

Votre cheval sollicite sa mémoire de travail à chaque instant lors de son travail : Quel est l'impact du stress et de son tempérament sur ce mécanisme cognitif essentiel ?

Par :

- M. Valenchon, F. Lévy, M. Fortin, L. Legoubey, C. Moussu, J.M. Yvon, L. Lansade
- Equipe Comportement, Neurobiologie et Adaptation, F-37380 Nouzilly, France : 1) INRA, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements. 2) CNRS, UMR6175 Physiologie de la Reproduction et des Comportements. 3) Université François Rabelais de Tours, F-37041 Tours, France. 4) IFCE

Résumé

La mémoire de travail est un mécanisme cognitif essentiel permettant le stockage et la manipulation d'informations de manière temporaire. Elle permet au cheval d'établir un lien entre des événements successifs et est donc constamment sollicitée lors de tâches d'apprentissage. Dans le cadre de cette étude, nous avons évalué les performances de mémoire de travail de 30 chevaux à partir d'un test de choix où l'animal devait se rappeler après des délais allant de 0 à 20s de la localisation d'aliment caché devant lui. La moitié des chevaux a été testée en conditions stressantes et l'autre en conditions non stressantes. Les chevaux non stressés étaient performants jusqu'aux délais de 16s. Au contraire, les chevaux stressés étaient globalement incapables de répondre quelque-soit le délai, même si certains étaient plus performants que d'autres. Nous avons alors cherché les corrélations entre les performances de mémoire de travail et le tempérament. Les chevaux peureux étaient les plus performants en conditions non stressantes, mais les moins performants en conditions stressantes par rapport aux chevaux non peureux. En pratique, il convient d'être vigilant quant à l'exposition à des événements stressants avant ou pendant les séances de travail pour les individus au tempérament peureux.

Mots clés : Mémoire, Performances, Emotion, Personnalité

Summary

Working memory is an essential cognitive process that allows the temporary storage of information. Thanks to his working memory, a horse is able to establish a link between successive events. Thus, working memory is consistently involved in learning processes. In this study, we assessed the working memory of 30 horses in a choice-test whereas individuals had to recall the food's localization after a delay from 0 to 20s. These tests have been completed in non-stressful or stressful conditions in order to characterize the influence of stress. At first, we found that non stressed horses performed well up to 16s delays. On the contrary, stressed horses failed to recall the food's localization whatever the delay. However, some horses performed and others did not. Thus, we explored the potential correlations between working memory performances and temperament. Fearful horses performed the better in non-stressful conditions and lesser in stressful conditions than non-fearful horses. In practice, trainers should protect horses against stressful event that may occur before or during a training session, particularly if the horse is fearful.

Key-words: Memory, Performances, Emotion, Personality

Introduction

La mémoire de travail est un mécanisme cognitif essentiel permettant le stockage et la manipulation d'informations de manière temporaire. Elle permet au cheval d'établir un lien entre des événements successifs, comme par exemple un ordre du cavalier, sa réponse et la récompense qui s'en suit. Elle est donc constamment sollicitée lorsque l'on soumet un cheval à des tâches d'apprentissage et il est important de déterminer quels peuvent être les facteurs l'influençant. La mémoire de travail chez le cheval reste pourtant méconnue. Peu d'auteurs s'y sont intéressés et les quelques études menées sur ce sujet ne concordent pas. En effet, McLean observe en 2004 que les chevaux sont incapables de mémoriser des informations temporaires pendant des délais de 10 secondes, alors que Murphy (2009) observe que cela est possible jusqu'à des délais de 12 secondes. De même, Hangii (2010) a observé un cheval qui réussissait les tests jusqu'à des délais de 30 secondes. Par ailleurs, des études menées chez d'autres espèces suggèrent que le niveau de stress ou le tempérament des individus peuvent influencer les performances de mémoire de travail. Cependant, les influences de ces deux facteurs ont très rarement été étudiées simultanément et jamais chez le cheval : c'est donc le sujet de cette étude. Nous avons évalué les performances de mémoire de travail de 30 poneys femelles de race Welsh à partir d'un paradigme de « test de choix » où l'animal devait se rappeler après des délais allant de 4 à 20 secondes de la localisation de nourriture cachée devant lui, soit à sa droite, soit à sa gauche. Dans un premier temps, nous avons évalué les performances en conditions non stressantes afin d'apporter un éclairage sur les capacités de mémoire de travail chez le cheval de manière générale. Ensuite, les tests de mémoire ont été réalisés en conditions stressantes afin d'évaluer l'influence du stress. Enfin, nous avons cherché les corrélations entre les performances de mémoire de travail et le tempérament des individus évalué grâce à une série de tests comportementaux. L'objectif appliqué est de déterminer quelles sont les conditions optimales pour la mémoire de travail et en fonction du tempérament de chaque cheval. Cela permettra de conseiller les entraîneurs et cavaliers afin qu'ils puissent travailler avec leurs chevaux dans les situations les plus favorables aux performances d'apprentissage et de mémoire.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Animaux

Trente poneys femelles de race Welsh âgés de 3 à 15 ans sont utilisés pour cette étude. Ces animaux, nés et élevés à l'INRA de Nouzilly, sont habitués à être manipulés par l'homme. Ils vivent en groupe, en pâture l'été et dans de grandes stabulations l'hiver. Durant la période expérimentale, les poneys vivent ensemble en pâture, sont nourris à l'herbe et ont accès à l'eau ad libitum. Ils sont maintenus dans des boxes (6m*3m) par groupes de trois individus, durant les demi-journées où ils sont testés.

1.2. Evaluation des performances de mémoire de travail

1.2.1. Principe du test de choix avec délais

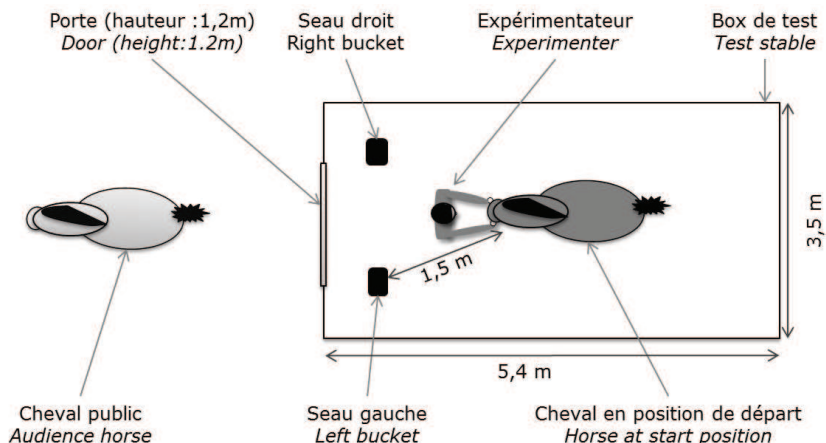
Le test utilisé est un test de choix avec délais (McLean 2004, Murphy 2009). A chaque essai, le poney doit choisir d'aller vers l'un des deux seaux placés devant lui : l'un contient de la nourriture et l'autre non. Le cheval voit l'expérimentateur cacher de la nourriture dans l'un des deux seaux, mais il n'est autorisé à faire un choix qu'après un délai donné (0 à 20s). L'objectif de ce test est d'évaluer à chaque essai si l'individu est capable de se rappeler de l'emplacement de l'aliment après un délai donné.

Ces tests de mémoire sont réalisés dans un box (5,4m*3,5m) en face duquel un cheval dit « public » est attaché afin de ne pas créer une situation d'isolement social. Le dispositif est composé de deux seaux (30cm *26cm), fixés au sol sur une planche en bois et inclinés de telle sorte que les animaux ne puissent pas en visualiser le fond. Installés sous chaque seau, un récipient contenant des granulés permet de supprimer un éventuel biais olfactif. Durant les tests, un expérimentateur manipule l'animal pendant que deux observateurs relèvent les comportements et le niveau de performance.

Un essai se déroule de la manière suivante : tout d'abord, le cheval est amené par l'expérimentateur au point de départ situé au milieu du box et à équidistance des deux seaux (1,5m). L'animal est ainsi maintenu de manière symétrique et face à l'expérimentateur et aux deux seaux (figure I). Dès que l'animal est immobile et correctement placé, l'expérimentateur verse une poignée de granulés dans l'un des deux seaux. Le cheval voit et entend l'expérimentateur réaliser cette action. A partir de ce moment-là, le cheval est lâché immédiatement (délai 0s) ou après un délai (4, 8, 12 ou 20s). Pendant les délais l'expérimentateur maintient l'animal avec ses mains de part à d'autre du licol, de manière toujours

symétrique afin de ne pas donner d'indice à l'animal. Ce dernier peut orienter sa tête vers l'un des deux seaux, mais pas l'ensemble de son corps. Lorsque l'expérimentateur lâche le cheval, celui-ci doit se diriger vers le seau contenant l'aliment, en moins de 10 secondes, pour que l'essai soit considéré comme un "succès". Si le poney explore le mauvais seau, l'essai est un « échec » et l'expérimentateur retire l'aliment. Si le cheval n'initie aucun choix pendant 10 secondes (immobilité), l'essai est considéré comme un « échec ». Toutefois, des individus réalisant plus de 25% d'essais où ils restent immobiles plus de 10s au cours d'une session sont exclus de l'analyse.

Figure I : Dispositif expérimental
Figure I: Experimental design

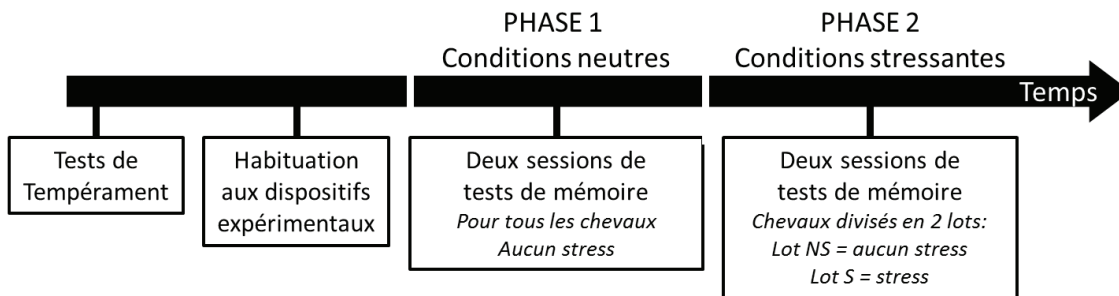


1.2.2. Habituation au dispositif expérimental

Avant d'être soumis au test de choix (figure II), les poneys sont habitués aux manipulations et dispositifs expérimentaux au cours de sessions d'habituations de 28 essais. Un minimum de 3 sessions est réalisé.

Lors de chaque session d'habituations, l'animal est soumis d'abord à 14 essais avec des délais de 0s, comme ceux présentés dans le paragraphe précédent : le poney est mené dans en position de départ, l'expérimentateur verse de l'aliment face à lui dans l'un des deux seaux puis il libère le poney immédiatement après et celui-ci doit alors choisir l'un des deux seaux. Ensuite, 14 essais avec des délais de 4s sont réalisés afin d'habituer l'animal à attendre. Le nombre de succès est relevé et les sessions sont répétées jusqu'à ce que les poneys exécutent une session avec 75% de succès à chacun des délais. Le nombre maximum de sessions est de 7, au-delà le cheval est exclu de l'étude.

Figure II : Protocole expérimental
Figure II: Experimental protocol



1.2.3. Tests de choix avec délai en conditions neutres (phase 1)

Au cours de cette phase (figure II), des délais de 0, 4, 8, 12, 16 et 20 secondes sont testés. Durant une session, 28 essais se succèdent ainsi : quatre essais à 0s, quatre à 4s, quatre à 12s, quatre à 16s, quatre à 20s puis à nouveau quatre essais à 0s. Les quatre derniers essais permettent de réhabituer l'animal au paradigme de "test de choix" dans la perspective de la session suivante. Les performances (nombre de succès) sont relevées, ainsi que les comportements suivants : posture de vigilance, souffle, écoute l'environnement extérieur, regarde le cheval public, regarde du côté du seau avec l'aliment ou du côté du seau sans aliment, exprimés durant le délai (c'est à dire lorsque l'animal est maintenu par

l'expérimentateur, une fois les granulés versés). Deux sessions sont réalisées à trois ou quatre jours d'intervalle.

1.2.4. Tests de choix avec délais en conditions stressantes (phase 2)

Durant cette phase (figure II), les poneys testés lors de la phase 1 sont divisés en deux lots (lot stressé : S vs lot non stressé : NS), équilibrés en fonction de leurs résultats lors des tests de tempérament et de leurs performances de mémoire de travail en phase 1. Ces lots subissent les procédures suivantes :

- **Lot S, procédure "stressante"** : juste avant le début de la session de test et à trois reprises pendant la session (tous les six essais), les individus sont amenés, par un des observateurs, dans un box situé à 2,4m du box de test durant 30 secondes. Ils sont isolés du cheval public. Ces individus sont alors soumis successivement à trois événements stressants, imprévisibles et aléatoires d'une durée de 10 secondes maximum chacun. Ces événements peuvent être l'émission de sons (ex. aboiement de chien), l'introduction d'objets nouveaux (ex. cube coloré) ou encore des mouvements soudains (ex. drap blanc agité).

- **Lot NS, procédure "non stressante"** : juste avant le début de la session de test et à trois reprises pendant la session (tous les six essais), les animaux sont emmenés dans le même box et pour la même durée que les poneys du lot S. Cependant, ils ne sont pas isolés socialement puisqu'ils peuvent voir le cheval public et aucun événement stressant ne survient durant la procédure.

Deux sessions de 28 essais consécutifs sont mises en place avec un intervalle de trois à quatre jours. Durant ces sessions, les délais (0, 4, 8, 12, 16, 20) sont répartis aléatoirement par bloc de six (une procédure "non stressante" ou "de stress" précédant chaque bloc), afin de répartir équitablement l'effet du stress entre les différents délais.

1.3. Evaluation du tempérament

Les tests de tempérament ont été réalisés avant les tests de mémoire. La structure de test est un grand box démontable de 8,10*2,70m. Pour que cheval ne soit pas isolé socialement, un cheval dit « public » est attaché dans le box attenant au parc de test. Ces tests sont résumés ci-dessous, pour plus de détails sur la méthodologie, se référer à Lansade & Bouissou (2008) ; Lansade et al. (2008 a,b,c,d) ; Lansade & Simon (2010).

Test de l'homme passif et actif (mesure de la réactivité à l'homme) Un expérimentateur entre dans le box de test et reste immobile pendant trois minutes. Les fréquences de contacts (flairages et mordillements) et de regards vers l'homme sont relevées. Puis il avance doucement vers le cheval et, à un mètre de lui, essaye de lui toucher l'épaule. Le temps nécessaire est relevé.

Test des filaments de Von Frey (mesure de la sensibilité tactile) Ce test consiste à appliquer un filament de von Frey (Stoelting, IL, USA) à la base du garrot du cheval. Les filaments de von Frey sont constitués d'un corps en plastique dur prolongé par un fil nylon (le filament proprement dit). Ils sont calibrés pour délivrer une force spécifique. La réponse éventuelle de tremblement du muscle peaucier est relevée de manière binaire (tremble/tremble pas). Ce test est reproduit quatre fois.

Test de stimulation de l'axe grasset-hanche (mesure de la sensibilité tactile) Ce test consiste à stimuler l'axe grasset-hanche, à l'aide d'instruments de trois centimètres de largeur et de différentes duretés (4 instruments sont successivement utilisés). L'expérimentateur remonte rapidement l'instrument, de bas en haut le long de l'épi, en maintenant une pression constante sur l'animal. La stimulation provoque une réaction musculaire dont l'intensité est évaluée suivant une échelle de note.

Test de l'objet nouveau (mesure de la réactivité à la nouveauté) Un objet inconnu est introduit dans le box pendant trois minutes. Les fréquences et la latence des regards, contacts avec l'objet et sursauts sont relevés.

Test d'isolement social (mesure de la grégarité) Le cheval public est éloigné de la structure de test pendant 1 minute 30. La fréquence de hennissements est relevée.

Test de passage sur une surface inconnue (mesure de la réactivité à la nouveauté) Un seau de nourriture est placé à une extrémité du box. Le cheval est à l'autre extrémité et entre les deux, on dispose une surface inconnue. On chronomètre le temps que le cheval met pour poser un pied sur la surface ainsi que le mode de franchissement (marche, trotte, saute).

Test de soudaineté (mesure de la réactivité à la soudaineté) Un dispositif est placé au-dessus du seau de nourriture. Quand le cheval est en train de s'alimenter, ce dispositif est soudainement activé, créant un effet de soudaineté. Nous mesurons l'intensité de la réaction du cheval et le temps que celui-ci met pour revenir manger dans le seau.

Evaluation du niveau d'activité général (mesure de l'activité locomotrice) Pour caractériser le niveau d'activité général, un des observateurs relève l'activité locomotrice du cheval lors des différents tests. Pour cela, le box est divisé en six secteurs de taille identique et l'observateur compte le nombre de secteurs traversés par le cheval.

1.4. Analyses statistiques

Le nombre de succès des individus est, pour chaque délai, comparé au pourcentage de réussite qui serait obtenu par le hasard, c'est à dire au seuil de la "chance" (50% de succès), grâce à un test de Wilcoxon. Un test de Friedman, suivi de tests de Wilcoxon deux à deux si besoin, permettent d'évaluer les éventuelles différences entre les taux de succès aux différents délais de la phase neutre. Des tests de Mann-Whitney permettent de déterminer les éventuelles différences entre les lots S et NS. Des tests de corrélations de Spearman sont effectués entre les variables du tempérament et les variables mesurant les performances de mémoire de travail (cumule du nombre de succès lors des essais avec délais de 4, 8, 12, 16 et 20s). Les logiciels utilisés sont Excel Stat et R, et les barres d'erreur des histogrammes sont représentées par les erreurs standards. Les différences sont considérées comme étant significatives lorsque que $p < 0,05$ et comme des tendances lorsque $p \leq 0,1$.

2. Résultats

A la fin de l'habituation, deux individus n'ont pas atteint le critère de 75% de succès et n'ont donc pas été soumis aux tests de mémoire. Durant la phase 1, un poney manifestant des comportements dangereux a été retiré de l'étude. Durant la phase 2, trois individus, parmi les groupes NS et S, sont restés immobiles plus de 25% des essais et ont donc été retirés des analyses. Les analyses de la phase 1 portent donc sur 27 individus et celles de la phase 2 sur 24 individus (lot NS, N=12 ; lot S, N=12).

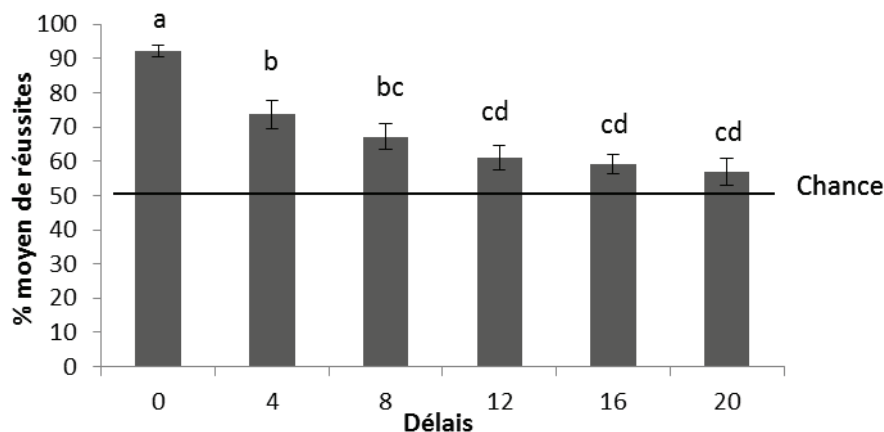
2.1. Mémoire de travail en conditions neutres (phase 1)

Le pourcentage moyen de succès est significativement supérieur au niveau de "chance" (50% de succès) pour les délais 0s (V=378 ; $p < 0,0001$), 4s (V=305 ; $p < 0,0001$), 8s (V=235 ; $p < 0,001$), 12s (V=186 ; $p < 0,05$) et 16s (V=149 ; $p < 0,01$), et a tendance à l'être au délai de 20s (V=180 ; $p = 0,07$).

Le pourcentage de succès diffère en fonction des délais (Test de Friedman : $Q = 50,8$, $df = 5$, $p < 0,001$) (Figure III). En effet, les individus effectuent significativement plus de succès au délai 0s qu'aux délais 4s, 8s, 12s, 16s et 20s. De même, les individus effectuent plus de succès au délai 4s qu'aux délais 12s, 16s et 20s. Enfin, les individus ont tendance à effectuer plus de succès au délai 8s qu'aux délais 16s et 20s. A l'inverse, il n'y a pas de différence entre le pourcentage de succès des individus entre les délais 8s et 12s, entre les délais 12s et 16s, entre les délais 12s et 20s et entre les délais 16s et 20s

Figure III : Pourcentages moyens de succès lors des tests de mémoire aux délais 0, 4, 8, 12, 16 et 20 secondes ($\pm e.s$). Comparaisons entre délais : deux lettres différentes indiquent une différence significative ($P < 0,05$) et deux lettres identiques indiquent une absence de différence (tests de Wilcoxon).

Figure III: Percentages of success on memory tests with 0, 4, 8, 12, 16 and 20 s delays ($\pm e.s$). Comparisons between delays: two different letters refer to a significant difference ($P < 0.05$) and two identical letters refer to a lack of significant difference (Wilcoxon tests).



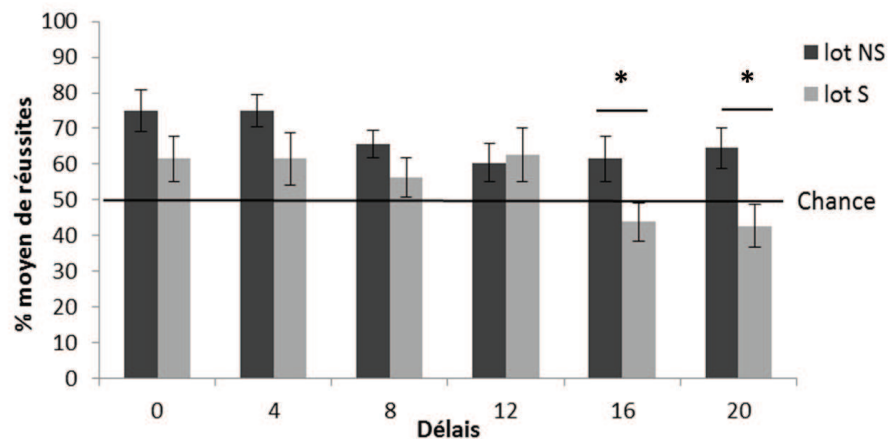
2.2. Mémoire de travail en conditions stressantes (phase 2)

Il n'y a pas de différence significative entre les pourcentages moyens de succès des lots S et NS pour les délais 0s, 4s, 8s et 12s. Le pourcentage moyen de succès du lot S a tendance à être inférieur à celui du lot NS au délai 16s et est significativement inférieur à celui du lot NS au délai 20s (Figure IV).

Au sein du lot S, le pourcentage moyen de succès ne diffère pas significativement du niveau de la "chance" aux délais 4s ($V=40,5$; $p=0,18$), 8s ($V=26,5$; $p=0,2$), 12s ($V=58$; $p=0,13$) et 16s ($V=17,5$; $p=0,29$), et 20s ($V=11$; $p=0,3$), contrairement aux délais 0s ($V=59$; $p=0,1$) pour lequel le pourcentage moyen de succès a tendance à être supérieur au niveau de "chance". Le pourcentage moyen de succès du lot NS est significativement supérieur au niveau de la "chance" pour les délais 0s ($V=53,5$; $p<0,01$), 4s ($V=55$; $p<0,01$), 8s ($V=62,5$; $p<0,01$), 20s ($V=39,5$; $p<0,05$) et a tendance à être supérieur au niveau de "chance" pour les délais 12s ($V=24$; $p=0,08$) et 16s ($V=36$; $p=0,1$).

Figure IV : Pourcentages moyens de succès (\pm e.s) lors des tests de mémoire aux délais 0, 4, 8, 12, 16 et 20 s, en fonction du lot (NS ou S). * $P<0,05$ (tests de Mann-Whitney).

Figure IV: Percentages of success (\pm e.s) in memory tests with 0, 4, 8, 12, 16 and 20 s delays, in function of the experimental group (NS or S). * $P<0.05$ (Mann-Whitney tests).

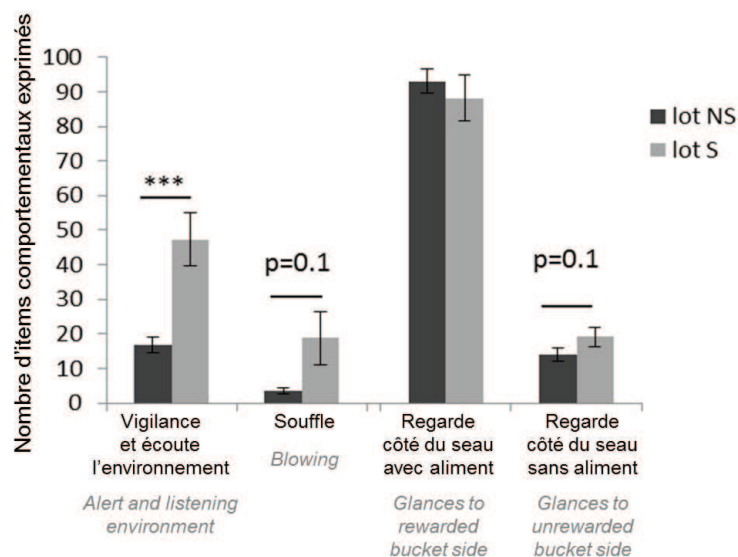


2.3. Comportements des individus lors des tests de mémoire de la phase 2

Les individus du lot S expriment plus de comportements de vigilance et d'écoute de l'environnement, ont tendance à plus regarder du côté où le seau ne contient pas d'aliment et à plus souffler que les individus du lot NS. Au contraire, ils ne diffèrent pas dans le nombre de regard vers le seau contenant de l'aliment (Figure V).

Figure V : Moyennes (\pm e.s) du nombre d'items comportementaux exprimés durant les délais des tests de mémoire par le lot non stressé (NS : gris foncé) ou stressé (S : gris clair) (Tests de Mann-Whitney, *** : $p<0,001$)

Figure V: Mean (\pm e.s) of the number of behavioral items expressed during delays of the memory tests by non-stressed horses (dark grey rectangles) or stressed horses (light grey rectangles) (Mann-Whitney tests, *** $P<0.001$).



2.4. Corrélations entre les performances de mémoire de travail et les variables du tempérament

Les performances des individus sont corrélées avec des variables de peur de leur tempérament (tableau 1). Ainsi, durant la phase 1 (neutre), la performance est positivement corrélée à l'intensité de la réaction suite à l'ouverture soudaine du parapluie et a tendance à être positivement corrélée au nombre de souffles pendant les tests : les individus les plus peureux sont les plus performants. De la même manière, durant la phase 2, la performance des individus du lot NS est positivement corrélée à l'intensité de la réaction suite à l'ouverture du parapluie et a tendance à être positivement corrélée au nombre de regards de peur dirigés vers l'objet inconnu : les individus les plus peureux sont les plus performants.

Au contraire, chez les individus du lot S, la performance est négativement corrélée à l'intensité de la réaction suite à l'ouverture du parapluie, a tendance à être négativement corrélée à la latence de mordillement de l'objet inconnu et est positivement corrélée à la latence des regards de peur vers l'objet inconnu : moins les individus sont peureux, plus ils sont performants. De plus, la performance des chevaux du lot S est positivement corrélée au nombre de carrés visités au cours des tests : plus les individus ont une activité locomotrice élevée, plus ils sont performants.

Tableau 1: Corrélations de Spearman entre des variables du tempérament et la performance de mémoire de travail (nombre de succès, tous délais confondus, excepté 0s) des individus durant la phase 1 et la phase 2, pour les lots stressé (S) et non stressé (NS) ($p < 0,05$, $p < 0,01$).

Table 1: Spearman correlations between temperamental variables and working memory performances (number of success whatever the delay, except 0s) during the phase 1 and the phase 2, for non-stressed (NS) and stressed horses (S) (Spearman correlations tests, $p < 0.05$, $p < 0.01$)

Variables du tempérament	Phase 1	Phase 2	
		NS	S
Réaction à l'Homme : Nombre de flairage de l'homme passif	n.s	n.s	n.s
Sensibilité tactile : Réaction aux filaments de von Frey	n.s	n.s	n.s
Motivation sociale : Nombre de hennissement	n.s	n.s	n.s
Activité locomotrice : Nombre de carrés visités	n.s	n.s	rs=0,63 ; p=0,02
Réaction à la nouveauté (Peur) :			
Latence de mordillement de l'objet	n.s	n.s	rs=-0,52 ; p=0,08
Nombre de regards dirigés vers l'objet	n.s	rs=0,52 ; p=0,08	n.s
Latence du 1 ^{er} regard dirigé vers l'objet	n.s	n.s	rs=0,79 ; p<0,01
Peur : Nombre de souffles pendant les tests	rs=0,32 ; p=0,09	n.s	n.s
Réaction à la soudaineté (Peur) :			
Intensité de la réaction à l'ouverture du parapluie	rs=0,41 ; p=0,03	rs=0,78 ; p<0,01	rs=-0,56 ; p=0,05

3. Discussion

Le 1^{er} objectif de notre étude était d'étudier les capacités de mémoire de travail du cheval dans des conditions non stressantes. Nous avons observé que les individus étaient capables de se rappeler de la localisation de nourriture après des délais de 16s. Il s'agit de la première étude réalisée sur un nombre significatif de chevaux qui montre des performances de mémoire de travail aussi importantes. Le 2^{ème} objectif était d'évaluer l'effet du stress et nous avons observé que le stress était fortement délétère pour les performances de mémoire de travail. Enfin, nous avons observé que le stress modulait l'impact du tempérament sur la mémoire de travail. Notamment, les individus peureux sont les plus performants en l'absence de stress mais sont également les moins performants en cas de stress.

Notre étude montre qu'en l'absence de stress, les chevaux ont une capacité de mémoire de travail d'au moins 16 secondes. Ce résultat est en accord avec l'étude de Murphy qui avait déjà observé des performances allant jusqu'à 12 secondes (2009, il s'agit du délai maximum que l'auteur a testé). De même, une étude récente de Hanggi (2010) a montré qu'avec le même type de test, un cheval bien entraîné avait réussi jusqu'à des délais de 30 secondes. Cependant, cette dernière étude a été réalisée avec seulement cinq chevaux dont un seul a été testé à ce délai. En revanche, notre étude et les deux autres citées précédemment vont à l'encontre des résultats de McLean (2004). En effet, l'auteur avait

observé que ses chevaux étaient incapables de localiser de la nourriture après un délai de 10 secondes et avait alors supposé que les chevaux étaient dépourvus de capacité de mémoire de travail. Plusieurs éléments méthodologiques peuvent expliquer cette divergence entre ces résultats et les nôtres. Tout d'abord, les tests de McLean ont été réalisés dans un dispositif en « Y » clos, potentiellement stressant pour les chevaux et donc néfaste pour leurs performances. Ensuite, la distance à parcourir pour atteindre l'aliment était beaucoup plus importante dans l'étude de McLean (12m) que dans la nôtre (1,5m) ou celle de Murphy (4m), ce qui peut altérer la motivation des individus. Enfin, contrairement à McLean, nous avons réalisé des essais d'habituation avec des délais courts de 4s afin de permettre aux individus de ne pas être surpris par les délais plus importants lors des tests (Hanggi, 2010). Les chevaux ont ainsi pu être habitués à attendre, ce qui a pu limiter les comportements de frustration et d'énervernement pouvant altérer l'attention portée vers la tâche.

Les chevaux ont donc bien des capacités de mémoire de travail notables, mais celles-ci restent limitées en comparaison à d'autres espèces. Nous avons notamment observé que les chevaux ne réussissaient pas systématiquement aux délais de 20s, ce qui montre que nous nous approchons peut-être ici du délai maximum de rétention chez cette espèce. Des résultats similaires ont été obtenus chez l'âne : les individus arrivaient à répondre jusqu'à des délais maximum de 10s, voir 30s pour certains (Baragli *et al.* 2011). En comparaison, Fiset et Doré (2006) ont testé des chats avec le même type de test de choix où les individus devaient mémoriser la localisation de nourriture après des délais de 0, 30 ou 60 secondes. Les auteurs ont alors observé que les chats réussissaient au-delà du seuil de la chance jusqu'au délai de 60s. Avec le même type de test, des auteurs ont observé des performances similaires chez le chien (Fiset *et al.* 2003). Ces différences entre équidés, chats et chiens pourraient s'expliquer d'un point de vu adaptatif. En effet, les chats et les chiens sont des prédateurs et la chasse nécessite de très bonnes performances de mémoire de travail. Un prédateur doit être capable de garder en mémoire la position spatiale de sa proie même lorsque celle-ci sort temporairement de son champ de vision. Les équidés, qui sont naturellement herbivores, n'ont pas besoin de réaliser ce type de performance élaborée pour se nourrir. Il est donc compréhensible que leurs capacités de mémoire de travail soient moins développées.

En conditions neutres, nous avons observé que les performances des chevaux diminuaient avec l'augmentation des délais. Par exemple, les chevaux étaient plus performants aux délais 0, 4 et 8 secondes qu'aux délais 12, 16 ou 20 secondes. Ce résultat montre que même si les chevaux sont capables de se souvenir de la localisation de nourriture après des délais importants, leurs performances sont optimales lorsque qu'il n'y a qu'un faible délai. En pratique, cela montre que les dresseurs ont intérêt à être vigilants quant à la contiguïté temporelle des différentes actions lors du travail du cheval. Par exemple, le cheval sera d'autant plus performant que l'ordre qu'il reçoit (ex. « trotte »), la réponse qu'il donne (départ au trot) et la conséquence qui s'en suit (arrêt de l'action des jambes) s'enchaînent rapidement. Comme nous le verrons dans la suite de la discussion, cette observation est d'autant plus vraie en conditions stressantes et pour certains chevaux avec un tempérament particulier.

Lorsque les chevaux étaient stressés durant la phase 2, ils étaient moins performants que les chevaux non stressés aux délais de 16 et 20s. Cet effet délétère du stress sur les performances de mémoire de travail a déjà été observé chez d'autres espèces (rats : Woodson *et al.* 2003, homme : Klein et Boals, 2001 ; Ohman *et al.* 2007). Dans notre étude, les chevaux soumis aux procédures de stress ont également exprimés significativement plus de comportements de peur durant les délais : ils ont montré plus de postures de vigilance et d'écoute portées vers l'extérieur et ils ont également soufflés plus souvent. Cette différence comportementale entre les deux lots montre d'une part que les procédures de stress ont eu l'effet escompté, c'est-à-dire qu'elles ont induit un état de stress durant les tests de mémoire. D'autre part, le fait que les individus stressés regardent plus souvent autour d'eux, soient plus vigilants et à l'écoute de l'environnement peut refléter une diminution de l'attention vers la tâche à effectuer au profit d'une attention accrue vers l'environnement extérieur à la tâche (Mendll, 1999; Dukas et Clark, 1995). Or la mémoire de travail est connue pour être liée aux processus attentionnels. Par exemple, chez l'Homme, les individus présentant les plus faibles performances de mémoire de travail sont ceux dont l'attention est d'avantage perturbée par l'émission d'un signal durant le délai de rétention (Kane *et al.* 2001). De plus, le stress est connu pour entraîner une réorientation sélective des processus cognitifs. En cas de stress, les individus mémorisent les informations liées au stress (ex. contexte dans lequel le stress est survenu), au détriment de la mémorisation d'autres informations non liées au stress (ex. une tâche d'apprentissage) (Park *et al.* 2008). Dans le cas de notre étude, la localisation de la nourriture serait une information non liée au stress et ne serait donc pas mémorisée de façon prioritaire par un cheval placé dans un état de stress. Par ailleurs, le stress a également altéré les performances au test de choix dès le délai zéro. Ce résultat suggère que l'état de stress des chevaux a pu perturber en plus la capacité même à répondre à la consigne, c'est-à-dire à faire un choix entre les deux seaux même en l'absence de délai entre le signal et la possibilité de répondre. Ce résultat suggère que le stress a pu altérer également des processus non cognitifs, comme par exemple la motivation alimentaire des

individus ou les processus de prise de décision. Cependant, les performances des chevaux sont d'autant plus altérées par le stress que le délai est important, ce qui prouve que les processus de mémoire de travail sont aussi fortement impliqués. D'un point de vue pratique, ce résultat montre qu'un état de stress du cheval peut compromettre sa capacité même à répondre aux demandes de son dresseur, à plus forte raison lorsque sa mémoire de travail est sollicitée.

Enfin, que ce soit en conditions stressantes ou non, nous avons observé une grande variabilité inter-individuelle : certains individus étaient performants et d'autres non. En conditions non stressantes, les individus étaient d'autant plus performants qu'ils avaient un tempérament peureux. Par exemple, plus les individus réagissaient fortement au test de peur impliquant un événement soudain, plus ils réussissaient d'essais lors du test de mémoire. Au contraire, en conditions stressantes, cette relation était inversée et les individus étaient d'autant plus performants qu'ils étaient moins peureux (ex. réaction au test de soudaineté) et également plus actifs (nombre de carrés traversés). Cette relation entre trait de tempérament et stress a déjà été observée chez la souris. En effet, Brinks et al. (2007) a comparé les performances de mémoire de travail de deux souches au tempérament différent : l'une anxieuse et l'autre non anxieuse. Il a réalisé des tests de mémoire en conditions neutres et stressantes. Les souris issues de la souche anxieuse ont montré des performances de mémoire de travail supérieures en conditions neutres et inférieures en conditions stressantes par rapport aux souris de la souche non anxieuse, tout comme les chevaux au tempérament peureux dans notre étude. Ce type de résultat a également été observé chez l'Homme (Sorg et Whitney, 1992). Notre hypothèse est qu'en conditions non stressantes, les individus peureux présentent logiquement un état de stress supérieur aux individus non peureux. Cet état de stress serait d'une intensité faible et s'apparenterait d'avantage à un état d'éveil plus important. Un faible état de stress est connu pour avoir un effet stimulant sur les performances d'apprentissage et de mémoire. En revanche, lorsque l'on surajoute des événements stressants, l'état de stress est alors beaucoup plus intense et peut devenir délétère pour la mémoire, selon la fameuse loi de Yerkes et Dodson (voir Sandi and Pinelo-Nava 2007). En conclusion, les chevaux peureux présenteraient donc un état d'éveil stimulant en conditions neutres et un état de stress délétère pour la mémoire de travail en conditions stressantes.

Conclusion

En conditions non stressantes, la mémoire de travail du cheval a une capacité d'au moins 16s, alors qu'en conditions stressantes, ses capacités sont altérées dès les délais de 4s. De plus, la mémoire de travail est reliée au tempérament et cette relation est modulée par l'état de stress. En particulier, un cheval peureux pourra être avantagé dans un environnement calme (ex. dans un manège habituel) mais désavantagé dans un environnement stressant (ex. lors d'une compétition) par rapport à un individu peu peureux. La mémoire de travail étant un mécanisme essentiel aux apprentissages, on voit toute l'importance de personnaliser l'entraînement à chaque cheval. En particulier, il convient d'être vigilant quant à l'exposition à des événements stressants avant ou pendant les séances de travail pour les individus au tempérament peureux. Optimiser et personnaliser ainsi l'entraînement de chaque cheval permettra d'améliorer leurs performances au travail.

Remerciements

Nous tenons à remercier le COST de l'IFCE qui a financé cette étude. Nous remercions également Guy Duchamp, Fabrice Reigner et l'ensemble du personnel de la jumenterie de l'INRA de Nouzilly pour avoir largement participé à la mise en place de ce protocole.

Références

Baragli, P., Paoletti, E., Vitale, V. & Sighieri, C. 2011. Looking in the correct location for a hidden object: brief note about the memory of donkeys (*Equus asinus*). *Ethology Ecology & Evolution*, 23, 187-192.

Brinks V., van der Mark M., de Kloet R., Oitzl M., 2007. Emotion and cognition in high and low stress sensitive mouse strains: a combined neuroendocrine and behavioral studying BALB/c and C57BL/6J mice. *Frontiers in behavioral neuroscience* 1 (8).

Dukas R., Clark C. W., 1995. Sustained vigilance and animal performance. *Animal Behaviour* 49: 1259-1267.

- Fiset S, Beaulieu C, Landry F 2003. Duration of dogs' (*Canis familiaris*) working memory in search for disappearing objects. *Animal Cognition* 6:1-10.
- Fiset, S. and F. Y. Dore, 2006. Duration of cats' (*Felis catus*) working memory for disappearing objects. *Animal Cognition* 9 (1): 62-70.
- Hanggi E.B, 2010, Short-term memory testing in domestic horses: experimental design plays a role. *Journal of equine veterinary science* 30 (11) : 6127-623.
- Kane M. J., Bleckley M.K., Conway A. R., Engle E. W., 2001. A controlled attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology : General* 130 (2) : 169-183.
- Klein K., Boals A., 2001. The relationship of life event stress and working memory capacity. *Applied Cognitive Psychology* 15 : 565-579.
- Lansade, L., Bouissou, M.-F., 2008. Reactivity to humans: A temperament trait of horses which is stable across time and situations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114, 492-508.
- Lansade, L., Bouissou, M.-F., Erhard, H.W., 2008a. Fearfulness in horses: A temperament trait stable across time and situations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 115, 182-200.
- Lansade, L., Bouissou, M.-F., Erhard, H.W., 2008b. Reactivity to isolation and association with conspecifics: A temperament trait stable across time and situations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109, 355-373.
- Lansade, L., Leconte, M., Pichard, G., 2008c. Développement d'un outil de prédiction du tempérament et des aptitudes mentales du cheval aux différentes disciplines équestres, 34ème Journée de la Recherche Equine, Paris.
- Lansade L., Faustine Simon F., 2010, Horses' learning performances are under the influence of several temperamental dimensions. *Applied Animal Behaviour Science* 125 : 30-37.
- McLean A. N., 2004. Short-term spatial memory in the domestic horse. *Applied Animal Behaviour Science* 85 : 93-105.
- Mendl M., 1999. Performing under pressure : stress and cognitive function. *Applied Animal Behaviour Science* 65 : 221-244.
- Murphy J., 2009. Assessing equine prospective memory in a Y-maze apparatus. *The Veterinary Journal* 181 : 24-28.
- Öhman L., Nordin S., Bergdahl J., Birgander L. S., Neely A. S., 2007. Cognitive function in outpatients with perceived chronic stress. *Scandinavian journal of work, environment & health* 33 (3): 223-232.
- Park, C. R., Zoladz, P. R., Conrad, C. D., Fleshner, M. & Diamond, D. M. 2008. Acute predator stress impairs the consolidation and retrieval of hippocampus-dependent memory in male and female rats. *Learning & Memory*, 15, 271-280.
- Sandi M., Pinelo-Nava M. T., 2007. Stress and Memory: Behavioral Effects and Neurobiological Mechanisms. *Neural Plasticity*. Article ID 78970, 20 pages, doi:10.1155/2007/78970.
- Sorg B.A, Whitney P., 1992. The effect of trait anxiety and situational stress on working memory capacity. *Journal of research in personality* 26 : 235-241.
- Woodson J. C., Macintosh D., Fleshner M., Diamond D.M., 2003. Emotion-induced amnesia in rats : working memory-specific impairment, corticosterone-memory correlation, and fear versus arousal effects on memory. *Learning Memory* 10 : 326-336.