



Navette hippomobile en haute montagne ? Oui, mais avec assistance électrique

Alti-Trottibus – Tests préliminaires

Par : **L. Maly, M. Addes** (CRECAT, Ifce)

Recourir à l'assistance électrique pour optimiser le bien-être du cheval au travail en zone de montagne - une initiative prometteuse ! Mais quels sont les bénéfices réels pour l'animal ? Premiers tests, premiers résultats.

A l'heure où le développement durable et le bien-être animal sont au centre de l'actualité, l'utilisation de Véhicules Hippomobiles à Assistance Electrique (VHAE) apparaît comme une alternative prometteuse, offrant des possibilités de réhabilitation des équidés de travail jusque-là encore inexplorées. C'est dans ce contexte que le projet de navette hippomobile à assistance électrique Alti-Trottibus a été initié par Transdev et Oxalis en 2017, à Termignon, aux portes de la Vanoise. En août dernier, la délégation territoriale Auvergne-Rhône-Alpes de l'Ifce a ainsi réalisé deux journées de tests préliminaires, par le biais du Centre de Ressources et d'Expérimentations sur le Cheval Au Travail (CRECAT). Les objectifs ?

S'assurer que l'utilisation de VHAE permet bien de répondre, au moins sur un plan technique, aux enjeux du transport de personnes en zone de montagne.

Vérifier qu'un tel système de transport, utilisé en conditions réelles de travail, répond bien aux attentes en termes de confort de travail des chevaux, de respect de leur bien-être et de leurs capacités de travail.

L'ensemble devait également renforcer les connaissances sur le cheval au travail et valoriser son utilisation par le biais de solutions innovantes et alternatives.



Figure 1 / Paire de chevaux comtois attelés à l'Alti-Trottibus

© M. Addes et L. Maly

Matériels et méthodes

Les tests dont les résultats sont présentés ici ont été réalisés les 2 et 3 août 2018 alors qu'une liaison parallèle à celle assurée par le bus thermique, était mise en place entre le parking de Bellecombe et Plumefine par le biais de l'Altitrottibus. Le VHAE a été tracté par une paire de Comtois (jour1) et une paire de Traits du Nord (jour2). Seules les données enregistrées durant la montée entre le parking et l'amorce du plateau conduisant au refuge de Plan du Lac ont été analysées. Ce trajet, parcouru en moyenne en 5 minutes, s'étend sur 550m, pour un dénivelé d'environ 35m et une pente moyenne estimée à 7% (pouvant ponctuellement dépasser 10%).

Les mesures effectuées portaient sur :

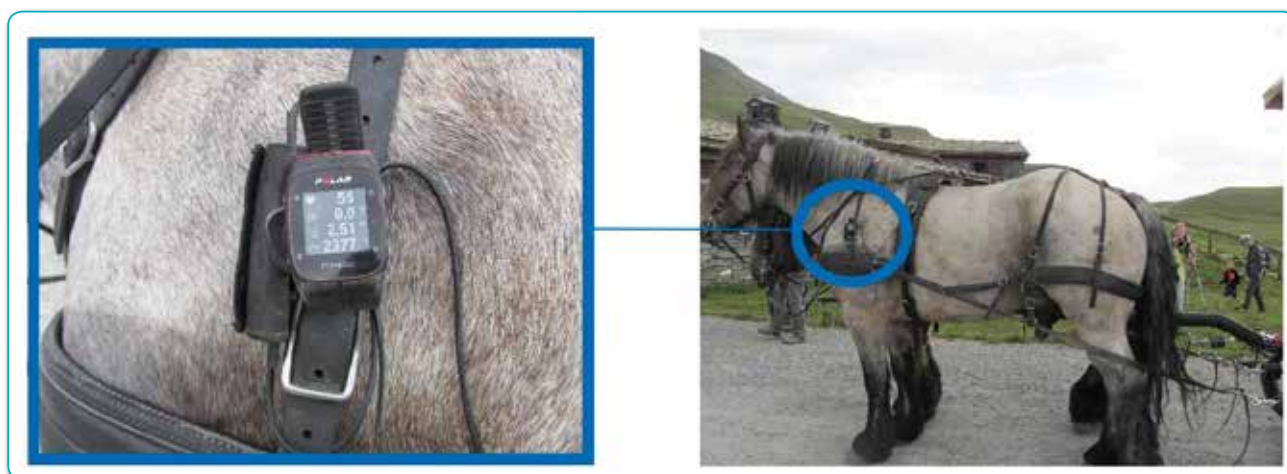
» L'effort de traction fourni par les chevaux

Quatre capteurs de force (SL 300) positionnés entre les traits et les palonniers ont permis de mesurer l'effort fourni par chaque cheval. Il suffisait alors d'additionner ces valeurs pour obtenir les efforts fournis par la paire attelée (centrale d'acquisition Almemo 710). Etant donné le très grand nombre d'enregistrements (50 mesures/seconde), les graphes présentés sont réalisés à partir de moyennes glissantes sur 10 valeurs consécutives. Ces données sont analysées par comparaison :

- Aux **valeurs de consignes** (C_{val}) fixées et modifiables pour l'assistance électrique (C_{60} = l'AE démarre à partir d'une force de traction fournie par la paire ≥ 60 kgf)
- Aux **capacités théoriques de traction** des chevaux :
 - **Soit calculées** → CAPTRAC $C = KC/H$ avec K le coefficient lié à la vitesse de déplacement, C le périmètre thoracique et H la hauteur au garrot^{[1] [2]}.
 - **Soit estimées** → CAPTRAC 10% = 10% du poids du cheval : cette capacité de traction varie entre 10 et 20% dans la littérature, avec un optimum aux alentours de 12%^{[3] [4]}.
CAPTRAC M est la valeur moyenne entre ces 2 estimations.
- A l'**Effort de Traction Nécessaire** (ETN) au déplacement du véhicule en fonction de sa charge ($M = 800$ kg pour la masse du véhicule à vide + masses des meneurs, techniciens, passagers et matériels divers) et de la pente (p) du parcours. Cet effort est approximé selon la formule :
 $ETN_{1130} = (1130 \times Coef_{res}) + (1130 \times p) = 102kg_f^{[4] [5]}$ pour un VHAE de 1130kg, une pente de 7% et coefficient de frottement estimé à 2% (Hippotèse)

» **L'effort physiologique fourni par les animaux** durant les trajets, analysé par le biais de leur fréquence cardiaque suivie en continu au cours des trajets.

Afin de s'assurer que les chevaux travaillent dans des conditions physiologiques acceptables, leur fréquence cardiaque a été enregistrée en continu durant les phases de travail ainsi que durant les différentes phases de repos exploitables (avant les parcours et entre 2 parcours). Les cardiofréquence-mètres (Polar M_{400}) utilisés disposent d'un système GPS permettant de relier directement l'effort fourni à la position de l'attelage ainsi qu'à la mesure de l'effort de traction.



© M. Addes et L. Maly

Figure 2 / détail et emplacement d'un cardiofréquence-mètre

NB : Des relevés comportementaux ont également été réalisés durant les parcours, mais n'ont pas été traités dans le cadre de ce premier bilan.

Résultats et discussion

Les efforts de traction nécessaires au déplacement du véhicule (cf. *tableau 1*) étaient compris entre 102kg_f (véhicule sans passagers, ne transportant que deux meneurs et deux personnes réalisant les mesures) et 158kg_f (véhicule avec 9 passagers). En théorie, il est considéré qu'un cheval assure un effort de traction d'environ 60kg_f. Cette valeur - retenue comme maximum - correspond à 10% du poids du cheval le moins lourd de la paire et est généralement admise comme capacité théorique de traction du cheval. Une paire de chevaux attelés aurait donc une capacité de traction de minimum 120kg_f. Sous ces conditions, le déplacement du véhicule pourrait être assuré sans assistance électrique dans 3 des 4 situations analysées. Mais du fait de l'altitude et du profil des trajets (pente), les chevaux se retrouveraient néanmoins à la limite de leurs capacités physiques. Dans de telles conditions, l'assistance électrique prend tout son sens pour donner un certain confort de travail aux chevaux. Mais dans quelle mesure apporte-t-elle une aide aux animaux ?

Résultats des mesures enregistrées pendant les phases de travail

Les résultats des différentes mesures réalisées pendant les phases de travail sont synthétisés dans le tableau 1 ci-dessous.

		TRAJET 1			TRAJET 3			TRAJET 2			TRAJET 4		
VHAE	Nbre passagers	0			9			3			4		
	Masse estimée	1130 kg			1760 kg			1340 kg			1410 kg		
	Effort de Traction Nécessité	102 kgf			158kgf			121 kgf			127 kgf		
		VIAD	JES	PAIRE	ARAM	ATOS	PAIRE	VIAD	JES	PAIRE	ARAM	ATOS	PAIRE
CARACTERISTIQUES CHEVAL	RACE	CONT	CONT		TDN	TDN		CONT	CONT		TDN	TDN	
	MASSE	585	601,5		696	680							
	CAPTRAC C	74	77		80,5	78							
	CAPTRAC 10 % (CT10)	58,5	60		70	68							
	CAPTRAC M	66	68,5		75	73							
FORCE DE TRACTION	FT MOYENNE	35,5	45	80,5	32	35	67	28,2	36,5	65	20	26	46,2
	FT MAX	102,5	137	226	161	173,5	308	152	162	281	122	312	319
	N VALEURS	4434			3610			4723			3063		
	% VAL > CT10	9 %	17 %	74 %	5 %	8 %	40 %	13 %	20 %	44 %	2 %	7 %	19 %
	% VAL > C=60				11 %	14 %	54 %				3 %	10 %	26 %
	% VAL > C=80	1 %	5 %	45 %									
FREQUENCE CARDIQUE	VITESSE TRAJET	4,5 km/h			6,5 km /h			3,7 km/h			7,3km/h		
	FC MOYENNE	105	124		107	122		109	107		109	146	
	FC MAX	123	203		146	165		125	130		178	190	
	FCMIN	57	39		64	66		50	51		60	68	
	%>200 bpm		1 %		0 %	0 %		0 %	0 %		0 %	0 %	
	170<%>200 bpm		3 %		0 %	0 %		0 %	0 %		1 %	20 %	
	130<%>170 bpm		34 %		0 %	71 %		0 %	0 %		8 %	62 %	
	80<%>130 bpm	93 %	57 %		95 %	25 %		98 %	98 %		82 %	15 %	
	0<%>80 bpm	7 %	5 %		5 %	4 %		2 %	2 %		9 %	2 %	

Tableau 1 / Efforts de traction et fréquences cardiaques enregistrés pendant les phases de travail
%VAL = pourcentage de valeurs enregistrées pour les chevaux dépassant la valeur de consigne

Des efforts de traction soutenables grâce à l'AE

Lorsque les chevaux sont considérés séparément, il apparaît que les capacités individuelles de traction de chaque cheval sont globalement respectées (cf. tableau 1). Ces dernières ne sont dépassées que dans un maximum de 20% des mesures (Jessie - trajet n°2) et plus globalement dans moins de 15% des cas pour l'ensemble des chevaux.

Les forces de traction moyennes enregistrées pour chaque cheval (cf. tableau 1) sont nettement inférieures à la moitié de celles nécessaires au déplacement du véhicule. L'AE semble donc bien jouer son rôle de soutien aux chevaux, qui n'apportent, selon les cas, que 15 à 44% de l'effort de traction nécessaire.

Ces données doivent cependant être interprétées avec prudence, surtout lorsqu'elles concernent la paire dans son ensemble et non les chevaux individuellement. En effet, leur interprétation, basée sur l'analyse de moyennes très variables (oscillations comprises entre 60 et 120kg_f), fragilisent leur validité.

La figure 3 (ci-dessous) montre clairement les apports et l'efficacité de l'assistance électrique. Dans 84% du temps, la force de traction développée par la paire de chevaux (courbe jaune) est en effet inférieure à 60kg_f, pour un ETN estimé à 127kg_f.

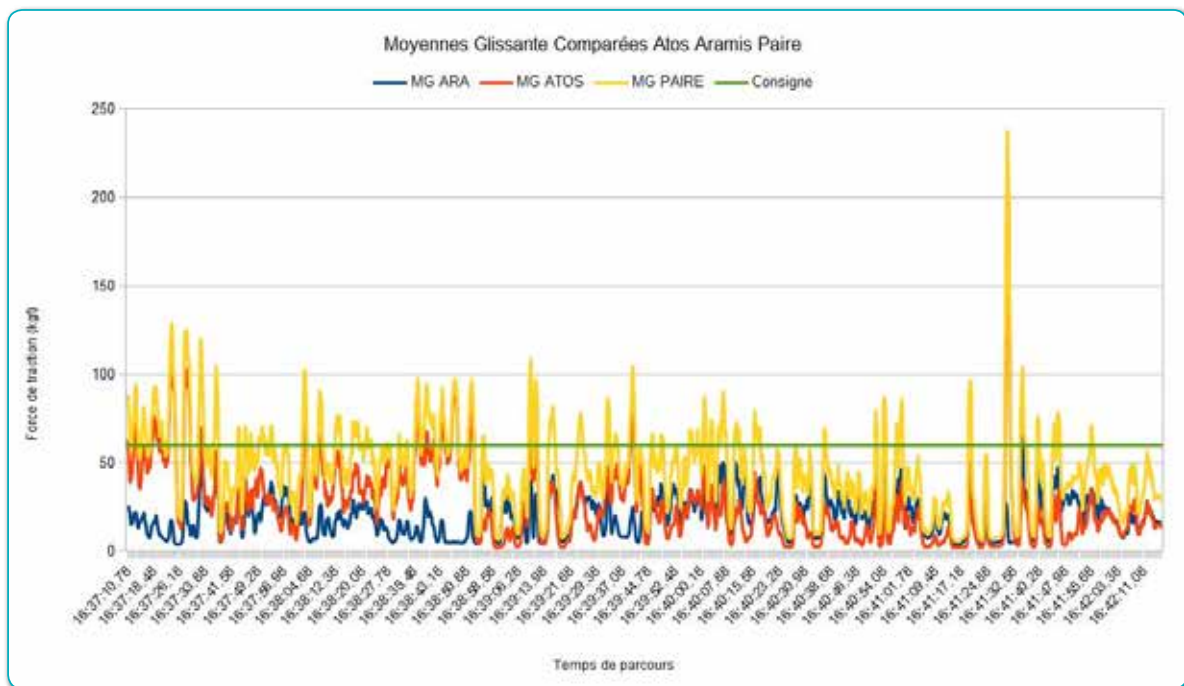


Figure 3 / Force de traction développée par la paire de Traits du Nord au cours du trajet n°4

Fréquences cardiaques correspondant à des efforts de moyenne intensité

Les principales références disponibles au sujet de l'évolution de la fréquence cardiaque (FC) chez le cheval concernent essentiellement les chevaux de sport, limitant ainsi les possibilités directes de comparaison avec d'autres travaux. Chez ces derniers, on sait que la FC est dépendante de l'individu et l'intensité d'effort peut être graduée de la façon suivante :

- Effort d'intensité moyenne → 90bpm < FC < 120bpm
- Effort de forte intensité → 120bpm < FC < 170bpm
- Effort de très forte intensité au-delà de 170bpm

Sachant que les valeurs maximales de la FC évoluent entre 230 et 260bpm^[6].

Les 8 séries de données enregistrées durant les parcours (cf. tableau 1) montrent que les FC moyennes sont comprises entre 80 et 130bpm pour plus de la moitié du temps de travail. Ces valeurs traduiraient des efforts de moyenne intensité selon la classification des chevaux de sport. Cette intensité moyenne de travail - au regard de la charge à tirer (ETN > 100 kg_r) et de la pente - illustre clairement les apports de l'assistance électrique dans ce type de situations. L'absence de données/références sur des trajets identiques, mais sans assistance, ne permet cependant pas d'en évaluer précisément la portée pour les animaux.

Il apparaît dans un seul cas (Atos, trajet n°4) que la FC moyenne enregistrée excède nettement 170bpm, et ce durant 20% du temps de travail analysé. Cela correspondrait à un effort de très forte intensité. Atos est par ailleurs le cheval qui semble fournir les efforts les plus importants : 62% (respectivement 71%) du temps de trajet sont effectués avec une FC comprise entre 130 et 170bpm au cours du trajet 3 (respectivement trajet 4). C'est également le cas de Jessie, mais

seulement pour 34% du temps (trajet 1). Ces efforts de forte intensité sont surprenants au regard des FT développées, forces nettement inférieures aux capacités de traction des chevaux concernés, dans une situation d'AE opérationnelle. Ces fortes valeurs seraient peut-être à rapprocher d'une vitesse plus élevée (6,5 et 7,3km/h) induite par le fait que l'AE diminue l'effort de traction. Le fait qu'elles ne concernent qu'un seul des deux chevaux de la paire - qui circulent à la même vitesse - pourrait quant à elle être à rapprocher de la différence de travail fourni par les chevaux de la paire et/ou de la variabilité individuelle.

Fréquences cardiaques enregistrées pendant les phases de repos

Les résultats des différentes mesures réalisées pendant les phases de repos sont synthétisés sur la *figure 4* ci-dessous.

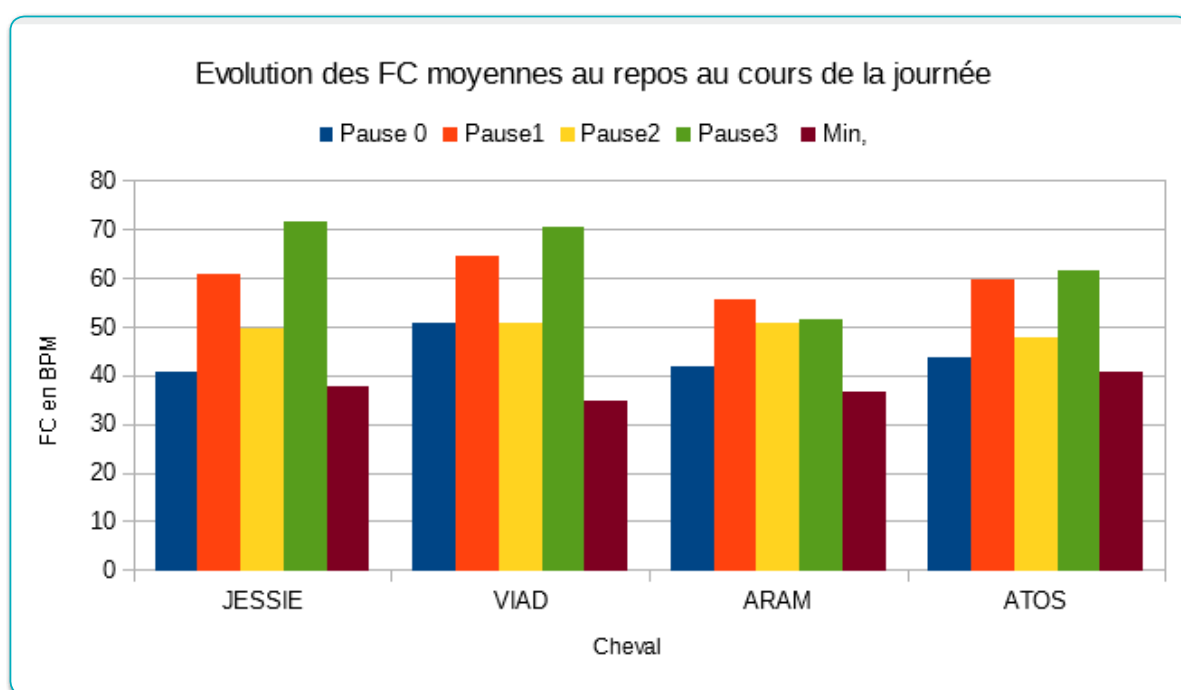


Figure 4 / Comparaison des FC moyennes lors des différents temps de pause au cours du trajet n°4

Les enregistrements « avant départ » (cf. P0 sur la figure 4) correspondent au premier enregistrement de la journée. Il apparaît clairement que c'est lors de ces enregistrements que les FC moyennes sont les plus basses.

La *figure 4* montre par ailleurs que, pour 3 chevaux sur 4, la FC moyenne enregistrée lors de la pause 3 (P3) est plus élevée qu'au cours des autres pauses, et ce malgré un temps de repos relativement long (15 minutes minimum). Ce constat, sans être vérifié statistiquement, pourrait aller dans le sens d'un cumul des efforts au cours de la journée, nécessitant des temps de récupération de plus en plus longs au fur et à mesure de l'avancement de celle-ci. Il faut toutefois noter que cette pause 3 survient lors du dernier trajet de la journée, à l'issue d'une forte montée, alors que les autres pauses interviennent soit avant un départ, soit après une phase de descente ou plus tôt dans la journée.

Comme dans le cas des forces de traction, il convient de rester prudent dans les analyses avancées étant donnée la grande variabilité des situations d'un trajet à l'autre. Ces résultats soulignent néanmoins l'importance des phases de repos pour les chevaux, dont l'organisation devra faire l'objet d'une attention particulière dans les sessions à venir.

Au regard des importantes variations de contexte observées d'un trajet à l'autre (nombre de passagers, masse du chargement, valeur et stabilité de la consigne, vitesse de déplacement, durée du parcours et des pauses, âge et entraînement des chevaux...), une interprétation de ces observations au-delà de ces premiers constats n'est guère envisageable.

Conclusion et perspectives

Les éléments livrés par ces premiers tests ne permettent certes pas de répondre à toutes les questions, mais ils font néanmoins ressortir des arguments en faveur du développement de navettes hippomobiles à assistance électrique comme alternative au transport de personnes motorisé en altitude. Les efforts demandés aux chevaux semblent en effet correspondre à leurs capacités de travail. Et même si son utilisation doit être menée selon un cahier des charges précis, l'assistance électrique apparaît bien comme une piste d'avenir réelle pour le développement de l'utilisation de l'énergie cheval.

Bien entendu, des points d'interrogation, d'amélioration et de vigilance demeurent et seront à résoudre d'ici la saison prochaine. Il s'agira par exemple de standardiser les conditions de mise en œuvre du protocole et de répéter les tests afin d'obtenir des résultats significatifs. Comparer différents scénarii de trajets en apportant une vigilance particulière à la durée, à l'organisation et à l'efficacité des temps de récupération des chevaux. Bien régler le matériel en fonction de la masse à tirer et des capacités de chaque cheval/paire. Il sera également nécessaire d'améliorer l'analyse des effets sur le bien-être animal grâce à des mesures complémentaires et en incluant un volet comportemental. Autant de points dont la prise en compte - rendue possible grâce à des expériences telles que l'Alti-Trottibus - permettra d'assurer l'avenir des chevaux au travail et de l'assistance électrique pour un développement plus durable.



© M. Addes et L. Maly

Figure 5 / Paire de Traits du Nord attelés à l'Alti-Trottibus

Le projet d'Altittrotibus a été initié et développé par M Pascal d'Oxalis, avec la collaboration de Transdev Savoie, le Réseau Professionnel Rhône-Alpes Traction animale, le PNV et les collectivités locales du territoire.

Le système d'assistance électrique adapté au véhicule est développé par M. Zandona de la société METERUS.

Bibliographie

[1] Hippotèse. Emploi rationnel de la traction animale – Calculs théoriques [en ligne]. Dans : Etude scientifique (1958) sur l'Emploi rationnel du cheval de trait. Hippobulle n°5/6, 7/8 et 9/10. Disponible sur : <https://www.econologie.com/fichiers/partager2/1295436041jzZPDd.doc>

[2] Haras Nationaux, Hippotèse et APTC. Le cheval : l'outil de traction le plus moderne.

[3] VALL E., 1991. Capacité de travail du zébu, de l'âne et du cheval au Nord Cameroun. Concept d'adéquation du couple animal-outil. Annales de zootechnie, INRA/EDP, sciences, 1998, 47 (1), pages 41-58.

[4] COTTRANT J.F., 2016. Capacité de traction des ânes. Les coefficients de frottement. Les Cahiers de l'âne, n°71, décembre 2015/Janvier 2016.

[5] COTTRANT J.F., 2015. Capacité de traction des ânes. Les Cahiers de l'âne, n°70, octobre/novembre 2015.

[6] GALLOUX P., 1991. Contribution à l'élaboration d'une planification de la préparation énergétique du cheval de concours complet : suivi de l'entraînement par la mesure de la fréquence cardiaque et le dosage de la lactatémie. Thèse de doctorat en sciences biologiques et fondamentales appliquées, sous la direction de A. Junqua, Poitiers.