 30 et 70°, on détecte une variation dans la température d'un point X de 0,5 à 3°C (Mc Cafferty, 2007).

- **Interfaces corps chauds – corps froids ou air**

Les points situés sur les interfaces corps chauds et corps froids (par exemple les barreaux en métal d'une cage dans lequel est présent l'animal que l'on étudie) ou sur les interfaces corps chauds–air ne sont pas représentatifs de la température réelle de surface. Il convient donc de ne pas les prendre en compte (Mc Cafferty, 2013).

II-A-4) Quelle température de surface analyser ?

De nombreuses zones ont été testées afin de déterminer la région dont les variations de température étaient les plus représentatives de l'activité sympathique. Kuraoka et Nakamura (2011) mettent en évidence une diminution de la température nasale du macaque rhésus lors d'émotions négatives (présentation d'un individu menaçant ou effrayant).

Nakanishi *et al.* (2007) ont utilisé la thermographie infra-rouge chez le nourrisson. En effet, le jeune enfant pose autant de problèmes que l'animal pour l'étude des émotions puisqu'il ne peut pas les expliquer. Les mesures plus invasives types cortisol sanguin sont bien évidemment hors de propos, la fréquence cardiaque peut être mesurée mais son relevé nécessite la mise en place d'électrodes pouvant générer un stress iatrogène. Encore une fois la thermographie infra-rouge est une technique de choix pour l'étude des émotions du nourrisson. Nakanishi *et al.* (2007) ont étudié les températures du nez, du front et des joues durant une période de deux minutes où l'enfant rit. Ils mettent en évidence une baisse significative de la température du nez à partir de 15 secondes après le début du rire chez les nourrissons de plus de 4 mois, cette baisse étant de $1,2 \pm 0,32^{\circ}\text{C}$. Les résultats concernant le front et les joues sont beaucoup moins significatifs et très individu-dépendants (surtout pour les températures des joues). Cette diminution de température nasale est liée à une activation du système sympathique provoqué par l'excitation générée par le rire. Il semblerait que le mécanisme ne fonctionne pas encore sur les enfants âgés de moins de 4 mois, ou en tout cas que le rire ne l'active pas.

Nombreuses sont les études utilisant la température oculaire maximale. Il existe en particulier une petite zone au niveau du bord postérieur médial de la paupière inférieure, à côté de la caroncule lacrymale qui est un endroit possédant un lit vasculaire richement innervé par le système sympathique. En plus cette zone de la peau varie peu en épaisseur et en couleur, deux facteurs qui

jouent sur l'intensité du transfert thermique (Bartolomé *et al.*, 2013). Valera *et al.* (2012) et Bartolomé *et al.* (2013) relèvent des températures oculaires plus élevées chez les chevaux cinq minutes après une compétition.

D'autres études menées chez les bovins subissant un écornage mettent en évidence une diminution juste après l'écornage de la température oculaire liée à la fermeture des territoires capillaires superficiels, suivie d'une augmentation de température quelques minutes après l'écornage. C'est également le cas dans l'étude réalisée par Godyń *et al.* (2013) où les auteurs mettent en évidence une diminution significative de la température oculaire immédiatement après l'écornage ou la castration réalisés sans analgésie chez des taurillons, puis une hausse de la température pendant plusieurs minutes.

Cependant, l'analyse des clichés de thermographie est très laborieux, et le repérage de zones précises comme la caroncule lacrymale est quasi-impossible. On utilisera plutôt la température maximale comprise dans un ovale entourant l'oeil avec une marge de 1cm autour de l'œil (Bartolomé *et al.* 2013, Mc Greevy *et al.* 2012, Valera *et al.* 2012). En utilisant la température maximale et non la température moyenne, on retrouve ainsi la température des deux zones situées précédemment, caroncule lacrymale et bord postérieur médial de la paupière inférieure. De plus, on n'observe pas ou extrêmement peu de différence pour la température maximale si l'ovale n'est pas rigoureusement établi à 1cm des bords des paupières, alors que la température moyenne varie beaucoup plus (si on agrandit l'ovale autour de l' œil, les zones péri-orbitaires plus froides vont être prises en compte et faire diminuer la température moyenne).

On remarque donc que les études sur les primates humains ou non-humains utilisent surtout la température nasale alors que la température oculaire est davantage utilisée sur les autres mammifères : vaches et chevaux par exemple.

II-A-5) Comment varie la température oculaire maximale ?

Les températures oculaire et nasale varient différemment en fonction de la zone étudiée, du stress subi et du moment de prise du cliché. En effet, Stewart (2008) met en évidence une baisse significative de température oculaire maximale de $0,32 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$, 20 à 40 secondes après que la vache ait été surprise, puis une rapide normalisation de la température en 100 à 120 sec. De même, après que les vaches aient été frappées trois fois avec une barre en plastique, la température oculaire maximale diminue significativement de $0,23 \pm 0,08^{\circ}\text{C}$ en 20 à 40 secondes puis réaugmente jusqu'à sa

valeur basale en 60 à 80 secondes. On constate donc que suivant la simulation : surprise, ou faible douleur, la réponse au stress varie.

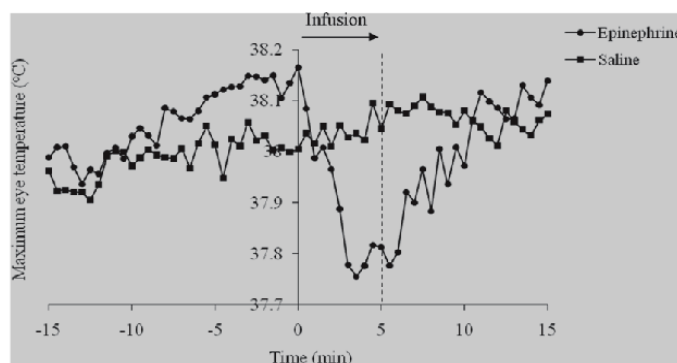
Au contraire, Valera *et al.* (2012) observent une hausse de la température oculaire maximale quelques minutes après la fin d'une compétition chez le cheval. Une augmentation de température oculaire maximale de 0,98°C entre le moment BC (3h avant la compétition) et le moment JAC (5min après compétition) et une diminution de 0,55°C entre le moment JAC et le moment AC (3h après compétition) sont relevées.

Stewart (2008) montre également une diminution significative de la température oculaire maximale juste après écornage ou castration chez les veaux sans analgésie. La température oculaire maximale atteint son minimum en 1 minute mais reste au-dessous de sa valeur basale pendant les 5 minutes post-manipulation, la variation de température enregistrée étant de -0,27°C. S'ensuit une hausse de la température oculaire maximale plus durable sur quelques dizaines de minutes, celle-ci demeurant à plus de 0,60 à 0,66°C au delà de sa valeur basale (valeur moyenne issue de relevés réalisés sur des animaux témoins non soumis à l'écornage).

Ainsi il semblerait que la température oculaire maximale commence d'abord par chuter puis ré-augmente suite à l'événement stressant. Cette baisse est facilement expliquée par l'activation du système orthosympathique qui ferme les territoires capillaires superficiels.

En effet, Stewart *et al.* (2010) étudient les variations de la température oculaire après injection d'une dose conséquente d'adrénaline (4µg/kg au lieu de 1,4µ/kg réalisé dans une étude préliminaire). Alors qu'avec la dose de 1,4µg/kg aucune variation de température n'était notée (Stewart, 2007), une baisse significative est observée durant l'injection de 4µg/kg, la température restant basse encore 2 minutes après la fin de l'injection lente d'épinéphrine puis ré-augmentant au niveau des valeurs basales (*Figure 3*). La moyenne de température oculaire maximale diminue ainsi de 0.14±0.05°C. Ceci est lié à la demi-vie très courte de l'adrénaline. L'adrénaline induit donc une fermeture des capillaires oculaires d'où une baisse de la température de l'œil. La première manifestation est donc d'origine orthosympathique.

Figure 3 : Variations de la température oculaire maximale (°C) suivant une injection d'épinéphrine (de 0 à 5min), d'après Stewart *et al.* (2010)



Dans un second temps, et si le stress est suffisamment important, on observe une hausse de la température oculaire maximale et au delà du seuil normal : c'est le cas lors de l'étude de Stewart (2008) sur l'écornage des veaux. Il est ainsi nécessaire que le stress soit important comme une douleur intense ou un stress avec une forte composante psychologique. En effet, une injection d'épinéphrine n'induit pas cette augmentation de température a posteriori, un simple effet de surprise ou une faible douleur comme être frappé par un tube en plastique (non douloureux) ne l'induit pas non plus (Stewart, 2008).

On peut se demander à quoi est due cette deuxième variation, et se questionner sur l'impact de l'activation de l'axe corticotrope. Or Stewart *et al.* (2007) trouvent des températures oculaires inchangées après injection d'ACTH, de CRH ou de cortisol chez la vache. Il semblerait donc que l'augmentation des taux de cortisol, d'ACTH ou de CRH ne soit pas responsable de l'élévation secondaire de température oculaire, ou tout du moins seulement en partie.

Stewart *et al.* (2008) évoquent l'hypothèse d'une activation de l'axe parasympathique suite à la douleur à l'origine d'une vasodilatation du lit capillaire de l'œil et donc d'une hausse de la température oculaire (le rôle de la perception douloureuse est important puisque la hausse de température oculaire dans les 20 minutes post-castration est plus élevée chez les sujets non analgésiés). Le mécanisme de hausse de température oculaire est encore inconnu, l'activation secondaire du système parasympathique est une possibilité. Elle serait due à la libération pendant la douleur de monoxyde d'azote (substance paracrine à l'origine de la vasodilatation), de bradykinines, de prostaglandines, d'adrénaline et d'histamines (Stewart, 2008).

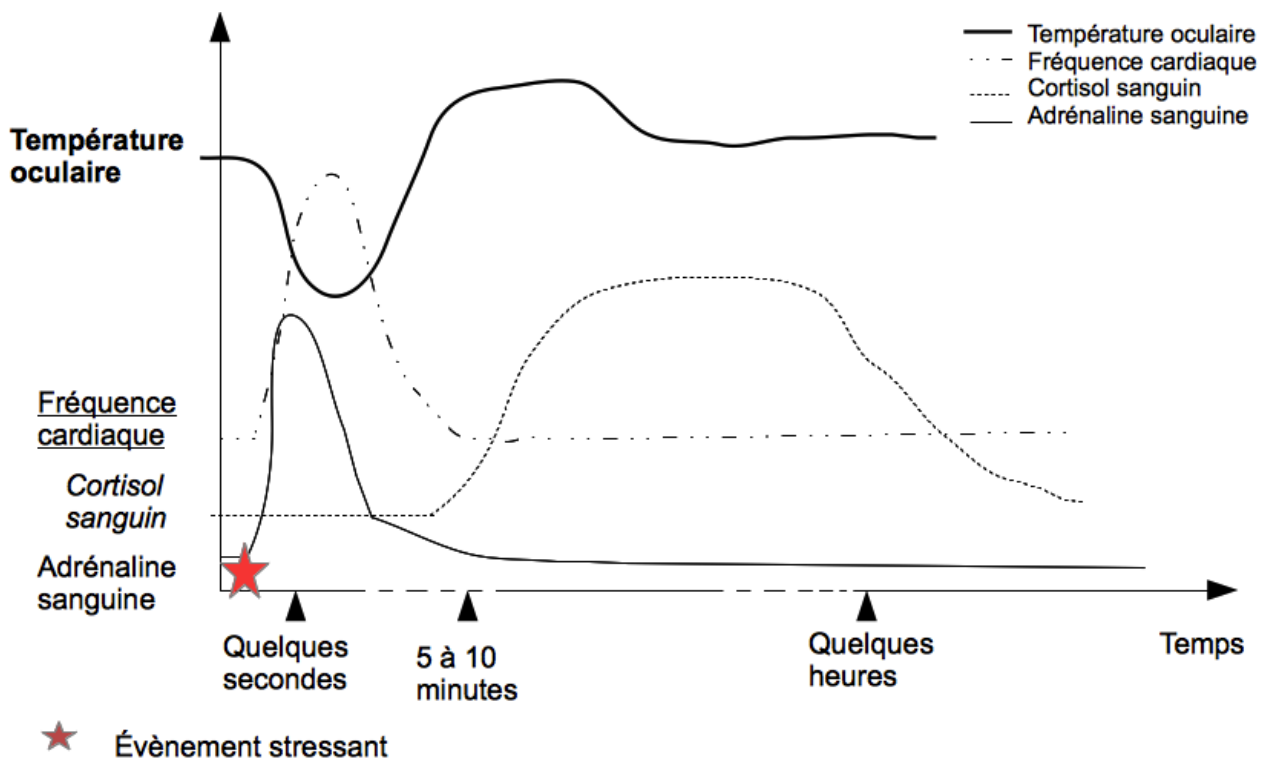
Cependant, ces molécules sont-elles synthétisées lors d'un stress lié à la compétition ? Cela pourrait expliquer les résultats de Valera *et al.* (2012) qui montrent une augmentation de la température oculaire quelques minutes après la compétition chez le cheval. De même, Hall *et al.*

(2013) montrent une baisse de la moyenne de température oculaire maximale juste après l'échauffement puis une hausse après l'exercice chez le cheval de selle. Cependant, cette étude ne met pas en évidence de corrélations entre le cortisol salivaire et la moyenne de température maximale oculaire, les résultats sont donc à interpréter avec précautions.

Le schéma ci-dessous (*Figure 4*) résume le phénomène de changements de température oculaire maximale faisant suite à un événement stressant perçu par un animal : d'abord une baisse commençant dans les premières dizaines de secondes, la température restant alors inférieure à sa valeur basale cinq à sept minutes mais commence à remonter en général à partir de deux ou trois minutes après l'évènement stressant. Ensuite, si l'évènement stressant a été suffisamment important, la température augmente au delà des valeurs basales (à partir de cinq minutes post-évènement) et ceci pour quelques dizaines de minutes.

Bartolomé *et al.* (2013) arrivent à la conclusion que plus la température oculaire maximale avant et pendant un parcours est basse et meilleure sera la performance. La thermographie infra-rouge est donc fortement évocatrice de l'état psychologique du cheval.

Figure 4 : Variations de la température oculaire, de la fréquence cardiaque, du cortisol sanguin et de l'adrénaline sanguine en fonction du temps



II-B) AVEC QUELS AUTRES INDICATEURS CORRELER LES RESULTATS DE

THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE ?

Nous avons cherché à valider l'utilisation de la thermographie infra-rouge pour l'identification du stress lié au spectacle chez le cheval. En effet, bien que de nombreuses publications valident cette technique, le spectacle est un monde bien à part. D'abord, il a fallu nous adapter au rythme des va-et-vient des coulisses pour adapter le protocole. Ensuite, les chevaux en entraînement sont travaillés avec légèrement moins d'exigence, ils ne réalisent donc pas le même effort que lors de leur numéro de spectacle où on leur demande le meilleur mais pendant un délai moins long.

II-B-1) La concentration en cortisol salivaire

II-B-1-a) Le cortisol salivaire

Le cortisol est classiquement dosé pour objectiver le stress, et de plus en plus les prélèvements salivaires sont choisis au profit des prélèvements sanguins car ils sont non-invasifs, non traumatisants (pas de risque de thromboses) et engendrent beaucoup moins de stress qu'une prise de sang. Signalons que le cortisol peut également être dosé dans le lait, l'urine et les fèces (Mormède *et al.*, 2007). Même si ces mesures ne permettent pas une analyse très fine des variations de cortisol, elles peuvent néanmoins être utilisées pour identifier un stress chronique.

De plus, le cortisol, hormone liposoluble, diffuse librement à travers la membrane plasmique et passe dans la salive en diffusant passivement à travers les glandes salivaires. Le cortisol présent dans la salive est libre car il n'existe pas de protéines de liaison dans la salive. Le cortisol salivaire est proportionnel au cortisol libre plasmatique, beaucoup plus intéressant à doser en période de stress. En effet, c'est la fraction libre qui agit. Dans le sang, le cortisol est lié d'une part à l'albumine et d'autre part à la CBG (Cortisol Binding Globulin) ou transcortine. En temps normal, le cortisol libre représente 10 à 15% du cortisol total, le cortisol lié à l'albumine 10 à 20% et le cortisol lié à la CBG 70 à 80%. La CBG est quasi-saturée en temps normal, elle est très affine pour le cortisol mais possède une faible capacité de liaison, alors que l'albumine est moins affine mais possède une plus grande capacité de liaison. La CBG permet la conservation d'un stock de cortisol et le libère progressivement au fur et à mesure des besoins. Lors d'un léger stress, le dosage seul du cortisol libre peut ne révéler aucune variation car le peu de cortisol sécrété sera pris en charge par la CBG. Pour objectiver un stress peu intense, il vaut donc mieux doser le cortisol total. Dans le cas d'un stress intense, la quantité de cortisol lié doublera alors que le cortisol libre se multipliera de manière bien

plus importante. Dans ce cas, il vaut mieux doser le cortisol libre (sanguin ou salivaire). Le dosage du cortisol libre sanguin est plutôt laborieux puisqu'il faut auparavant réaliser la séparation du cortisol lié et du cortisol libre. Ainsi, le dosage du cortisol salivaire permet l'évaluation de la fraction libre du cortisol sanguin, beaucoup plus intéressante lors d'un stress important sans avoir à séparer le cortisol libre du lié. L'analyse du cortisol salivaire semble donc bien plus intéressante et faisable dans le cadre de l'étude d'un stress aigu relativement important.

De plus, le cortisol salivaire ne semble pas être affecté par des variations du flux salivaire, aspect très intéressant chez le cheval qui présente de grandes variations dans sa production de salive (Peeters, 2011).

Cependant, toutes les études ne se rejoignent pas pour valider l'utilisation du cortisol salivaire, alors que la majorité met en évidence d'importantes corrélations entre le cortisol sanguin et salivaire, d'autres n'en trouvent que de très faibles. De plus, Hughes *et al.* (2006) mettent en évidence une latence de 30 minutes entre l'activation de l'axe corticotrope et l'élévation du cortisol salivaire.

Enfin, nous pouvons nous demander pourquoi doser le cortisol et pas les catécholamines, d'autant plus que la thermographie infra-rouge est plutôt révélatrice de l'activité sympathique et non de l'activité corticotrope dans les premiers instants de la réponse de l'organisme face à un événement stressant. En effet il semble que l'axe corticotrope joue un rôle très succinct dans l'augmentation de la température oculaire. Les catécholamines présentent en réalité une demi-vie très courte et sont présentes en très faible quantité, ce qui rend leur dosage extrêmement compliqué et donc jamais réalisé.

II-B-1-b) Facteurs de variation de la concentration en cortisol salivaire

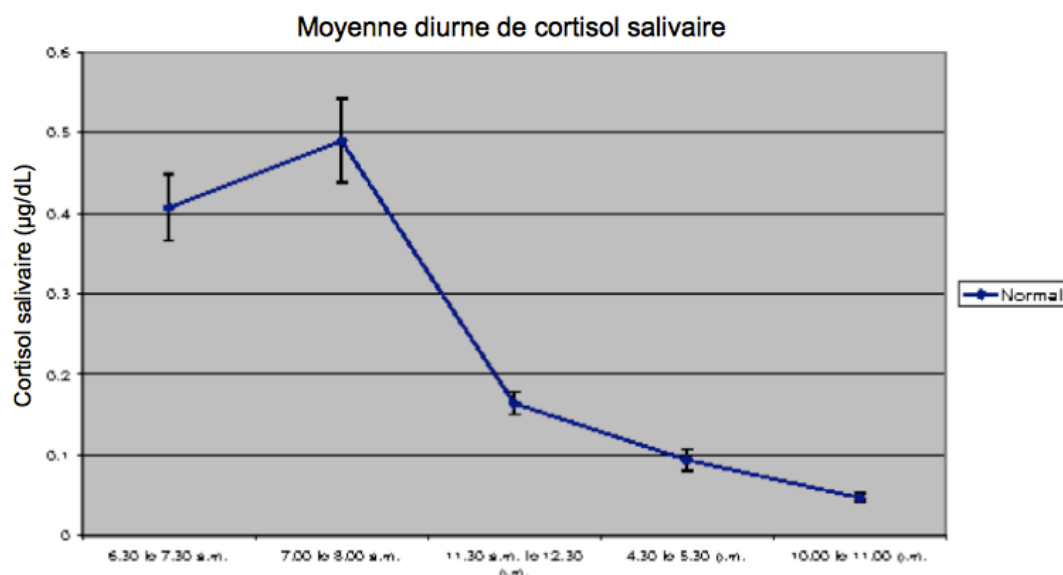
Il existe deux problèmes majeurs concernant le dosage du cortisol. Premièrement, il n'est analysable que par comparaison des taux basaux avec ceux retrouvés après l'évènement stressant. En effet, d'un individu à l'autre, les taux basaux sont très différents. Il faut donc analyser des différences de concentrations par individu.

Deuxièmement, le cortisol n'est pas sécrété seulement en période de stress et de « *distress* ». La notion de « *distress* » a été proposée par Selye (1978) et représente un état négatif dans lequel les processus d'adaptation et les réponses au stress de l'organisme se mobilisent pour le faire revenir à l'état d'homéostasie physiologique et/ou psychologique. En effet, on ne peut pas discerner par dosage du cortisol salivaire, un stress « positif » qui stimulera l'individu (qui augmentera ses capacités d'apprentissage par exemple comme dans l'étude de Valenchon *et al.* (2013)) d'un stress « négatif » qui entraînera des effets néfastes (Peeters, 2011). De nombreux événements positifs comme un repas ou une activité sexuelle vont faire augmenter le cortisol plasmatique. Ensuite, après tout exercice

physique il y a une production de cortisol. Les concentrations en cortisol sont d'autant plus importantes que l'exercice est long et intense mais plus les chevaux sont entraînés, moins la quantité de cortisol sécrétée sera importante à terme.

Bien que les auteurs n'attachent pas la même importance à ces variations, il est fort probable qu'il existe un rythme circadien dans la sécrétion de cortisol avec des concentrations plus importantes le matin que l'après midi (Peeters, 2011). La *Figure 5* est issue de la notice d'utilisation des kits de dosage du cortisol salivaire Salimetrics utilisés dans notre étude. Ce rythme existerait surtout chez les chevaux dans leur état naturel ou lorsque les chevaux vivent selon une certaine routine avec un emploi du temps quasi-identique jour après jour (Peeters, 2011). On peut également mentionner l'existence d'un rythme saisonnier avec une augmentation de l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien en automne.

Figure 5 : Variations de la concentration en cortisol salivaire au cours de la journée, d'après la notice d'utilisation des kits de dosage de cortisol salivaire Salimetrics (2013).



Enfin, les individus de par leurs différences génétiques (l'affinité de la CBG est fonction du génotype par exemple), d'expérience, d'âge (études contradictoires sur la corrélation entre l'âge et la sécrétion de cortisol), d'entraînement, de perception de l'évènement vont présenter de grandes variations dans leurs taux basaux et leurs réponses au stress.

Ainsi par exemple, Valera *et al.* (2012) mettent en évidence une augmentation moyenne de concentration en cortisol salivaire de 0,76 ng/mL entre le relevé réalisé avant la compétition et celui

réalisé juste après, et une hausse de 1,39 ng/mL entre le relevé réalisé juste après la compétition et le relevé après la compétition. Ces variations ne sont cependant pas significatives ($p > 0,05$).

II-B-2) Les paramètres physiologiques

- **La fréquence cardiaque**

La fréquence cardiaque est soumise au contrôle du système nerveux autonome qui la fait augmenter par stimulation orthosympathique. Au contraire, le système parasympathique aura un effet chronotrope négatif et donc diminuera la fréquence cardiaque. Lors d'un stress ou d'une autre situation nécessitant une hausse de la fréquence cardiaque, le message emprunte la voie spinale pour aller stimuler la médullo-surrénale qui sécrète l'adrénaline et la noradrénaline. Ces deux hormones vont se fixer aux récepteurs β et vont avoir un effet inotrope et chronotrope positif. Le Comité Scientifique sur la Santé et le Bien-Etre Animal de la Commission Européenne de la Santé et de la Protection du Consommateur reconnaît la fréquence cardiaque comme étant un bon indicateur de stress chez le cheval. Choi et Guttierrez-Osuna (2009) utilisent la fréquence cardiaque pour mesurer le stress mental chez l'homme.

De plus, ce paramètre est extrêmement pertinent à comparer aux résultats de thermographie. En effet, comme vu précédemment (Bartolomé *et al.*, 2013), la température maximale oculaire et la fréquence cardiaque sont corrélées positivement et leurs variations ont très certainement la même origine sympathique. Les auteurs mettent également en évidence que la fréquence cardiaque varie plutôt en fonction des facteurs extrinsèques au cheval (alors que la thermographie varie en fonction des facteurs intrinsèques). Ainsi dans son étude, la fréquence cardiaque est fonction de l'entraînement, de la durée du voyage, du cavalier et de l'expérience en compétition.

La fréquence cardiaque est également utilisée dans de nombreuses études dans laquelle l'évaluation du stress est réalisée grâce à des indicateurs physiologiques et comportementaux (Young *et al.*, 2012, Christensen *et al.*, 2014) afin de valider le bien fondé des échelles d'évaluation comportementale. Le cortisol salivaire est quasiment systématiquement utilisé au côté de la fréquence cardiaque de manière à pouvoir présenter deux types de valeurs physiologiques objectives.

Stewart *et al.* (2010) réalisent des injections lentes d'épinéphrine à 4 $\mu\text{g/kg}$ sur 5 min à des veaux. La fréquence cardiaque présente une diminution significative lors des cinq minutes de l'injection avant de remonter au delà de la fréquence cardiaque de repos (également de manière significative). Ces variations pointent la balance complexe qui existe entre les rôles du système orthosympathique et parasympathique pour maintenir l'homéostasie. De plus, la noradrénaline est

dosée à la suite des injections d'épinéphrine et les résultats montrent une chute de la concentration de la moitié de sa concentration basale. La baisse de la fréquence cardiaque ainsi que la chute de concentration en noradrénaline permettent d'émettre l'hypothèse d'une activation du parasympathique lors d'une forte décharge d'adrénaline pour contrebalancer le processus (Stewart, 2010).

La fréquence cardiaque est un indicateur facilement relevé soit de manière ponctuelle grâce à une mesure au stéthoscope et à la montre ou à un cardio-fréquencemètre ou de manière continue grâce à des cardio-fréquencemètres plus sophistiqués à lecture continue et à distance (appareils Polar les plus utilisés). La prise manuelle de la fréquence cardiaque peut être un événement stressant mais il en va de même de cette manipulation comme de toutes les autres, l'habitation est nécessaire.

- **La fréquence respiratoire**

Kuraoka et Nakamura (2011) étudient en parallèle de la température nasale la fréquence respiratoire. Les auteurs ne mettent pas en évidence de différences significatives entre la fréquence respiratoire avant la présentation d'un élément effrayant et après. De plus, les auteurs ne montrent pas de corrélation entre une augmentation de la fréquence respiratoire et une diminution de la température nasale. Cependant, Wagner (2010) identifie la hausse de la fréquence respiratoire comme un signe de réponse au stress chez le cheval.

- **La conductance électrique cutanée ou résistance cutanée**

Elle est utilisée dans l'étude de Kuraoka et Nakamura (2010) et corrélée aux résultats de thermographie. On remarque que la conductance varie plus rapidement que la température nasale. En effet, lors du visionnage d'une vidéo (avec son) montrant des macaques avec une expression menaçante, les macaques spectateurs présentent une variation de la conductance cutanée en 3 secondes alors que la diminution de température nasale superficielle présente une latence de 10 secondes après apparition de l'image. Néanmoins alors que la température nasale permet de discriminer différents types d'émotions (les macaques étaient soumis à des vidéos montrant des macaques avec trois types d'expression : 1) de menace agressive, 2) de peur, 3) de parade sexuelle), la conductance électrique cutanée ne présentait pas de différences significatives entre les deux premières émotions. Cependant la conductance était significativement plus élevée lors du visionnage des deux premières expressions (de menace et de peur) que la conductance lors du visionnage de l'expression de parade amoureuse. Enfin, la conductance variait beaucoup plus quand le macaque était soumis au son et à l'image que quand il était soumis au son seul ou à l'image seule.

La conductance est simplement mesurée grâce à la mise en place de deux électrodes placées sur les doigts (l'une sur l'index et l'autre sur le majeur). On comprend aisément que de telles mesures sont impossibles sur le cheval, en particulier le cheval de spectacle.

- **La température interne**

Il paraît évident que la température interne d'un individu tend à augmenter lors d'un stress. En effet, lors d'un événement stressant, le corps de l'animal se tend, ses muscles sont contractés. Cette contraction nécessite la consommation d'ATP et donc la libération de chaleur. Cependant, l'élévation thermique est-elle suffisante pour être perçue par une sonde ou un thermomètre, qui bien qu'étant placés dans le vagin ou le rectum, ne sont pas des systèmes très invasifs ? De plus, lors de la réponse de l'organisme au stress, la fréquence cardiaque augmente, la thermorégulation est plus efficace puisque le débit sanguin augmente et il est très vraisemblable que lors d'une perturbation environnementale de faible ampleur, la réponse au stress ne comprenne pas d'élévation de température. Stewart *et al.* (2007), lors de leurs études sur les effets d'injections d'épinéphrine, d'ACTH, de CRH et de l'isolement du troupeau de vaches laitières, associent à des clichés de thermographie infra-rouge le suivi de la température interne par le biais d'une sonde vaginale qui reste en place pendant toute l'expérience. Aucune variation significative n'est trouvée, cependant la température interne tend à augmenter lors des différentes manipulations (pose de cathéter...). Chez le cheval, Wagner (2010) stipule que lors d'un stress, il y a élévation de la température du sang et donc du corps.

- **La sudation**

Le phénomène de sudation est extrêmement documenté chez le cheval en période d'exercice. Il existe de nombreuses adaptations du cheval à la chaleur et à l'exercice qui lui permettent de limiter leurs pertes d'eau et d'électrolytes. Cependant, en ce qui concerne un stress psychologique et non plus une perturbation de l'homéostasie du milieu interne liée à l'exercice, les publications se font beaucoup plus rares. Le phénomène de sudation chez le cheval possède beaucoup de points communs avec celui de l'homme. En effet, contrairement aux carnivores par exemple, le cheval et l'homme vont transpirer de tout leur corps pour thermoréguler. Cependant la transpiration du cheval est beaucoup plus riche en électrolytes que celle de l'homme. Les similitudes entre ces deux espèces nous amènent à nous demander si oui ou non, au même titre que l'homme, la sudation du cheval est augmentée en période de stress. Les fameuses « sueurs froides » de l'homme ne résultent pas, comme leur nom l'indique, de la vasodilatation des vaisseaux cutanés entrant en jeu dans le phénomène de

thermorégulation (mis en place lors d'une augmentation de la température de l'organisme ou de la température ambiante) mais d'une stimulation des glandes apocrines et eccrines par le système autonome (adrénaline, noradrénaline).

Chez les équidés, une étude a été réalisée chez l'âne en 1969 par Robertshaw. Elle démontre que l'injection d'adrénaline induit une sudation qui stoppe dès la chute du taux sanguin d'adrénaline. Ainsi, les glandes sudoripares de l'âne, très certainement au même titre que celles des chevaux, sont sous contrôle adrénergique. On comprend donc que l'augmentation de la sudation est observable dès les premiers signes de stress puisque mise en jeu lors de la première réponse physiologique. Bien que la sudation soit marqueur d'un phénomène très précoce, ses effets (traces de sueur sur le corps de l'animal) demeurent présents longtemps et sont relevables plusieurs dizaines de minutes après le phénomène de sudation.

- **La salivation**

Chez l'homme, l'effet « bouche sèche » est souvent décrit lors d'un stress, et le contrôle nerveux de la salivation est un phénomène bien documenté. On retrouve également de nombreuses publications chez le rat, en tant que modèle d'étude. Cependant, s'il existe les trois mêmes types de glandes salivaires chez tous les animaux : glandes parotides, glandes sublinguales et glandes sub-mandibulaires, leur importance est variable chez les différentes espèces, et ceci, de part leur régime alimentaire. Il existe en outre de nombreuses glandes mineures au sein de la sous-muqueuse. Par exemple chez le cheval comme chez tous les herbivores, la glande parotide est beaucoup plus développée. Les glandes sont responsables de la production de différentes phases de la salive. Les glandes parotides sécrètent la salive séreuse, les glandes sub-linguales sécrètent une salive muqueuse alors que les glandes sub-mandibulaires produisent une salive mixte (séro-muqueuse). Les glandes sont constituées entre autres de cellules acineuses, de cellules myo-épithéliales ainsi que de vaisseaux sanguins. La production des différentes glandes varie d'une espèce à l'autre mais également en fonction de la stimulation (goût sucré ou acide...).

Le contrôle nerveux est réalisé par le système autonome orthosympathique et parasympathique dont les deux rôles ne s'opposent pas (Proctor & Carpenter, 2007). En effet, l'orthosympathique va davantage stimuler la libération de protéines (enzymes, immunoglobulines...) et le parasympathique plutôt du liquide. Une stimulation du système orthosympathique induit l'exocytose des granules de sécrétions des cellules acineuses. Cependant, en fonction des stimuli et des glandes, une sécrétion de protéines peut également se produire suite à l'activation du système parasympathique. De plus, certaines glandes (mineures) maintiennent une activité résiduelle sans

stimulation aucune. Leur activité est néanmoins augmentée lors de stimulation nerveuse. Les centres primaires de la salivation interfèrent avec le thalamus, dans une zone où l'on retrouve le centre de la soif, de la faim et de la régulation thermique. Il existe des afférences corticales à destination du thalamus, ceci explique l'effet « bouche sèche » rapporté chez l'homme en période anxiogène. Ainsi, le stress peut influencer sur la production de salive.

Les cellules myo-épithéliales sont quant à elles sensibles à de très faibles stimulations nerveuses. Ce sont donc les premières stimulées. Elles sont responsables de l'initiation de la salivation. Leur contraction permet la sécrétion de la partie de la salive la plus visqueuse (Proctor & Carpenter, 2007).

La vasoconstriction des vaisseaux induites par l'orthosympathique n'intervient pas dans le phénomène de salivation, contrairement aux propos énoncés dans certains ouvrages de la littérature.

La glande parotide ne produit pas au repos, au contraire des deux autres. Elle est la glande la plus importante chez le cheval et Alexander (1966) met en évidence sa stimulation purement mécanique. En effet, depuis 1886, il avait été montré que la parotide ne produisait que pendant la mastication. Alexander (1966) va plus loin et prouve que c'est la stimulation mécanique des terminaisons nerveuses présentes dans la muqueuse qui induit, au bout de 10 à 20 mouvements de mastication, la sécrétion par la parotide. En effet, l'ingestion d'aliments contenant des anesthésiques locaux ayant une bonne activité sur les muqueuses, comme la cinchocaïne et l'améthocaïne, ne provoque pas de libération de salive par la parotide.

De plus, l'atropine (antagoniste cholinergique) stoppe totalement la sécrétion de salive par la parotide. Cette expérience montre le rôle majeur de l'innervation parasympathique.

Ainsi, la salivation est un phénomène complexe et variable d'une espèce à l'autre. L'innervation est toujours de même nature cependant la salive peut varier en quantité et en aspect selon les stimulations. L'effet du stress sur la salivation est très peu documenté chez le cheval. Des modifications pourraient être retrouvées lors d'un stress (baisse de la salivation ? salive moins liquide?) et ce phénomène peut être intéressant à suivre. Cependant, la présence du mors chez les chevaux au travail nous empêche de prendre en compte objectivement les modifications de la salivation. D'une part, les chevaux peuvent machonner leur mors d'où une activation de la parotide au bout de 10 à 20 mouvements. D'autre part, la composition du mors peut engendrer une variation dans la salivation. On peut remarquer que les mors en cuivre font davantage saliver les chevaux que les autres types de mors.

Signalons que Hall *et al.* (2013) considèrent la salivation dans leur répertoire comportemental de base afin d'évaluer le stress chez le cheval au travail, mais ne le conservent pas dans leur échelle

comportementale finale (faute d'avoir été correctement observée, ou d'être non significatif – ils ne précisent pas).

- **Le diamètre pupillaire**

Le stress, par son activation orthosympathique, est à l'origine d'une mydriase. Ainsi le diamètre pupillaire peut être utilisé pour mettre en évidence la réponse d'un organisme au stress. Cependant, chez le cheval, le passage du myosis à la mydriase n'est pas aussi spectaculaire que chez les carnivores domestiques, d'une part parce que sa pupille rectangulaire est moins déformable et d'autre part parce que l'iris est dans la majorité des cas de couleur foncée. Dans l'atmosphère sombre des écuries, il est très difficile de réaliser des mesures de pupilles sans utilisation d'un éclairage supplémentaire qui engendre lui même une importante variation de diamètre pupillaire. Cette mesure peut s'avérer plus simple sur les rares chevaux aux iris bleus comme les chevaux de couleur crème, cependant ce facteur est trop sensible à la lumière pour être utilisé.

- **L'hématocrite**

Lors d'un stress, la rate libère un certain stock de globules rouges. L'hématocrite va donc augmenter. Cependant le cheval étant une espèce qui transpire beaucoup et vite, on peut se demander si ce paramètre peut être fiable. En effet, la perte d'eau engendre une perte volumique, une concentration sanguine et donc également une augmentation de l'hématocrite. Enfin, soulignons la nécessité d'une prise de sang et donc d'une démarche plus invasive. Stewart *et al.* (2010) mettent en évidence une augmentation de l'hématocrite après injection d'épinéphrine chez les taurillons.

- **Le débit sanguin périphérique**

Encore une fois ce paramètre est très difficile à évaluer (Stewart *et al.*, 2010). Il est diminué lors d'un stress par vasoconstriction des vaisseaux et shunt des territoires superficiels. La thermographie infra-rouge, en particulier appliquée à la région interne de l'œil, permet de le mesurer indirectement puisque la libération de chaleur est proportionnelle au débit périphérique. D'autres régions comme la région nasale (utilisée chez les macaques) et le pavillon auriculaire (utilisé chez le lapin) pourraient être représentatives du débit sanguin périphérique.

II-B-3) Les paramètres comportementaux

Le répertoire d'indices comportementaux est très large puisqu'ils varient en fonction de l'endroit dans lequel évolue le cheval et de son activité. En effet, le comportement d'un animal est

gouverné par l'ensemble des interactions qu'il a avec son milieu et son environnement social. Différentes études se sont attachées à établir des échelles comportementales dans des contextes différents. Young *et al.* (2012) s'intéressent au stress créé par des procédures classiques réalisées en élevage ou en centre équestre. Les auteurs ont évalué le stress grâce à l'observation et au relevé des comportements guidés par un répertoire comportemental prédéfini, de la prise de la fréquence cardiaque par un cardio-fréquencemètre, et du dosage du cortisol salivaire autour de quatre événements : l'isolement du reste des autres chevaux, le pansage par un groom connu de l'animal, l'émission d'un bruit particulier (clipper) au box ainsi que la diffusion de bruits de feu d'artifices sur CD pour les chevaux de la police. Le répertoire comportemental a été réalisé au préalable grâce à l'observation de chevaux de course ainsi que de chevaux de selle au box mais également grâce à la littérature. Il regroupe l'observation des mouvements généraux du cheval (se couche, se roule, frappe avec ses antérieurs...), le mouvement des oreilles et de la queue, la position des yeux par rapport au garrot (évaluation indirecte du positionnement de l'encolure), les tics, le comportement alimentaire ou autres activités réalisées avec la bouche (automutilation, léchage ou toucher des objets avec ses naseaux...). Chaque action du répertoire comportemental a ensuite été corrélée au niveau de stress obtenu par le dosage du cortisol salivaire (3 niveaux : non stressé, un peu stressé ou moyennement stressé). En fonction de la corrélation de chaque action avec un niveau de stress, une échelle comportementale a été réalisée comprenant des notes de 1 à 10. Cette échelle comportementale a été validée par des critères physiologiques objectifs, et semble donc à présent utilisable dans le contexte pour lequel elle a été prévue.

De même, Hall *et al.* (2013) ont cherché à comparer l'impression des professionnels quant à l'état dans lequel est le cheval, à une échelle comportementale d'une part, et à des résultats de cortisol salivaire et de thermographie infra-rouge d'autre part. Ils s'intéressent au cheval au travail et ont donc dû construire une échelle comportementale adaptée. Pour juger de l'état émotionnel du cheval, les professionnels (cavaliers, moniteurs et vétérinaires) se sont appuyés sur des paramètres dérivés des règles de la Fédération Equestre Internationale ainsi que de la Fédération Nationale Equestre Allemande. Le répertoire comportemental utilisé regroupe différents paramètres : évolution du cheval dans le manège et vis à vis du cameraman, position de la tête et du front par rapport à la verticale, position des naseaux par rapport au garrot (positionnement de l'encolure), mouvements de la tête et de la queue, positionnement des oreilles, ouverture et mouvements de la bouche, émission de vocalisations ou d'éternuements. Ensuite, en fonction des comportements observés, le cheval était classé sur une échelle de relaxation de 1 à 5.

Ainsi, plus les études comportementales sur le stress du cheval se multiplient et en particulier dans des domaines variés, et plus la diversité des échelles comportementales augmentera de façon à faciliter l'utilisation de ces dernières pour évaluer l'anxiété ou le stress chez les chevaux dans toutes les conditions possibles : en liberté ou attaché, au repos ou au travail... De plus, certains indices plus fins et plus révélateurs de stress que d'autres seront sélectionnés et les répertoires comportementaux seront de plus en plus appropriés. De cette manière, ces échelles comportementales pourront être utilisées sans devoir à nouveau prouver leur bien fondé en les comparant à des paramètres physiologiques. Cette approche de l'évaluation du stress est très intéressante car non-invasive et pouvant même être réalisée à distance grâce à l'utilisation d'une caméra.

- **Le mouvement des oreilles**

Le positionnement et la fréquence de mouvements des oreilles sont très informatifs chez le cheval. Ainsi une augmentation de la fréquence de mouvements des oreilles indiquent que le cheval est à l'affût du moindre bruit. Pour cela, il tourne ses oreilles dans toutes les directions afin d'optimiser la perception des sons. De manière générale, un cheval présentant les deux oreilles droites et tournées vers l'avant est dit attentif et curieux. Un animal possédant une oreille droite vers l'avant et une oreille vers l'arrière ou sur le côté est dit à l'écoute de son cavalier, il est cependant en phase d'attention. Les deux oreilles relâchées en arrière signifient que l'individu est confiant et n'est pas entrain de jauger son environnement. Enfin, les deux oreilles couchées en arrière (mais non relâchées) indiquent une menace, en général le cheval est dans une phase de réponse de stress. Ainsi des oreilles mobiles, plutôt tournées vers l'avant ou couchées signent un stress. Cependant, elles marquent un moment différent du stress. L'oreille mobile indique que le cheval perçoit une variation de son environnement et est aux aguêts pour l'identifier. Au contraire, les oreilles couchées vers l'arrière indiquent que le cheval a perçu une perturbation environnementale désagréable et est entrain d'y répondre (Leblanc *et al.*, 2004).

Le positionnement ainsi que les mouvements des oreilles sont systématiquement pris en compte dans les échelles comportementales chez le cheval que ce soit au box ou de lors de manipulations (Young *et al.*, 2012) ou pendant le travail (Hall *et al.*, 2013). Ces auteurs différencient tous les deux les 4 situations citées précédemment. Hall *et al.* (2013) ne mettent pas en évidence de corrélations entre le mouvement des oreilles et le cortisol salivaire ou la moyenne de température oculaire maximale ; alors que Young *et al.* (2012) en mettent en évidence avec les variations de cortisol salivaire.

- **Le positionnement de l'encolure**

Le positionnement de l'encolure est également pris en compte dans les échelles comportementales mais son évaluation peut être différente. Alors que Young *et al.* (2012) déterminent trois positions par rapport à l'œil : yeux au-dessous du garrot, yeux au-dessus du garrot ou encolure relevée avec un angle supérieur à 45°; Hall *et al.* (2013) déterminent deux positions : naseaux situés au-dessus du garrot ou entre le garrot et la ligne abdominale. Le bien fondé de ce paramètre est quant à lui validé dans les deux études. En effet, l'élévation du cortisol salivaire est corrélée positivement à l'abaissement de l'encolure. Ces résultats sont très intéressants puisqu'un cheval dont l'encolure est haute est jugé comme non mis en confiance, sur la défensive, cherchant à se débattre par la Fédération Equestre Internationale (FEI) ainsi que tous les cavaliers (et surtout dans le dressage). Dans l'étude de Hall *et al.* (2013), il est mis en évidence la contradiction entre les résultats comportementaux et physiologiques d'une part et les jugements du comité de professionnels d'autre part. On ne cherche donc visiblement pas la position la plus rassurante pour le cheval lors du travail d'où les résultats de Hausberger *et al.* (2009) qui mettent en évidence un mal-être et un stress chronique chez le cheval de dressage.

- **Le port et les mouvements de la queue**

L'agitation ou le fouaillement de la queue est reconnu par la Fédération Equestre Internationale comme un signe de stress et de tension. Les deux études citées précédemment les prennent en compte. Hall *et al.* (2013) distinguent la situation où la queue fouaille de la situation où la queue est lâche et suit les mouvements du corps. Young *et al.* (2012) vont plus loin et relèvent le port de la queue : élevée ou neutre ainsi que les fouaillements. Ces derniers associent plutôt les fouaillements de queue à un cheval peu stressé et une queue élevée à un cheval moyennement stressé. Hall *et al.* (2013) ne trouvent pas de corrélations entre les mouvements de queue et la hausse du cortisol salivaire ou de la température de l'œil. Cependant dans son étude les deux chevaux présentant la plus importante hausse de cortisol salivaire fouaillent de la queue pendant 50 % de l'exercice.

- **La fréquence de défécation**

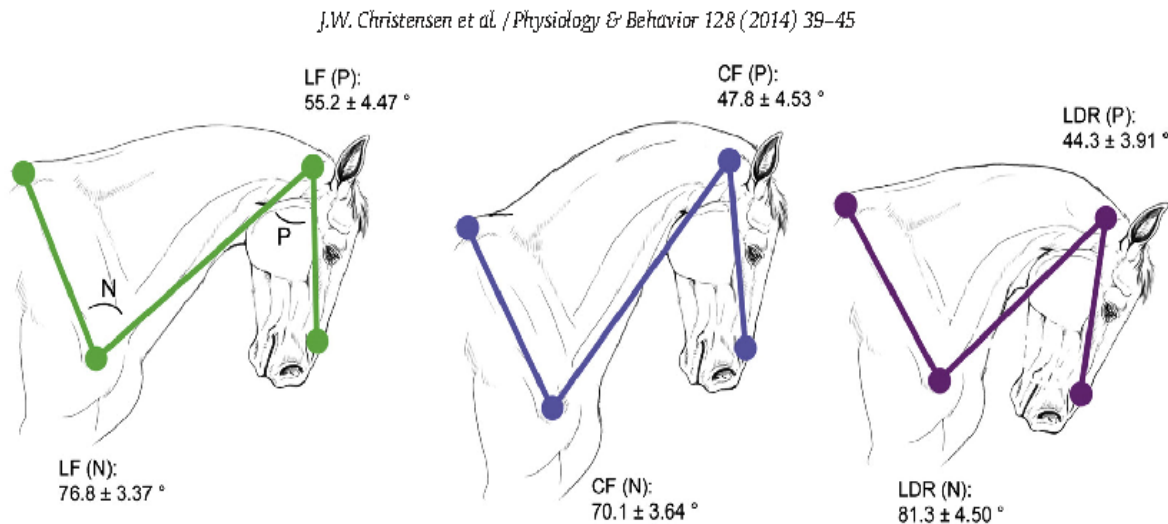
Bagshaw *et al.* (1994) démontrent une augmentation de la défécation lors de l'isolement des chevaux. Cependant, bien que ce paramètre soit fort intéressant, il nécessite une observation de longue durée ou alors une perturbation très intense afin d'augmenter les chances d'observer l'émission d'un crottin.

- **Le port et les mouvements de la tête**

Le port de tête est classé dans l'étude de Hall *et al.* (2013) en fonction de l'angle que fait le chanfrein avec la verticale (*Figure 6*). Soit le chanfrein est parallèle à la verticale, soit orienté d'un angle d'au moins 10° dans le sens anti-horaire (naseaux davantage vers le poitrail), soit orienté d'un angle d'au moins 10° dans le sens horaire. Hall *et al.* (2013) démontrent que l'augmentation du cortisol salivaire ainsi que l'élévation de la moyenne de température maximale oculaire sont corrélées positivement à l'inclinaison de la tête dans le sens anti-horaire (naseaux vers le poitrail). Encore une fois, ces résultats vont à l'encontre du fondement de l'équitation traditionnelle qui établit qu'un cheval est mis en place et donc dans les « meilleures dispositions » pour travailler lorsqu'il présente cette inclinaison de la tête. Ainsi les jugements du comité de professionnels ont présenté des résultats opposés à ceux résultant des observations comportementales et des relevés physiologiques. De même, Christensen *et al.* (2014) dosent le cortisol salivaire et mesurent la fréquence cardiaque chez quinze chevaux soumis à trois exercices de dressage dans lesquels seule varie la position de l'encolure et l'inclinaison de la tête. Trois positions sont définies : CF (competition frame) où le chanfrein est à la verticale, LDR (Low-Deep-and-Round) où le chanfrein est clairement en dessous de la verticale et une position de contrôle LF (looser frame) où le cavalier a pour instruction de laisser les rênes aussi longues possible mais de manière à conserver la possibilité de réaliser les exercices correctement. Signalons que la position LDR correspond à celle du cheval dit encapuchonné, que certains professionnels déconseillent.

Figure 6 : Trois positions de la tête et de l'encolure. D'après Christensen et al., 2014.

LF= looser frame, position contrôle / CF= competition frame, position de travail dans laquelle le chanfrein est à la verticale / LDR= Low-Deep-and-Round, position où le chanfrein est clairement au dessous de la verticale.



Les résultats vont dans le même sens que Hall *et al.* (2013). La fréquence cardiaque, le cortisol salivaire ainsi que les mouvements de conflit de bouche et de tête sont augmentés dans les positions CF et LDR par rapport à LF et surtout pour la position LDR. En effet, cette position est perçue comme plus stressante par les chevaux.

Young *et al.* (2012) s'attachent non pas à l'inclinaison de la tête mais aux mouvements de la tête : ils relèvent notamment les mouvements répétitifs relativement invariants et sans fonction particulière comme le *headshaking* ou encensement (séries de hochements de têtes répétitifs), le hochement de tête simple, la réalisation de cercles avec la tête. Ces mouvements sont fortement corrélés au stress, et plus ils sont présents, plus le cheval est stressé (d'après les résultats de cortisol salivaire).

Généralement le port de tête va de pair avec le port de l'encolure. Dans la majorité des cas pendant le travail, une encolure haute sera terminée par une tête relevée alors qu'une encolure basse bien arrondie sera accompagnée d'un chanfrein orienté avec un angle supérieur à 10° dans le sens anti-horaire par rapport à la verticale. Cependant, il est fréquent de laisser le cheval s'étirer au trot et au pas à la fin d'une séance : dans ce cas, la tête sera alignée avec le cou, l'encolure sera basse, et la tête relevée (naseaux vers l'avant).

Hall *et al.* (2013) expliquent la hausse de stress notée lorsque le cheval a la tête inclinée dans le sens anti-horaire par la position des yeux et donc un champ de vision rétréci. Retirer au cheval la possibilité de contrôler visuellement son environnement est une source de stress. En bloquant le mouvement de la tête, le cheval ne peut voir les objets présents dans l'angle mort de son champ de vision situé juste à la verticale de son chanfrein (Leblanc *et al.*, 2004).

- **L'appui tripédal**

Cet indicateur n'est pas utilisé dans les échelles comportementales ; il est sans doute surtout intéressant au box et son observation nécessite d'être dans le box avec le cheval (ou qu'il y ait une caméra). Or la présence de l'évaluateur va forcément attirer l'attention de l'animal voire créer une modification environnementale, possiblement source d'une réponse de l'organisme. Cependant, ce critère peut être utilisé sur un cheval à l'attache, observé à distance. L'appui tripédal est utilisé chez le cheval pour dormir debout ou se détendre, l'équilibre du cheval est conservé grâce au blocage de la rotule. Pour que le cheval se mette en appui tripédal, il faut qu'il soit détendu et qu'il ne ressente pas de potentiel stress environnemental. Dans le cas contraire, il portera son poids sur les quatre membres car il pourra fuir beaucoup plus rapidement.

- **Comportement alimentaire et autres activités buccales**

Le comportement alimentaire est intéressant pour juger non seulement d'un stress aigu mais également d'un stress chronique. En effet, un cheval soumis à un stress chronique va consommer sa ration plus rapidement qu'un autre (Jechoux, 2004). Au contraire le stress aigu va être à l'origine d'une baisse de la consommation. La préhension d'aliment ainsi que d'eau est corrélée négativement avec le cortisol salivaire selon Young *et al.* (2012). Un cheval non stressé ou légèrement stressé consommera davantage de nourriture.

Au contraire, les comportements buccaux exploratoires comme un cheval qui touche, flaire ou lèche avec la langue ou le muflle une partie de l'écurie ou le sol, sont augmentés lors de réponse de l'organisme à un stress moyen (Young *et al.*, 2012).

Toujours d'après la même publication, les comportements buccaux sans ingestion comme l'autogrooming ou le fait de se débarrasser des mouches sur le corps ne vont être observés que chez les chevaux non stressés.

Le grincement de dents est considéré par la FEI comme un signe de stress ou de tension. Un cheval qui se gratte souvent une partie du corps avec les dents est considéré comme moyennement stressé d'après Young *et al.* (2012).

L'ouverture de la bouche (fermée, ouverte mais langue invisible, ouverte mais langue visible) est un paramètre relevé dans l'étude de Hall *et al.* (2013) mais il ne figure pas à terme dans l'échelle comportementale finale que les auteurs utilisent, faute d'être insuffisamment discriminant ou de ne pas avoir été observé.

De même, les vocalisations et les ébrouements sont relevés mais ne figurent pas dans l'échelle comportementale finale, ces comportements n'ayant certainement pas été observés pendant l'étude.

- **Comportement en liberté (box ou pré)**

Il est coutumier de dire qu'un cheval ne se couche que dans un pré ou un box dans lequel il se sent en confiance. En effet, si passer d'un appui tripédal à un poids du corps réparti sur 4 pieds nécessite une ou deux secondes, le relevé quant à lui est beaucoup plus long (5 à 10 secondes). Ainsi un cheval couché est un cheval non stressé. De même pour le rouler qui n'est effectué que dans un endroit de confiance. Young *et al.* (2012) incluent ces deux actions (rester couché et se rouler) dans leur répertoire comportemental mais ne le conservent pas en établissant leur échelle comportementale puisqu'ils n'ont pas observé ces comportements durant leurs observations et n'ont donc pas pu valider leur bien fondé en les comparant aux taux de cortisol salivaire des chevaux les ayant manifesté.

Young *et al.* (2012) démontrent également qu'un cheval qui se frotte contre une partie de son box ou qui se gratte une partie du corps à l'aide d'un postérieur ou des dents est très probablement stressé (moyennement).

- **Les tics ou stéréotypies**

Les stéréotypies, ou « tics » sont très souvent rencontrés chez le cheval, du fait de leur milieu de captivité contraignant très différent de leur milieu naturel. Une stéréotypie est définie comme étant la répétition d'un même mouvement sans fonction particulière de manière rythmique et continue (Jechoux, 2004). Chez le cheval, les tics les plus connus sont le tic à l'appui et à l'ours. Young *et al.* (2012) incorporent dans leur répertoire comportemental le tic à l'ours (mouvements latéraux de la tête, du cou et des épaules de manière rythmique répétitive avec alternance de poids du corps sur les antérieurs et sans modification de la position de la tête par rapport au corps). Il est retrouvé chez des chevaux légèrement stressés.

Les stéréotypies sont clairement liées chez le cheval à un stress chronique (Hausberger *et al.*, 2009 ; Jechoux, 2004).

Les stéréotypies sont très diverses et il a été mis en évidence que le type de stéréotypies est fonction du travail du cheval. En effet, Hausberger *et al.* (2009) ont voulu mettre en évidence qu'au

même titre que l'homme, le stress lié au travail chez le cheval pouvait se répercuter de manière néfaste sur la vie hors-travail. Ce stress est dû aux interactions avec ses semblables mais surtout aux interactions avec son cavalier. Pour se faire, les auteurs comparent différents types de classes de chevaux : des chevaux de dressage, de voltige, de saut et de club. Ils utilisent des chevaux de même âge, même sexe, même race, même logement et même habitat, et sans qu'ils aient été sélectionnés pour telle ou telle discipline. Les résultats montrent des types de stéréotypies différents en fonction des disciplines des chevaux. Les stéréotypies sont liées au travail puisqu'il est mis en évidence qu'elles augmentent avec le nombre d'heures de travail, et chez les trotteurs elles commencent à l'âge de deux ans, avec la mise à l'entraînement. De plus les chevaux de dressage, et en particulier de Haute Ecole, semblent être les plus stressés avec des associations de stéréotypies chez un même individu et des stéréotypies plus graves. En effet, on retrouvera chez ce dernier du *headshaking* ou encensement, ainsi que du tic à l'appui (cheval qui attrape quelque chose entre ses dents, souvent sa mangeoire ou le haut de sa porte, le tire en arrière en même temps de faire passer de l'air dans son œsophage). Les auteurs expliquent le stress le plus important du cheval de dressage par la nature même du travail. En effet, on demande à l'animal de s'incurver donc d'arrondir son encolure et d'incurver son chanfrein naseaux vers le poitrail, d'être puissant et énergique tout en réfrénant ses mouvements (« allures rassemblées »). Toutes ces demandes contribuent à augmenter le stress et la nervosité de l'animal (la position de l'encolure et de la tête a été montrée comme étant source de stress par Hall *et al.* 2013). De plus, les apprentissages par renforcement négatif (consistant à lever une contrainte lorsque le cheval a réalisé un comportement adapté) sont plus fréquentes que celles de renforcement positif (récompense par conséquence agréable d'un bon comportement). Il existe une hypothèse concernant le *headshaking* ainsi que le tic qui consiste à « acquiescer » ou à lancer la tête en avant. En effet, il est possible que le mors, et en particulier chez les chevaux qui incurvent leur encolure et qui sont très sur la main (donc qui tirent sur le mors), irritent le nerf trijumeau, dont le rôle dans l'encensement est connu.

Les chevaux de saut et les vieux chevaux de manège sont moyennement stressés puisque ces derniers vont présenter des tics peu variables et de gravité moyenne : lécher et mordre à répétition. Leur position est beaucoup moins travaillée et le cheval conserve la position qu'il souhaite tant qu'il ne touche pas la barre, leur travail est donc moins contraignant.

Enfin, les chevaux de voltige semblent être les moins stressés d'après les stéréotypies qu'ils présentent. On corrèle ce niveau de stress avec leur travail peu évolué : tourner en rond et accepter les divers mouvements du cavalier sur leur dos. On retrouvera dans ce cas des chevaux qui jouent avec leur langue. Ce comportement semble être dû à l'effet du harnachement que porte le cheval pour lui

maintenir l'encolure incurvée. Il semblerait que l'animal ferait contre-pression avec sa langue sur le mors, et cela deviendrait un réflexe qu'il réaliserait même au repos.

- **Evaluation par l'homme de l'état émotionnel du cheval**

Le cavalier, l'instructeur ou même le vétérinaire peut-il se fier à son impression concernant l'état psychologique du cheval ? L'avis de l'observateur peut être pris en compte en partie. Par exemple, la tension (raidissement des muscles, yeux et oreilles aux aguets, encolure haute) perçue chez un cheval va orienter son classement vers le grade « un peu stressé » (Young *et al.* 2012). Cependant, on ne peut pas juger du statut émotionnel du cheval par notre simple impression. En effet, Hall *et al.* (2013) ont démontré que la classification réalisée par les professionnels de la filière équine (cavaliers, instructeurs et vétérinaires), classification réalisée selon les préceptes de la Fédération Equestre Internationale, étaient opposés aux résultats physiologiques beaucoup plus objectifs. Encore une fois, un cheval « mis en place » et considéré par les professionnels comme dans l'état optimal pour travailler n'est pas dans un état de tranquillité pour l'animal.

II-C) Résultats de relevés de thermographie infra-rouge sur différentes espèces

II-C-1) Chez le cheval de sport

Bartolomé *et al.* (2013) mesurent la fréquence cardiaque et la température oculaire maximale sur 173 animaux 3h avant une épreuve, à la sortie de l'épreuve et 3h après l'épreuve. Ils relèvent en parallèle six facteurs : deux facteurs intrinsèques (âge et race du cheval), et quatre facteurs extrinsèques (nombre d'heures de transport avant d'arriver sur le lieu du concours, nombre d'heures d'entraînement par jour, nombre de compétitions auxquelles le cheval a déjà participé et enfin le cavalier). Ils remarquent d'abord que la fréquence cardiaque et la température oculaire maximale sont corrélées positivement et significativement. Ils arrivent à la conclusion que l'origine des variations de ces deux paramètres doit être commune pour obtenir ces résultats : le système nerveux autonome. Ainsi, la hausse de la température oculaire est d'origine orthosympathique. Dans cette étude, une augmentation de la température oculaire est détectée. L'augmentation de température détectée est liée au moment de prise du cliché de thermographie, ici les clichés étant pris quelques minutes après l'épreuve, ils ne peuvent donc pas montrer la phase de diminution de la température oculaire liée à la fermeture des capillaires sous contrôle orthosympathique. Dans cette étude, la deuxième phase de

variations de la température oculaire maximale est mise en évidence, c'est à dire l'augmentation au delà des valeurs basales (les résultats sont présentés à la fin du chapitre).

Il paraît donc cohérent que l'on ne mette pas en évidence de parfaites corrélations entre la hausse du cortisol salivaire et la hausse de la température oculaire puisque ces deux réponses ne font pas partie de la même réponse physiologique, la température oculaire augmentant plus rapidement que le cortisol sanguin ou salivaire. Valera *et al.* (2011) montrent que la TMO (température maximale oculaire) et le cortisol salivaire évoluent dans le même sens mais ne montrent pas de corrélations parfaites (les résultats sont présentés à la fin du paragraphe). Les auteurs étudient 16 chevaux autour de 3 épreuves, prélèvent de la salive et réalisent des clichés de thermographie infra-rouge 3h avant l'épreuve (BC), juste après (JAC) et 3h après l'épreuve (AC). Les résultats montrent une grande différence entre la TMO BC et la TMO JAC ($TMO\ BC < TMO\ JAC$) et entre la TMO JAC et la TMO AC ($TMO\ JAC > TMO\ AC$) alors que pour le cortisol, il n'existe une différence significative que pour les résultats entre JAC et AC (cortisol JAC > cortisol AC, et le cortisol BC étant non significativement différent du cortisol JAC). Les chevaux anticipent-ils l'épreuve très à l'avance ?

En effet, une hypothèse pouvant expliquer ces résultats est une anticipation d'un événement stressant amenant les chevaux à répondre, en termes d'élévation de cortisol, de façon aussi importante en attendant l'épreuve que lors de l'épreuve elle-même. Or les chevaux ne courent pas tous les jours, mais seulement trois jours parmi les dix-neuf jours où ils sont sur place. Nous n'avons pas d'informations sur le début de la préparation des chevaux, informations qui seraient très intéressantes à connaître afin de déterminer si c'est le rituel de pansage, tressage ou autre qui serait à l'origine d'un phénomène de relargage de cortisol par anticipation ou si les chevaux relarguent le cortisol tous les matins en anticipant l'épreuve à l'avance. De plus, nous avons vu précédemment que le cortisol était sécrété selon un rythme circadien. On peut penser que la haute valeur de cortisol 3h avant le spectacle peut être en partie due à la sécrétion matinale physiologique de cortisol (rythme circadien évoqué en II-B-1-b) *Facteurs de variation du cortisol salivaire*).

Par ailleurs, Bartolomé *et al.* (2013) concluent que plus la température oculaire maximale avant et pendant un parcours est faible et meilleure sera la performance des chevaux. La thermographie infra-rouge est donc fortement évocatrice de l'état psychologique du cheval.

Les auteurs remarquent également que la température maximale oculaire varie en fonction de facteurs intrinsèques, en particulier les deux qu'ils testent : l'âge et la race du cheval. Ils mettent par exemple en évidence que les anglo-arabes présentent des températures oculaires plus élevées que les lignées germaniques, françaises ou croisées espagnoles et que les chevaux de cinq ans ont des

températures oculaires supérieures (*Tableau 1*) à celles des chevaux de quatre et six ans (on peut supposer que les quatre ans ne savent pas à quoi s'attendre et donc n'anticipent pas trop l'épreuve, et stressent moins. Les six ans ont par contre plus de métier et les épreuves les stressent moins).

Tableau 1 : Moyennes des températures oculaires maximales (T en °C) de chevaux de sport espagnols d'âge différents et écarts types. Les températures sont prises autour d'un parcours de compétition : BC= Before Competition (3h avant le parcours), JAC= Just After Competition (5min après le parcours), AC= After Competition (3h après le parcours). $\Delta BC-JAC = T_{JAC} - T_{BC}$, $\Delta JAC-AC = T_{JAC} - T_{AC}$.

	Tmoy _{BC}	Tmoy _{JAC}	Tmoy _{AC}	MoyT	Δ_{BC-JAC}	Δ_{JAC-AC}	Source
CV 6ans	35,6±1,0	35,9±1,2	35,2±0,8	35,9±0,9			Valera et al. 2011
CV 5ans	35,9±0,7	36,6±2,5	36,5±1,7	36,1±1,1			
CV 4ans	36,0±1,4	35,7±0,9	36,0±0,9	35,8±1,2			
Ensemble					1,0	0,5	
Moyenne	36,2±0,1	37,6±0,1	36,9±0,1		1,5	1	Bartolomé et al. 2013
Min	33,1	33,9	31,5		0	0	
Max	37,7	41	41,8		4,9	5,4	

II-C-2) Chez les autres espèces (bovins, lapins, singes...)

En plus du cheval, la thermographie est utilisée chez de nombreuses espèces, son utilisation étant en grande expansion. Kuraoka et Nakamura (2011) valident l'utilisation de la thermographie infra-rouge pour mettre en évidence des émotions chez le macaque rhésus. En effet, les auteurs notent une baisse significative de la température de la région nasale lors de la mise en situation de menace ou de peur de l'individu. De plus, les résultats de thermographie sont tout aussi significatifs que l'individu soit soumis à une menace ou une peur réelle (menacé par le dominant par exemple) ou qu'on lui projette une vidéo en 2D avec le son (vidéo de singe violent et agressif par exemple). Ces résultats sont très encourageants puisque les tests d'émotivité sont couramment réalisés par projection de vidéos. Il est mis en évidence que la température nasale décroît à partir de 20 secondes après le début de la vidéo (durant 50 secondes) et continue de diminuer jusqu'à 60 secondes après le début. On remarque qu'il n'existe pas de baisse significative de température nasale suite aux émotions liées à la nourriture ou la privation de la mère. Aucune publication scientifique ne relate d'étude réalisée sur la température superficielle nasale chez le cheval.

Stewart (2008) s'attache à étudier l'effet de diverses manipulations douloureuses ou créant un effet de surprise sur la température oculaire maximale de bovins. Une baisse significative de cette dernière est observée dans les premières dizaines de secondes après la manipulations, suivie par une augmentation au delà des valeurs basales dans le cas où la manipulation était vraiment traumatisante.

Ludwig *et al.* (2007) s'intéressent à l'utilisation de la thermographie infra-rouge pour juger du stress chez le lapin. Ils relèvent en particulier deux zones présentant des variations intéressantes de la température lors de stress (globe oculaire et zone péri-orbitaire), et la zone interne du pavillon auriculaire. Cette dernière zone présente les plus fortes variations de température en cas de stress et se révèle donc être la plus discriminante chez le lapin. Dans leur étude, ils relèvent une baisse des températures oculaires (globe oculaire + zone péri-orbitaire) et du pavillon auriculaire pendant le stress. Leurs résultats sont corrélés de manière inverse avec les niveaux de corticostérone relevés (les lapins présentant les plus fortes hausses de corticostérone atteignent les plus basses températures oculaires et auriculaires). L'intérêt de l'utilisation de la thermographie chez le lapin est important puisque la caméra peut être fixée au dessus de l'aire des lapins et ainsi les données sont récoltées sans intervention d'un manipulateur qui serait une source de stress évidente et importante pour ces animaux très sensibles. Aucune étude s'intéressant à la température du pavillon auriculaire chez le cheval n'est décrite dans la littérature.

Enfin, une poule soumise à un élément stressant présente dans les tous premiers temps une baisse de la température de la crête et de l'œil associée à une hausse de la fréquence cardiaque (Mc Cafferty, 2013).

II-C-3) La thermographie infra-rouge, un indicateur de types de stress très variés : douleur, peur, stress psychologique

En 2013, Godyń *et al.* réalisent des clichés thermographiques et mesurent la fréquence cardiaque de veaux pendant leur castration ou leur écornage avec ou sans analgésie. Il est mis en évidence une diminution de la température oculaire immédiatement à la suite de la manipulation chez les sujets non analgésifiés, puis une hausse plus lente. Ainsi, la thermographie infra-rouge révèle la douleur.

Kuraoka et Nakamura (2011) mettent en évidence une diminution de la température nasale de macaques rhésus quand ceux-ci sont confrontés à la peur ou à une menace agressive.

La thermographie infra-rouge est utilisée par Valera *et al.* (2011) pour mesurer le stress induit par une compétition chez le cheval, ou bien pour analyser l'effet de la bride et de la muserole croisée par Mc Greevy *et al.* (2012).

En conclusion, la thermographie infra-rouge est en nette expansion. Bien que le mécanisme physiologique des variations de température ne soit pas encore pleinement compris, cette technique s'affiche déjà comme une technique d'étude du stress chez l'animal particulièrement intéressante aussi bien pour sa finesse, sa justesse, sa simplicité d'utilisation, son faible coût (après équipement d'une caméra thermique infra-rouge) que l'absence de biais qu'elle permet par son absence de contraintes sur les individus.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

L'Académie Equestre de Versailles était le cadre idéal pour réaliser notre étude. Tout d'abord, l'effectif de chevaux est d'une quarantaine de têtes ce qui nous permettait de choisir nos sujets sans contraintes. Ensuite, l'Académie présente l'avantage d'effectuer entraînements et spectacles dans la même structure d'où une stabilité des conditions de travail qui nous permettait d'organiser au mieux le relevé des données. Enfin, à la sortie de chaque numéro, les chevaux étaient rentrés immédiatement au box où nous pouvions réaliser nos mesures sans gêner l'équipe des coulisses.

Une fois la structure choisie, nous avons pu définir notre échantillon en accord avec le chef d'écurie et les écuyers. Un protocole d'étude a enfin été établi de manière à être le plus informatif possible pour nous, le moins contraignant pour les écuyers et le moins stressant pour le cheval.

I- ECHANTILLON UTILISÉ

I-A) PRESENTATION DE L'ACADEMIE EQUESTRE DE VERSAILLES

I-A-1) Les écuries

L'Académie Equestre de Versailles est basée dans la Grande Ecurie du Château de Versailles, lui faisant face. Après être longtemps restée à l'abandon, la Grande Ecurie a été remise en état et ouverte au public en 2003. Bien que conservant l'esprit de l'époque, la structure du bâtiment a été totalement repensée pour cadrer avec les règles contemporaines relatives au bien être animal : les anciennes stalles dans lesquelles les chevaux ne pouvaient pas bouger ont été remplacées par des boxes. Pensée et dirigée par Bartabas, l'Académie tire son originalité en alliant le travail de dressage de Haute Ecole à des disciplines variées comme l'escrime, la danse, le chant ou le Kyudo. Les chevaux sont logés dans deux grandes écuries (*Figure 7*) (bâtiments d'origine réaménagés) mais également, par faute de place et impossibilité de construire (monuments historiques classés) des boxes démontables dans la cour extérieure.

Figure 7 : Une des deux grandes écuries de l'Académie - Source personnelle (2012)



En été, la chaleur peut monter dans les boxes extérieurs et être à l'origine d'une augmentation des paramètres physiologiques. Nous n'avons pas étudié les chevaux y logeant. Pour travailler, les écuyers ont accès à une carrière extérieure au centre du bâtiment (*Figure 8*), le manège dans lequel se déroulent les spectacles ainsi qu'un rond de longe à l'arrière du manège. Spectacle et éclairages obligent, les fenêtres du manège sont entièrement bouchées et la lumière y est tamisée, projetée par des lustres en verre de Murano.

Figure 8 : Séance d'entraînement dans la carrière extérieure
- Source personnelle (2013)



I-A-2) Les chevaux

Au début de notre étude en 2012, 43 chevaux mâles hongres ou entiers de trois races différentes étaient présents : 7 poneys Sorraias pendant le spectacle (travail à pied où chaque écuyer dirige son cheval avec des longues rênes), 8 Criollos Argentins utilisés pour l'escrime à cheval, 3 Quarters Horses réalisant des spins et sauts académiques, et 25 chevaux Lusitaniens crèmes et noirs soit travaillés montés, soit en mains, soit en liberté. Depuis, entre les départs en retraite, les accidents, les chevaux boiteux réformés, les échanges avec le théâtre Zingaro d'Aubervilliers, l'effectif a légèrement diminué.

Les Criollos viennent d'Argentine, leur débouillage a été très succin, et ils ont probablement été maltraités. Il en résulte que ce sont des chevaux moins manipulables que les autres malgré la petite dizaine d'années de travail effectuée sur chacun d'entre eux. Certains peuvent botter l'homme assez rapidement, ce sont des chevaux peureux qu'il faut traiter avec délicatesse, leurs réactions sont peuvent être imprévisibles. Ils sont tous hongres.

Les poneys Sorraias sont des poneys portugais vivant à l'état semi-sauvage. A leur arrivée à l'Académie, ils nécessitent beaucoup de travail puisqu'ils étaient très peu habitués à l'homme. Aujourd'hui ils sont dociles et manipulables sans aucun souci. Ils sont tous entiers.

Enfin les Lusitaniens sont à la base d'excellents chevaux de dressage, très à l'écoute de leur maître, braves, dociles, et en général bien équilibrés mentalement. La légère nuance que l'on apportera se tient dans leur couleur Cremello. Cette couleur très prisée est obtenue à partir de la dilution sur quelques générations de la robe alezane ou bai. Cependant, les éleveurs de cremellos prennent des raccourcis et croisent les cremellos entre eux. Comme cette couleur est rare, les croisements finissent par créer de la consanguinité, qui peut se ressentir dans le caractère de ces Lusitaniens particuliers. En plus de ce souci de consanguinité, constituer un peloton de 23 Lusitaniens cremellos nécessite forcément de ne pas être trop regardant du point de vue du mental du cheval étant donné leur rareté. Ainsi les Lusitaniens cremellos de l'Académie Equestre sont peu équilibrés au niveau de leurs réactions et leur manipulation doit être précautionneuse et vigilante. Dans cet échantillon, les plus jeunes sont hongres alors que les plus vieux sont entiers.

I-A-3) La compagnie

Au début de notre étude, elle était composée de 10 écuyers : Laure Guillaume, Emmanuel Dardenne, Emmanuelle Santini, Anna Kozlovskaya, Emilie Tallet, Marie-Charlotte Tura-Dubois, Coline Le Clainche, Jeanne Linguinou, Adrien Samson, Séverine Deperrois ; d'un responsable d'écuries : Pierre Boiffard, d'une groom, de 4 palefreniers. Aujourd'hui, il y a eu quelques remaniements mais l'effectif reste globalement le même.

L'organisation hiérarchique est quasi-militaire, pyramidale. Les écuyers commencent groom des écuyers les plus gradés, et évoluent progressivement en suivant des cours dispensés par leurs aînés.

Les écuyers travaillent seuls ou entre eux chaque jour, et fréquemment un professeur d'équitation vient leur dispenser un cours. En ce qui concerne les autres pratiques, les écuyers étant plus novices, ils sont systématiquement suivis par un professeur.

I-B) CHOIX DES CHEVAUX SUIVIS

Nous avons choisi les chevaux étudiés en concertation avec les écuyers et en prenant en compte différents paramètres. D'une part, le cheval étudié devait être manipulable (acceptant

facilement la prise de fréquence cardiaque et la prise de température rectale). Bien qu'une habitude aux différents relevés ait été nécessaire pour que les chevaux acceptent sans contraintes toutes les manipulations et qu'elles n'engendrent pas de stress supplémentaire iatrogène ; certains chevaux sont demeurés trop peureux pour être incorporés dans l'étude comme Géricault qui est le cheval de solo. Malheureusement, nous avons été contraints de sortir de l'étude des animaux qu'il aurait été fort opportun de choisir car très sujets au stress comme Géricault ou certains Criollos dont la prise de température rectale nous aurait clairement mis en danger.

D'autre part, les écuyers devaient accepter de participer à l'étude. En effet, certains pouvaient juger que nos manipulations stresseraient leur monture pour le spectacle. Notre présence dans le box en même temps qu'eux, ou le fait qu'ils aient parfois à attendre une minute que l'on fasse nos relevés pouvait les irriter. Nous n'avons heureusement pas rencontré ce problème.

Ensuite, pour pouvoir juger de l'effet même du spectacle sur le stress du cheval par rapport à un simple entraînement, il fallait que les deux exercices se ressemblent. Il fallait donc suivre des chevaux qui sont montés pendant le spectacle : la majorité des Lusitaniens et les Criollos argentins.

Enfin, en fonction des numéros auxquels participent les chevaux au cours du spectacle, il a fallu choisir de manière à pouvoir réaliser nos relevés immédiatement à la sortie du numéro : il ne fallait par exemple pas qu'un cheval enchaîne plusieurs numéros ou que trop de chevaux sortent en même temps.

Nous avons donc sélectionné deux Criollos et dix Lusitaniens (neuf cremellos dont quatre hongres et 6 entiers et un étalon noir). La deuxième année de notre étude, un des Lusitaniens est sorti de l'étude car réformé pour boiterie. Ces douze chevaux sont liés à neuf écuyers (*Tableau 2*).

I-C) STRUCTURE DU TRAVAIL ET DES SPECTACLES

I-C-1) Entraînements quotidiens

Chaque écuyer a à sa charge trois à quatre chevaux qu'il doit faire travailler tous les jours. Pour la majorité des écuyers, il s'agit d'un poney Sorraia, d'un Criollo argentin et d'un ou deux Lusitaniens. Tous les chevaux sont travaillés montés, longés en main, et font des promenades à l'extérieur quelque soit leur type de numéro au sein du spectacle. Chaque cheval est travaillé une fois par jour voire deux fois pour les jours de spectacle (entraînement le matin et show l'après-midi ou le soir). Une séance d'entraînement montée dure d'une demi-heure à une heure et comprend un

échauffement, une détente, une période de travail en temps que telle (où le cheval est le plus sollicité) puis une période de récupération au pas. La période de travail peut être entrecoupée de pauses au pas.

I-C-2) Spectacles

A l'Académie Equestre, en dehors de leur tournée annuelle ou des quelques créations qu'ils jouent, il existe deux types de représentations : *La Matinale des Ecuyers* qui correspond à un numéro avec les Criollos argentins suivis d'une période d'une vingtaine de minutes où les trois meilleurs écuyers réalisent dans le manège un entraînement chorégraphié. Ce n'est donc pas un réel spectacle, l'origine de cette représentation est de montrer au public un entraînement comme il y en a tous les jours. Il y a tout de même de la musique et les écuyers sont en costumes. La Matinale des Ecuyers comme son nom l'indique se déroule les samedis matins et dimanches matins. Elle dure une petite heure.

La Voie de l'Ecuyer est un véritable spectacle. Les représentations sont les samedis soirs (à 18 ou 20h) ou le dimanche après-midi à 15h. Ce spectacle dure 1h15 en moyenne.

Les Matinales sont précédées d'une visite des écuries, source de stress potentiel pour les chevaux car le public est nombreux. Pour *La Voie de l'Ecuyer*, la visite se passe après le spectacle.

Certains individus font plusieurs passages sur scène. Les Criollos ainsi que deux des Lusitaniens font la matinale et le spectacle le même jour. Il y a eu des modifications quand à l'emploi des chevaux entre les deux spectacles mais auxquelles le protocole de l'étude a pu être adapté sans problème.

Les numéros sont plus courts que les entraînements puisqu'ils durent de cinq à dix minutes, et sont d'intensités variables. Par exemple, l'escrime à cheval est physiquement plus difficile puisque les chevaux enchaînent les lignes droites au grand galop avant de s'arrêter net. Le numéro du carrousel est beaucoup plus tranquille (*Tableau 2*). Enfin, une des particularités du spectacle est que les chevaux ne sont pas marchés après l'exercice. Il faudra en tenir compte a posteriori pour l'analyse de nos paramètres. De plus certains chevaux sont détendus avant le spectacle et la prise de nos mesures se déroulait après la détente (exercice type entraînement d'environ vingt minutes), cet aspect est également primordial pour l'interprétation des valeurs prises avant le spectacle.

Environ deux heures avant le début du spectacle commence la préparation : les harnachements et selles de spectacles sont sortis et posés à côté du box, les chevaux sont pansés, tressés, et laissés à l'attache pour ne pas qu'ils se roulent. Les chevaux qui doivent être détendus le sont avant le tressage.

Tableau 2 : Différents numéros ainsi que leur intensité physique et chevaux y participant

La dernière colonne stipule si le cheval a été détendu avant le spectacle et avant les premières mesures (1). Entre les deux périodes séparées d'un an où nous avons effectué des mesures, ce sont opérés certains changements quant à la participation des chevaux aux numéros.

Noms des numéros	Chevaux (1ère année)	Chevaux (2ème année)	Intensité	Détente
4 poulains	Arlequ'un		Moyenne	Non
	Pas de Deux		Moyenne	Non
	Treize et Trois	Treize et trois	Moyenne	Non
	Ouest		Moyenne	Non
Escrime à cheval	Intrépide	Intrépide	Très forte	Non
	Nerveux	Nerveux	Très forte	Non
Pas de 2 galop	Tinguely	Tinguely	Moyenne	Oui
	Quilate	Quilate	Moyenne	Oui
Trio	Passa di Sotto		Moyenne	Oui
	Quilate		Moyenne	Oui
Carrousel	Trois	Trois	Moyenne	Oui
	Balestra	Balestra	Moyenne	Oui
	Chagall	Chagall	Moyenne	Oui
	Rejeneo	Rejeneo	Moyenne	Oui
	Arlequ'un	Arlequ'un	Moyenne	Oui
	Passa di Sotto	Passa di Sotto	Moyenne	Oui
Danse à cheval		Intrépide	Forte	Non
		Nerveux	Forte	Non

II- MATÉRIEL ET MÉTHODE

II-A) LES INDICES EVALUES

Comme nous l'avons détaillé dans la première partie, de nombreux indices sont évaluables, aussi bien physiologiques que comportementaux pour juger de l'état de stress d'un animal. Nous avons sélectionné un certain nombre d'indices et ceci en fonction de différents facteurs. D'abord les relevés devaient se réaliser le plus rapidement possible, et devaient être réalisables au box en liberté sans avoir besoin qu'un manipulateur tienne le cheval. Ensuite les manipulations devaient être non stressantes afin d'une part que les valeurs relevées ne soient pas biaisées, et d'autre part qu'elles n'empêchent pas le bon déroulement de l'entraînement ou du spectacle qui suivait. Enfin, parmi les différents répertoires comportementaux retrouvés dans la littérature, il fallait en choisir un qui nous permette d'étudier aussi bien le cheval au box en liberté mais également à l'attache.

Les grilles de notation pour les variables non quantitatives sont présentées en *annexe 1*. On remarquera que certaines grilles de notation ont été simplifiées par la suite pour simplifier le traitement statistique. Ainsi certaines variables sont devenues binaires.

II-A-1) Indices Physiologiques

L'effort physique est souvent un facteur de variation important des indices physiologiques. Aussi, en considérant l'entraînement équivalent au spectacle en terme d'intensité sportive, la variation des indices peut être reliée à l'effet du stress. Dans l'interprétation et l'analyse des résultats nous avons tenu compte de ce facteur. Rappelons que l'entraînement est plus long mais est terminé par une période de récupération au pas, alors que le numéro de spectacle est moins long mais ne possède pas de période de récupération.

- ***Fréquence cardiaque***

Sa valeur moyenne varie entre 24 et 44 battements par minute chez le cheval. Même si le cœur possède un automatisme cardiaque intrinsèque au tissu nodal, la fréquence et le rythme sont contrôlés par le système nerveux autonome. Le stress active le système orthosympathique qui est cardioaccélérateur (chronotrope mais aussi inotrope, tonotrope, dromotrope, bathmotrope positifs) et augmente donc la fréquence cardiaque. Elle a été mesurée à l'aide d'un stéthoscope pendant 15 secondes. L'utilisation d'un cardiofréquence-mètre avec lecture continue à distance aurait été idéal car

il nous aurait permis de recueillir les variations les plus fines notamment lors de l'ouverture des portes du manège pendant le spectacle, ou lors d'expériences stressantes (public agité par exemple). De plus, l'absence de contact avec le cheval nous aurait totalement affranchi du potentiel stress manipulation-dépendant. Malheureusement, ces appareils sont très coûteux et assez visibles donc non compatibles avec la bien séance d'un spectacle équestre.

Limite de cet indice. La fréquence cardiaque augmente également avec l'intensité de l'exercice. Il faut donc prendre en compte le type d'exercice dans l'interprétation des résultats. De plus ce paramètre diminue vite après l'exercice ou le stress. Sans cardio-fréquencemètre, il ne faut pas tarder à prendre la fréquence cardiaque.

- ***Température interne (rectale)***

La température rectale normale d'un cheval est comprise entre 37,5°C et 38,5°C. Le stress entraîne une légère hyperthermie. Elle est lue en 5 secondes par un thermomètre électronique.

Limite de cet indice. Lors d'un effort physique ou de certains phénomènes inflammatoires, qu'ils soient infectieux ou non, la température interne a tendance à augmenter. Les chevaux étant suivis de manière quotidienne, une diminution de l'état général aurait été décelée si processus inflammatoire il y avait eu et nous aurions écarté le cheval de l'étude. Pour l'interprétation des résultats, nous devons prendre en compte l'intensité de l'effort. La température externe peut également agir sur la température interne.

- ***Sudation***

Le stress entraîne une sécrétion de sueur explicable par le contrôle adrénergique effectué sur les glandes apocrines. L'évaluation de la sudation se fait grâce à un relevé de la topographie des zones humides et de l'intensité de la sudation.

Limite de cet indice. L'exercice et la chaleur entraînent également une augmentation de la sudation. Nous avons donc recueilli la température extérieure à différents moments de la journée et avons pu mettre en évidence une stabilité de la température extérieure au fil du temps. En effet, l'Académie se situe dans un bâtiment en pierre qui permet de conserver une température environnementale plutôt constante autour de 20°C. Cependant le manège où sont réalisés les spectacles varie davantage en température ambiante et peut présenter des températures très élevées en été. La carrière d'entraînement, où sont d'ailleurs détendus les chevaux avant de rentrer sur scène, peut également voir sa température augmenter fortement aux heures chaudes.

- ***Ouverture de l'oeil – mydriase***

L'oeil grand ouvert est accompagné d'une mydriase. La mydriase est liée à l'activation du système orthosympathique. Lors d'un stress, le système orthosympathique est stimulé conduisant à une ouverture de l'oeil et une mydriase augmentée.

Limite de cet indice. Elle est également corrélée à l'intensité lumineuse de l'environnement. Bien que les chevaux crèmes aient des iris bleus, l'observation de la mydriase s'est révélée difficile dans la pénombre des écuries et nous avons choisi de conserver uniquement l'ouverture de l'oeil qui est un paramètre relevable à une distance plus importante de l'animal et plus rapidement. Il traduit une attitude de vigilance ou un état de stress selon son degré.

- ***Salivation***

Nous avons évoqué dans la première partie que ce critère était extrêmement délicat à interpréter puisqu'il fluctue en fonction de la mastication, de la présence et du type de mors dans la bouche. Son aspect (séreux ou muqueux) ainsi que sa quantité sont extrêmement variables en fonction du type de stimulus désagréable et sous dépendance des systèmes ortho et parasympathiques.

Figure 9 : Salivation au retour de l'exercice - Note 2



L'alimentation distribuée au retour du spectacle pouvait interférer dans nos mesures. De plus, le changement de mors (forme et constituant, simple ou double) entre l'entraînement et le spectacle est à prendre en compte dans l'interprétation de ce critère. Nous attendions au maximum que les chevaux soient préparés (bridés et sellés) pour faire nos mesures. Parfois, juste avant l'entraînement, nous ne prenions pas le temps d'attendre la mise en place du filet pour ne pas retarder les écuyers.

II-A-2) Indices comportementaux

- ***Mâchonnement du mors***

Le grincement de dents est considérée par la Fédération Equestre Internationale comme un signe de stress ou de tension. Les comportements buccaux exploratoires comme un cheval qui touche, flaire ou lèche avec la langue ou le mufler une partie de l'écurie ou le sol, sont augmentés lors de réponse de l'organisme à un stress de moyenne intensité (Young *et al.*, 2012). Il nous est donc apparu intéressant de relever ou non la présence de mouvements de mâchonnements du mors, fréquemment observés chez le cheval. De plus, la salivation est étroitement liée à la mastication, il était donc important de prendre en compte ce critère pour exploiter les résultats de salivation. L'observation a été réalisée pendant 30 secondes.

Limite de cet indice. La présence d'un mâchonnement dépend aussi du type de bride utilisée, or les brides et filets utilisés en spectacle et en entraînement sont différents chez la majorité des sujets.

- ***Mouvement et position des oreilles.***

La fréquence de mouvements ainsi que la position des oreilles nous orientent quand à la présence chez le cheval d'une réponse au stress.

Limite de cet indice. L'observation ne se faisant que sur une courte période (2 minutes) et notre présence étant soudaine (le cheval n'a pas le temps de s'y habituer), il est possible que les oreilles ne soient observées plus mobiles et en position d'attention qu'elles ne l'étaient en réalité avant notre présence. Cependant, les chevaux se sont très vite habitués à nous et ne faisaient plus attention à notre présence.

- ***Port de l'encolure***

Ce facteur est relevé sous différentes formes dans les répertoires comportementaux. Nous ne possédions pas d'enregistrements vidéos pour relever finement l'angle de l'encolure, et l'évaluation devait être rapide. Nous avons donc choisi une notation simple (*Annexe I*).

- ***Appui tripédal***

L'appui tripédal (sur trois pieds) est une position de repos dans laquelle se met le cheval s'il ne perçoit aucune menace dans son environnement. Si l'environnement n'est pas sûr, il se mettra sur ses quatre

pieds pour pouvoir fuir au plus vite. A l'extrême, un cheval en état de stress peut piétiner (l'augmentation de son activité locomotrice faisant partie de sa réponse au stress).

- ***Tension corporelle***

Elle consiste en l'évaluation subjective de l'état de tension globale du cheval. Nous avons évoqué le fait que l'impression des professionnels et le suivi des notations des recommandations de la Fédération Equestre Internationale donnaient des résultats en contradiction avec ceux du cortisol salivaire : les chevaux considérés comme dans les meilleures conditions au travail (selon leur position) étaient les plus stressés selon les résultats de cortisol salivaire. Nous avons voulu tester notre capacité à appréhender la tension d'un cheval et son état d'anxiété ou de stress. Ce critère est bien sûr totalement subjectif et potentiellement valable pour les réponses au stress marquées, or les chevaux, selon les individus, sont plus ou moins expressif quant à ce critère.

- ***Souffle***

Il est fréquent d'entendre les chevaux s'ébrouer. Les ébrouements, que nous avons appelé souffle et qui correspondent à une forte expiration active sont relevés dans les échelles comportementales (Hall *et al.*, 2013).

L'analyse des différents indices comportementaux a été traitée au sein de la thèse de Robin Semblat (2014) intitulée « Indices physiologiques et comportementaux : mise en évidence du stress chez le cheval de spectacle ». Je ne détaillerai donc pas dans ce manuscrit ces résultats.

II-B) METHODES DE MESURES

Notre travail s'est ainsi attaché à comparer des indices physiologiques et comportementaux, les clichés de thermographie infra-rouge et le cortisol salivaire de treize chevaux entre le spectacle et l'entraînement. Ces indices sont donc mesurés avant, pendant et après un spectacle ou un entraînement.

Pour juger de l'anxiété (anticipation du spectacle), la première mesure a été réalisée après préparation du cheval 20 à 45 minutes avant son entrée en scène dans le cas du spectacle, donc au box, et juste avant qu'il ne parte à l'entraînement (lorsqu'il est entrain d'être sellé). Lorsque les

chevaux étaient détendus avant le spectacle, la première prise de mesure était réalisée après la détente, au minimum vingt minutes après.

La deuxième mesure évaluant le stress a été réalisée immédiatement après le premier des passages sur scène ou à la fin de l'entraînement. En effet certains chevaux comme les Criollos argentins ou Quilate réalisaient plusieurs passages sur scène. Pour certains les deux numéros s'enchaînaient (par exemple pour Quilate) ; alors que pour d'autres, une période d'une trentaine de minutes passée au box s'écoulait entre deux apparitions sur scène. Il existait un intervalle de une à deux minutes entre la sortie de la piste (entraînement ou spectacle) et la prise des mesure étant donné que les chevaux étaient marchés pour rejoindre leur box où nous faisions les mesures. Pour les chevaux participant au carrousel (Passa, Arlequin, Balestra, Rejeneo, Chagall et Trois la première année), cet intervalle était de trois minutes.

Enfin la dernière mesure jugeant de la récupération (détente et relâchement) a été réalisée 20 à 45 minutes à l'issue du spectacle ou de l'entraînement. Ces mesures étaient réalisées de la même manière avant, pendant et après un entraînement, à la différence que la première mesure avant entraînement était réalisée plutôt cinq minutes avant le départ pour l'exercice puisque les chevaux n'attendent pas une fois préparés pour aller travailler.

Les *figures 10* et *11* présentent les différentes séquences de prises de mesure autour du spectacle et de l'entraînement. En comparant les mesures récupérées pendant les entraînements aux mesures récupérées pendant le spectacle, et en considérant que la température de l'environnement et l'intensité de l'exercice seront à peu près équivalente entre ces deux épreuves, nous avons ainsi pu en déduire l'impact du stress induit par le spectacle sur les différents indices. L'exercice est certes d'intensité différente mais alors que les chevaux peuvent récupérer après leur plus intense exercice d'entraînement, ils sont directement ramenés au box après leur numéro sans être marchés.

Les clichés de thermographie sont réalisés en même temps que les mesures physiologiques et comportementales.

Les prélèvements de salive sont réalisés pour la première mesure en même temps que les autres paramètres, pour le second prélèvement 20 à 30 min après la sortie d'entraînement ou de spectacle, et en même temps que le 3ème relevé. Les *figures 10* et *11* présentent respectivement les séquences de prises de mesure autour de l'entraînement et du spectacle.

La séquence de prise des mesures était la suivante (temps total estimé par cheval : moins de 2 minutes) :

- 0 - Observation de l'appui tripédal réalisée au box,
- 1 - Mesure de la fréquence cardiaque pendant 15 secondes,
- 2 - Prise du cliché de thermographie de profil,
- 3 - Evaluation des indices comportementaux de la tête : ouverture de l'oeil et salivation puis après recul d'un mètre, la sudation est notée,
- 4 – Mesure de la température interne (rectale) pendant 10 secondes et observation du mouvement des oreilles,
- 5 – Evaluation du mâchonnement du mors, du port de la queue et de l'encolure, ainsi que des soufflements,
- 6 - Evaluation de la tension corporelle,
- 7 - Observation de la défécation pendant les 2 minutes d'observation,
- 8- Prélèvement de salive.

Figure 10 : Chronogramme de la séquence de prises de mesure autour de l'entrainement

AV : mesure réalisée avant l'exercice / JAP : mesures, autre que le prélèvement salivaire, réalisées juste après l'exercice. JAP' : deuxième prélèvement salivaire / AP : prélèvement salivaire réalisé après l'exercice

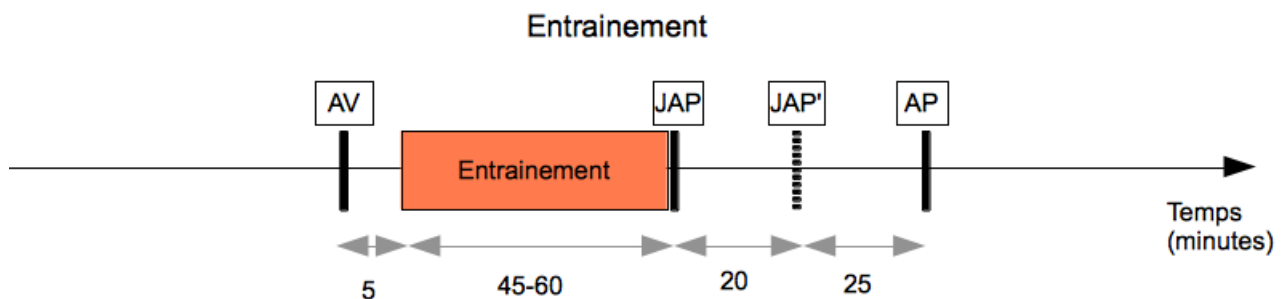
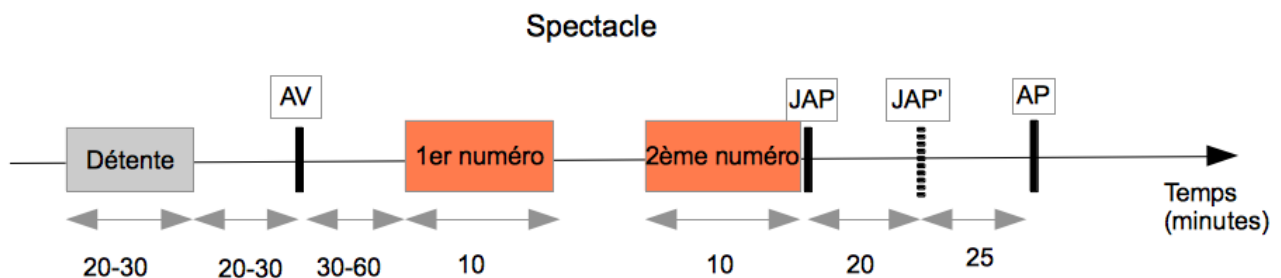


Figure 11 : Chronogramme de la séquence de prises de mesures autour du spectacle



Les relevés ont été effectués sur 4 semaines de juin et juillet 2012 ainsi que deux semaines de juillet 2013. Nous avons recueilli pour chaque cheval des relevés sur 3 à 9 entraînements et 5 à 10 spectacles. Nous n'avons pas pu obtenir un nombre égal d'entraînements pour chaque individu car certains chevaux sont travaillés davantage à des heures où nous n'étions pas présents. En ce qui concerne les spectacles, certains chevaux ont changé de numéro d'une année sur l'autre d'où un nombre de spectacles inégal entre les individus. Le *tableau 3* récapitule tous ces changements.

Tableau 3 : Nombres d'entraînements et de spectacles et numéros réalisés en 2012 et en 2013 pour chaque cheval

Nom	Nombre d'entraînements	Nombre de spectacles	Numéro(s) année 2012	Numéro(s) année 2013
Arlequ'un	9	8	« 4 poulains » Carrousel	Carrousel
Balestra	7	10	Carrousel	Carrousel
Chagall	4	10	Carrousel	Carrousel
Curieux	1	2	Escrime	Escrime
Pas de Deux	5	5	« 4 poulains »	Sorti du spectacle
Intrépide	4	9	Escrime et danse	Escrime et danse
Nerveux	3	9	Escrime / danse	Escrime / danse
Ouest	2	5	« 4 poulains »	Sorti du spectacle
Passa di Sotto	6	9	Trio / Carrousel	Trio / Carrousel
Quilate	5	9	Pas de deux / Trio	Pas de deux / Trio
Rejeneo	5	8	Carrousel	Carrousel
Tinguely	7	10	Pas de 2	Pas de 2
Treize et trois	9	8	« 4 poulains » Carrousel	« 4 poulains » Carrousel

II-C) THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE

II-C-1) Matériel utilisé et prise des clichés de thermographie infra-rouge

Pour cette étude, nous avons utilisé une caméra FLUKE TI2 que le service de Dermatologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort a mise à notre disposition. Nous avons pris des clichés de profil de l'ensemble de la tête (oreilles comprises) des chevaux, à un mètre de distance. Nous avons privilégié le profil gauche quand il était accessible, à défaut nous prenions le droit. Les clichés étaient réalisés dans le box de l'animal, dans le couloir de l'écurie ou au niveau de la zone de préparation (seuls quelques clichés de Quilate juste après le spectacle ont été réalisés dehors, dans la carrière. La température des écuries (box, couloir ou zone de préparation) est d'environ 19 à 20°C et varie extrêmement peu selon la température extérieure du fait des épais murs en pierres de l'écurie. L'hygrométrie y est de la même façon très stable. Les clichés ont été réalisés de manière à être parfaitement de profil avec l'œil. La zone des naseaux n'est donc, elle, pas parfaitement parallèle à la caméra thermique. De plus, la position des oreilles est assez variable.

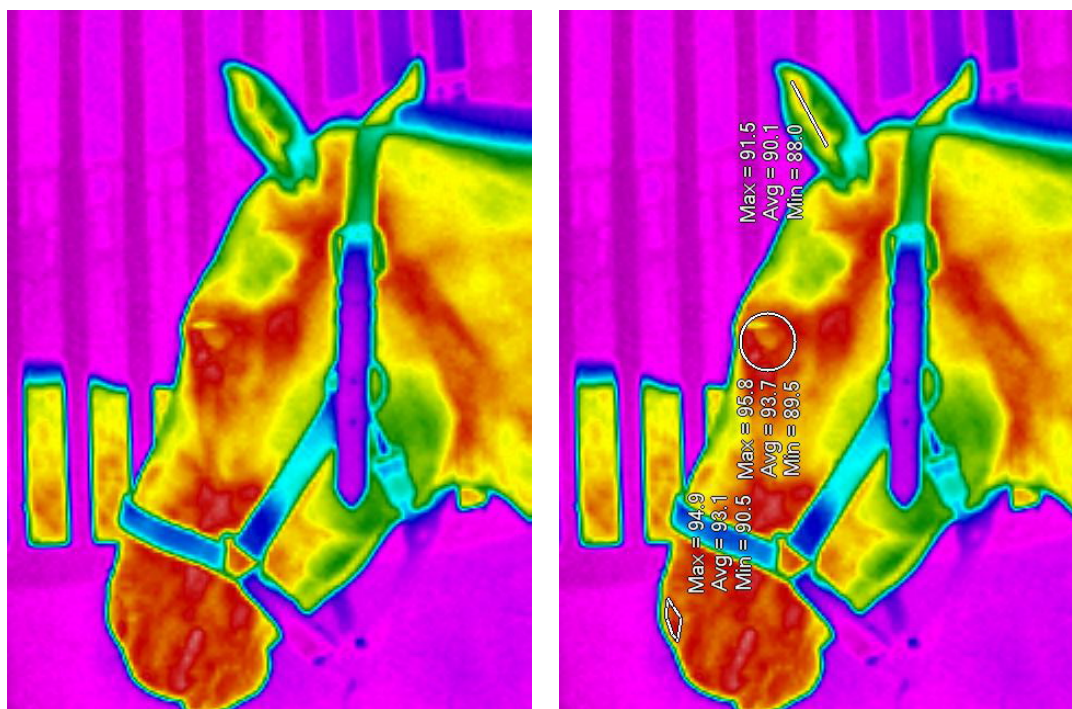
II-C-2) Températures mesurées

Nous avons relevé sept températures sur les clichés de profil des chevaux.

Premièrement, dans la région de l'œil nous avons relevé les températures maximale, moyenne et minimale oculaire qui correspondent aux températures maximale et moyenne à l'intérieur d'un cercle comprenant le globe oculaire ainsi qu'une zone péri-oculaire d'environ 1 à 2 cm (*Figure 12*). Cette zone contient la caroncule lacrymale et le bord postérieur médial de la paupière inférieure. La température oculaire maximale est la température suivie dans toutes les études utilisant la thermographie infra-rouge dans le but de mettre en évidence une réponse de stress chez le cheval (Valera *et al.*, 2012, Bartolomé *et al.*, 2013). Elle a l'avantage de correspondre à la température du point le plus chaud de l'œil situé dans la zone de la caroncule lacrymale et du bord postérieur médial de la paupière inférieure. Cette zone possède un lit capillaire particulièrement sensible au système autonome. De plus, même en traçant un cercle plus ou moins large, cette température n'est pas modifiée puisqu'elle correspond à un point situé dans ce cercle. Un certain manque de précision dans la définition de la zone est donc permis. Nous avons choisi d'évaluer la température oculaire moyenne pour tester par nous-même son intérêt sur la mise en évidence de la réponse au stress chez le cheval. Elle est moins fine puisque fluctue davantage quand le cercle est modifié légèrement. Enfin la température oculaire minimale sera analysée mais avec précautions. En effet, cette température

correspond à la température des poils des cils qui ne voient évidemment pas leur température modifiée suite à une émotion.

Figure 12 : Clichés de thermographie infra-rouge d'Intrépide (Criollo Argentin) avant (à gauche) et après (à droite) traitement informatique



Les trois tracés visibles sont 1) un cercle comprenant l'oeil ainsi qu'une marge de 1 à 2 cms, 2) une droite passant par le centre du pavillon auriculaire et s'arrêtant à environ 1 cm du bord du pavillon auriculaire, 3) un polygone faisant le contour du naseau.

Des études sur le lapin mettent en évidence une baisse significative de la température du pavillon auriculaire lors d'une réponse au stress (Ludwig *et al.*, 2007). Certes les oreilles du cheval ne présentent pas la même importance en terme de surface que celles du lapin, mais elles demeurent des organes très sensibles (les chevaux n'apprécient généralement pas qu'on leur touche les oreilles), très impliquées dans la perception des modifications environnementales et dans la communication intra et inter-spécifiques. Il nous paraissait donc intéressant de suivre les variations de la température du pavillon auriculaire. Nous avons également choisi d'étudier la température auriculaire maximale, la température auriculaire moyenne ainsi que la température auriculaire minimale. Au même titre que pour la température oculaire minimale, les résultats concernant la température auriculaire minimale seront interprétés avec précautions. En effet, la zone de l'oreille possède de grands poils et il était probable que la température minimale soit fortement influencée par ses derniers. Nous avons donc choisi de mesurer les températures auriculaires maximale et moyenne sur une droite tracée au centre

du pavillon de l'oreille s'arrêtant à 1 centimètre des bords du pavillon. Pour tracer cette droite, il fallait bien sûr que le cheval ait l'oreille en arrière mais pas couchée. Nous avons donc de nombreux clichés inexploitable faute d'un correct positionnement des oreilles.

Enfin, nous nous sommes intéressés à la température nasale, utilisée dans des études sur le macaque (Kuraoka et Nakamura, 2010) et sur le nourrisson (Nakanishi *et al.*, 2007). Contrairement à leurs études où ils prenaient des clichés de face des individus, nous n'avons pu réaliser que des clichés de profil par souci d'efficacité (le timing d'un spectacle est très serré, nos relevés et nos clichés devaient être réalisés le plus rapidement possible et par un manipulateur unique). Ainsi nous avons choisi de tracer un polygone qui suivait les contours des naseaux et de relever les températures nasales maximale, moyenne et minimale à l'intérieur de ce polygone. La température nasale minimale nous paraissait très à propos cette fois-ci puisque la zone du nez est glabre. De plus, dans le cas où nous mettions en évidence une diminution de la température nasale, relever la température minimale nous permettait d'avoir le point représentant de l'extrême d'une diminution de température. Cet aspect est valable pour les trois zones auriculaire, oculaire et nasale mais seule la température nasale minimale semble ne pas être biaisée par des zones de longs poils ne présentant aucune évolution de température.

II-C-3) Analyses des données

Les clichés ont été traités grâce au logiciel fourni avec la caméra, Fluke Software version 3.1. Ce logiciel ne prend pas en compte la température ambiante ainsi que l'hygrométrie de l'environnement dans lequel sont pris les clichés. Cependant, à l'intérieur des murs très épais des écuries de l'Académie (environ un mètre de pierres), la température et l'hygrométrie sont relativement constantes. Si ces paramètres ont un effet un jour j , alors, ils l'ont sur les clichés pris au temps 1 (avant l'exercice), au temps 2 (juste après l'exercice) et au temps 3 (après l'exercice) car on peut supposer qu'en une heure de temps, il n'y a pas de modifications de températures. Ainsi en travaillant sur des deltas de températures $\Delta 2-1 = T_2 - T_1$ et $\Delta 2-3 = T_2 - T_3$, on peut supprimer les effets de la température ambiante et de l'hygrométrie car le même facteur présent dans les deux températures se soustrait. Alors que dans les publications traitant des images infra-rouges, les auteurs soustraient à la température de surface la température ambiante, nous n'avons pas pu adapter ces calculs car la température de l'environnement n'a pas pu être systématiquement relevée. Cependant, étant donné la constance des températures ambiantes, ceci ne devrait pas poser de problème pour interpréter nos résultats.

II-D) DOSAGE DU CORTISOL SALIVAIRE

II-D-1) Récolte des prélèvements salivaires

Pour chaque exercice et pour chaque cheval, nous avons récolté trois échantillons de salive. Le premier échantillon était prélevé en même temps que le cliché de thermographie et que le relevé des indices physiologiques et comportementaux, soit 20 à 60 minutes avant l'exercice. La prise du deuxième échantillon était réalisée 20 minutes après la fin de l'exercice, donc différée des autres relevés et du cliché. Enfin, le dernier échantillon était pris en même temps que les autres relevés et que le cliché thermographique soit environ 45 minutes après l'exercice.

Pour réaliser le prélèvement, nous passions un morceau de gros coton d'un diamètre d'environ deux centimètres sur et sous la langue jusqu'à ce qu'il soit largement imbibé. Nous évitions la zone entre les joues et la mâchoire puisque c'est un endroit où la salive peut s'accumuler et où nous craignons de trouver des concentrations en cortisol erronées. D'après la notice d'utilisation du kit Salimetrics (utilisé pour les mesures), les variations des flux de salive n'influent pas sur la concentration en cortisol salivaire mais nous préférons tout de même prélever la salive la plus récente possible. Nous n'avons pas pu nous procurer les cotons cylindriques d'environ 8*25mm utilisés habituellement pour le prélèvement salivaire pour des problèmes de logistique. Les prélèvements étaient immédiatement congelés à -20°C sur place dans des sacs congélation individuels et transportés de l'Académie Equestre de Versailles à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort dans une glacière (transport d'environ 45 minutes). Les prélèvements ont été reconditionnés dans des tubes à essais en plastique pour plus de commodités, sans les décongeler. Enfin, l'envoi à Claire Diederich et Laetitia Wiggers basées à Namur qui ont réalisé les dosages a été effectué par transport frigorifique à -20°C puis recongelé sur place. L'alternance congélation-décongélation est à éviter d'après la notice du kit de dosage Salimetrics, et nous avons limité au maximum les manipulations qui pouvaient l'engendrer.

II-D-2) Mesure du cortisol

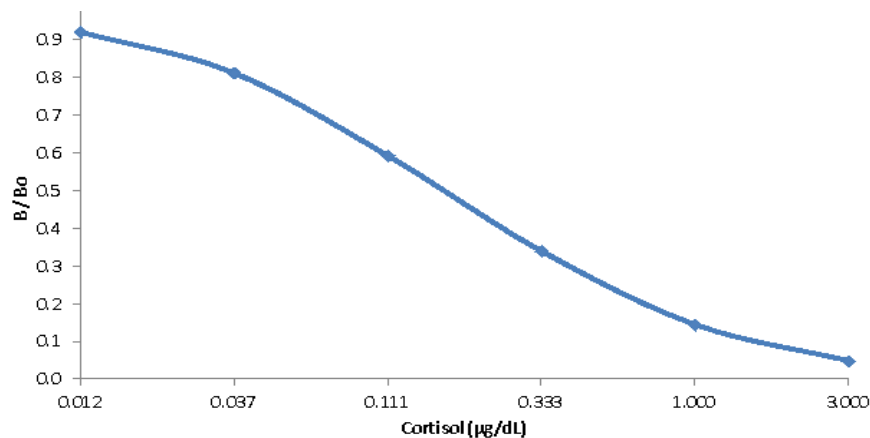
Les dosages de cortisol salivaire ont été réalisés par Claire Diederich et Laetitia Wiggers basées à l'Université de Namur (BELGIQUE), grâce à des kits de dosage du cortisol salivaire Salimetrics.

Chaque coton a été d'abord préalablement centrifugé pour récupérer la salive pendant 15 minutes à 3 000 tours.

Le dosage du cortisol salivaire a été réalisé par un test ELISA dont le principe est rappelé. Un plateau comportant de nombreux puits dont la surface est recouverte d'anticorps monoclonaux anti-cortisol est utilisé. Sur ces puits est versée une solution comportant la salive ou le témoin ainsi qu'une solution contenant une enzyme peroxydase du raifort venant se fixer sur les anticorps, en compétition avec le cortisol. Le plateau est ensuite rincé pour le débarrasser de tous les anticorps et les enzymes non fixés. Du TMB (tétraméthylbenzidine) est ensuite versé et réagit avec la peroxydase pour produire une couleur bleue. Cette réaction est stoppée par l'ajout d'acide sulfurique produisant une couleur jaune. L'intensité de la couleur jaune est alors relevée par des mesures de densité optique réalisées à 450 nm. Plus l'intensité du jaune est forte, plus il y a de peroxydase fixée ayant réagi et moins il y avait de cortisol dans la salive.

Pour chaque échantillon, deux puits sont remplis. Une moyenne de la densité optique relevée dans les différents puits est calculée : OD(B). Une moyenne est également calculée pour le témoin : OD(Bo). B/Bo représente le pourcentage de peroxydase fixé, il est calculé en divisant OD(B) par OD(Bo). La notice d'utilisation du kit de tests Salimetrics fournit le graphique ci-dessous permettant de retrouver la concentration en cortisol à partir de B/Bo (*Figure 13*).

Figure 13 : Pourcentage de peroxydase fixée en fonction de la concentration en cortisol salivaire - d'après la notice d'utilisation des kits de dosage du cortisol salivaire Salimetrics



II-D-3) Paramètres influant sur la réaction de dosage du cortisol

Il est expliqué dans la notice d'utilisation du kit de dosage du cortisol salivaire Salimetrics que les prélèvements doivent être différés de 60 minutes au moins après un repas, en particulier d'aliments acides ou dont la teneur en sucres est élevée. En effet, ce type d'aliment fait baisser le pH et favorise le développement de certaines bactéries. Le pH, en particulier s'il est inférieur à 3,5 ou supérieur à 9,0, fera varier la couleur de la réaction de dosage et donc la valeur de densité optique. En

particulier, une salive plus acide tirera la réaction vers la couleur jaune et une salive alcaline vers la couleur violette. Un rinçage à l'eau claire est préconisé pour écarter tout effet de l'alimentation. Lors de notre étude, et en particulier pour les spectacles du soir et les entraînements de fin de matinée, nous n'avons pas pu suivre ces préconisations à la lettre puisque les chevaux étaient nourris au retour ou quelques minutes après leur exercice. Nous avons même pris certains prélèvements pendant que les chevaux mangeaient leurs rations de concentrés, aliments assez riches en sucres. Cet élément est donc à prendre en compte et surtout pour les spectacles du soir. Le rinçage de la bouche était incompatible avec la nécessité de rapidité que nous avions.

Ensuite, il est rappelé dans la notice que la sécrétion de cortisol suit un rythme circadien avec une production le matin et une baisse nocturne de la concentration. Les entraînements se déroulant systématiquement le matin, il faudra prendre cet aspect en compte dans l'interprétation de nos résultats. De même les spectacles se déroulaient l'après-midi ou le soir pendant que la concentration en cortisol devrait être plus faible normalement.

Les prélèvements de salive ne doivent pas être contaminés par du sang. Ce ne fut pas le cas dans notre étude.

III- RÉSULTATS

III-A) EXPLOITATION DES DONNEES

III-A-1) Traitement des données brutes

Concernant les indices physiologiques, nous ne traiterons dans cette thèse que la fréquence cardiaque, la concentration en cortisol salivaire et la température interne. L'ensemble des autres indices physiologiques et comportementaux sont traités dans la thèse de Robin Semblat intitulée *Impact du stress chez le cheval de spectacle : critères physiologiques et comportementaux*. La fréquence cardiaque, le cortisol salivaire ainsi que la température interne ont été moyennés pour chaque individu et pour chaque moment (1) avant l'exercice, 2) juste après l'exercice, 3) après l'exercice) pour l'entraînement d'une part et le spectacle d'autre part.

Concernant les températures de surface, nous avons obtenu pour chaque zone (oculaire : Toc, nasale : Tnas et auriculaire : Tor) trois températures pour chaque prise : une température maximale Tmax, une température moyenne Tmoy et une température minimale Tmin. Les températures recueillies au moment 1 (avant le spectacle) sont notées T1, 2 (juste après le spectacle) sont notées T2, et 3 (après le spectacle) sont notées T3.

Pour les critères physiologiques, on notera de la même façon FC pour la fréquence cardiaque, Tint pour la température interne (rectale) et C° cort sal pour la concentration en cortisol salivaire. Le système de notation (1, 2 et 3) est le même que pour les températures de surface.

A partir de cela, trois deltas sont calculés. Par exemple, pour la température interne :

$\Delta T_{int2-1} = T_{int2} - T_{int1}$, $\Delta T_{int3-2} = T_{int3} - T_{int2}$ et $\Delta T_{int3-1} = T_{int3} - T_{int1}$.

Des moyennes de chaque température (Toc max, Toc moy, Toc min ; Tnas max, Tnas moy, Tnas min ; Tor max, Tor moy et Tor min) et de chaque indice (fréquence cardiaque, température interne et cortisol salivaire) ont été réalisées pour chaque individu puis pour tout l'effectif. Des écarts-types associés à ces moyennes ont été calculés. Les moyennes et écarts-types associés des deltas ont été calculés également.

III-A-2) Analyses statistiques utilisées

Plusieurs tests statistiques ont été utilisés, et ce en fonction des données comparées. Les analyses ont été réalisées sur les moyennes individuelles des indices physiologiques et des températures de surface. Il a été décidé de fonctionner avec les moyennes pour que les chevaux soient

tous représentés de la même manière, même si les individus n'avaient pas été suivis pendant le même nombre d'entraînements et de spectacles. En effet, les chevaux n'ont pas été suivis le même nombre de fois. Si nous avons comparé directement les valeurs brutes entre elles, les chevaux suivis pendant 8 entraînements par exemple auraient eu plus d'impact sur les statistiques que les chevaux suivis pendant 4 entraînements.

La question de l'importance de la détente avant le spectacle s'est posée en premier lieu. En effet, une minorité de chevaux ne sont pas détendus avant le spectacle ; les indices ainsi que les clichés de thermographie étaient relevés au repos, autrement dit dans les mêmes conditions qu'à l'entraînement. Mais une majeure partie des chevaux est détendue avant le spectacle, les indices et les clichés étaient alors pris environ 20 à 30min après le retour de la détente, lorsque les chevaux étaient à l'attache. L'activité physique pouvant être à l'origine d'une hausse de la température de surface corporelle, il nous est apparu indispensable de comparer les températures des chevaux détendus à celles des chevaux non détendus. Pour ce faire, nous avons comparé pour chaque indice les moyennes individuelles du groupe des chevaux détendus de celles des chevaux non détendus grâce à un test de Mann-Whitney. Ce test est utilisé pour comparer deux séries de données quantitatives indépendantes de faibles effectifs.

Ensuite nous avons comparé les moyennes individuelles de l'entraînement et du spectacle pour chaque indice et pour chaque période (avant, juste après et après le spectacle). Le test réalisé alors était un test des rangs signés de Wilcoxon qui permet de comparer les deux mesures d'une variable quantitative effectuées sur les mêmes sujets. Le test a été utilisé sur les moyennes individuelles de tous les indices ainsi que sur les moyennes de deltas de ces mêmes indices.

Les températures moyennes oculaires, nasales et auriculaires des trois périodes (avant, juste après et après) ont été comparées pour l'entraînement d'une part et le spectacle d'autre part afin de comparer leurs variations. Un test de Friedman a été utilisé puisque les températures oculaires, nasales et auriculaires ne sont pas indépendantes l'une de l'autre et que ce test permet de comparer plusieurs valeurs quantitatives recueillies en même temps.

Enfin, les deux derniers outils utilisés étaient des corrélations de Spearman ainsi que des régressions linéaires qui nous ont permis de comparer les variations des différents indices autour de l'entraînement et du spectacle entre elles.

III-B) RESULTATS DE L'ETUDE : COMPARAISON DES INDICES EN ENTRAINEMENT ET EN SPECTACLE

III-B-1) Variations des indices physiologiques

Les valeurs moyennes et deltas moyens individuels de fréquence cardiaque (FC) et de température interne (T_{int}) sont consultables sur l'*annexe 2*.

III-B-1-a) Comparaison avant le spectacle chez les chevaux détendus et non détendus de la fréquence cardiaque, de la température interne et du cortisol salivaire

Les moyennes de fréquence cardiaque, de température interne et de cortisol salivaire ainsi que les Δ_{2-1} ($= T_2 - T_1 = T_{\text{juste après}} - T_{\text{avant}}$) des chevaux détendus d'une part et non détendus d'autre part sont présentés dans le *tableau 4*. Un test de Mann-Whitney a été réalisé afin de mettre en évidence l'éventuel impact de la détente sur la variation de ces indices, les résultats sont présentés dans le *tableau 4*. On rappelle que la détente correspond à un exercice d'environ 20 à 30 min réalisé 30 min à une heure avant le spectacle, visant à obtenir des chevaux plus calmes, en meilleures dispositions pendant le spectacle.

On remarque que contrairement à l'hypothèse avancée proposant que la détente augmenterait la fréquence cardiaque, la fréquence cardiaque (FC) est en fait significativement plus élevée chez les chevaux non détendus que chez les chevaux détendus (avec un $p = 0,035$). La détente a donc un effet de baisse de la fréquence cardiaque avant le spectacle et on peut affirmer que la détente réalisée 30 à 60 minutes avant le spectacle ne fait pas augmenter la fréquence cardiaque avant le spectacle. En ce qui concerne le Δ_{FC2-1} ($= FC_2 - FC_1$), il n'est pas significativement différent entre le groupe des chevaux détendus et le groupe des chevaux non détendus. Encore une fois la détente ne fait pas augmenter ni réduire significativement le Δ_{FC2-1} , malgré une différence de 5 battements/min. Il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte la présence de la détente pour l'interprétation des résultats concernant le Δ_{FC2-1} puisqu'elle ne fait pas augmenter nos valeurs de fréquence cardiaque voire les fait diminuer.

La température interne, avec un p de 0,101, n'est pas différente entre les deux groupes de chevaux. Les $\Delta_{T_{int}2-1}$ sont non significativement différents mais avec un $p = 0,073$, le Δ_{2-1} des chevaux non détendus tend à être plus important que le $\Delta_{T_{int}2-1}$ des détendus. Ceci voudrait dire que les chevaux détendus ont une T_1 plus importante ou une T_2 plus faible que les non détendus.

Enfin, la concentration en cortisol salivaire n'est pas différente entre les chevaux détendus et les chevaux non détendus ($p = 0,61$). Les deltas $\Delta 2-1$ de concentration en cortisol salivaire sont également non significativement différents entre ces deux groupes.

Tableau 4 : Moyennes de la fréquence cardiaque (FC en battements/min), de la température interne (T_{int} en $^{\circ}C$), de la concentration en cortisol salivaire (C° en mmol/L) avant le spectacle des chevaux non détendus et détendus - Résultats du test de Mann-Whitney . $\Delta 2-1 = T2-T1$

Indices physiologiques	Groupe	Moyenne indice avant spectacle	U	p
fréquence cardiaque	Détendus	$33,9 \pm 1,2$	6,5	0,035
fréquence cardiaque	Non détendus	$39 \pm 4,8$		
$\Delta_{FC} 2-1$	Détendus	$14,4 \pm 4,4$	13,5	0,295
$\Delta_{FC} 2-1$	Non détendus	$19,4 \pm 6,3$		
Température interne	Détendus	$37,7 \pm 0,1$	9	0,101
Température interne	Non détendus	$37,6 \pm 0,1$		
$\Delta_{T_{int}} 2-1$	Détendus	$0,3 \pm 0,2$	8	0,073
$\Delta_{T_{int}} 2-1$	Non détendus	$0,5 \pm 0,2$		
C° Cortisol salivaire	Détendus	$1,86 \pm 0,57$	9	0,61
C° Cortisol salivaire	Non détendus	$2,05 \pm 0,38$		
ΔC° cortisol salivaire 2-1	Détendus	$0,2 \pm 0,42$	14	0,931
ΔC° cortisol salivaire 2-1	Non détendus	$-0,05 \pm 0,32$		

Ainsi, la fréquence cardiaque avant spectacle était diminuée par la détente alors que le delta de température interne entre « juste après » et « avant » le spectacle tendrait à diminuer. La concentration en cortisol salivaire est inchangée par la détente.

III-B-1-b) Comparaison en entraînement et en spectacle des moyennes individuelles de température interne, fréquence cardiaque et des concentrations en cortisol salivaire

• Fréquence cardiaque

Les tests de Wilcoxon dont les résultats sont présentés, avec les valeurs moyennes de fréquence cardiaque en entraînement et spectacle dans le *tableau 5* fournissent systématiquement des $p < 0,05$. Pour chaque période : avant, juste après et après l'exercice, la fréquence cardiaque est ainsi supérieure en spectacle par rapport à l'entraînement.

Tableau 5 : Valeurs moyennes de fréquence cardiaque (FC en battements/min) en entraînement et en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé

FC (bttts/min)	Entraînement	Spectacle	W	p
Avant (1)	33,6 ± 4,2	36,3 ± 4,2	-77	0,005
Juste après (2)	47,4 ± 5,4	53 ± 8,3	-85	< 0,001
Après (3)	37,1 ± 4,3	40 ± 4,7	-66	0,007

- **Température interne**

Les valeurs moyennes de température interne pour l'entraînement et le spectacle des trois périodes ainsi que les résultats du test de Wilcoxon sont présentés dans le *tableau 6*. Nous constatons que seule la température interne avant l'exercice semble significativement plus élevée avant le spectacle qu'avant l'entraînement. Pour les températures internes juste après et après l'exercice, aucune différence significative n'est observée entre le spectacle et l'entraînement à l'inverse de la fréquence cardiaque.

Tableau 6 : Valeurs moyennes de température interne (Tint en °C) en entraînement et en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé

Tint (°C)	Entraînement	Spectacle	W	p
Avant (1)	37,5±0,1	37,7 ± 0,2	-78	<0,001
Juste après (2)	38,1 ± 0,2	38,1 ± 0,1	17	0,588
Après (3)	37,8 ± 0,2	37,8 ± 0,2	-47	0,11

- **Concentration en cortisol salivaire**

Les moyennes de concentration en cortisol salivaire ainsi que les résultats du test de Wilcoxon sont présentés dans le *tableau 7* ci dessous. Les concentrations en cortisol salivaire ne sont pas différentes entre entraînement et spectacle, quelque soit la période.

Tableau 7 : Valeurs moyennes de concentration en cortisol salivaire (C° nmol/L) en entraînement et en spectacle pour les trois périodes et résultats du test de Wilcoxon associé

C° cort sal (nmol/L)	Entraînement	Spectacle	W	p
Avant (1)	$2,19 \pm 0,69$	$1,96 \pm 0,51$	-15	0,492
Juste après (2)	$2,24 \pm 0,87$	$2,04 \pm 0,34$	3	0,922
Après (3)	$1,91 \pm 0,54$	$1,77 \pm 0,47$	-17	0,432

III-B-1-c) Comparaison des moyennes individuelles de deltas de température interne, fréquence cardiaque et cortisol salivaire en entraînement et en spectacle

• Deltas de fréquence cardiaque

Les résultats des tests de Wilcoxon ainsi que les deltas moyens sont présentés dans le *tableau 8*. On remarque que le Δ_{FC2-1} tend à être supérieur en spectacle par rapport à l'entraînement (avec $p = 0,057$). Le Δ_{FC3-2} est significativement plus élevé en valeur absolue (car les résultats sont négatifs) en spectacle. Cela indique qu'en spectacle la fréquence cardiaque diminue plus qu'après l'entraînement. Enfin le Δ_{FC3-1} n'est pas affecté par l'existence du spectacle. Nous avons montré que la fréquence cardiaque était significativement plus élevée à chaque période autour du spectacle. Il semblerait donc que pour la fréquence cardiaque, il soit plus informatif de regarder les valeurs moyennes directement que les deltas.

Tableau 8 : Valeurs des deltas moyens de fréquence cardiaque (battements/min) en entraînement et en spectacle et résultats du test de Wilcoxon associé

Δ_{FC} (bts/min)	Entraînement	Spectacle	W	p
Δ_{FC2-1}	$13,8 \pm 3,2$	$16,7 \pm 5,7$	55	0,057
Δ_{FC3-2}	$-10,3 \pm 3,0$	$-13 \pm 4,8$	-60	0,016
Δ_{FC3-1}	$3,7 \pm 2,7$	$3,5 \pm 2,6$	7	0,839

• Deltas de température interne

Le *tableau 9* présente les valeurs de deltas de température interne ainsi que les valeurs du test de Wilcoxon associé. Le Δ_T2-1 , comme le montre le *tableau 9*, est supérieur en entraînement par rapport au spectacle. La température interne augmente donc davantage durant l'entraînement que durant le

spectacle. Le Δ_{T3-2} tend fortement ($p = 0,057$) à être plus élevé en entraînement qu'en spectacle en valeur absolue car les deltas sont négatifs. Cette fois-ci, la température interne diminue plus après l'entraînement qu'après le spectacle. Enfin le Δ_{T3-1} est potentiellement plus élevé en entraînement qu'en spectacle, résultat à relier avec la réponse de stress liée au spectacle et son effet sur la hausse de la T1 avant spectacle.

Tableau 9 : Comparaison des deltas moyens individuels de température interne

$\Delta_{Tint} (^{\circ}C)$	Entraînement	Spectacle	W	p
$\Delta_{Tint2-1}$	$0,6 \pm 0,2^{\circ}C$	$0,4 \pm 0,2$	-85	0,001
$\Delta_{Tint3-2}$	$-0,3 \pm 0,1$	$-0,2 \pm 0,1$	55	0,057
$\Delta_{Tint3-1}$	$0,3 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,2$	-61	0,033

▪ Deltas de concentration en cortisol salivaire

Les deltas de concentration en cortisol salivaire sont présentés dans l'*annexe 3*. Au même titre que pour les concentrations moyennes, les deltas sont non significativement différents entre entraînement et spectacle avant l'exercice ($W = 22$, $p = 0,36$), juste après ($W = -18$, $p = 0,465$) et après ($W = -10$, $p = 0,70$).

III-B-2) Corrélations des températures de surface oculaire, nasale et auriculaire et comparaison des résultats des chevaux détendus et non détendus

III-B-2-a) Corrélations des températures de surface et de la fréquence cardiaque, de la température interne et de la concentration en cortisol salivaire

Nous venons de voir que les concentrations en cortisol n'étaient pas significativement différentes entre l'entraînement et le spectacle. Nous allons maintenant corrélérer les variations des différents indices entre eux pour voir s'ils varient de la même façon.

▪ Corrélation des indices physiologiques (fréquence cardiaque, température interne, cortisol salivaire)

Le *tableau 10* présente les résultats des corrélations de Spearman comparant les différents indices physiologiques. La fréquence cardiaque et la température interne sont fortement corrélées

avec un $p < 0,001$. Sur l'ensemble des données prises autour des entraînements et des spectacles, la température interne et la fréquence cardiaque varient donc de la même façon. Au contraire, la concentration en cortisol salivaire ne varie pas comme la fréquence cardiaque ni comme la température interne puisque les p associés sont tous deux supérieurs à 0,05.

Tableau 10 : Corrélations entre la fréquence cardiaque (FC), la température interne (Tint) et la concentration en cortisol salivaire (C° cortisol)

Corrélations de Spearman		FC	Tint
C° cortisol	r	0,018	0,014
	p	0,816	0,855
FC	r		0,617
	p		<0,001

▪ Corrélations des indices physiologiques et des températures de surface

La température interne n'est pas le meilleur indice à évaluer pour mettre en évidence une réponse de stress autour d'un exercice physique, comme nous l'avons vu précédemment. Il existe peu de différences entre l'entraînement et le spectacle juste après l'exercice car la température interne est avant tout probablement majoritairement influencée par l'exercice physique. De manière à diminuer l'impact de l'exercice sur nos analyses statistiques, nous allons travailler dans ce chapitre uniquement sur les valeurs prises avant et après le spectacle ou l'entraînement, en excluant les valeurs relevées juste après le spectacle (les plus influencées par l'exercice). Les résultats des corrélations de Spearman réalisées entre les indices physiologiques et les températures de surface sont présentés dans le *tableau 11*. Etant donné l'absence de significativité observée sur les résultats de cortisol salivaire, nous avons conservé pour ces analyses uniquement la fréquence cardiaque et la température interne parmi les indices physiologiques. De plus, nous avons choisi d'étudier les corrélations des indices physiologiques avec les trois températures maximales de surface.

Tableau 11 : Corrélations entre la fréquence cardiaque (FC), de la température interne (Tint) et des températures maximales de surface oculaire (Toc max), nasale (Tnas max) et auriculaire (Tor max)

Corrélations de Spearman		Tint	Toc max	Tnas max	Tor max
FC	r	0,393	0,478	0,479	0,529
	p	0,004	0,0004	0,0004	0,00007
Tint	r		0,413	0,328	0,575
	p		0,0025	0,018	0,00001
Toc max	r			0,854	0,757
	p			0,0000002	0,0000002
Tnas max	r				0,749
	p				0,0000002

On remarque tout d'abord que les trois températures maximales de surface oculaire, nasale et auriculaire sont très corrélées entre elles globalement, avec pour chaque corrélation deux à deux des $p < 0,00001$, ce qui paraît cohérent même si on a montré précédemment de fines différences dans leurs variations. Par ailleurs, les variations de fréquence cardiaque sont davantage corrélées aux températures de surface qu'à la température interne d'après les valeurs de p et de r. Les variations des températures de surface sont d'ailleurs beaucoup plus corrélées à celles de fréquence cardiaque qu'à celles de température interne. Ceci peut indiquer que les températures de surface varient finement et avec une faible inertie, comme la fréquence cardiaque contrairement à la température interne. On remarque d'ailleurs que la température auriculaire est la température de surface dont les variations sont les plus corrélées ($r = 0,525$) à celles de fréquence cardiaque, suivies par la température oculaire ($r = 0,478$) et la température nasale ($r = 0,479$) corrélées de manière égale. De plus, on remarque que la température interne est également plus corrélée à la température auriculaire ($r = 0,575$) et de loin, suivie par la température oculaire ($r = 0,413$) et la température nasale ($r = 0,328$).

- Régressions linéaires entre la fréquence cardiaque et les températures de surface

La fréquence cardiaque étant plus corrélée avec les températures de surface, nous avons donc décidé de ne réaliser les régressions linéaires qu'entre la fréquence cardiaque et les températures de surface. Les régressions linéaires fournissent entre autres trois valeurs utiles pour exploiter les résultats : le R, le R^2 ou R ajusté et le p ; ces valeurs sont présentées dans le *tableau 12*.

Tableau 12 : Régressions linéaires calculées entre la fréquence cardiaque (FC) et les températures maximales de surface oculaire (Toc max), nasale (Tnas max), auriculaire (Tor max)

Régressions linéaires	R	R ²	p
FC / Toc max	0,492	0,227	< 0,001
FC / Tnas max	0,467	0,202	< 0,001
FC / Tor max	0,508	0,243	< 0,001

Les variations de température maximale auriculaire sont les plus linéairement liées à la fréquence cardiaque. La température oculaire semble être la seconde température la plus corrélée à la fréquence cardiaque, puis la température nasale. Sur les graphes de la *figure 14*, on observe un rapprochement beaucoup plus important de points autour de la droite pour la température auriculaire par rapport aux deux autres températures.

Figure 14 : Graphiques présentant les températures maximales moyennes de surface individuelles (14a : oculaire, 14b : nasale, 14c : auriculaire) en fonction des fréquences cardiaques moyennes individuelles et droites de régression linéaire

Figure 14a)

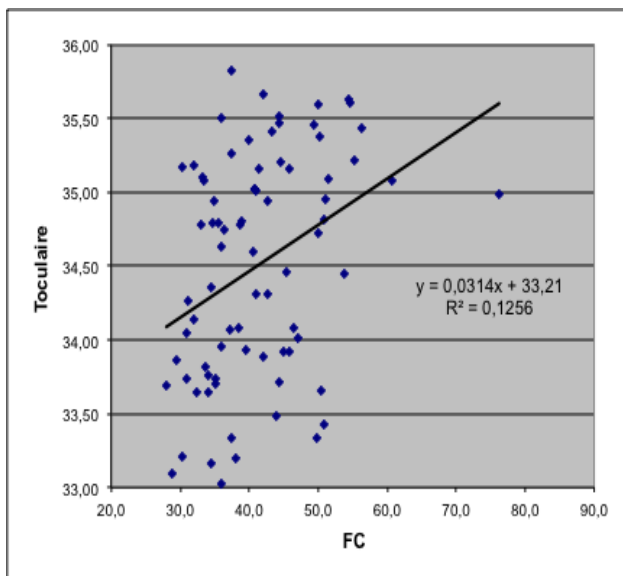


Figure 14b)

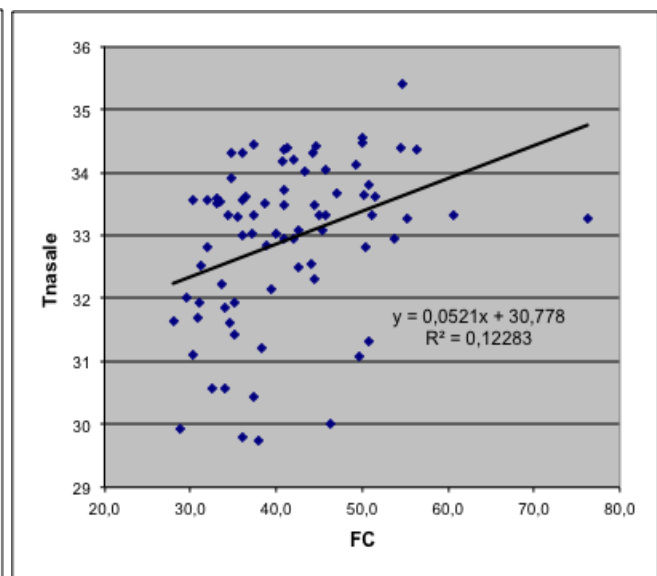
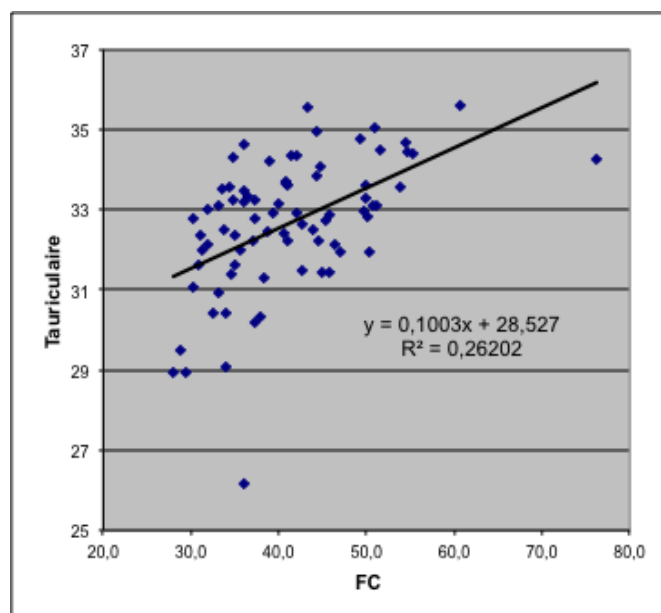


Figure 14c)



III-B-2-b) Comparaison des trois températures de surface chez les chevaux détendus et chez les chevaux non détendus avant le spectacle

Il nous est apparu indispensable d'évaluer l'effet de cette détente sur les températures de surface avant spectacle que l'on mesurait après la détente. En effet, on peut supposer que cet exercice augmente les températures de surface par un effet direct sur la hausse de température interne.

Pour évaluer l'effet de la détente, un test de Mann-Whitney a été réalisé comparant les températures avant spectacle des chevaux détendus (8 chevaux) et des chevaux non détendus (5 chevaux).

- Températures oculaires des chevaux détendus et non détendus

Les différentes moyennes de température oculaire, leurs écarts types ainsi que les résultats du test de Mann-Whitney sont présentés dans le *tableau 13*. Les résultats sont tout à fait étonnants au même titre que ceux de la fréquence cardiaque puisque concernant la température oculaire maximale, le test de Mann-Whitney (avec un $p = 0,073$) indique une tendance à ce que la température oculaire maximale avant le spectacle soit plus élevée chez les chevaux non détendus que chez les chevaux détendus. Les températures oculaires moyenne et minimale avant le spectacle ne sont pas significativement différentes entre le groupe des détendus et celui des non détendus, la température oculaire moyenne tendrait à être plus élevée chez les non détendus avec un $p = 0,101$. Ces résultats sont donc très intéressants puisque la température oculaire maximale diminue après la détente. Dans

tous les cas, la détente ne biaise pas les résultats en faisant augmenter la température de surface corporelle oculaire.

Tableau 13 : Moyennes des températures oculaires maximale, moyenne et minimale des chevaux détendus et des chevaux non détendus, et résultats du test de Mann-Whitney

Température oculaire	Groupe	Moyenne de Toc1 (°C)	U	p
maximale	Détendus	34,8 ± 0,3	8	0,073
maximale	Non détendus	35,3 ± 0,4		
moyenne	Détendus	33,6 ± 0,4	9	0,101
moyenne	Non détendus	34,0 ± 0,5		
minimale	Détendus	31,7 ± 0,7	17	0,628
minimale	Non détendus	31,9 ± 0,5		

- Températures nasales des chevaux détendus et non détendus

Les résultats du test de Mann-Whitney ainsi que les valeurs de températures nasales moyennes des chevaux détendus et non détendus sont présentés dans le *tableau 14*, la température nasale maximale avant le spectacle est significativement plus élevée chez le groupe des non détendus que chez le groupe des détendus. La température nasale moyenne est quant à elle non significativement différente mais tend, avec un $p = 0,138$, à être plus élevée chez les chevaux non détendus que chez les chevaux détendus. Enfin, la température nasale minimale est non significativement différente entre les deux groupes de chevaux. La détente, de la même façon que pour la température oculaire maximale, fait diminuer ou tend à faire diminuer la température nasale. Il n'existe pas d'influence pour la température nasale minimale, comme pour la température oculaire minimale. La détente entraîne donc, selon les températures que l'on choisit de suivre, soit une absence d'effet, soit un effet de diminution de la température de surface corporelle avant le spectacle.

Tableau 14 : Moyennes des températures nasales maximale, moyenne et minimale des chevaux détendus et non détendus, et résultats du test de Mann-Whitney

Température nasale	Groupe	Moyenne de Tnas1 (°C)	U	p
maximale	Détendus	33,6 ± 0,5	4	0,014
maximale	Non détendus	34,3 ± 0,6		
moyenne	Détendus	32,5 ± 0,6	10	0,138
moyenne	Non détendus	33,0 ± 0,6		
minimale	Détendus	31,0 ± 0,8	21	1
minimale	Non détendus	30,9 ± 0,9		

- Températures auriculaires des chevaux détendus et non détendus

Les moyennes de température auriculaire avant le spectacle ainsi que les résultats du test de Mann-Whitney sont affichés dans le *tableau 15*. Ces valeurs nous montrent que pour les trois températures auriculaires : maximale, moyenne et minimale, il n'existe pas de températures significativement différentes entre le groupe des détendus ou le groupe des non détendus. La détente n'a donc aucun effet sur la température auriculaire.

Tableau 15 : Moyennes des températures auriculaires maximale, moyenne et minimale, et résultats du test de Mann-Whitney

Température auriculaire	Groupe	Moyenne de Tor1 (°C)	U	p
maximale	Détendus	32,7 ± 1,1	18	0,731
maximale	Non détendus	33,1 ± 0,7		
moyenne	Détendus	31,9 ± 1,1	15	0,445
moyenne	Non détendus	32,4 ± 0,7		
minimale	Détendus	30,9 ± 1,3	14	0,366
minimale	Non détendus	31,5 ± 0,7		

III-B-3) Variations des températures de surface oculaire, nasale et auriculaire

III-B-3-a) Comparaison des indices physiologiques, des températures oculaires, nasales et auriculaires au cours de l'entraînement et du spectacle

De nombreuses études réalisées chez le cheval ont étudié les variations de la température maximale péri-oculaire appelée dans cette étude température oculaire maximale, et qui correspond à la température maximale comprise dans la zone de l'œil et d'une marge d'environ 1cm autour de l'œil. Cependant la température de surface auriculaire ainsi que la température de surface nasale n'ont jamais fait l'objet de publications dans le monde équin. La première question que nous devions nous poser était de savoir si ces trois températures variaient de la même façon. Pour ce faire, les températures nasales, oculaires et auriculaires de chaque période ont été analysées. Pour l'entraînement d'une part, et le spectacle d'autre part et pour chaque période (1) avant, 2) juste après et 3) après, les températures moyennes oculaires nasales et auriculaires dont les valeurs figurent dans le *tableau 16*, ont été comparées par un test de Friedman. Les résultats pour l'entraînement et pour le spectacle sont présentés dans le *tableau16*.

On remarque que pour les trois températures T1, T2 et T3 ; la température oculaire est systématiquement et significativement supérieures aux deux autres (nasales et auriculaires) pour l'entraînement. Pour la température T1 avant le spectacle et T3 après le spectacle, on obtient les mêmes résultats que pour l'entraînement : la température oculaire est supérieure aux deux autres. En revanche, on remarque que juste après l'exercice, la température oculaire T2 est significativement supérieure à la température nasale mais similaire à la température auriculaire. Il pourrait donc exister une libération de chaleur par la surface auriculaire juste après le spectacle (et très certainement pendant), puisque celle-ci égale la température oculaire.

Tableau 16 : Moyennes des températures moyennes oculaires, nasales et auriculaires de l'ensemble des chevaux pour chaque période de l'entraînement et du spectacle, et résultats du test de Friedman associé

T moy (°C)	Période	T oculaire	T nasale	T auriculaire	X ²	p
Entraînement	Avant (1)	32,4 ± 0,7	29,7 ± 1,1	29,3 ± 2,1	18,2	<0,001
	Juste après (2)	32,7 ± 0,6	31,4 ± 1,5	31,8 ± 1,3	9,7	0,008
	Après (3)	33,0 ± 0,7	31,5 ± 1,4	31,5 ± 0,8	19,5	<0,001
	Ensemble	32,7 ± 0,6	31,4 ± 1,5	32,8 ± 1,1		
Spectacle	Avant (1)	33,9 ± 0,4	32,9 ± 0,4	32,3 ± 1,1	16,8	<0,001
	Juste après (2)	33,9 ± 0,3	32,5 ± 0,7	33,3 ± 1,0	16,7	<0,001
	Après (3)	34,0 ± 0,3	32,6 ± 0,6	32,9 ± 0,9	17,2	<0,001
	Ensemble	33,9 ± 0,3	32,5 ± 0,7	33,3 ± 1,0		

En conclusion, les températures auriculaires nasales et oculaires ne varient pas de la même façon et n'ont pas les mêmes valeurs. En effet, la température oculaire est systématiquement plus élevée que les deux autres sauf à la sortie du spectacle où la température de surface de l'oreille l'égale.

III-B-3-b) Comparaison entre entraînement et spectacle des températures oculaires, nasales et auriculaires

De façon à confirmer l'absence de hausse de températures de surface suite à la détente, deux types de résultats seront présentés tout au long de ce chapitre : les résultats des tests de Wilcoxon sur les moyennes individuelles de l'ensemble des chevaux et sur celles des chevaux non détendus seulement. Les tableaux et figures présentant les moyennes de température et les écarts-types concernent l'ensemble des chevaux. Les tableaux présentant les moyennes de température et écarts types des chevaux non détendus se trouvent en *annexes 3, 4 et 5*. En ne s'attachant qu'aux chevaux non détendus, nous avons considérablement diminué l'effectif et les résultats perdent donc en significativité. Les résultats du groupe des chevaux non détendus seront donc bien souvent moins significatifs que pour l'ensemble des chevaux, il convient de les interpréter avec parcimonie. Les analyses statistiques présentées ici sont deux tests de Wilcoxon : l'un comparant les moyennes individuelles des différents chevaux entre entraînement et spectacle, l'autre comparant des deltas de température en entraînement et spectacle.

III-B-3-b) a) Températures oculaires de surface

- ***Températures oculaires maximales***

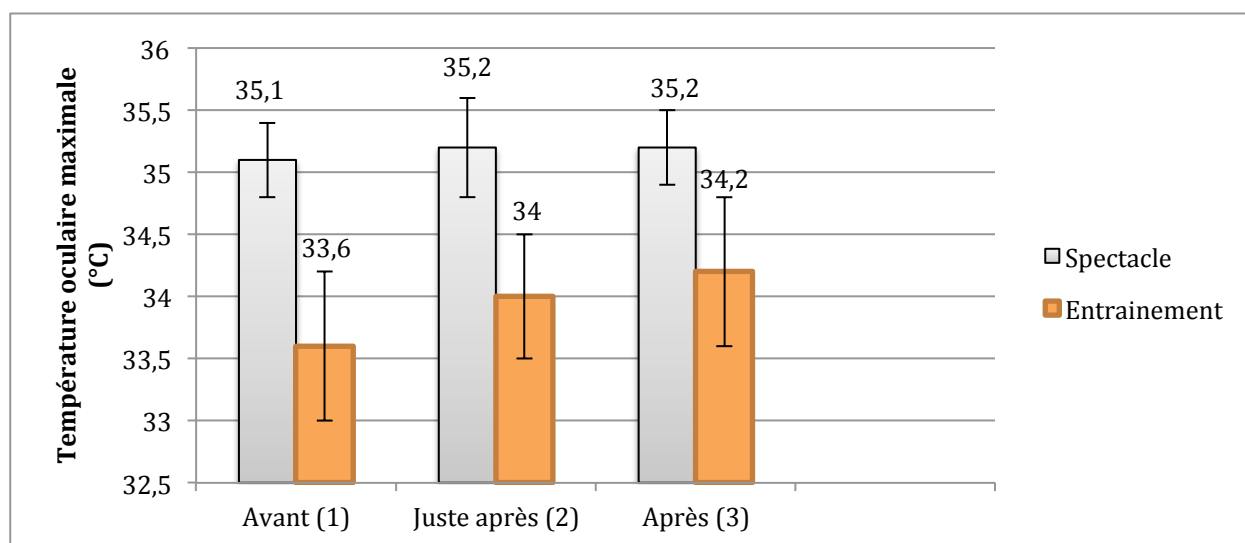
Les différentes valeurs des moyennes de températures oculaires maximales sont regroupées dans le *tableau 17* et la *figure 15* ci dessous, les résultats du test de Wilcoxon dans le *tableau 17*. La température oculaire maximale de la troisième période est encore plus élevée en spectacle qu'en entraînement. En ce qui concerne le groupe des chevaux non détendus, les résultats vont dans le même sens que ceux de l'ensemble des chevaux. On remarque néanmoins que les p sont moins significatifs, cette différence réside dans le nombre de valeurs que l'on a comparé. En effet, réduire l'étude aux seuls chevaux non détendus diminue nettement la quantité de valeurs et ainsi la significativité des résultats des tests statistiques.

Tableau 17 : Moyennes des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats des tests de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus

Moyennes Toc maximales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entrainement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	35,1 ± 0,3	33,6 ± 0,6	91	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	35,2 ± 0,4	34,0 ± 0,5	89	19	< 0,001	0,063
	Après (3)	35,2 ± 0,3	34,2 ± 0,6	91	21	< 0,001	0,031

Le test de Wilcoxon avec un $p < 0,001$, indique que la température oculaire maximale avant le spectacle (1) est significativement plus élevée que la température oculaire maximale avant l'entraînement comme indiqué par la *figure 15*. Les résultats sont les mêmes pour la période 2 (juste après le spectacle) où les températures oculaires maximales sont supérieures en spectacle qu'en entraînement.

Figure 15 : Moyennes des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



- Températures oculaires moyennes

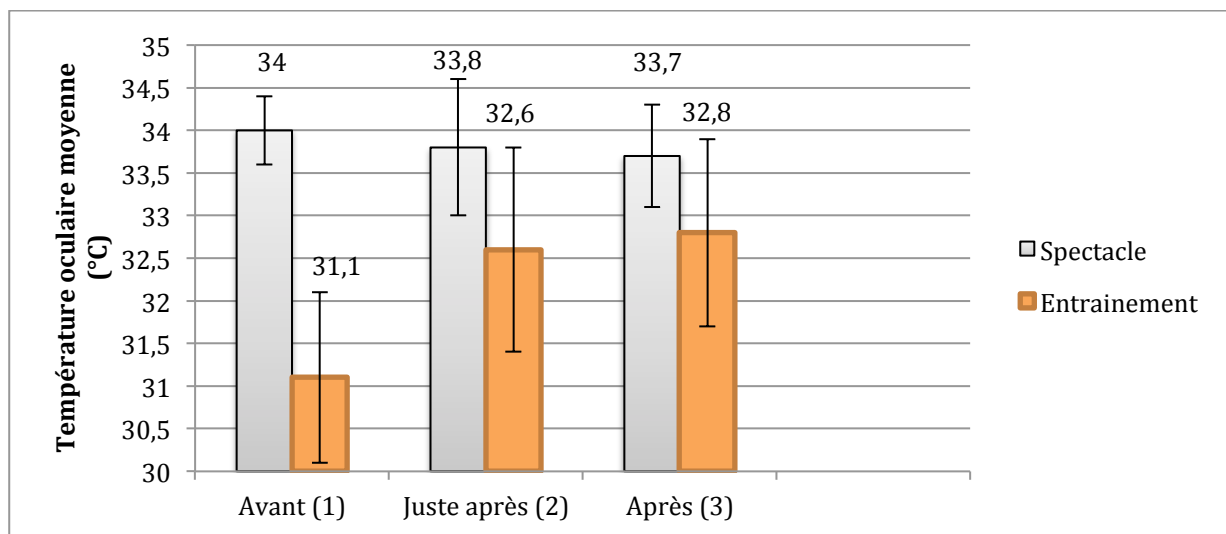
Les valeurs des moyennes de température oculaire moyenne ainsi que les résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus sont présentés dans le *tableau 18* et la *figure 16*. Le test de Wilcoxon appliqué aux moyennes individuelles fournit exactement les mêmes résultats pour les températures oculaires maximale et moyenne que ce soit pour l'ensemble des chevaux ou pour les chevaux non détendus. La conclusion est donc la même : les

températures oculaires moyennes sont plus élevées en spectacle qu'en entraînement, et ce quelle que soit la période.

Tableau 18 : Moyennes des températures oculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.

Moyennes Toc moyennes (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	34,0 ± 0,4	31,1 ± 1,0	78	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	33,8 ± 0,8	32,6 ± 1,2	73	15	0,008	0,156
	Après (3)	33,7 ± 0,6	32,8 ± 1,1	73	11	0,008	0,313

Figure 16 : Moyennes des températures oculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



- Températures oculaires minimales

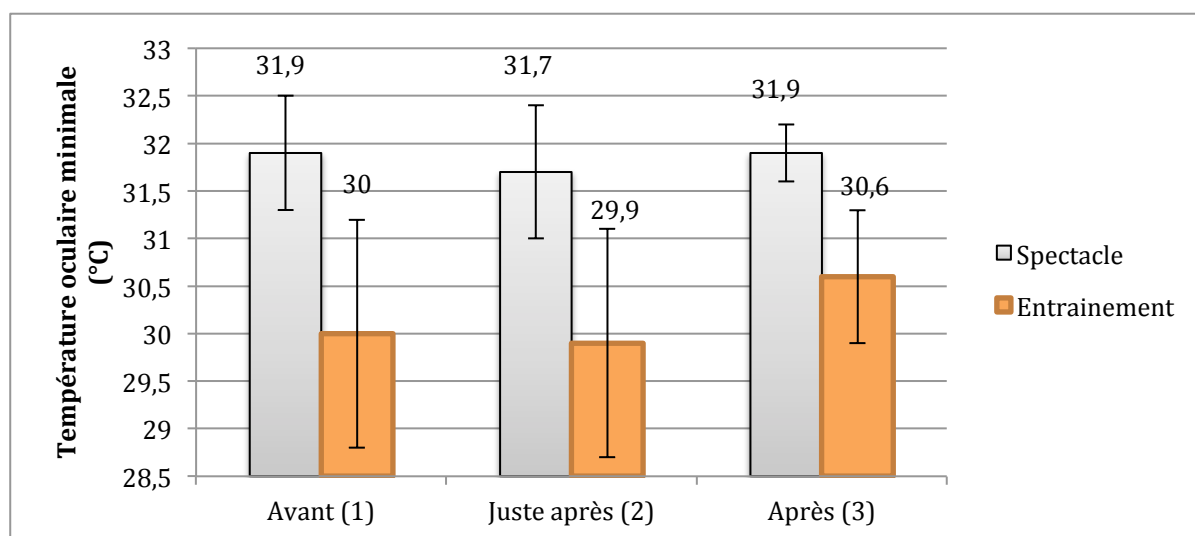
La température oculaire minimale a également été recueillie, ses moyennes sont présentées dans le *tableau 19* et la *figure 17*. Le test de Wilcoxon sur moyennes individuelles donne quant à lui des $p < 0,05$ pour l'ensemble des chevaux d'après le *tableau 19*. Ainsi, les valeurs des températures oculaires minimales sont significativement plus élevées en spectacle qu'en entraînement. Pour les chevaux non détendus, on observe une tendance à ce que T1 et T2 soient supérieures en spectacle par rapport à l'entraînement. La température après spectacle T3 n'est quant à elle pas plus élevée après le

spectacle qu'après l'entraînement ; la divergence de ces résultats avec ceux de l'ensemble des chevaux résultent certainement d'un manque de significativité des résultats des non détendus dû à un effectif trop restreint.

Tableau 19 : Moyennes des températures oculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.

Moyennes Toc minimales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	31,9 ± 0,6	30,0 ± 1,2	89	19	< 0,001	0,063
	Juste après (2)	31,7 ± 0,7	29,9 ± 1,2	74	19	0,001	0,063
	Après (3)	31,9 ± 0,3	30,6 ± 0,7	69	11	0,013	0,313

Figure 17 : Moyennes des températures oculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



II-B-3-b) 6) Températures nasales de surface

- Températures nasales maximales

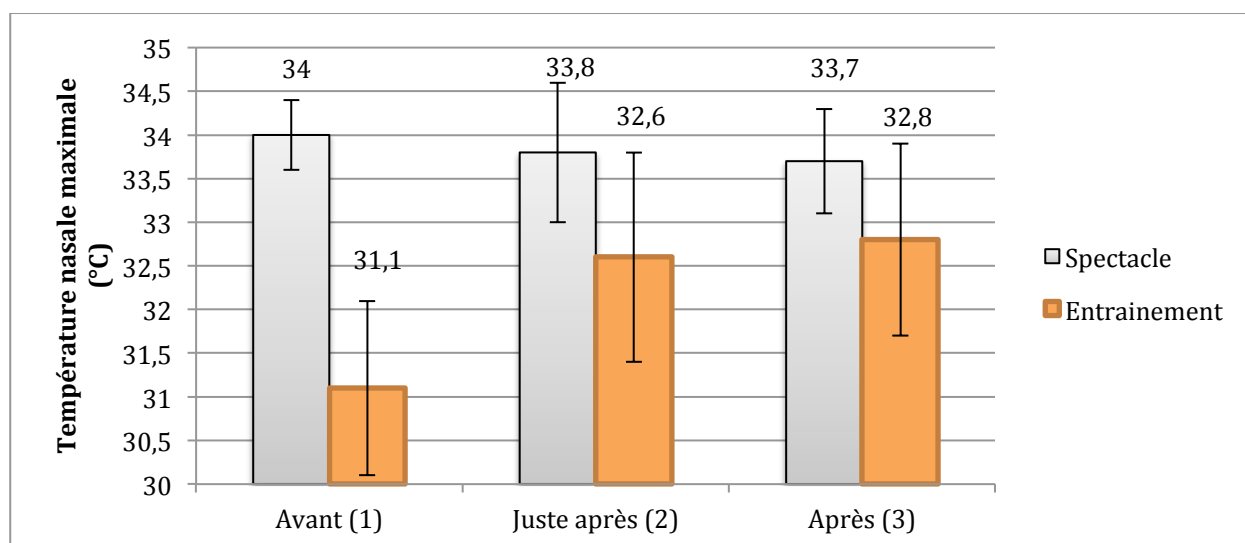
Les moyennes des températures nasales maximales pour l'entraînement et le spectacle sont exposées dans le *tableau 20* et la *figure 18*, les résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et pour le groupe des chevaux non détendus dans le *tableau 20*. Les températures nasales

maximales du spectacle sont significativement supérieures à celles de l'entraînement avant, juste après et après le spectacle ($p < 0,05$). Encore une fois, les résultats sont similaires à ceux des températures oculaires maximale, moyenne et minimale. Cependant pour les chevaux non détendus, on observe seulement une T1 significativement plus élevée avant le spectacle.

Tableau 20 : Moyennes des températures nasales maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus.

Moyennes Tnas maximales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entrainement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	34,0 ± 0,4	31,1 ± 1,0	78	21	<0,001	0,031
	Juste après (2)	33,8 ± 0,8	32,6 ± 1,2	73	15	0,008	0,156
	Après (3)	33,7 ± 0,6	32,8 ± 1,1	73	11	0,008	0,313

Figure 18 : Moyennes des températures nasales maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



- Températures nasales moyennes

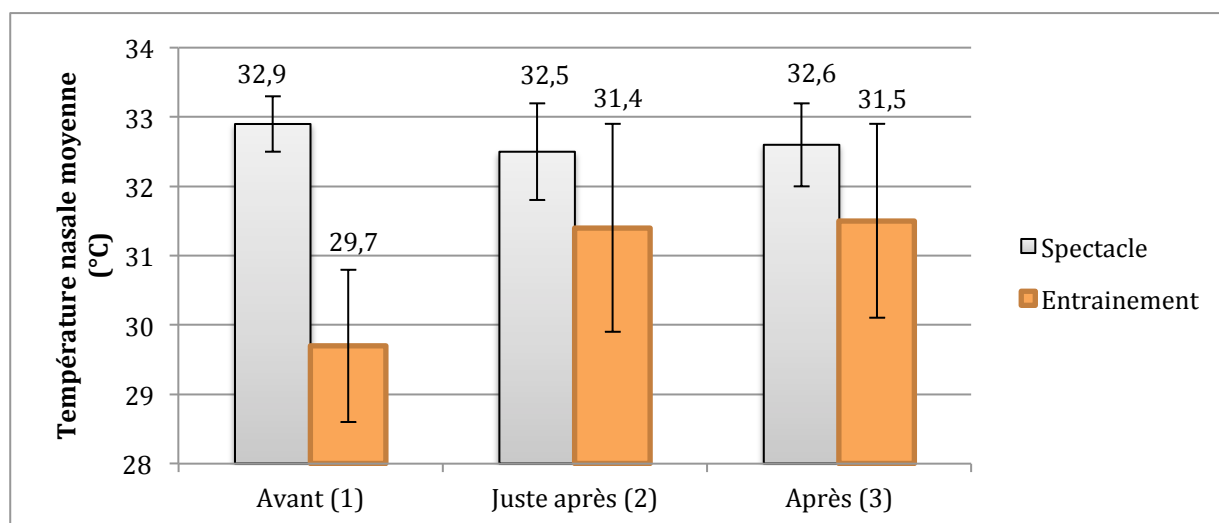
Les moyennes des températures nasales moyennes pour l'entraînement et le spectacle sont exposées dans le *tableau 21* et la *figure 19*. Le test de Wilcoxon dont les résultats sont présentés dans le *tableau 21*, nous fournit les mêmes conclusions que pour la température nasale maximale, les températures nasales moyennes avant, juste après et après le spectacle sont significativement

supérieures à celle de l'entraînement. On relève cependant une tendance à ce que la T2 soit supérieure après le spectacle par rapport à après l'entraînement chez les non détendus alors que pour la température nasale maximale, les T2 après spectacle et entraînement étaient non significativement différentes.

Tableau 21 : Moyennes des températures nasales moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus

Moyennes Tnas moyennes (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	32,9 ± 0,4	29,7 ± 1,1	78	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	32,5 ± 0,7	31,4 ± 1,5	81	17	0,002	0,094
	Après (3)	32,6 ± 0,6	31,5 ± 1,4	61	11	0,033	0,313

Figure 19 : Moyennes des températures nasales moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



- Températures nasales minimales

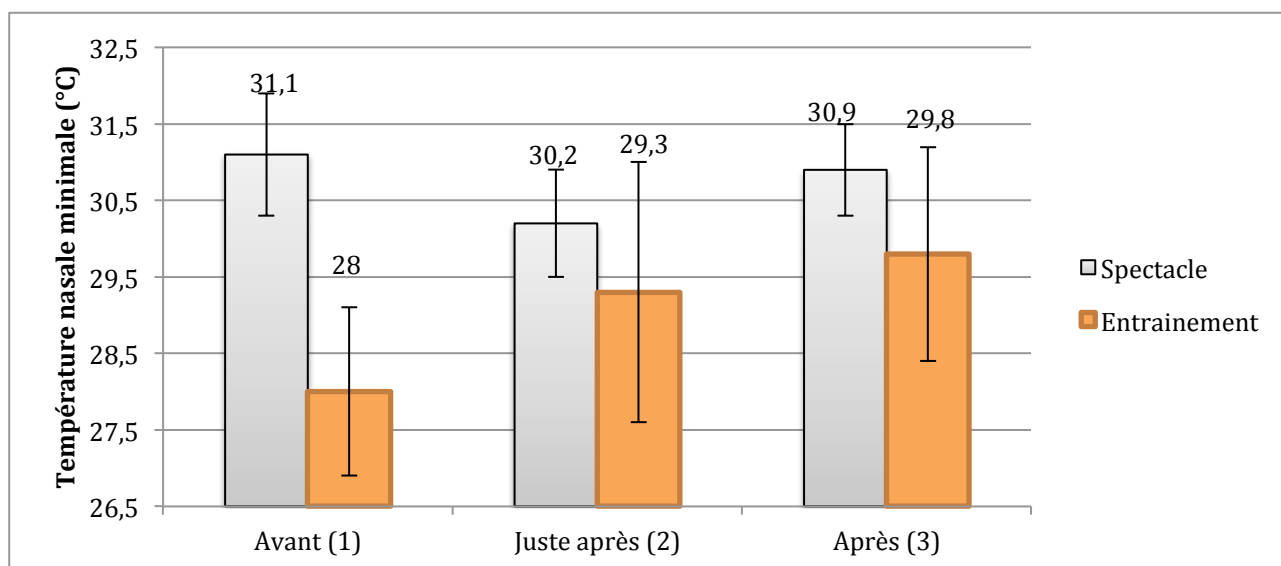
Les moyennes de la température nasale minimale de l'ensemble des chevaux sont présentées dans le *tableau 22* et la *figure 20*. Pour les températures avant et juste après l'exercice, les résultats sont similaires à ceux des températures nasales maximales et moyennes concernant les températures avant et juste après l'exercice (voir les résultats du test de Wilcoxon dans le *tableau 22*) : les

températures du spectacle sont supérieures à celles de l'entraînement. Pour la température 30 à 45 minutes après l'exercice, la température nasale minimale du spectacle tend à être supérieure à celle de l'entraînement ($p = 0,094$). D'après ce test, la valeur de la température nasale minimale après spectacle, contrairement aux autres températures oculaires et nasales, tend seulement à être plus élevée en spectacle qu'en entraînement. Concernant les chevaux non détendus, les résultats sont les mêmes que pour la température nasale moyenne.

Tableau 22 : Moyennes des températures nasales minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et pour le groupe des non détendus

Moyennes Tnas minimales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	31,1 ± 0,8	28,0 ± 1,1	78	21	<0,001	0,031
	Juste après (2)	30,2 ± 0,7	29,3 ± 1,7	59	17	0,04	0,094
	Après (3)	30,9 ± 0,6	29,8 ± 1,4	49	11	0,094	0,313

Figure 20 : Moyennes des températures nasales minimales de l'ensemble des chevaux pour les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



III-B-3-b) γ) Températures auriculaires

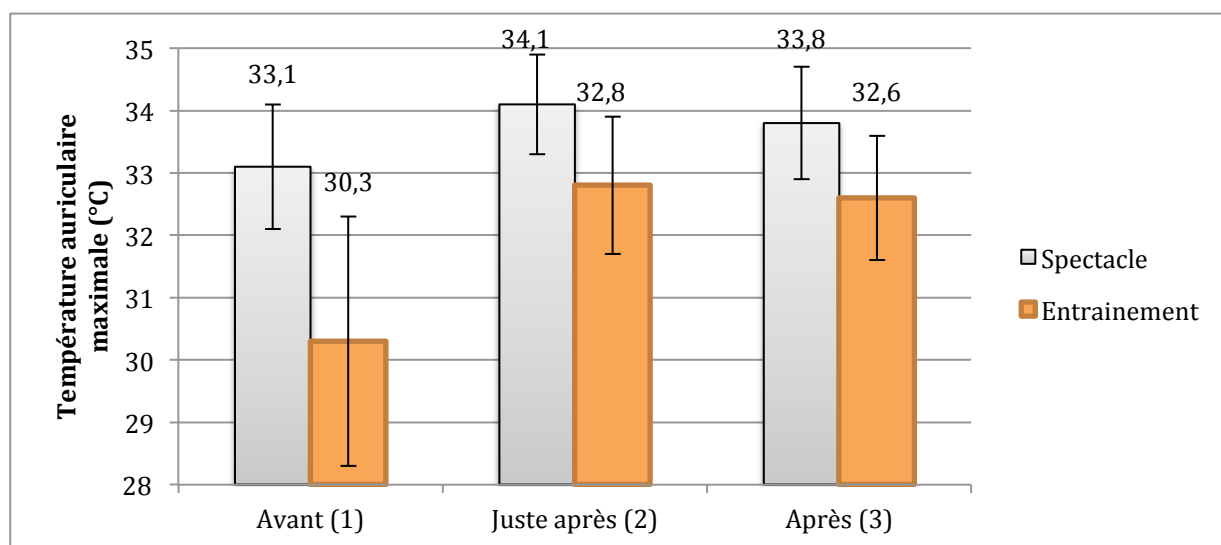
- Températures auriculaires maximales

Les moyennes de la température auriculaire maximale de l'ensemble des chevaux sont présentées dans le *tableau 23* et la *figure 21*. Les résultats du test de Wilcoxon appliqué aux moyennes individuelles de l'ensemble des chevaux et du groupe des chevaux non détendus sont présentés dans le *tableau 23*. Au même titre que les températures nasales et oculaires, les températures auriculaires maximales sont systématiquement plus élevées en spectacle qu'en entraînement. Pour le groupe des chevaux non détendus, seule la température avant exercice est significativement supérieure en spectacle.

Tableau 23 : Moyennes des températures auriculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus

Moyennes Tor maximales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	33,1 ± 1,0	30,3 ± 2,0	91	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	34,1 ± 0,8	32,8 ± 1,1	66	13	0,007	0,125
	Après (3)	33,8 ± 0,9	32,6 ± 1,0	79	15	0,003	0,156

Figure 21 : Moyennes des températures auriculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus



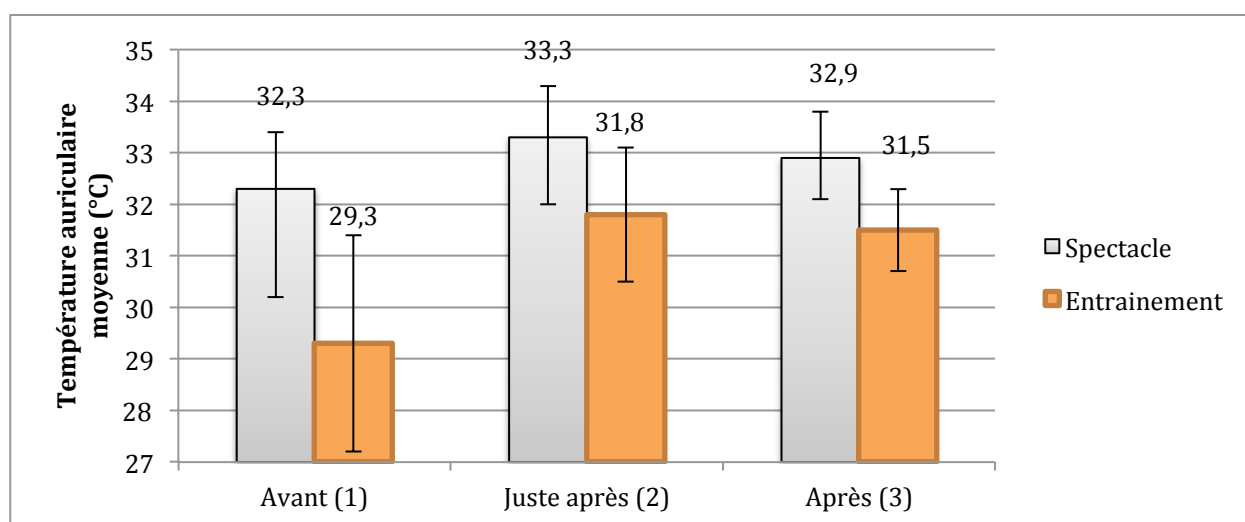
- Températures auriculaires moyennes

Les moyennes de la température auriculaire maximale de l'ensemble des chevaux sont présentées dans le *tableau 24* et la *figure 22*. Le test de Wilcoxon donne encore les mêmes résultats (les résultats sont présentés dans le *tableau 24*), avec les trois températures supérieures en spectacle par rapport à l'entraînement. Pour les chevaux non détendus, le test de Wilcoxon sur température auriculaire moyenne fournit une tendance à avoir la T3 supérieure en spectacle, en plus de T1 qui est significativement plus élevée en spectacle.

Tableau 24 : Moyennes des températures auriculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus

Moyennes Tor moyennes (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	32,3 ± 1,1	29,3 ± 2,1	91	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	33,3 ± 1,0	31,8 ± 1,3	70	13	0,003	0,125
	Après (3)	32,9 ± 0,9	31,5 ± 0,8	87	19	< 0,001	0,063

Figure 22 : Moyennes des températures auriculaires moyennes de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



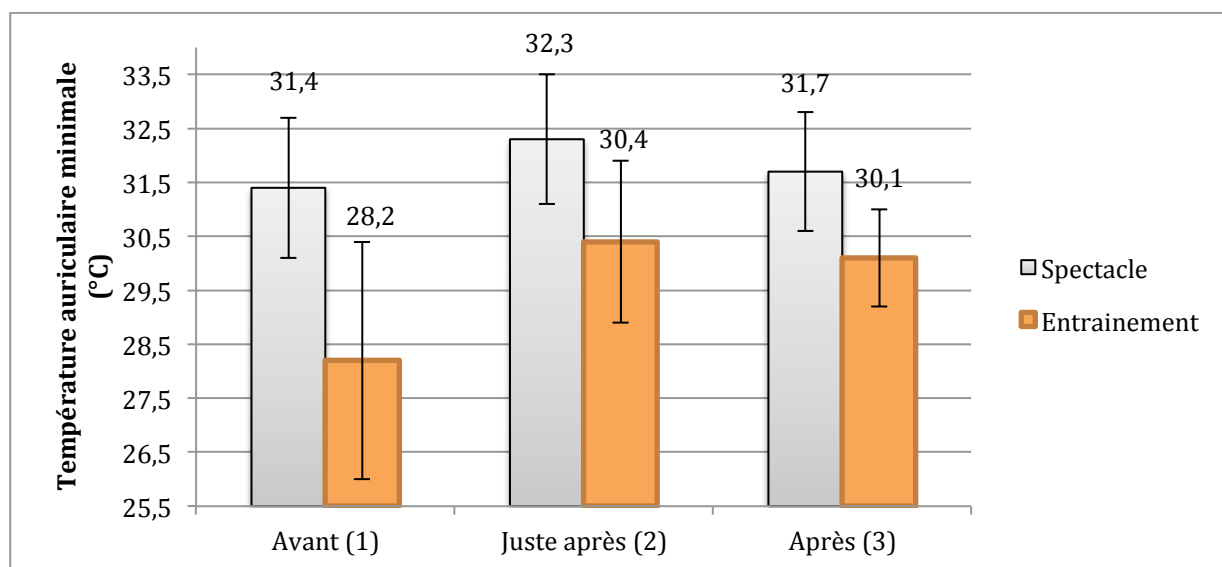
- Températures auriculaires minimales

Le *tableau 25* et la *figure 23* présentent les moyennes des températures auriculaires minimales. Le test de Wilcoxon dont le *tableau 25* affiche les résultats, montre encore les mêmes résultats : les trois températures sont plus élevées en spectacle qu'en entraînement. Pour les chevaux non détendus, les résultats sont les mêmes que pour la température auriculaire moyenne.

Tableau 25 : Moyennes de températures auriculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon pour l'ensemble des chevaux et le groupe des chevaux non détendus

Moyennes Tor minimales (°C) de l'ensemble des chevaux	Période	Spectacle	Entraînement	W		p	
				Ensemble des chevaux	Non détendus	Ensemble des chevaux	Non détendus
	Avant (1)	31,4 ± 1,3	28,2 ± 2,2	91	21	< 0,001	0,031
	Juste après (2)	32,3 ± 1,2	30,4 ± 1,5	74	13	0,001	0,125
	Après (3)	31,7 ± 1,1	30,1 ± 0,9	91	21	< 0,001	0,031

Figure 23 : Moyennes des températures auriculaires minimales pour l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



III-B-3-c) Comparaison des deltas de températures de surface calculés

III-B-3-c) *α*) Deltas de températures oculaires

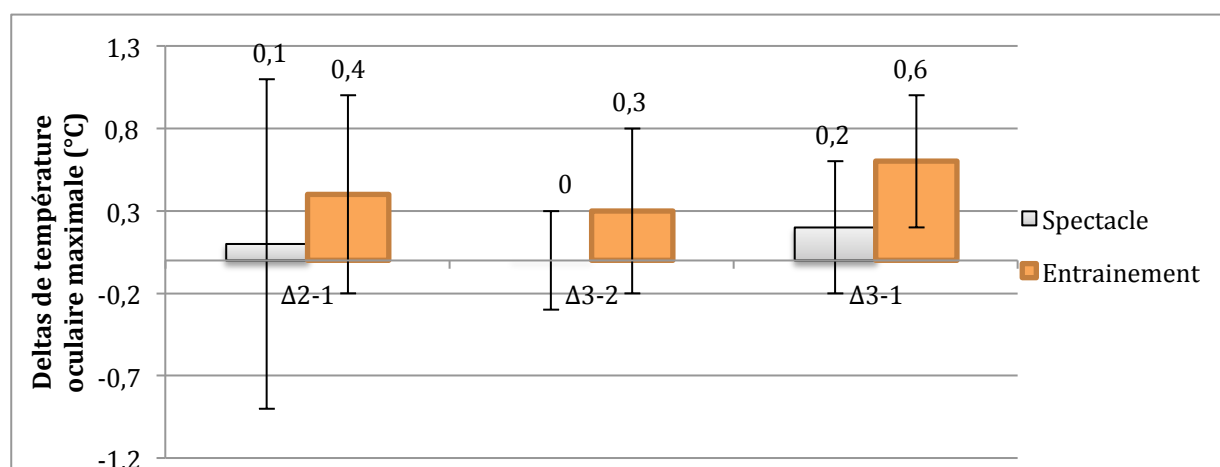
- Températures oculaires maximales

Les moyennes des deltas sont présentées dans le *tableau 26* et la *figure 24*, les résultats du test de Wilcoxon sur les deltas pour l'ensemble des chevaux et pour le groupe des non détendus dans le *tableau 26*. Le test de Wilcoxon sur deltas nous informe que les $\Delta 2-1$ moyens de l'entraînement et du spectacle sont non significativement différents. La température ne s'élève pas plus, par rapport à sa valeur d'avant le spectacle, en spectacle qu'en entraînement. Les $\Delta 3-2$ tendent fortement ($p = 0,057$) à être supérieurs en entraînement qu'en spectacle. Ceci suppose que la température augmente plus après l'entraînement contrairement au spectacle où elle se stabilise. Ces conclusions ne sont pas retrouvées chez les chevaux non détendus pour lesquels aucune différence significative n'est observée. Enfin le $\Delta 3-1$ est significativement plus élevé en entraînement qu'en spectacle ($p = 0,01$).

Tableau 26 : Deltas moyens des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
Toc maximales de l'ensemble des chevaux (°C)	$\Delta 2-1$	$0,1 \pm 1,0$	$0,4 \pm 0,6$	-13	0,685
	$\Delta 3-2$	$0,0 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,5$	-55	0,057
	$\Delta 3-1$	$0,2 \pm 0,4$	$0,6 \pm 0,4$	-71	0,01

Figure 24: Deltas moyens des températures oculaires maximales de l'ensemble des chevaux pour l'entraînement et le spectacle



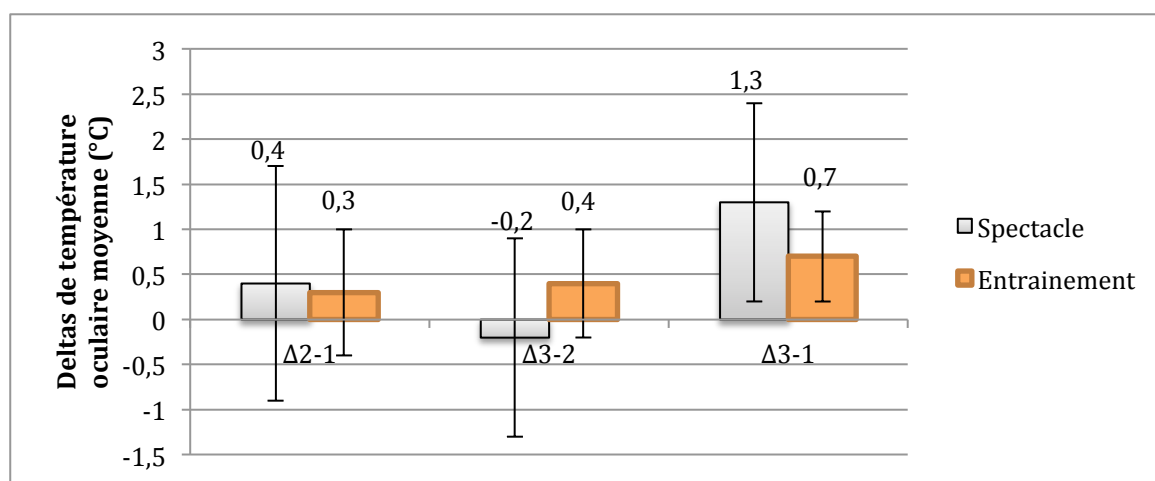
- Températures oculaires moyennes

Les moyennes des deltas sont présentées dans le *tableau 27* et la *figure 25*, les résultats du test de Wilcoxon sur les deltas pour l'ensemble des chevaux dans le *tableau 27*. Seul le $\Delta 3-1$ de température oculaire moyenne est significativement plus important en spectacle qu'en entraînement ($p = 0,017$).

Tableau 27 : Deltas moyens de température oculaire moyenne de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Toc moyennes de l'ensemble des chevaux ($^{\circ}\text{C}$)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	$\Delta 2-1$	$0,4 \pm 1,3$	$0,3 \pm 0,7$	-27	0,376
	$\Delta 3-2$	$-0,2 \pm 1,1$	$0,4 \pm 0,6$	-33	0,273
	$\Delta 3-1$	$1,3 \pm 1,1$	$0,7 \pm 0,5$	-67	0,017

Figure 25 : Deltas moyens de température oculaire moyenne de l'ensemble des chevaux relevée sur les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



- Températures oculaires minimales

Les deltas moyens de température oculaire minimale ainsi que les résultats du test de Wilcoxon sont présentés dans le *tableau 28*, ils n'apportent pas d'information supplémentaire par rapport aux deux autres températures, et semblent moins pertinents. Ceci peut être expliqué par le fait que la température oculaire minimale corresponde à la zone des cils qui ne voient pas leur température varier finement en exercice ou en période de stress. Cette température n'est donc pas très pertinente à suivre dans le cadre de la mise en évidence du stress et il convient de privilégier les températures oculaires moyenne et maximale.

Tableau 28 : Deltas moyens des températures oculaires minimales de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et le spectacle

Moyennes des Δ de	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
Toc minimales de l'ensemble des chevaux (°C)	$\Delta 2-1$	$-0,8 \pm 2,4$	$-0,1 \pm 1,1$	-11	0,735
	$\Delta 3-2$	$-0,1 \pm 1,3$	$-0,6 \pm 1,1$	-49	0,094
	$\Delta 3-1$	$-0,3 \pm 1,2$	$0,8 \pm 1,0$	-75	0,006

III-B-3-c) 6) Deltas de températures nasales

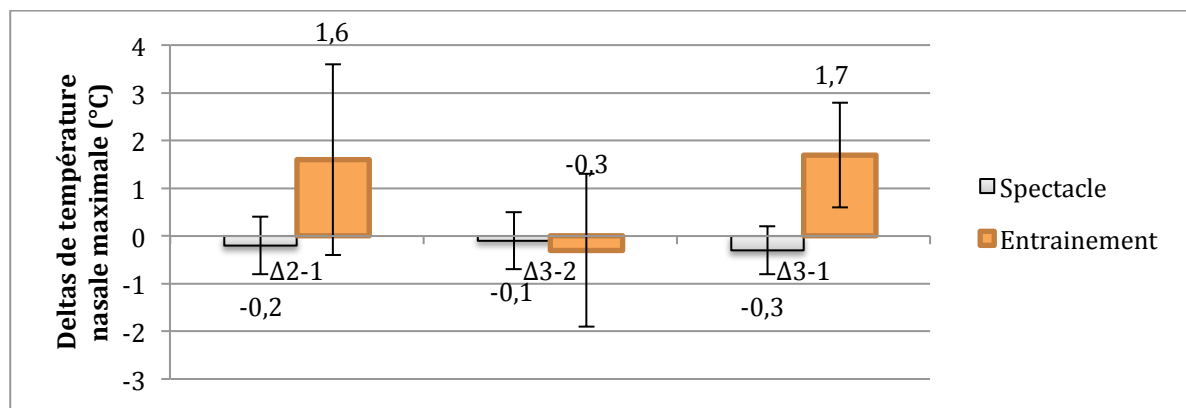
- Températures nasales maximales

Comme montré dans le *tableau 29* et sur la *figure 26*, le $\Delta 2-1$ de l'entraînement est supérieur au delta du spectacle ($p = 0,009$, comme présenté dans le *tableau 29*). Le relevé de la température nasale maximale est donc très pertinent puisque contrairement aux températures oculaires maximale, moyenne et minimale, son analyse statistique montre une différence significative entre l'entraînement et le spectacle pour le $\Delta 2-1$. Le $\Delta 3-2$ est non significativement différent. La température après l'exercice n'augmente pas plus ou pas moins par rapport à la température de sortie d'exercice que l'on soit en entraînement ou spectacle. Ce résultat est donc opposé avec ceux des températures oculaires maximale et moyenne qui montraient une forte tendance à avoir une augmentation de température 30 à 45 minutes après spectacle plus faible qu'après l'entraînement. Enfin, et au même titre que la température oculaire maximale, le $\Delta 3-1$ est supérieur en entraînement qu'en spectacle.

Tableau 29 : Deltas moyens de température nasale maximale de l'ensemble des chevaux relevées pour les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
Tnas maximales de l'ensemble des chevaux (°C)	$\Delta 2-1$	$-0,2 \pm 0,6$	$1,6 \pm 2,0$	-64	0,009
	$\Delta 3-2$	$-0,1 \pm 0,6$	$-0,3 \pm 1,6$	-17	0,588
	$\Delta 3-1$	$-0,3 \pm 0,5$	$1,7 \pm 1,1$	-78	0,001

Figure 26 : Deltas moyens de température nasale maximale de l'ensemble des chevaux relevés pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



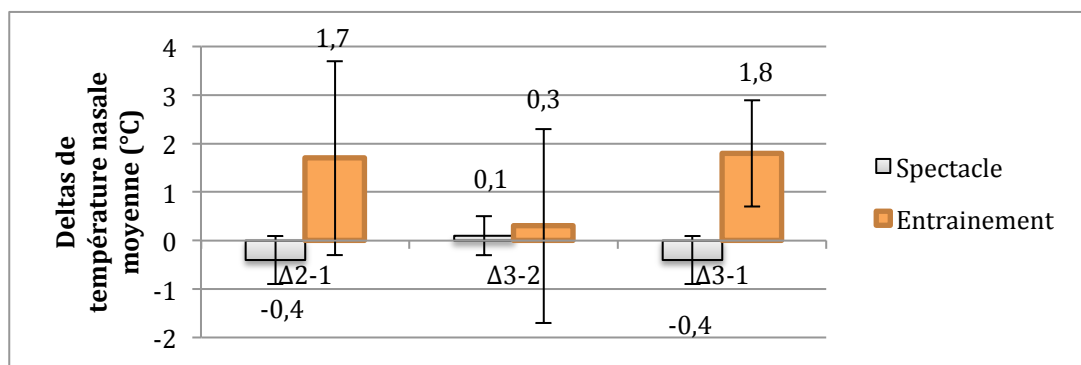
- Températures nasales moyennes

Encore une fois, l'analyse des deltas donne les mêmes résultats que pour la température nasale maximale comme on peut le constater dans le *tableau 30* et la *figure 27* présentant les moyennes des deltas et les résultats du test de Wilcoxon. Les Δ2-1 et Δ3-1 sont significativement plus élevés en entraînement qu'en spectacle.

Tableau 30 : Deltas moyens de température nasale moyenne de l'ensemble des chevaux relevés pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Tnas moyennes de l'ensemble des chevaux (°C)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	Δ2-1	-0,4 ± 0,5	1,7 ± 2,0	-68	0,05
	Δ3-2	0,1 ± 0,4	0,3 ± 2,0	-1	1
	Δ3-1	-0,4 ± 0,5	1,8 ± 1,1	-78	< 0,001

Figure 27 : Deltas moyens de température nasale moyenne de l'ensemble des chevaux relevés pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



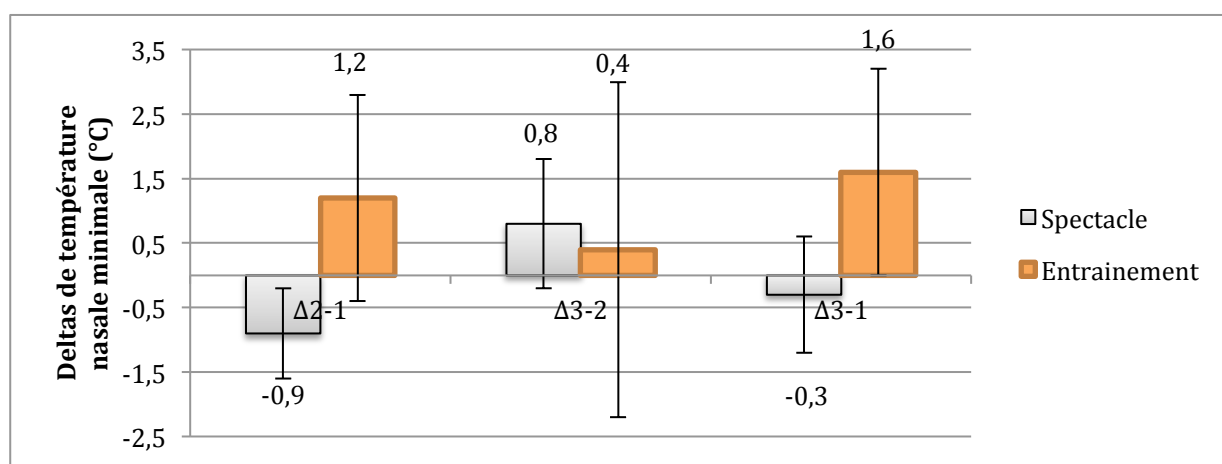
- Températures nasales minimales

Les deltas moyens sont présentés dans le *tableau 31* et la *figure 28*. Comme le montre le *tableau 31*, les résultats du test de Wilcoxon sur les moyennes de deltas sont comparables à ceux des températures nasales maximale et moyenne. Les $\Delta 2-1$ et $\Delta 3-1$ sont significativement supérieurs en entraînement par rapport au spectacle. Les $\Delta 3-2$ de l'entraînement et du spectacle sont non significativement différents, la température après l'entraînement augmente de la même façon qu'après le spectacle.

Tableau 31 : Deltas moyens de température nasale minimale de l'ensemble des chevaux relevés pour l'entraînement et le spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Tnas minimales de l'ensemble des chevaux ($^{\circ}\text{C}$)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	$\Delta 2-1$	$-0,9 \pm 0,7$	$1,2 \pm 1,6$	-68	0,05
	$\Delta 3-2$	$0,8 \pm 1,0$	$0,4 \pm 2,6$	23	0,455
	$\Delta 3-1$	$-0,3 \pm 0,9$	$1,6 \pm 1,6$	-78	< 0,001

Figure 28 : Deltas moyens de température nasale minimale de l'ensemble des chevaux relevés pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle



III-B-3-c) γ) Deltas de températures auriculaires

Les tests statistiques sur deltas ne sont pas strictement les mêmes que pour les températures oculaires et nasales. En effet, ici on a comparé les moyennes des deltas individuels calculés à partir des moyennes individuelles : par exemple $\text{Moy}\Delta 2-1_s = \text{Moy}T2_s - \text{Moy}T1_s$ pour un cheval. Pour les températures oculaires et nasales, nous avons comparé les deltas moyens individuels calculés à partir de toutes les valeurs de deltas pour chaque exercice $\text{Moy}\Delta 2-1_s = (\Delta 2-1_{s1} + \dots + \Delta 2-1_{s10})/10$ pour un cheval. Etant donné les valeurs manquantes, la moyenne des deltas n'est pas égale aux deltas des

moyennes (les moyennes des températures sont calculées sur un plus grand échantillon que la moyenne des deltas puisqu'il faut deux températures pour faire un delta, donc dès que l'une manque, le delta n'est pas calculable), cependant des tests statistiques ont été réalisés sur les deux types de deltas et les résultats obtenus sont équivalents. On peut donc utiliser l'un ou l'autre type de delta moyen. Cependant, il n'y aura pas d'écarts-types associés aux deltas moyens calculés par soustraction des moyennes de température.

- Températures auriculaires maximales

Les valeurs moyennes des deltas et les résultats du test de Wilcoxon sont présentés dans le *tableau 32*. On remarque que pour le $\Delta 2-1$, le résultat du test est à la limite de la significativité et le $\Delta 2-1$ de l'entraînement est supérieur à celui du spectacle ce qui est cohérent avec une augmentation de la température T1 avant le spectacle, comme l'ont montré également les résultats de température nasale maximale. De même le $\Delta 3-1$ est plus important en entraînement qu'en spectacle, l'explication est la même que pour le $\Delta 2-1$.

Tableau 32 : Deltas moyens de température auriculaire maximale de l'ensemble des chevaux relevés pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Tor maximales de l'ensemble des chevaux (°C)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	$\Delta 2-1$	1,1	2,5	-50	0,052
	$\Delta 3-2$	-0,3	-0,3	-18	0,519
	$\Delta 3-1$	0,7	2,3	-71	0,01

- Températures auriculaires moyennes

Pour les résultats du test de Wilcoxon appliqués aux deltas dont les valeurs sont présentées dans le *tableau 33*, on obtient les mêmes résultats que pour la température auriculaire maximale. Comme exposé dans le *tableau 33*, les $\Delta 2-1$ et $\Delta 3-1$ sont supérieurs en entraînement par rapport au spectacle de part la hausse de la température auriculaire avant le spectacle.

Tableau 33 : Deltas moyens de température auriculaire moyenne de l'ensemble des chevaux relevées pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Tor moyennes de l'ensemble des chevaux (°C)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	$\Delta 2-1$	1,0	2,4	-52	0,042
	$\Delta 3-2$	-0,4	-0,3	-18	0,519
	$\Delta 3-1$	0,6	2,2	-73	0,008

- Températures auriculaires minimales

Les valeurs des deltas moyens sont présentées dans le *tableau 34* ainsi que les résultats du test de Wilcoxon. Les résultats sont globalement similaires à ceux des températures auriculaires maximale et moyenne, à cela près que le $\Delta 2-1$ de l'entraînement tend seulement à être supérieur à celui du spectacle ($p = 0,077$). La température auriculaire minimale semble donc moins intéressante que les deux autres si l'on s'attache à comparer les deltas.

Tableau 34 : Deltas moyens de température auriculaire minimale de l'ensemble des chevaux relevée pendant les trois périodes de l'entraînement et du spectacle, résultats du test de Wilcoxon

Moyennes des Δ de Tor minimales de l'ensemble des chevaux (°C)	Δ	Spectacle	Entraînement	W	p
	$\Delta 2-1$	1,0	2,2	-46	0,077
	$\Delta 3-2$	-0,6	-0,2	-36	0,176
	$\Delta 3-1$	0,4	1,9	-71	0,01

IV- DISCUSSION

Notons tout d'abord que les résultats que nous avons pu mettre en évidence sont de manière générale cohérents avec la littérature disponible sur le sujet.

- Paramètres physiologiques

Tout d'abord, nous avons pu remarquer, au même titre que présenté dans la littérature (Young et al., 2012) que la fréquence cardiaque était révélatrice de la réponse de stress de l'individu. Cet indice est particulièrement intéressant puisqu'il est utilisable même durant un exercice. Nous avons pu mettre en évidence que la fréquence cardiaque était systématiquement supérieure autour d'un spectacle ($FR_{moy_{spe}} = 39,4 \pm 7,5$ batts/min) par rapport à l'entraînement ($FR_{moy_{ent}} = 43,1 \pm 9,3$ batts/min) soit environ + 3,7 battements/min sur l'ensemble des trois périodes (1- avant, 2- juste après, 3- après) et + 2,7 battements/min pour la fréquence cardiaque moyenne relevée avant spectacle ($FR_{moy_{spe}} = 36,3 \pm 4,2$ batts/min et $FR_{moy_{ent}} = 33,6 \pm 4,2$ batts/min), comme on peut le constater dans l'annexe 2. Nos résultats présentent cependant des différences moins importantes que celles présentées par exemple dans l'étude de Young et al. (2012) où les auteurs trouvent environ 10 batts/min de différence entre le cheval au repos et le cheval soumis à une situation de perturbation environnementale (isolation sociale, pansage...). La différence observée entre nos résultats et ceux de l'étude de Young et al. (2012) peut être expliquée par le fait que nos prises de mesures se réalisaient autour d'un exercice. La réponse de stress du cheval peut être partiellement occultée par l'effet de l'effort sur la fréquence cardiaque.

La température interne, bien que retenue dans certaines études, semble moins intéressante à relever pour notre question. En effet, la température interne est significativement plus élevée en spectacle qu'en entraînement seulement sur la première prise de mesure avant le début de l'exercice (moyennes de $37,5 \pm 0,1^{\circ}C$ en entraînement contre $37,7^{\circ}C \pm 0,2^{\circ}C$ en spectacle). Cette différence entre ces deux indices physiologiques (fréquence cardiaque et température interne) peut s'expliquer par l'inertie avec laquelle varie la température interne. En effet, après un exercice, la fréquence cardiaque retombe très rapidement proche de ses valeurs basales en moins de cinq minutes (et ce même pour des efforts intenses comme l'endurance). La température interne met quant-à-elle beaucoup plus de temps pour varier puisque le mécanisme de thermorégulation est plus lent à se

mettre en place, contrairement au mécanisme sympathique qui contrôle la fréquence cardiaque. Lors de la prise de mesure juste après l'exercice, la hausse de fréquence cardiaque liée à l'exercice avait le temps de partiellement s'estomper, laissant place au simple effet de réponse de stress. La température interne juste après et après exercice est avant tout sous effet de l'effort physique. De plus la fréquence cardiaque augmente ou diminue avec une grande amplitude, ses variations sont donc aisément détectables au contraire de la température interne. On comprend donc pourquoi nous avons pu observer des différences significatives avant, juste après et après l'exercice entre entraînement et spectacle pour la fréquence cardiaque. La température interne présente une plus grande inertie pour que ses valeurs moyennes soient le témoin d'une réponse de stress autour d'un exercice. Nous pouvons donc retenir que l'effet du stress sur la température interne est très certainement complètement écrasé par l'effet de l'effort et que la température interne paraît être un mauvais indice pour mettre en évidence une réponse de stress autour d'une situation d'exercice, contrairement à la fréquence cardiaque.

Nous n'avons trouvé aucune différence significative pour la concentration en cortisol salivaire entre entraînement et spectacle et entre les chevaux détendus et les chevaux non détendus. Ces résultats, retrouvés dans la littérature (Valera *et al.*, 2011) peuvent être interprétés de différentes manières. On peut premièrement dire que les chevaux ne sont pas stressés par le spectacle. Cependant, les résultats de fréquence cardiaque, indice reconnu dans la littérature comme bon révélateur de stress et validé par notre étude, vont à l'encontre de cette première conclusion. Deuxièmement, on peut avancer l'explication d'un faible nombre de mesures de cortisol salivaire (bien inférieur aux mesures de températures de surface ou d'indices physiologiques). Si les différences de concentration en cortisol salivaire sont très faibles entre les individus stressés et les individus non stressés, il y a fort à parier qu'un échantillon de mesures trop petit soit à l'origine d'un manque de significativité des résultats. Troisièmement, il est probable que les prélèvements de salive n'aient pas été réalisés au bon moment puisqu'il est possible que la concentration en cortisol ait augmenté avant la première prise de mesure en réponse à l'anxiété ressentie par le cheval et n'ait pas eu le temps de diminuer lors de la troisième prise de mesure (latence de l'élimination du cortisol sanguin et salivaire). Effectivement, les différentes études publiées utilisent des séquences de prélèvement très variables avec des résultats tout aussi variables. Enfin, une autre explication vient s'ajouter : l'effet du rythme circadien sur la concentration en cortisol (Peeters, 2011). En effet, naturellement, le cortisol est relargué dans le sang (puis dans la salive) en matinée d'où des concentrations physiologiques plus importantes le matin que l'après-midi ou en soirée. Or à l'Académie Equestre de Versailles, les entraînements ont tous été réalisés le matin et les spectacles

l'après-midi ou le soir. Cet effet peut donc expliquer l'absence de différence significative relevée entre entraînement et spectacle.

Les variations de cortisol salivaire ne présentaient aucune corrélation avec les variations de fréquence cardiaque ni la température interne, et n'en auraient présenté aucune avec celles de températures de surface puisque ces dernières sont corrélées à la fréquence cardiaque ni avec celles de la température interne. Valera *et al.* (2011) démontrent également une absence de corrélations entre cortisol salivaire et température oculaire. Ces résultats ne sont pas étonnants puisque le cortisol est relargué dans le sang puis dans la salive avec une certaine latence. Les variations de sa concentration ne peuvent donc être corrélées à des indices qui varient sans inertie dans les premières secondes de la réponse de stress.

La détente qui, on le rappelle, correspond à une période d'exercice de 20 à 30 min réalisée 30 à 60 min avant chaque spectacle, concernait une majorité de chevaux. Comme il s'agissait d'un exercice physique, nous avons dû contrôler son impact sur les mesures réalisées juste avant le spectacle. L'hypothèse était que la détente ferait augmenter les valeurs de nos différents indices, augmentation liée à l'effort physique. En réalité, les résultats obtenus sont contraires à cette hypothèse. En effet, les résultats ont révélé que la détente ne faisait pas augmenter significativement les valeurs de nos différents indices, on observe en revanche pour la fréquence cardiaque et la température nasale maximale des valeurs plus élevées chez les chevaux non détendus (on observe une tendance à ces mêmes résultats pour la température oculaire maximale). Pour la température interne, la concentration en cortisol salivaire, la température auriculaire, les températures nasales moyennes et minimales et les températures oculaires moyennes et minimales, aucune différence significative n'est retrouvée entre les chevaux détendus et les chevaux non détendus. Ainsi, nous pouvons interpréter nos résultats sans tenir compte de la présence ou non de détente et l'effet du spectacle a pu être étudié chez l'ensemble des chevaux. On peut de plus conseiller la détente au sein de l'Académie Equestre de Versailles, puisque nos résultats sur certains indices montrent que la détente peut diminuer le stress exprimé par les chevaux vis à vis du spectacle.

- Températures de surface : oculaire, nasale et auriculaire

En ce qui concerne les résultats de thermographie infra-rouge, la température de trois zones différentes a été suivie et les résultats sont pertinents pour les trois températures. On retrouve dans la littérature uniquement des relevés de température oculaire maximale, la température nasale ayant été utilisée plutôt chez les primates, la température auriculaire plutôt chez les lapins. Tout d'abord, nous

avons pu mettre en évidence des différences significatives entre ces trois températures pour les trois phases (avant, juste après et après). La température oculaire est supérieure aux deux autres sauf juste après le spectacle où les valeurs de la température auriculaire viennent rejoindre celles de la température oculaire. De plus, outre la pertinence du suivi des températures de ces trois zones, on a pu mettre en évidence que la température auriculaire était la plus corrélée à la fréquence cardiaque ($r_{FC/Tor} = 0,529$) et à la température interne ($r_{Tint/Tor} = 0,575$), suivie par la température oculaire ($r_{FC/Toc} = 0,478$ et $r_{Tint/Toc} = 0,413$) puis la température nasale ($r_{FC/Tnas} = 0,479$ et $r_{Tint/Tnas} = 0,328$). La température auriculaire semble donc très pertinente à relever puisqu'elle est la plus corrélée aux variations de fréquence cardiaque, indice approuvé dans la littérature et appuyé par nos résultats comme révélateur de réponse de stress. Cependant la température nasale maximale mettait en évidence, au même titre que la fréquence cardiaque, un effet bénéfique de la détente sur les chevaux en diminuant l'effet stressant du spectacle. Le relevé de la température nasale est donc très pertinent également. Au final, il apparaît que les deux températures nouvellement testées dans notre étude : nasale et auriculaire, semblent plus informatives que la température oculaire, plus classiquement utilisée.

Pour chaque zone (oculaire, nasale, auriculaire) ont été relevées trois températures : maximale, moyenne et minimale. Dans la majeure partie du temps, les températures maximales, moyennes et minimales vont varier de la même façon pour une zone. La température maximale est toujours choisie dans les études utilisant la température oculaire des chevaux ou des bovins (Valera *et al.*, 2011; Bartolomé *et al.*, 2013 ; Stewart, 2008). De la même façon, les trois températures variant de la même façon, on peut se limiter à suivre un seul type de température. Les températures maximales semblent les plus pertinentes à utiliser puisque les températures moyennes et minimales prennent en compte les températures des éléments froids peu informatifs comme les cils ou les poils des oreilles. De plus, la température maximale d'une zone correspond à la température de l'endroit comprenant le lit capillaire le plus développé. L'innervation sympathique du lit capillaire rend cette zone particulièrement sujette à voir sa température varier.

Les neuf températures de surface sont toutes supérieures en spectacle par rapport à l'entraînement pour les trois périodes de prises de mesures, au même titre que pour la fréquence cardiaque (il n'existe qu'une tendance à la significativité pour la température nasale minimale). Sur l'ensemble des trois périodes (avant, juste après et après exercice), la moyenne de température oculaire maximale était de $35,2 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ en spectacle contre $34,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ en entraînement. On retrouve dans l'étude de Bartolomé *et al.* (2013) environ le même écart de température avec une

moyenne de température oculaire maximale avant l'évènement stressant (compétition) de $36,2 \pm 0,09^{\circ}\text{C}$ contre $37,6 \pm 0,09^{\circ}\text{C}$ après, cependant cette variation intègre l'effet de l'exercice alors que dans notre étude, en comparant entraînement et spectacle qui ont environ le même niveau physique, on s'affranchit de l'effet de l'exercice. La différence que l'on observe entre les valeurs basales de température oculaire maximale des études de la littérature (Bartolomé *et al.*, 2013; Valera *et al.*, 2011) qui sont d'environ 36 à 37°C et nos valeurs basales s'échelonnant autour de 34 à 35°C peut être liée à la différence de caméra thermique utilisée entre notre étude et les leurs, ou bien à la température extérieure différente puisque leurs deux études sont réalisées en Espagne et la nôtre dans le nord de la France. La moyenne de température nasale maximale sur les trois périodes est ainsi de $33,8^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ en spectacle contre $32,2 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ pour l'entraînement, la moyenne de température auriculaire maximale en spectacle est de $33,7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ contre $31,9 \pm 1,4^{\circ}\text{C}$ en entraînement. L'analyse statistique restreinte aux seuls chevaux non détendus donne des résultats beaucoup moins significatifs ce qui n'est pas étonnant puisque l'on restreint de plus de 75% l'échantillon.

- Variations des indices physiologiques et des températures de surface

Les deltas ont été calculés pour tenter de soustraire d'éventuels effets environnementaux constants autour d'un événement (entraînement ou spectacle) ainsi que pour comparer les variations comme réalisé dans l'étude de Valera *et al.*, (2011). Par exemple, la température extérieure, constante autour d'un spectacle ou d'un entraînement peut agir sur la température interne et les températures de surface. En utilisant les deltas, on soustrait l'effet de la température extérieure puisqu'il est le même pour les deux températures que l'on soustrait. Cependant, l'Académie siège au sein de la Grande Ecurie du château de Versailles dont les murs en pierre de grès épais d'environ un mètre isolent parfaitement la structure et lui confère une température stable au sein de la journée. Les différentes mesures ayant été réalisées au mois de juin et juillet, dans des conditions météorologiques stables, on peut affirmer que la température environnementale au sein des écuries où étaient réalisées les mesures était stable (20°C).

- *$\Delta 2-1$: Variations entre l'avant et le juste après spectacle*

Le $\Delta 2-1$ est non significativement différent entre l'entraînement et le spectacle pour les températures oculaires. Nous avons ainsi montré que la température oculaire ne s'élève pas plus entre avant et juste après l'exercice en entraînement qu'en spectacle. Nous avons montré que la température oculaire était significativement plus importante autour du spectacle qu'autour de l'entraînement. Comme la hausse entre la période 1 et la période 2 n'est pas plus importante entre entraînement et

spectacle, on peut supposer qu'elle est seulement due à l'effort physique puisque égale entre entraînement et spectacle.

En ce qui concerne les températures nasales, auriculaires et interne, les résultats sont identiques avec un $\Delta 2-1$ supérieur en entraînement par rapport au spectacle. Ces résultats peuvent être expliqués par une température T1 plus augmentée en spectacle (anticipation du spectacle) d'une part, et par une probable moindre hausse des températures pendant le spectacle par rapport à l'entraînement (exercice plus court en spectacle). On peut donc penser que les températures nasales, auriculaires et interne augmenteront moins que les températures oculaires suite à l'effort, en particulier pour la température interne dont les moyennes en spectacle et en entraînement sont non significativement différentes juste après le spectacle au contraire des températures auriculaire et nasale.

La fréquence cardiaque présente des résultats opposés à ceux des autres indices puisque le $\Delta 2-1$ tend ($p = 0,057$) à être supérieur en spectacle. Ainsi, bien que la fréquence cardiaque augmente avant le spectacle par anticipation, elle augmentera pendant le spectacle plus que pendant l'entraînement par rapport à sa valeur avant l'exercice. Ces résultats peuvent mettre en évidence une réponse de stress chez le cheval en réponse à tous les éléments environnementaux stressants (public, jeux de lumière, grande proximité avec les autres chevaux du même numéro, stress de l'écuyer) au cours du spectacle lui-même. Cependant, d'autres explications peuvent être fournies : les chevaux ne sont marchés que pour rentrer à leurs écuries après le spectacle alors qu'ils le sont pendant plusieurs minutes à la fin des entraînements ce qui contribue à faire baisser la fréquence cardiaque relevée juste après l'exercice. Cependant, en grande majorité (outre les deux criollos argentins qui réalisent un numéro très intense) l'effort physique fourni pendant le spectacle est moins élevé pendant le spectacle que pendant l'entraînement car moins long. Enfin la fréquence cardiaque diminue très rapidement à la fin de l'exercice, on peut donc penser que même sans marcher le cheval après le numéro du spectacle, la fréquence cardiaque est déjà bien diminuée.

- $\Delta 3-2$: Variations entre le juste après et l'après spectacle

Les résultats concernant le $\Delta 3-2$ sont inégaux en fonction des indices. Les températures nasales et auriculaires varient de la même façon et ne présentent pas de différences significatives entre entraînement et spectacle. Cependant la température nasale maximale et les températures auriculaires ont tendance à diminuer après l'exercice (delta négatif) alors que les températures nasales moyennes et minimales ont tendance à augmenter (delta positif). Les températures nasales et auriculaires

redescendent à leurs valeurs basales au même rythme que l'on soit en spectacle ou pas. La présence du public dans les coulisses après le spectacle ne semble pas gêner la baisse de ces deux températures. Cependant, nous avons montré que ces températures étaient significativement plus élevées après le spectacle par rapport à l'entraînement, ce qui peut justement s'expliquer d'une part par la présence du public en coulisses, d'autre part par le fait que les températures étant plus élevées de manière générale en spectacle, et qu'elles baissent au même rythme en spectacle qu'en entraînement, elles ont des valeurs lors de notre relevé après spectacle obligatoirement plus hautes.

En ce qui concerne la température oculaire et la température interne, elles varient de manière quasi-identiques aux températures auriculaires et nasales. Cependant, la température interne et les températures oculaires maximale et moyenne ont tendance à présenter un $\Delta 3-2$ supérieur en valeurs absolues en entraînement par rapport au spectacle. Les températures oculaires maximale, moyenne et la température interne diminueraient davantage après l'entraînement qu'après le spectacle. Ces résultats peuvent être reliés à l'absence de période où les chevaux sont marchés après le spectacle, période qui contribue à améliorer la phase de récupération, et donc permet de revenir à des valeurs normales de température plus rapidement.

Enfin les résultats de fréquence cardiaque diffèrent encore une fois des autres puisque le $\Delta 3-2$ du spectacle est significativement plus élevée en valeur absolue. La fréquence cardiaque diminue donc davantage après le spectacle qu'après l'entraînement ce qui est plutôt logique par rapport aux résultats précédents puisque le $\Delta 2-1$ de la fréquence cardiaque était le seul à être plus élevé en spectacle qu'en entraînement. Ainsi la fréquence cardiaque s'élevait tellement pendant le spectacle, du fait des effets cumulés du stress durant le numéro et de l'absence de période de pas après l'exercice, qu'il est aisément compréhensible que l'amplitude de sa diminution après le spectacle soit plus importante après spectacle qu'après l'entraînement.

- $\Delta 3-1$: Variations entre l'avant et l'après spectacle

Les résultats obtenus pour l'analyse des $\Delta 3-1$ des différents indices sont très proches. En effet, mise à part la température oculaire moyenne qui montre un $\Delta 3-1$ plus élevée en spectacle, toutes les températures de surface et la température interne montrent des $\Delta 3-1$ plus élevés en entraînement qu'en spectacle. Ces résultats sont aisément explicables par la hausse de la température avant le spectacle qui réduit ce delta. La fréquence cardiaque se différencie encore des autres en donnant des résultats non significativement différents entre entraînement et spectacle. Au final, la fréquence cardiaque semble moins pertinente à suivre, dans ce cas, que les températures de surface.

Notre étude s'est attachée à tester de nouveaux indices pouvant mettre en évidence une réponse de stress chez le cheval. Il s'est avéré que les trois températures de surface que l'on testait se sont révélées très pertinentes. En effet, d'une part elles sont fortement corrélées à la fréquence cardiaque qui est validée dans la littérature comme révélatrice de réponse de stress ; d'autre part elles sont systématiquement plus élevées autour d'un spectacle que d'un entraînement. Les températures nasales et auriculaires semblent donner des résultats identiques. La température auriculaire est à préférer car la plus corrélée à la fréquence cardiaque, puis la température nasale puisqu'elle a permis de démontrer au même titre que la fréquence cardiaque, que la détente permettait de diminuer le stress ressentie par le cheval vis à vis du spectacle. On conseillera d'ailleurs vivement la détente chez le cheval avant tout événement stressant. La température interne est un indice intéressant à suivre pour mettre en évidence une réponse de stress si elle n'est pas liée à une effort physique car elle semble trop influencée par ce dernier et varie avec une trop lente inertie pour rester informative au cours du temps. Les moyennes de température sont plus simples à interpréter que les deltas, bien qu'elles puissent être légèrement biaisées par un effet quelconque de l'environnement.

CONCLUSION

En conclusion, nombreux sont les indices physiologiques et comportementaux révélateurs de réponse de stress chez le cheval. Cependant, le choix des indices suivis durant une étude doit être scrupuleusement réfléchi afin de choisir les plus adaptés. Par exemple les indices comportementaux varient suivant l'environnement et le contexte social dans lequel évolue le cheval ; les indices physiologiques quant à eux vont bien souvent varier avec l'activité physique ; les variations de concentration en cortisol salivaire sont propres à un individu et fonction du moment de la journée. Ainsi chaque étude doit construire son propre répertoire comportemental et choisir les indices les plus adaptés à la situation et les moins biaisés par des effets environnementaux.

On doit tout de même mettre en avant certains indices utilisables dans la majorité des situations. Premièrement, la fréquence cardiaque qui est sélectionnée dans la majeure partie des études, approuvée par le Comité Scientifique sur la Santé et le Bien-Etre Animal de la Commission Européenne de la Santé et de la Protection du Consommateur comme révélateur de stress, et que nous avons encore une fois validée dans notre étude. Deuxièmement, nous pouvons citer la concentration en cortisol salivaire, bien que nous n'ayons obtenu dans notre étude aucun résultat en concordance avec les autres indices relevés. Elle demeure un paramètre de choix à suivre chez les individus dont on veut évaluer la réponse de stress. Son suivi doit être fait de manière individuelle, les relevés doivent être multipliés et réalisés aux mêmes moments de la journée pour éviter d'impliquer d'autres facteurs de variation du cortisol que l'élément stressant que l'on étudie. Troisièmement comme l'a montré cette étude, les températures de surface de certaines zones de la tête du cheval sont très informatives car représentatives de l'état de vasoconstriction et vasodilatation du lit capillaire et ainsi indirectement de l'état d'activation du système sympathique. On retiendra trois températures : oculaire, nasale et auriculaire, avec un intérêt tout particulier pour la température auriculaire dont les variations sont les plus corrélées aux variations de fréquence cardiaque (et de température interne). Notre étude permet donc de valider l'utilisation de deux autres températures de surface révélatrices de stress, n'ayant jamais fait l'objet d'aucune publication chez le cheval mais utilisées chez d'autres espèces.

Enfin, nous avons pu mettre en évidence chez les chevaux de l'Académie Equestre de Versailles une réponse générale de stress déclenchée avant et pendant le spectacle, grâce à la hausse systématique

des différents indices relevés autour du spectacle par rapport à l'entraînement : fréquence cardiaque, température interne et températures de surface. Nous avons également pu montrer que la détente avait un effet déstressant très bénéfique chez les chevaux puisqu'elle abaisse les différents indices relevés avant le spectacle. La détente est donc une étape fondamentale dans la préparation du cheval à ce type d'épreuve qu'il ne faut nullement négliger.

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER F. (1966). A study of parotid salivation in the horse. J. Physiol., **184**, 646-656.

BARTOLOMÉ E, SÁNCHEZ MJ, MOLINA A, SCHAEFER AL, CERVANTES I, VALERA M. (2013). Using eye temperature and heart rate for stress assessment in young horses competing in jumping competitions and its possible influence on sport performance. Animal., **7**, 2044-2053.

BAGSHAW CS, RALSTON SL, FISHER H. (1994). Behavioural and physiological effects of orally administered tryptophan on horses subjected to acute isolation stress. Appl. Anim. Behav. Sci., **40**, 1-12.

CHRISTENSEN JW, BEEKMANS M, VAN DALUM M, VANDIERENDONCK M. (2014). Effects of hyperflexion on acute stress responses in ridden dressage horses. Physiol. Behav., **128**, 39-45.

CHOI J, GUTIERRIEZ-OSUNA R. (2009). Using heart rate monitors to detect mental stress. Body Sensor Networks., **13**, 219-223.

COENEN M. (2005). Exercise and stress : impact on adaptative processes involving water and electrolytes. Livestock Prod. Sci., **92**, 131-145.

GODYN D, HERBUT E, WALCZAK E. (2013). Infrared thermography as a method for evaluating the welfare of animals subjected to invasive procedures- a review. Ann. Anim. Sci. 2013, **13**, 423-434.

JECHOUX A. (2004). Comportement du cheval de courses de trot attelé – Etablissement de scores de stress et d'anxiété. Thèse Méd. Vét., Toulouse.

HALL C, KAY R, YARNELL K. (2013). Assessing ridden horse behavior : Professional judgment and physiological measures. J. Vet. Behav., **9**, 22-29.

HAUSBERGER M, GAUTIER E, BIQUAND V, LUNEL C, JÉGO P. Could work be a source of behavioural disorders? A study in horses. Plos One. 2009, **4**.

High Sensitivity. Salivary cortisol. Enzyme Immunoassay kit. (2013). [PDF]. State College (USA), Salimetrics LLC (Updated November 11, 2013). <http://www.salimetrics.com/assets/documents/1-3102.pdf>

HUGHES T, CREIGHTON E and COLEMAN R. (2006). *Validation of Salivary Cortisol as an indicator of HPA activity in Horses. In : Proceedings of the 41st International Congress of the ISAE, Merida, Mexico.*

KURAOKA K, NAKAMURA K. (2011). The use of nasal skin temperature measurements in studying emotions in macaque monkeys. Physiol. Behav., **102**, 347-355.

- LANSADE L, BOUISSOU MF, ERHARD HW. Fearfulness in horses : A temperament trait stable across time and situations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2008, **115**, 182-200.
- LEBLANC MA, BOUISSOU MF, CHEHU F. (2004). *Cheval, qui est tu ?* Belin, 365p.
- LUDWIG N, GARGANO M, LUZI F et al. (2007). Technical note : applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbit. *Word Rabbit Sci.*, **15**, 199-206.
- McCAFFERTY D. (2013). Application of thermal imaging in avian science. *Ibis.*, **155**, 4-15.
- McCAFFERTY D. (2007). The value of infrared thermography for research on mammals : previous applications and future directions. *Mammal rev.*, **37**, 207-223.
- McGREEVY P, WARREN-SMITH A, GUISARD Y. (2012). The effect of double bridles and jaw-clamping crank nosebands on temperature of eyes and facial skin of horses. *J. Vet. Behav.*, **7**, 142-148.
- MORMÈDE P, ANDANSON S, AUPÉRIN B, BEERDA B, GUÉMÉNÉ D, MALMKVIST J et al. (2007). Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiol. Behav.*, **92**, 317-339.
- NAKANISHI R, IMAI-MATSUMURA K. (2008). Facial skin temperature decreases in infants with joyful expression. *Infant Behav. Dev.*, **37**, 137-144.
- PEETERS M. (2011). Evaluation du niveau de stress du cheval en compétition et en milieu hospitalier – mesures comportementales, physiologiques et appréciation du tempérament. Thèse Méd. Sci., Liège.
- PROCTOR G, CARPENTER G. (2007). Regulation of salivary gland function by autonomic nerves. *Autonom. Neurosci.*, **133**, 3-18.
- RAINWATER-LOVET K, PACHECO JM, PACKER C et al. (2009). Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *The Vet. J.*, **180**, 317-324.
- RANDALL D, BURGGREN W, FRENCH K et al. (1997). *Eckert Animal Physiology : Mechanisms and Adaptations*. 4th ed. WH Freeman and Company, 727 p.
- REECE W. (2009). *Functional Anatomy and Physiology of Domestic Animals*. 4th ed. Willey-Blackwell, 592p.
- ROBERTSHAW D, TAYLOR CR. (1969). Sweat gland function of the donkey (*equus acinus*). *J. Physiol.*, **205**, 79-89.
- SELYE H. (1978). *The stress of life*. Revised ed. Paperback edition, 515p.
- SCOLARI SC. (2010). Investigation of skin temperature differentials in relation to estrus and ovulation in sows using a thermal infrared scanning technique. Thèse Méd. Vet., Urbana-Champaign (Illinois, USA).

STEWART M. (2008). Non-invasive measurement of stress and pain in cattle using infrared thermography. Thèse de Doctorat en Philosophie des Sciences Animales, Massey University (New Zealand).

STEWART M, WEBSTER JR, VERKERKS GA, SCHAEFER AL, COLYN JJ, STAFFORD KJ. (2007). Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol. Behav.*, **92**, 520-525.

STEWART M, WEBSTER JR, STAFFORD KJ, SCHAEFER AL, VERKERKS GA. (2010). Technical note : Effects on an epinephrine infusion on eye temperature and heart rate variability in bull calves. *J. Dairy Sci.*, **93**, 5252-5257.

VALENCHON M, LÉVY F, PRUNIER A, MOUSSU C, CALENDREAU L, LANSADE L. (2013). Stress Modulates Instrumental Learning Performances in horses (*Equus Caballus*) in interaction with temperament. *Plos One.*, **8**, e62324.

VALERA M, BARTOLOMÉ E, SÁNCHEZ MJ, MOLINA A, COOK N, SCHAEFER AL. (2012). Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J. Equine Vet. Sci.*, **32**, 827-830.

VEISSIER I, BOISSY A. (2007). Stress and welfare : two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiol. Behav.*, **92**, 429-433.

WAGNER AE. (2010). Effects of stress on pain in horses and incorporating pain scales in equine practice. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, **26**, 481-492.

YOUNG T, CREIGHTON E, SMITH T, HOSIE C. (2012). A novel scale of behavioural indicators of stress for use with domestic horses. *Appl. Anim. Behav.*, **140**, 33-43.

ANNEXES

Annexe 1 : Grille de notation des indices physiologiques et comportementaux

INDICES	Note	Explication
APPUI	3	Cheval en appui sur 3 de ses membres avec un postérieur fléchi
	4	Cheval en appui sur ses 4 membres de manière uniforme
	T	Cheval qui a une activité locomotrice importante au box
TENSION BINAIRE	0	Cheval sans aucune tension perçue
	1	Cheval avec une tension perceptible même minime
TENSION SCORE	0	Cheval sans aucune tension perçue
	0,5	Cheval avec une tension perceptible minime
	1	Cheval avec une tension perceptible discrète
	1,5	Cheval avec une tension perceptible moyenne
	2	Cheval avec une forte tension perceptible
ENCOLURE	B	Cheval présentant une encolure basse (base de l'encolure sous le garrot)
	H	Cheval présentant une encolure haute (base de l'encolure supérieure à la hauteur du garrot)
SOUFFLE	0	Cheval ne présentant pas de soufflement pendant la prise des mesures
	1	Cheval présentant de soufflement pendant la prise des mesures
POSITION OREILLE	0	Oreille en position arrière
	1	Oreille en position intermédiaire
	2	Oreille vers l'avant
MOUVEMENT OREILLE	0	Oreille immobile lors de la prise de mesure
	1	Oreille en mouvement lors de la prise de mesure
OREILLE BINAIRE	0	Oreille en position arrière et sans mouvement
	1	Oreille dans une autre position

INDICES	Note	Explication
OREILLE SCORE	0	Oreille en score 0-2
	1	Oreille en Score 0-1
	2	Oreille en score 0-0
	3	Oreille en score 1-2
	5	Oreille en score 1-1
ŒIL	0	Paupière peu ouverte
	1	Paupière très ouverte
MACHONNEMENT BINAIRE	0	Absence de mâchonnement du mord lors de la prise de mesure
	1	Présence de mâchonnement du mord lors de la prise de mesure
MACHONNEMENT	0	Absence de mâchonnement du mord lors de la prise de mesure
	1	Présence de quelques séquences de mâchonnement du mord lors de la prise de mesure
	2	Présence de séquence en continue de mâchonnement au cours de la prise de mesure
SUDATION	0	Absence de plage de sudation
	1	Présence de plage de sudation sur l'encolure
	2	Présence de plage de sudation sur l'encolure et ailleurs
SALIVATION	0	Absence de trace de salivation sur la commissure des lèvres
	0,5	Présence d'une petite quantité de salive sur la commissure des lèvres à peine visible
	1	Présence d'un liseret de salive sur la commissure des lèvres
	2	Présence d'une grande quantité de salive sur la commissure des lèvres
SUDATION BINAIRE	0	Absence de plage de sudation
	1	Présence de plage de sudation
SALIVATION SIMPLIFIEE	0	Absence de trace de salivation sur la commissure des lèvres ou toute petite trace
	1	Présence d'une petite quantité de salive sur la commissure des lèvres à peine visible
	2	Présence d'une grande quantité de salive sur la commissure des lèvres

Annexe 2 : Valeurs des moyennes individuelles de fréquences cardiaques FC (battements/min) et de température interne Tint (°C) relevées avant l'exercice (1), juste après l'exercice (2) et après l'exercice (3) et des différents deltas. D/ND : Chevaux détendus / non détendus. E/S : entraînement/spectacle.

Nom cheval	E/S	D/ ND	FC ₁	Tint ₁	FC ₂	Tint ₂	FC ₃	Tint ₃	Δ _{FC2-1}	Δ _{FC3-2}	Δ _{FC3-1}	Δ _{Tint2-1}	Δ _{Tint3-2}	Δ _{Tint3-1}
DEUX	E	ND	36	37,5	50,4	38,2	38,4	37,8	14,4	-12,0	2,4	0,7	-0,3	0,4
INTREPIDE	E	ND	37,3	37,3	45,3	38,1	40,7	37,6	8,0	-4,7	3,3	0,9	-0,5	0,4
NERVEUX	E	ND	42,7	37,6	60,7	38,4	44,7	38,1	18,0	-16,0	2,0	0,8	-0,3	0,5
OUEST	E	ND	38	37,4	50	38	42	37,8	12,0	-8,0	4,0	0,6	-0,2	0,4
TROIS	E	ND	31,2	37,3	46,4	38	34,4	37,7	15,2	-12,0	3,2	0,7	-0,4	0,3
UN	E	ND	32,5	37,4	45,8	38	35,1	37,9	13,3	-10,7	2,6	0,6	-0,1	0,5
BALESTRA	E	D	29,5	37,7	47,1	38,1	36	37,8	17,6	-11,1	6,5	0,4	-0,3	0,1
CHAGALL	E	D	34	37,4	50,8	37,7	41	37,5	16,8	-9,8	7,0	0,3	-0,2	0,2
PASSA	E	D	34,5	37,5	49,7	38,3	39,4	37,8	15,2	-10,3	4,9	0,8	-0,4	0,4
QUILATE	E	D	28	37,5	44	38,2	33,7	38	16,0	-10,3	5,7	0,7	-0,3	0,5
RAJO	E	D	28,9	37,3	37,1	37,9	30,9	37,6	8,3	-6,3	2,0	0,6	-0,3	0,3
TINGUELY	E	D	30,2	37,5	44,4	38,1	35,1	38	14,2	-9,3	4,9	0,6	-0,1	0,4
UN	E	D	34	37,5	45	38,1	31	37,6	11,0	-14,0	-3,0	0,7	-0,6	0,1
DEUX	S	ND	37,3	37,5	55,3	38,1	41,3	37,8	18,0	-14,0	4,0	0,7	-0,4	0,3
INTREPIDE	S	ND	41	37,5	54,5	38,1	44,3	37,7	13,5	-10,3	3,3	0,6	-0,3	0,3
NERVEUX	S	ND	45,8	37,8	76,2	38,2	49,3	38,2	30,4	-26,9	3,6	0,5	-0,1	0,4
OUEST	S	ND	42	37,7	56,3	38,1	43,3	37,9	14,3	-13,0	1,3	0,4	-0,2	0,2
TROIS	S	ND	36,4	37,4	53,8	38,2	42,7	37,9	17,3	-11,1	6,2	0,7	-0,3	0,5
UN	S	ND	32	37,7	54,7	38	37,3	37,9	22,7	-17,3	5,3	0,3	-0,1	0,2
BALESTRA	S	D	34,8	37,8	44,4	38	36	37,8	9,6	-8,4	1,2	0,2	-0,2	0,0
CHAGALL	S	D	35,6	37,7	51,1	38	40,9	37,5	15,6	-10,2	5,3	0,3	-0,5	-0,2
PASSA	S	D	34,9	37,8	50,9	38,3	38,9	38	16,0	-12,0	4,0	0,5	-0,3	0,2
QUILATE	S	D	33,5	37,8	50,2	38,2	38,7	38	16,7	-11,6	5,2	0,5	-0,3	0,2
RAJO	S	D	33,1	37,5	40	37,8	30,3	37,7	6,9	-9,7	-2,9	0,3	-0,1	0,2

Annexe 2 – Suite

Nom cheval	E/S	D/ ND	FC ₁	Tint ₁	FC ₂	Tint ₂	FC ₃	Tint ₃	Δ_{FC2-1}	Δ_{FC3-2}	Δ_{FC3-1}	$\Delta_{Tint2-1}$	$\Delta_{Tint3-2}$	$\Delta_{Tint3-1}$
TINGUELY	S	D	33,1	37,8	51,6	37,9	40,9	37,8	18,4	-10,7	7,8	0,0	0,0	0,0
UN	S	D	32	37,5	50	38	36	37,8	18,0	-14,0	4,0	0,5	-0,2	0,3
Moyennes	E	ND	36,3	37,4	49,8	38,1	39,2	37,8	13,5	-10,6	2,9	0,7	-0,3	0,4
	E	D	31,3	37,5	45,4	38,1	35,3	37,8	14,2	-10,2	4,0	0,6	-0,3	0,3
	E	ND +D	33,6	37,5	47,4	38,1	37,1	37,8	13,8	-10,3	3,5	0,6	-0,3	0,3
	S	ND	39,1	37,6	58,5	38,1	43,0	37,9	19,4	-15,4	3,9	0,5	-0,2	0,3
	S	D	33,9	37,7	48,3	38,0	37,4	37,8	14,5	-10,9	3,5	0,3	-0,2	0,1
	S	ND +D	36,3	37,7	53,0	38,1	40,0	37,8	16,7	-13,0	3,7	0,4	-0,2	0,2
Ecart types	E	ND	4,1	0,1	5,8	0,2	4,0	0,2	3,4	3,9	0,7	0,1	0,1	0,1
	E	D	2,8	0,1	4,5	0,2	3,9	0,2	3,4	2,3	3,5	0,2	0,2	0,2
	E	ND +D	4,2	0,1	5,4	0,2	4,3	0,2	3,2	3,0	2,6	0,2	0,1	0,1
	S	ND	4,9	0,2	8,7	0,1	3,9	0,2	6,3	6,1	1,7	0,2	0,1	0,1
	S	D	1,3	0,1	4,4	0,2	3,7	0,2	4,4	1,8	3,4	0,2	0,1	0,2
	S	ND +D	4,2	0,2	8,3	0,1	4,7	0,2	5,7	4,8	2,7	0,2	0,1	0,2
Moyennes	E	ND +D	FC	39,4	Tint	37,8								
1+2+3	S	ND +D	FC	43,1	Tint	37,9								
Ecart types	E	ND +D	FC	7,5	Tint	0,3								
1+2+3	S	ND +D	FC	9,3	Tint	0,2								

Annexe 3 : Moyennes individuelles de concentration en cortisol salivaire (C° en nmol/L) et des deltas associés (Δ) et leurs écarts types (σ) pour l'entraînement (E) et le spectacle (S). D/ND : Chevaux détendus / non détendus. 1 : Avant le spectacle, 2 : Juste après le spectacle, 3 : Après le spectacle.

Entrainement							Spectacle							
Nom	Moy / σ	ND/D	C° ₁	C° ₂	C° ₃	$\Delta_{C^{\circ}2-1}$	$\Delta_{C^{\circ}3-2}$	$\Delta_{C^{\circ}3-1}$	C° ₁	C° ₂	C° ₃	$\Delta_{C^{\circ}2-1}$	$\Delta_{C^{\circ}3-2}$	$\Delta_{C^{\circ}3-1}$
Arlequin	Moy	D	2,47	2,41	2,50	-0,06	0,09	0,03	2,44	2,76	2,32	0,32	-0,44	-0,12
	σ	D	0,49	0,98	1,08				0,71	0,03	0,83			
Balestra	Moy	D	1,75	1,23	1,36	-0,52	0,13	-0,39	2,03	1,76	1,65	-0,27	-0,11	-0,39
	σ	D	0,60	0,21	0,25				0,21	0,40	0,29			
Chagall	Moy	D	2,43	1,67	2,48	-0,76	0,81	0,05	2,33	2,41	1,39	0,08	-1,02	-0,94
	σ	D	0,97	0,42	0,67				1,12	0,53	0,49			
Intrépide	Moy	ND	1,78	2,05	1,57	0,27	-0,48	-0,21	1,60	1,91	1,80	0,30	-0,11	0,20
	σ	ND	0,37	0,76					0,88	0,40	0,88			
Nerveux	Moy	ND	1,62	2,12	2,27	0,49	0,15	0,64	2,30	2,16	1,69	-0,15	-0,47	-0,61
	σ	ND	0,35	1,60	0,17				0,20	0,64	0,52			
Passa	Moy	D	2,34	2,27	1,67	-0,07	-0,60	-0,66	1,26	2,05	1,57	0,78	-0,47	0,31
	σ	D		0,76	0,57				0,50	0,20	0,38			
Quilate	Moy	D	3,81	4,45	2,66	0,64	-1,79	-1,15	0,88	1,61	2,74	0,72	1,13	1,85
	σ	D	2,74	3,49	0,40					0,65	0,36			
Rejeneo	Moy	D	2,20	1,90	1,44	-0,30	-0,46	-0,76	1,91	1,73	1,03	-0,18	-0,70	-0,88
	σ	D	1,24	0,26	0,41				0,43	0,31	0,43			
Tinguely	Moy	D	2,15	1,70	2,03	-0,45	0,33	-0,12	2,13	2,10	1,70	-0,03	-0,40	-0,43
	σ	D	1,60	0,13	0,13				0,87	0,70	0,70			
Treize	Moy	ND	1,31	2,64	1,16	1,33	-1,48	-0,15	2,23	1,92	1,78	-0,31	-0,14	-0,45
	σ	ND	0,95						0,30	0,47	0,35			
Ensemble	Moy tot		2,19	2,24	1,91	0,06	-0,33	-0,27	1,91	2,04	1,77	0,13	-0,27	-0,15
	σ		0,69	0,87	0,54	0,64	0,81	0,50	0,51	0,34	0,47	0,39	0,57	0,81
Chevaux détendus	Moy	D	2,45	2,23	2,02	-0,22	-0,21	-0,43	1,86	2,06	1,77	0,20	-0,29	-0,08
	σ	D	0,64	1,05	0,54	0,45	0,84	0,45	0,57	0,41	0,58	0,42	0,69	0,96
Chevaux non détendus	Moy	ND	1,57	2,27	1,67	0,70	-0,60	0,10	2,05	2,00	1,76	-0,05	-0,24	-0,29
	σ	ND	0,24	0,33	0,56	0,56	0,82	0,47	0,38	0,14	0,06	0,32	0,20	0,43

Annexe 4 : Moyennes individuelles, deltas (Δ) et écarts-types associés (σ) des températures oculaires pour l'entraînement (E) et le spectacle (S). D/ND : Chevaux détendus / non détendus. 1 : Avant le spectacle, 2 : Juste après le spectacle, 3 : Après le spectacle.

NOM	E/S	T	Moy _{Toc1}	σ_{Toc1}	Moy _{Toc2}	σ_{Toc2}	Moy _{Toc3}	σ_{Toc3}	Δ_{Toc2-1}	σ_{Toc2-1}	Δ_{Toc3-2}	σ_{Toc3-2}	Δ_{Toc3-1}	σ_{Toc3-1}
Balestra	E	Tmax	33,9	1,0	34,0	1,3	34,0	1,1	-0,2	1,1	0,1	1,0	0,1	1,2
	E	Tmoy	32,5	1,1	32,7	1,5	32,7	1,3	-0,2	1,2	0,0	1,0	0,2	1,3
	E	Tmin	30,7	0,8	30,9	1,9	30,5	2,1	-0,2	1,5	0,4	2,2	-0,2	1,9
Tinguely	E	Tmax	33,2	1,3	33,7	1,0	33,7	1,2	-0,3	0,8	-0,3	1,1	0,9	1,3
	E	Tmoy	31,7	1,6	32,3	1,1	32,5	1,1	-0,3	0,9	-0,7	1,2	1,2	1,3
	E	Tmin	29,9	2,6	30,3	1,7	30,5	1,4	-0,3	2,2	-0,8	1,3	1,3	2,8
Arlequin	E	Tmax	33,6	0,7	33,9	0,7	33,7	0,9	-0,3	1,0	0,2	1,4	0,1	1,3
	E	Tmoy	32,0	0,9	32,2	0,8	32,0	0,9	-0,2	0,8	0,3	1,4	-0,1	1,3
	E	Tmin	29,4	1,4	29,1	1,3	29,2	1,4	0,2	1,8	-0,4	1,9	-0,2	1,6
Chagall	E	Tmax	33,8	0,7	33,4	0,5	34,3	1,3	0,3	0,7	-1,0	0,9	0,3	0,6
	E	Tmoy	32,2	0,7	31,7	0,8	32,8	1,6	0,5	0,9	-1,5	1,2	0,6	0,9
	E	Tmin	29,8	0,8	28,9	1,6	29,2	4,0	0,9	1,3	-0,9	3,1	-0,5	4,0
Curieux	E	Tmax	34,8		34,4		35,6		0,4		-1,2		0,7	
	E	Tmoy	33,8		33,5		34,4		0,3		-0,9		0,6	
	E	Tmin	31,6		32,1		32,9		-0,5		-0,9		1,4	
Deux	E	Tmax	33,0	0,6	33,7	0,4	34,1	0,6	-0,6	0,6	-0,4	0,3	1,1	0,8
	E	Tmoy	31,9	0,7	32,4	0,5	33,0	0,6	-0,7	0,7	-0,5	0,5	1,3	0,5
	E	Tmin	29,5	1,9	27,4	2,4	31,4	0,9	1,6	4,1	-3,2	2,9	2,4	2,0
Intrépide	E	Tmax	33,3	0,3	34,5	0,7	34,6	0,8	-1,1	0,6	-0,1	0,9	1,3	0,8
	E	Tmoy	32,1	0,4	33,3	0,9	33,4	0,7	-1,2	0,7	-0,1	0,9	1,3	0,6
	E	Tmin	28,5	2,0	30,5	2,1	28,9	5,3	-2,0	1,1	1,6	2,9	0,4	3,8
Nerveux	E	Tmax	34,3	1,1	35,1	0,9	35,2	0,8	-0,8	0,8	-0,1	0,5	0,9	0,4
	E	Tmoy	33,1	1,3	33,7	1,4	34,1	0,8	-0,5	0,6	-0,5	0,9	1,0	0,6
	E	Tmin	31,0	2,3	29,2	3,9	32,8	0,8	-0,2	1,8	-0,8	1,4	1,9	1,5
Ouest	E	Tmax	33,2	0,7	34,7	2,0	33,9	0,7	-1,5	1,3	0,8	1,3	0,7	0,0
	E	Tmoy	31,7	1,1	33,4	2,2	32,4	0,8	-1,7	1,1	1,0	1,5	0,8	0,4
	E	Tmin	27,5	3,1	29,0	4,0	29,0	0,3	-1,5	0,9	0,0	3,7	1,6	2,8
Passa	E	Tmax	33,2	0,9	33,3	0,5	33,9	0,5	-0,2	0,6	-0,5	0,7	0,7	1,3
	E	Tmoy	31,8	1,1	32,1	0,7	32,9	0,7	-0,3	1,0	-0,7	0,8	1,1	1,7
	E	Tmin	29,9	1,4	30,3	0,7	31,3	1,0	-0,4	1,4	-0,9	1,1	1,4	2,4
Quilate	E	Tmax	33,7	1,0	33,5	0,7	33,8	0,4	0,2	0,9	-0,3	1,0	0,1	1,1
	E	Tmoy	32,8	1,0	32,4	0,7	32,6	0,3	0,5	1,2	-0,1	0,8	-0,2	0,9
	E	Tmin	31,6	1,1	29,8	2,4	30,6	0,9	1,9	3,4	-1,2	2,6	-0,9	1,1
Rejeneo	E	Tmax	33,1	1,2	34,1	0,7	34,0	0,8	-1,0	1,1	-0,2	0,6	1,0	0,9
	E	Tmoy	31,8	1,3	33,0	0,8	32,8	1,0	-1,1	1,1	-0,1	0,6	1,0	0,8
	E	Tmin	29,3	3,7	30,3	2,9	30,4	1,8	-1,3	4,4	-0,3	3,0	1,1	2,5
Trois	E	Tmax	34,3	0,9	34,1	0,7	34,4	0,4	0,1	2,1	-0,3	0,4	0,1	1,7
	E	Tmoy	33,1	0,9	32,3	0,1	33,1	0,2	0,7	1,1	-0,8	0,3	0,2	1,4
	E	Tmin	31,2	0,7	30,8	0,1	31,4	0,0	-0,1	0,1	-0,6	0,1	0,6	0,2

Annexe 4 – Suite

NOM	E/S	T	Moy _{Toc1}	σ_{Toc1}	Moy _{Toc2}	σ_{Toc2}	Moy _{Toc3}	σ_{Toc3}	Δ_{Toc2-1}	σ_{Toc2-1}	Δ_{Toc3-2}	σ_{Toc3-2}	Δ_{Toc3-1}	σ_{Toc3-1}
Ensemble	E	Tmax	33,6	0,6	34,0	0,5	34,2	0,6	-0,4	0,6	-0,3	0,5	0,6	0,4
	E	Tmoy	32,4	0,7	32,7	0,6	33,0	0,7	-0,3	0,7	-0,4	0,6	0,7	0,5
	E	Tmin	30,0	1,2	29,9	1,2	30,6	0,7	-0,1	1,1	-0,6	1,1	0,8	1,0
Balestra	S	Tmax	34,8	0,9	35,5	0,5	35,5	0,8	0,7	0,7	0,0	0,7	0,7	1,0
	S	Tmoy	33,4	0,8	34,3	0,5	34,2	0,8	0,8	0,8	0,0	0,8	0,8	1,0
	S	Tmin	31,8	1,3	31,9	2,1	32,7	1,1	0,1	1,6	0,8	1,8	0,9	1,7
Tinguely	S	Tmax	34,8	1,3	35,1	0,7	35,0	1,0	0,3	0,9	-0,1	0,7	0,2	0,9
	S	Tmoy	33,5	1,2	33,8	0,7	33,9	1,0	0,3	0,8	0,1	0,8	0,4	0,8
	S	Tmin	31,2	2,3	31,6	1,3	32,2	1,5	0,4	2,1	0,6	1,5	1,0	1,6
Arlequ'un	S	Tmax	34,9	0,9	35,6	0,5	35,0	1,0	0,7	1,6	-0,6	0,8	0,1	1,5
	S	Tmoy	33,4	0,7	33,9	0,5	33,6	0,9	0,1	1,8	-0,3	0,9	0,1	1,4
	S	Tmin	31,2	1,1	30,3	1,4	31,0	1,5	-1,0	1,6	0,5	1,3	-0,4	1,3
Chagall	S	Tmax	34,8	0,6	35,0	0,7	35,0	0,9	0,3	0,7	0,0	1,0	0,2	1,1
	S	Tmoy	33,4	0,8	33,6	0,8	33,8	1,0	0,4	1,0	-3,6	11,5	-3,4	11,5
	S	Tmin	31,2	1,5	31,5	0,9	31,3	2,3	0,6	1,8	-3,8	11,0	-3,6	11,0
Curieux	S	Tmax	35,3	0,2	35,8	0,5	35,6	0,4	0,5	0,3	-0,2	0,1	0,4	0,2
	S	Tmoy	34,3	0,5	34,5	0,4	34,6	0,5	0,2	0,0	0,2	0,1	0,4	0,0
	S	Tmin	32,4	1,6	32,3	0,9	33,0	0,8	-0,1	0,7	0,7	0,1	0,6	0,7
Deux	S	Tmax	35,8	0,4	35,2	0,6	35,2	0,6	-0,6	0,8	-0,1	0,9	-0,7	0,3
	S	Tmoy	34,7	0,3	34,1	0,7	34,2	0,5	-0,6	0,8	0,1	0,9	-0,5	0,3
	S	Tmin	32,1	0,8	32,4	0,9	31,8	1,0	0,2	0,8	-0,5	0,5	-0,3	1,2
Intrepide	S	Tmax	35,0	0,7	35,6	0,6	35,5	0,8	0,6	0,8	-0,1	1,0	0,5	1,4
	S	Tmoy	33,9	0,6	34,4	0,7	34,4	0,7	0,5	0,8	0,0	0,9	0,5	1,2
	S	Tmin	31,7	1,5	32,1	1,2	32,5	1,8	0,5	0,7	0,4	2,4	0,8	2,6
Nerveux	S	Tmax	35,2	1,1	35,0	1,0	35,5	1,0	-0,2	1,2	0,5	1,4	0,3	1,3
	S	Tmoy	33,9	1,1	33,6	1,0	34,2	0,9	-0,3	1,2	0,6	1,4	0,3	1,2
	S	Tmin	32,1	1,0	31,5	1,3	32,1	0,9	-0,7	1,2	0,7	1,1	0,0	1,3
Ouest	S	Tmax	35,7	0,6	35,4	0,2	35,4	0,8	-0,3	0,5	0,0	0,6	-0,3	0,2
	S	Tmoy	34,4	0,6	34,1	0,2	34,1	0,8	-0,3	0,8	0,0	0,8	-0,3	0,2
	S	Tmin	32,7	0,8	31,9	0,5	31,8	1,7	-8,7	16,7	-0,4	1,9	-0,9	1,6
Passa	S	Tmax	34,9	0,9	34,8	0,7	34,8	1,0	0,0	0,8	0,0	0,9	0,0	1,4
	S	Tmoy	33,7	0,8	33,7	0,8	33,8	1,1	0,2	0,7	0,1	1,1	0,2	1,5
	S	Tmin	31,8	1,1	32,1	0,8	31,4	2,0	0,4	1,2	-0,7	2,4	-0,4	2,3
Quilate	S	Tmax	35,1	1,2	35,4	0,7	34,8	0,8	0,3	1,3	-0,5	0,9	-0,2	1,5
	S	Tmoy	33,9	1,0	34,0	0,8	33,6	0,9	0,1	1,2	-0,3	0,9	-0,2	1,4
	S	Tmin	32,3	1,0	31,8	1,6	31,1	2,7	-0,5	1,9	-1,1	2,0	-1,3	2,4
Rejeneo	S	Tmax	35,1	1,1	35,4	0,5	35,2	0,9	0,3	1,0	0,0	0,5	0,5	1,5
	S	Tmoy	34,1	1,0	34,1	0,5	34,1	0,8	0,1	1,0	0,1	0,5	0,4	1,4
	S	Tmin	32,6	1,5	32,4	1,1	32,8	0,9	-0,2	1,4	0,9	1,2	0,6	2,2
Trois	S	Tmax	34,7	0,9	34,5	0,8	34,9	1,2	-0,3	1,3	0,5	1,4	0,2	1,4
	S	Tmoy	33,5	0,9	33,2	1,0	33,6	1,5	-0,3	1,2	0,4	1,6	0,1	1,6
	S	Tmin	31,2	1,6	30,3	2,8	30,9	2,4	-0,9	2,9	0,6	3,1	-0,3	2,2
Ensemble	S	Tmax	35,1	0,3	35,2	0,4	35,2	0,3	0,2	0,4	0,0	0,3	0,2	0,4
	S	Tmoy	33,9	0,4	33,9	0,3	34,0	0,3	0,1	0,4	-0,2	1,1	-0,1	1,1
	S	Tmin	31,9	0,6	31,7	0,7	31,9	0,3	-0,8	2,4	-0,1	1,3	-0,3	1,2

Annexe 5 : Moyennes individuelles, deltas (Δ) et écarts-types associés (σ) des températures nasales pour l'entraînement (E) et le spectacle (S). D/ND : Chevaux détendus / non détendus. 1 : Avant le spectacle, 2 : Juste après le spectacle, 3 : Après le spectacle.

NOM	E/ S	T	Moy _{Tnas1}	σ_{Tnas1}	Moy _{Tnas2}	σ_{Tnas2}	Moy _{Tnas3}	σ_{Tnas3}	$\Delta_{Tnas2-1}$	$\sigma_{Tnas2-1}$	$\Delta_{Tnas3-2}$	$\sigma_{Tnas3-2}$	$\Delta_{Tnas3-1}$	$\sigma_{Tnas3-1}$
Balestra	E	Tmax	32,0	1,7	33,7	0,9	33,0	1,6	1,5	1,6	-0,4	1,3	1,2	2,3
	E	Tmoy	30,5	2,0	32,6	1,0	31,9	1,6	1,8	1,8	-0,6	1,3	1,5	2,5
	E	Tmin	28,3	2,9	30,9	2,3	30,6	1,1	2,0	3,0	-0,1	2,1	2,3	3,0
Chagall	E	Tmax	31,8	1,0	31,3	0,5	33,7	1,8	-0,8	1,4	3,4		1,9	0,7
	E	Tmoy	29,8	1,0	30,3	0,8	32,6	2,2	0,3	1,9	3,7		3,0	1,4
	E	Tmin	27,7	1,3	28,8	1,8	30,8	3,7	0,8	3,2	4,2		3,5	3,0
Curieux	E	Tmax			33,1		33,8				0,7			
	E	Tmoy			32,6		33,2				0,6			
	E	Tmin			32,2		32,8				0,6			
Deux	E	Tmax	29,8	2,0	32,8	0,9	31,2	1,1	3,8	1,1	-0,7	1,3	2,4	1,4
	E	Tmoy	28,1	1,8	31,1	1,5	28,6	0,7	3,6	2,3	-2,1	0,9	1,3	1,1
	E	Tmin	26,3	2,0	28,1	3,6	26,4	1,8	2,1	5,9	-1,7	4,2	0,6	1,2
Intrépide	E	Tmax	30,4	0,6	33,1	1,2	34,2	1,3	2,7	2,2	0,7	2,8	3,7	0,7
	E	Tmoy	29,0	0,9	32,1	0,9	33,1	1,5	3,1	1,6	0,6	2,2	4,0	0,6
	E	Tmin	27,1	1,0	29,8	1,7	31,0	3,5	2,3	2,8	0,7	5,7	3,8	2,5
Nerveux	E	Tmax	32,5	1,9	33,3	3,1	34,4	1,0	1,5	1,0	0,7	2,0	1,9	0,9
	E	Tmoy	31,6	1,8	31,7	3,7	33,5	1,3	0,8	1,8	1,4	2,1	1,8	0,6
	E	Tmin	30,7	1,6	29,2	3,9	32,0	2,5	-0,7	2,7	2,1	0,8	1,3	1,3
Ouest	E	Tmax	29,8	2,0	34,6	2,4	32,9	0,2	4,8	0,4	-1,6	2,3	3,2	1,8
	E	Tmoy	28,6	2,5	33,3	2,6	31,2	1,6	4,7	0,1	-2,1	0,9	2,6	0,9
	E	Tmin	27,2	2,6	30,5	4,2	28,2	4,6	3,3	1,6	-2,4	0,4	1,0	1,9
Passa	E	Tmax	31,6	1,8	31,1	0,9	32,1	1,1	-0,5	1,3	0,9	1,4	-0,2	1,7
	E	Tmoy	30,5	2,3	29,6	1,3	31,3	0,9	-0,8	1,4	1,5	1,6	0,1	1,9
	E	Tmin	29,2	2,6	27,2	1,9	30,4	0,9	-2,0	2,2	2,5	2,0	0,5	2,4
Quilate	E	Tmax	31,6	1,3	32,5	0,9	32,2	0,9	1,0	1,1	-0,3	1,8	0,6	2,0
	E	Tmoy	30,6	1,5	31,5	0,3	31,0	1,0	0,9	1,8	-0,5	1,1	0,3	2,3
	E	Tmin	28,4	2,9	29,4	1,8	27,6	2,7	0,8	3,5	-1,9	1,6	-1,1	2,6
Rejeneo	E	Tmax	29,9	2,0	33,0	1,3	31,7	2,0	3,1	1,7	-1,3	2,3	1,8	2,2
	E	Tmoy	28,6	2,3	31,6	1,2	30,3	2,6	3,0	2,1	-1,3	2,8	1,7	2,5
	E	Tmin	27,2	2,6	28,9	0,9	28,3	3,0	1,7	2,4	-0,7	3,6	1,0	2,8
Tinguely	E	Tmax	31,1	2,3	32,3	0,9	31,4	1,6	1,8	3,1	-0,3		0,8	2,0
	E	Tmoy	30,1	2,4	31,3	0,4	30,4	1,8	1,4	3,9	-0,5		0,9	1,9
	E	Tmin	28,3	2,9	30,1	0,8	28,9	2,2	2,0	5,1	-2,7		1,4	1,5
Trois	E	Tmax	32,5	1,2	30,0	2,0	33,3	2,9	-2,2	0,5	3,3	4,9	1,1	4,4
	E	Tmoy	30,4	2,4	27,8	2,5	32,1	3,1	-1,7	0,1	4,4	5,6	2,6	5,7
	E	Tmin	27,8	4,3	25,5	1,6	30,9	2,9	-0,7	2,9	5,4	4,5	4,7	7,4
Arlequ'un	E	Tmax	30,6	2,5	33,3	1,3	31,9	2,1	2,8	2,1	-1,2	3,0	1,5	4,5
	E	Tmoy	28,6	3,3	32,2	1,5	30,8	2,3	3,6	2,8	-1,4	3,3	2,2	5,5
	E	Tmin	27,5	3,1	30,4	1,8	29,1	2,6	3,1	3,1	-1,4	3,6	0,5	4,8
Ensemble	E	Tmax	31,1	1,0	32,6	1,2	32,8	1,1	1,6	2,0	-0,3	1,6	1,7	1,1
	E	Tmoy	29,7	1,1	31,4	1,5	31,5	1,4	1,7	2,0	-0,3	2,0	1,8	1,1
	E	Tmin	28,0	1,1	29,3	1,7	29,8	1,4	1,2	1,6	-0,4	2,6	1,6	1,7

Annexe 5 – Suite

NOM	E/ S	T	Moy _{Tnas1}	σ_{Tnas1}	Moy _{Tnas2}	σ_{Tnas2}	Moy _{Tnas3}	σ_{Tnas3}	Δ_{Tnas} 2-1	σ_{Tnas} 2-1	Δ_{Tnas} 3-2	σ_{Tnas} 3-2	Δ_{Tnas} 3-1	σ_{Tnas} 3-1
Balestra	S	Tmax	34,3	1,2	33,5	0,9	33,6	0,9	-1,0	1,1	0,2	1,2	-0,8	1,3
	S	Tmoy	33,1	1,3	32,5	1,0	32,6	0,9	-0,7	1,4	0,3	1,5	-0,6	1,4
	S	Tmin	31,8	1,5	31,4	1,4	31,3	1,6	-0,4	1,8	0,5	2,1	-0,5	1,9
Chagall	S	Tmax	33,3	1,3	33,3	1,0	33,5	1,3	0,4	1,3	0,4	1,4	0,7	1,7
	S	Tmoy	32,2	1,4	32,1	1,4	31,9	1,2	0,2	1,4	0,1	1,2	0,2	1,6
	S	Tmin	30,7	1,7	30,2	2,2	29,9	1,5	-0,2	2,2	0,3	2,0	-0,4	1,5
Curieux	S	Tmax	34,6	1,4	35,4	0,9	34,6	0,4	0,8	0,5	-0,9	1,3	-0,1	1,8
	S	Tmoy	33,8	1,4	34,2	1,1	33,6	0,2	0,4	0,3	-0,5	0,9	-0,1	1,2
	S	Tmin	32,8	1,5	30,8	3,8	32,1	1,5	-2,1	2,4	1,4	2,4	-0,7	0,0
Deux	S	Tmax	34,4	0,6	33,3	1,9	34,4	0,9	-1,0	2,0	0,1	0,8	-0,1	1,0
	S	Tmoy	33,2	0,7	31,9	1,8	33,0	0,8	-1,1	1,9	0,1	1,1	-0,2	1,1
	S	Tmin	31,3	1,5	29,7	2,1	31,1	1,6	-1,4	2,3	0,5	3,0	-0,2	3,1
Intrépide	S	Tmax	34,4	1,0	34,4	1,5	34,3	1,5	0,0	1,5	-0,1	2,1	0,0	1,9
	S	Tmoy	33,3	1,1	33,1	1,8	33,2	1,7	-0,2	2,0	0,1	2,2	0,0	2,2
	S	Tmin	30,9	2,4	30,0	3,1	31,5	2,4	-0,8	4,2	1,4	3,5	0,6	4,2
Nerveux	S	Tmax	34,0	1,5	33,3	1,4	34,1	0,8	-0,8	1,3	0,8	1,6	0,1	1,6
	S	Tmoy	32,9	1,4	32,0	1,3	32,8	0,9	-1,0	1,3	0,8	1,4	-0,1	1,5
	S	Tmin	31,6	1,4	29,4	2,1	31,3	1,1	-2,0	2,2	2,1	2,4	-0,3	1,7
Ouest	S	Tmax	34,2	0,9	34,3	0,7	34,0	1,2	0,2	1,6	0,0	1,4	-0,6	0,7
	S	Tmoy	32,6	1,1	32,7	1,6	32,9	1,1	0,2	2,6	0,8	2,3	0,0	0,4
	S	Tmin	30,4	1,4	30,3	2,3	31,4	0,9	-0,1	3,5	2,0	2,2	0,7	1,0
Passa	S	Tmax	33,9	1,5	33,8	1,0	32,8	1,1	0,3	1,4	-1,0	1,6	-1,0	2,1
	S	Tmoy	32,7	1,5	32,5	1,1	31,8	1,2	0,1	1,3	-0,7	1,4	-0,7	2,0
	S	Tmin	30,6	1,4	30,0	1,8	30,3	1,4	0,1	0,7	0,3	1,9	0,1	1,8
Quilate	S	Tmax	33,5	1,4	33,6	0,7	33,5	1,6	-0,2	1,5	-0,1	1,8	-0,5	2,3
	S	Tmoy	32,8	1,6	32,4	1,1	32,6	1,7	-0,6	1,8	0,3	2,1	-0,7	2,4
	S	Tmin	31,7	2,0	30,8	1,4	30,6	2,6	-1,1	2,3	-0,5	3,6	-1,9	3,3
Rejeneo	S	Tmax	33,5	1,8	33,0	1,0	33,6	0,6	-0,7	1,8	-0,1	1,0	0,3	2,3
	S	Tmoy	32,4	2,2	31,7	1,2	32,6	0,9	-0,8	2,2	0,0	1,1	0,5	2,3
	S	Tmin	30,7	2,6	30,0	1,2	30,3	2,1	-0,8	2,4	-0,7	1,5	-0,3	2,5
Tinguely	S	Tmax	33,6	1,5	33,6	0,8	32,9	1,0	-0,4	1,3	-0,1	1,8	-0,9	1,6
	S	Tmoy	32,9	1,5	32,7	0,8	31,8	1,4	-0,6	1,2	-0,1	1,9	-1,4	1,8
	S	Tmin	31,6	2,3	31,3	0,9	30,5	2,0	-0,8	2,4	-0,4	2,5	-2,1	2,4
Trois	S	Tmax	33,6	1,2	32,9	1,7	33,1	1,9	-0,7	2,4	0,5	1,2	-0,5	2,1
	S	Tmoy	32,2	1,6	31,6	2,1	31,6	1,9	-0,7	2,7	0,4	1,9	-0,5	2,0
	S	Tmin	29,4	3,3	28,7	2,4	30,3	2,4	-0,7	4,7	2,1	3,1	1,0	3,0
Arlequ'un	S	Tmax	34,5	1,6	35,0	0,8	33,7	0,9	0,7	1,6	-1,4	1,6	-1,1	1,8
	S	Tmoy	33,1	1,7	32,9	1,6	32,7	1,0	0,1	1,8	-0,3	2,5	-0,8	1,9
	S	Tmin	31,2	1,5	29,9	2,9	31,3	1,6	-1,0	2,1	1,4	3,9	-0,2	2,6
Ensemble	S	Tmax	34,0	0,4	33,8	0,8	33,7	0,6	-0,2	0,6	0,1	0,6	-0,3	0,5
	S	Tmoy	32,9	0,4	32,5	0,7	32,6	0,6	-0,4	0,5	-0,1	0,4	-0,4	0,5
	S	Tmin	31,1	0,8	30,2	0,7	30,9	0,6	-0,9	0,7	-0,8	1,0	-0,3	0,9

Annexe 6 : Moyennes individuelles, deltas (Δ) et écarts-types associés (σ) des températures auriculaires pour l'entraînement (E) et le spectacle (S). D/ND : Chevaux détendus / non détendus. 1 : Avant le spectacle, 2 : Juste après le spectacle, 3 : Après le spectacle.

NOM	E/S	T	Moy _{Tor1}	σ _{Tor1}	Moy _{Tor2}	σ _{Tor2}	Moy _{Tor3}	σ _{Tor3}	Δ _{Tor2-1}	Δ _{Tor3-2}	Δ _{Tor3-1}
Balestra	E	Tmax	28,9	4,1	31,9	3,2	33,5	1,6	3,0	1,5	4,5
	E	Tmoy	27,5	4,6	30,1	3,0	31,7	1,3	2,6	1,6	4,2
	E	Tmin	25,8	5,2	28,3	3,5	30,3	1,4	2,4	2,0	4,4
Chagall	E	Tmax	29,1		33,1	0,4	33,6	0,9	4,1	0,5	4,6
	E	Tmoy	28,1		31,7	0,1	32,2	1,4	3,6	0,5	4,1
	E	Tmin	27,6		30,6	0,3	29,9	2,3	3,0	-0,7	2,4
Curieux	E	Tmax	34,4		34,4		31,1		0,0	-3,3	-3,3
	E	Tmoy	33,8		34,0		30,6		0,2	-3,4	-3,2
	E	Tmin	33,1		33,0		29,9		-0,1	-3,1	-3,2
Deux	E	Tmax	26,2		31,9	1,8	31,3	0,9	5,8	-0,6	5,1
	E	Tmoy	25,2		31,4	1,5	30,3	1,0	6,3	-1,1	5,2
	E	Tmin	24,4		30,2	1,2	29,4	1,3	5,8	-0,8	5,0
Intrépide	E	Tmax	30,2		32,7	0,6	32,4	0,9	2,6	-0,3	2,3
	E	Tmoy	29,7		32,1	0,6	31,8	1,0	2,3	-0,3	2,1
	E	Tmin	28,8		30,6	0,6	31,0	1,2	1,8	0,4	2,2
Nerveux	E	Tmax	31,5	1,8	35,6		34,1	1,7	4,1	-1,6	2,6
	E	Tmoy	30,6	2,0	34,6		32,6	0,8	3,9	-2,0	2,0
	E	Tmin	29,6	2,3	33,2		31,5	1,2	3,6	-1,7	1,9
Ouest	E	Tmax	30,3		33,6		32,9	0,2	3,3	-0,7	2,6
	E	Tmoy	29,3		32,7		32,3	0,6	3,4	-0,5	2,9
	E	Tmin	28,3		31,2		31,1	1,4	2,8	0,0	2,8
Passa	E	Tmax	31,4		33,0	0,9	32,9	0,6	1,6	-0,1	1,5
	E	Tmoy	30,5		32,1	0,8	32,2	0,4	1,6	0,1	1,7
	E	Tmin	30,0		31,1	0,9	31,4	0,5	1,1	0,3	1,4
Quilate	E	Tmax	28,9	5,7	32,5	0,4	32,5	0,9	3,6	0,0	3,6
	E	Tmoy	28,0	5,5	31,3	0,3	31,5	0,6	3,3	0,1	3,4
	E	Tmin	26,6	5,5	29,3	0,8	30,1	0,5	2,6	0,9	3,5
Rejeneo	E	Tmax	29,5	2,6	32,2	0,3	31,6	1,1	2,8	-0,6	2,2
	E	Tmoy	28,2	2,6	31,0	0,6	30,4	1,1	2,8	-0,6	2,2
	E	Tmin	26,7	2,8	29,3	1,2	28,8	1,8	2,6	-0,5	2,1
Tinguely	E	Tmax	31,1	2,1	32,2	1,0	31,6	1,3	1,1	-0,6	0,5
	E	Tmoy	29,9	1,9	31,2	1,1	30,6	1,3	1,3	-0,5	0,8
	E	Tmin	28,7	1,8	29,3	1,0	29,4	1,6	0,7	0,1	0,8
Trois	E	Tmax	32,0	1,6	32,1		33,6	1,3	0,1	1,4	1,6
	E	Tmoy	31,2	1,8	30,0		32,0	1,2	-1,2	2,0	0,8
	E	Tmin	29,3	1,8	28,8		28,6	1,5	-0,4	-0,2	-0,6
Arlequ'un	E	Tmax	30,4	1,9	31,4	0,9	32,3	1,3	1,0	0,9	1,9
	E	Tmoy	29,2	2,3	30,9	0,9	31,3	1,3	1,8	0,4	2,2
	E	Tmin	27,8	2,4	29,9	0,9	29,9	1,5	2,1	0,1	2,2
Ensemble	E	Tmax	30,3	2,0	32,8	1,1	32,6	1,0	2,5	-0,3	2,3
	E	Tmoy	29,3	2,1	31,8	1,3	31,5	0,8	2,4	-0,3	2,2
	E	Tmin	28,2	2,2	30,4	1,5	30,1	0,9	2,2	-0,2	1,9

Annexe 6 - Suite

NOM	E/S	T	Moy _{Tor1}	σ_{Tor1}	Moy _{Tor2}	σ_{Tor2}	Moy _{Tor3}	σ_{Tor3}	$\Delta_{\text{Tor2-1}}$	$\Delta_{\text{Tor3-2}}$	$\Delta_{\text{Tor3-1}}$
Balestra	S	Tmax	33,3	1,3	35,0	0,9	34,6	1,4	1,7	-0,3	1,4
	S	Tmoy	32,1	1,3	33,8	0,8	33,4	1,1	1,7	-0,4	1,2
	S	Tmin	30,9	1,1	32,5	0,7	31,9	1,1	1,6	-0,6	1,0
Chagall	S	Tmax	32,0	1,0	33,1	1,3	33,7	0,6	1,1	0,6	1,7
	S	Tmoy	30,8	0,8	32,1	1,4	32,8	0,7	1,2	0,7	2,0
	S	Tmin	29,2	1,7	31,3	1,8	32,0	0,8	2,1	0,7	2,8
Curieux	S	Tmax	34,7	0,2	35,2		33,9		0,4	-1,2	-0,8
	S	Tmoy	34,4	0,1	34,9		33,1		0,5	-1,8	-1,3
	S	Tmin	34,0	0,1	34,6		32,2		0,6	-2,4	-1,8
Deux	S	Tmax	32,8		34,4	0,8	34,4	0,5	1,6	0,0	1,6
	S	Tmoy	32,4		33,8	0,8	33,6	0,6	1,4	-0,2	1,2
	S	Tmin	31,7		33,1	1,2	32,5	0,9	1,3	-0,6	0,8
Intrépide	S	Tmax	32,2	1,3	34,7	0,8	33,9	1,0	2,5	-0,8	1,6
	S	Tmoy	31,3	1,6	33,8	0,8	33,0	1,0	2,5	-0,9	1,7
	S	Tmin	30,1	2,6	32,8	0,9	31,8	1,0	2,7	-1,0	1,7
Nerveux	S	Tmax	32,9	1,2	34,3	1,1	34,8	1,3	1,4	0,5	1,9
	S	Tmoy	32,2	1,4	33,5	1,2	33,7	1,3	1,2	0,2	1,4
	S	Tmin	31,4	1,9	32,5	1,4	32,0	1,7	1,2	-0,5	0,6
Ouest	S	Tmax	34,4	0,6			35,6	1,1			1,2
	S	Tmoy	33,4	0,7			34,7	1,4			1,3
	S	Tmin	32,3	1,1			33,8	2,0			1,5
Passa	S	Tmax	34,3	0,9	35,0	1,4	34,2	1,1	0,7	-0,8	-0,1
	S	Tmoy	33,5	1,3	34,4	1,5	33,7	1,2	0,9	-0,7	0,2
	S	Tmin	32,6	1,7	33,8	1,6	33,0	1,4	1,2	-0,8	0,4
Quilate	S	Tmax	33,5	1,8	32,8	1,6	32,4	1,3	-0,7	-0,4	-1,1
	S	Tmoy	32,8	1,8	31,8	1,9	31,5	1,1	-1,0	-0,3	-1,3
	S	Tmin	32,1	1,8	30,7	2,4	30,2	1,0	-1,4	-0,5	-1,9
Rejeneo	S	Tmax	30,9	1,9	33,1	0,8	32,8	1,8	2,2	-0,3	1,9
	S	Tmoy	30,2	1,7	32,1	0,9	31,6	1,7	1,9	-0,4	1,4
	S	Tmin	29,3	1,5	30,8	1,2	30,0	2,0	1,5	-0,8	0,7
Tinguely	S	Tmax	33,1	1,5	34,5	0,5	33,7	0,8	1,4	-0,8	0,5
	S	Tmoy	32,3	1,4	33,5	0,6	32,6	0,9	1,1	-0,9	0,2
	S	Tmin	31,2	1,7	32,4	0,7	31,1	1,4	1,1	-1,3	-0,2
Trois	S	Tmax	33,4	0,9	33,6	1,5	32,6	1,5	0,2	-1,0	-0,7
	S	Tmoy	32,5	0,8	32,6	1,7	31,6	1,8	0,1	-1,0	-0,9
	S	Tmin	31,4	1,0	31,0	1,9	30,2	2,1	-0,4	-0,8	-1,2
Arlequin	S	Tmax	32,6	1,3	34,0	1,6	33,2	1,3	1,3	-0,8	0,6
	S	Tmoy	32,1	1,3	33,3	1,8	32,6	1,2	1,2	-0,7	0,5
	S	Tmin	31,3	1,4	32,3	2,0	31,8	1,2	0,9	-0,5	0,4
Ensemble	S	Tmax	33,1	1,0	34,1	0,8	33,8	0,9	1,2	-0,5	0,7
	S	Tmoy	32,3	1,1	33,3	1,0	32,9	0,9	1,1	-0,5	0,6
	S	Tmin	31,4	1,3	32,3	1,2	31,7	1,1	1,0	-0,8	0,4

VALIDATION DE L'UTILISATION DE LA THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE POUR LA MISE EN ÉVIDENCE DU STRESS CHEZ LE CHEVAL DE SPECTACLE

NOM et Prénom : DUROZEY Manon

Résumé

Comme tout artiste, le cheval peut être soumis au stress et à l'anxiété à l'approche du spectacle. Nous avons cherché à mettre en évidence l'impact du spectacle chez le cheval en s'appuyant sur un panel d'indices physiologiques. L'étude a été menée sur treize chevaux de l'Académie Equestre de Versailles, sur lesquels ont été réalisés à trois moments autour du spectacle et de l'entraînement des prises de fréquence cardiaque et de température interne ainsi que des clichés de thermographie infrarouge des yeux, des naseaux et des oreilles. Les résultats de l'entraînement et du spectacle ont été ensuite comparés. Une réponse d'anticipation liée au spectacle a pu être mise en évidence chez les chevaux ainsi qu'une réponse de stress grâce aux relevés d'indices systématiquement plus élevés autour du spectacle que de l'entraînement. Notre étude montre que les températures nasales et auriculaires, mesurées par thermographie infra-rouge et utilisées pour les premières fois chez le cheval, étaient très pertinentes à mesurer dans ce contexte. Cette technique non-invasive peut ainsi être utilisée afin d'évaluer le stress chez le cheval et ainsi adapter au mieux l'environnement pour améliorer son bien-être.

Mots clés

CHEVAL – SPECTACLE - THERMOGRAPHIE INFRA-ROUGE - STRESS

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Mme Caroline GILBERT

Assesseur : Mme Bénédicte GRIMARD-BALLIF

VALIDATION OF THE USE OF INFRA-RED THERMOGRAPHY FOR STRESS ASSESSMENT IN HORSES DURING A SHOW

SURNAME : DUROZEY

Given name : Manon

Summary

Such as artists, horses may express stress and anxiety before a show. Our study hence aimed at highlighting the impact of a show on horses, using various physiological parameters related to stress. The study was performed on thirteen horses from the Académie Equestre de Versailles. Their heart rate, internal temperature and infra-red thermography pictures of eyes, nostrils and ears were collected at three moments around the show and the training (before, just after and after). The parameters around the training and the show were then compared. An anticipation (i.e. stress response) linked to the show was showed in horses, heart rate frequency, internal temperature and surface temperatures of eye, nostril and ear being systematically higher around the show than the training. Our study demonstrates that nasal and auricular surface temperatures, assessed for the first time in horses using infra-red thermography, were highly pertinent and non invasive parameters to measure in order to assess stress in horses.

Keywords HORSE – SHOW - INFRARED THERMOGRAPHY - STRESS

Jury :

President : Pr.

Director : Mrs. Caroline GILBERT

Assessor : Mrs. Bénédicte GRIMARD - BALLIF