

Etude du lien entre EMG et signaux cinématiques par relations temporelles et courbes COR

T. Lamotte⁽¹⁾, F. Lino⁽¹⁾, F. Guillon⁽¹⁾, A. Domont⁽¹⁾,
A. Priez⁽²⁾, E. Lepoivre⁽²⁾, C. Tarrière⁽²⁾, J. Duchêne⁽³⁾

⁽¹⁾ : AARISTE, 15 rue de l'école de Médecine, F75006 PARIS, E-mail : confort@aariste.worldnet.fr

⁽²⁾ : RENAULT DBA, 132 rue des Suisses, F92000 NANTERRE, E-mail : alain.priez@ctr.renault.fr

⁽³⁾ : UTT LM2S, BP 2060, F10010 TROYES CEDEX, E-mail : duchene@univ-troyes.fr

Résumé : Des signaux électromyographiques (EMG) des muscles du cou et des signaux cinématiques (véhicule et tête du sujet) sont mesurés, dans une voiture, pendant un trajet routier, afin de quantifier le confort postural de l'appui-tête. Cet article présente l'étude du lien entre ces signaux. Ils sont tout d'abord considérés localement : segmentation pour les EMG et analyse statistique pour les accélérations. Les relations temporelles entre événements caractéristiques (bouffées EMG et fortes accélérations) sont ensuite étudiées. Des courbes COR sont déduites. Cette méthode a mis en évidence l'absence de relation entre forte accélération du véhicule et bouffées EMG. Mais elle a permis de classer les bouffées selon le type de mouvement de tête associé.

Abstract : In order to quantify automotive head rest postural comfort, EMG from neck muscles and kinematics (from the car ground and the subject's forehead) were measured during a car ride. Firstly, they were analysed locally : EMG segmentation and statistical analysis for the acceleration. Then temporal relationships between typical events (EMG bursts and highest acceleration) were studied. ROC curves were deduced. This method showed the lack of relationship between car's acceleration and EMG bursts. But it authorised to classify EMG bursts with respect to head acceleration.

1) Position du problème

Afin de mesurer objectivement le confort postural lié à l'appui-tête, des mesures électromyographiques (EMG) et cinématiques sont réalisées pendant un trajet routier d'une durée de deux heures. Les signaux EMG sont mesurés sur les muscles du cou : muscles antérieurs sternocleidomastoïdeus (SCM) et muscle postérieur cervical erector spinae (CES). La cinématique est mesurée sur le plancher du véhicule et le front du sujet à l'aide d'accéléromètres triaxiaux. La figure 1 présente les différentes mesures effectuées ainsi que les conditionnements analogiques appliqués.

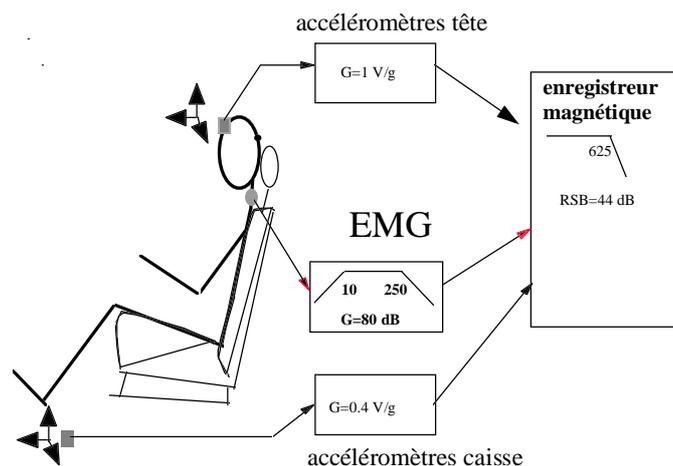


Figure 1 : Synoptique des mesures réalisées

Les fréquences de coupure à 3dB sont exprimées en Hz.

Une méthode est proposée afin de classer les bouffées d'EMG selon leur rôle. En effet, lors de l'apparition d'une bouffée, il est difficile d'énoncer sa cause ou son action. Une bouffée peut être associée à un mouvement droite-gauche, un mouvement avant-arrière, une inclinaison, une absence de mouvement, etc... La figure 2 présente un cas où un ensemble de bouffées provoque un mouvement de tête

complexe. Cette figure montre la possibilité d'expliquer les conséquences des bouffées par la cinématique mesurée sur le front du sujet.

De plus, une bouffée d'activité musculaire peut être soit d'origine volontaire soit réflexe. Une réponse musculaire assimilable à un réflexe est parfois observée suite à un événement transitoire mécanique mesuré sur la caisse du véhicule (accélérations longitudinales, vibrations verticales transitoires, ...). La figure 3 montre un exemple où des bouffées sont observées sur les muscles SCM de manière concomitante à une décélération du véhicule. Le but de la méthode présentée est de mettre en évidence le rôle des bouffées en étudiant conjointement les relations temporelles entre événements musculaires et cinématiques. Une classification adaptée des bouffées sera également proposée.

2) Analyse locale des signaux

Les différents signaux (EMG et cinématique) sont analysés de manière individuelle selon leurs propres caractéristiques. Ces signaux sont tous acquis en différé à une fréquence de 512 Hz.

2.1) EMG

Lamotte et al.[1] ont présenté une méthode de détection d'événements dans le signal EMG par des sauts de variance. Une étape de classification est ensuite réalisée afin de retrouver des modes de fonctionnement précis. La détection des modes artefactuels est développée dans [1]. Les EMGs sont ensuite classés en deux catégories selon l'énergie du segment : soit bouffées d'activité musculaire, soit EMG tonique. Des résultats consacrés à l'analyse de l'évolution temporelle de l'EMG tonique sont présentés dans [2]. La méthode décrite isole également les instants d'apparition et de disparition de 98% des bouffées d'activité musculaire [2]. La présente étude s'intéresse à ce deuxième aspect du signal EMG : les bouffées d'activité musculaire ou EMG phasique.

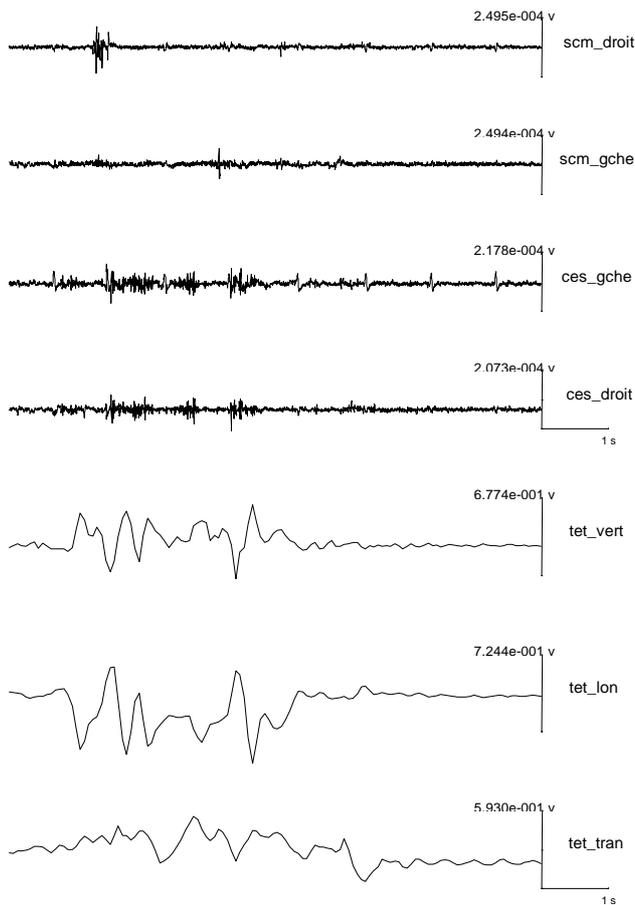


Figure 2 : Bouffées associées à un mouvement de tête complexe

SCM : Muscle sternocleidomastoïdeus,

CES : Muscle Cervical erector Spinae,

*tet_** : accéléromètres posés sur le front du sujet.

vert : axe vertical, *lon* : axe longitudinale (avant-arrière) et *tran* : axe transverse (gauche-droite).

Accélération de la tête : 1g correspond à 1 V

2.2) Cinématique

Ces signaux, mesurés à l'aide d'accéléromètres triaxes, sont recueillis à la fois sur la caisse du véhicule et sur le front du sujet. Les différents signaux sont filtrés passe bas (par moyennage temporel des échantillons) selon la fréquence maximale du phénomène étudié puis sous échantillonnés. Cette fréquence de sous échantillonnage est de 64 Hz pour les accélérations verticales du véhicule, 4 Hz pour les accélérations longitudinales et transverses du véhicule et 16 Hz pour les accélérations mesurées sur le front du sujet. Ces signaux sont non stationnaires et contiennent a priori différents modes de fonctionnement. Une tentative de segmentation de ces signaux a été réalisée mais de manière infructueuse, un trop grand nombre de fausses alarmes étant observé dans tous les cas. Cette méthode et ses limites sont décrites de manière exhaustive dans [3]. D'autre part, l'étude laisse volontairement de côté les signaux vibratoires d'accélération verticale (véhicule et tête du sujet) pour lesquels le lien avec l'EMG a systématiquement été rejeté.

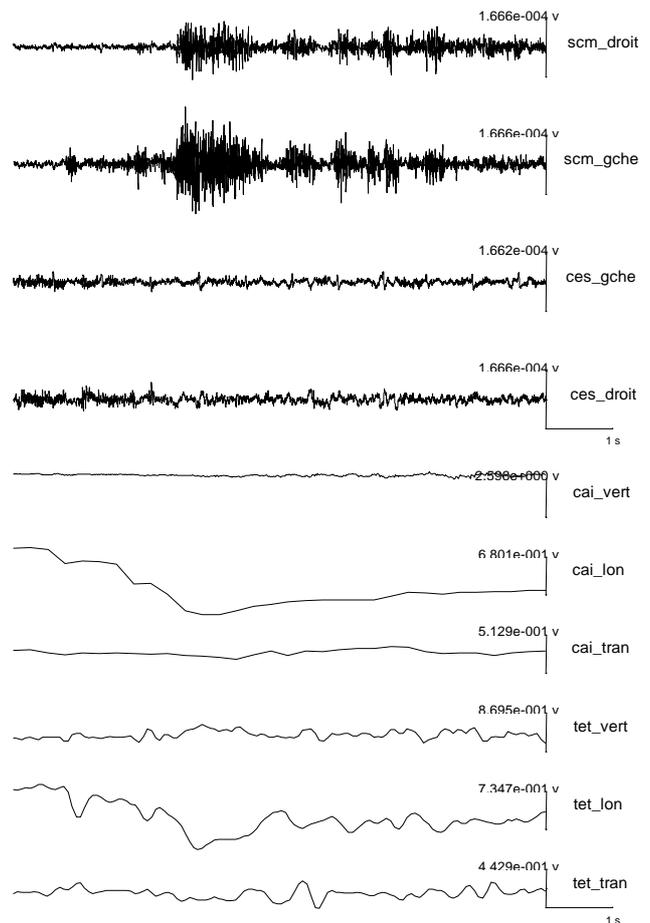


Figure 3 : Bouffées synchrones à une décélération longitudinale du véhicule

*cai_** : accéléromètres posés sur la caisse du véhicule.

Accélération du véhicule : 1g correspond à 0,4 V

Seuls les signaux d'accélération longitudinale (avant-arrière) et transverse (droite-gauche) sont considérés. Ces signaux sont centrés. La valeur absolue des échantillons du signal centré et la fonction de répartition des échantillons sont calculées. Enfin, les échantillons sont rangés par valeur décroissante.

3) Méthode globale : relations temporelles et courbes Caractéristiques Opérationnelles du Récepteur (COR)

Les outils précédents ont isolé d'une part les échantillons d'accélération selon leur amplitude et d'autre part les EMG phasiques. La méthode globale consiste à rechercher si les échantillons de forte accélération sont inclus dans le support temporel des bouffées. Ce test de l'inclusion de l'échantillon considéré dans le support temporel d'une bouffée permet la construction d'une courbe COR expérimentale. Il y a détection si cet échantillon est inclus dans une (ou plusieurs) bouffée(s) non expliquée(s) par un autre échantillon du même signal d'accélération. Il y a fausse alarme si cet échantillon n'est pas inclus dans les supports temporels des différentes bouffées. Enfin, l'échantillon d'accélération n'est pas considéré s'il est inclus dans une bouffée déjà expliquée.

Construite de cette manière, la méthode teste uniquement une inclusion stricte dans un support temporel. Or, l'extremum d'accélération associé à une bouffée peut être certes inclus dans la bouffée, mais ce n'est pas certain. Cet extremum peut être localisé avant l'instant d'apparition de la bouffée ou après sa disparition. Aussi, des décalages ont été autorisés autour de la bouffée afin de prendre en compte ces relations. Ainsi, les supports temporels sont agrandis : l'apparition est décalée vers le passé et la disparition vers le futur. La figure 4 résume comment est construite la courbe COR par cette méthode. Plusieurs retard seront testés : un retard nul, un retard de 0,5 secondes, etc...

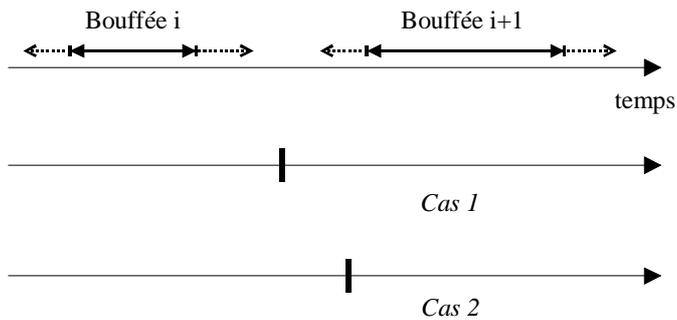


Figure 4 : Méthode multidimensionnelle pour les accélérations par intersection entre supports temporels des bouffées (plus ou moins le retard autorisé)

cas 1 : échantillon de l'accélération non inclus dans une bouffée, c'est une fausse alarme.

cas 2 : échantillon de l'accélération inclus dans une bouffée. Si la bouffée $i+1$ n'est pas déjà expliquée par un échantillon d'amplitude supérieure, c'est une détection, sinon indifférence.

Cette méthode autorise deux types de conclusions. Tout d'abord une conclusion qualitative : l'allure de la courbe offre une réponse quant à l'existence du lien entre EMG et accélérations. Ensuite, si ce lien existe, la courbe COR permet de déduire un seuil sur les accélérations afin de séparer EMG associés et non associés à une accélération.

4) Résultats

4.1) Rôle du décalage sur la spécificité observée

Les figures 5 et 6 présentent une réalisation de courbes COR (calculée sur une expérience routière de deux heures choisie au hasard). La figure 5 présente la courbe déduite de l'étude du lien par rapport aux mesures véhicule. Des décalages de 0, 1, 2,5 et 5 secondes sont testés. La figure 6 présente le même type de réalisations avec des signaux mesurés sur le front. Les décalages testés sont 0, 0,5, 1,0 et 1,5 s. Cette première approche montre le rôle du décalage choisi sur la forme de la courbe : plus le décalage est grand, meilleure est la spécificité. Elle a également permis de choisir qualitativement les décalages autorisés afin d'avoir une spécificité suffisante. Un décalage de 2,5s est retenu pour les accélérations véhicule et un décalage de 1,0s pour les accélérations mesurées sur le front. Les deux paragraphes suivants présentent les résultats observés sur l'ensemble des expériences disponibles.

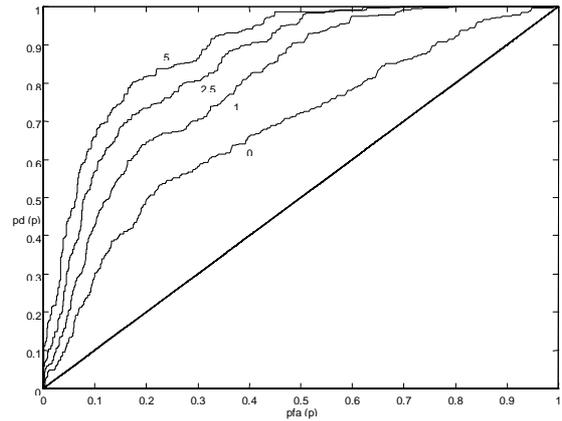


Figure 5 : Courbe COR EMG/accélérations du véhicule, effet du décalage

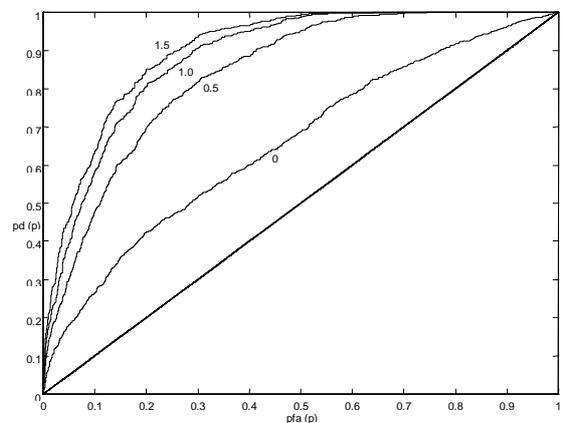


Figure 6 : Courbe COR EMG/accélérations mesurées sur le front du sujet, effet du décalage

4.2) Liens avec les accélérations du véhicule, décalage de 2,5 secondes

La figure 7 présente l'ensemble des courbes COR calculées pour les expériences routières de deux heures ($N=18$) pour l'accélération longitudinale (avant-arrière). Les résultats sont assez dispersés et la spécificité est très médiocre. On ne peut donc pas dire que les bouffées d'EMG sont situées temporellement proches des accélérations véhicule de forte amplitude. Les bouffées sont en effet réparties sur les différentes valeurs d'accélération. L'hypothèse selon laquelle les accélérations de forte amplitude sont associées aux bouffées est donc rejetée. Des résultats similaires sont obtenus avec les accélérations transverses (droite-gauche) du véhicule. Les signaux d'accélération véhicule sont donc inadaptés à l'explication et à la classification des bouffées d'activité EMG.

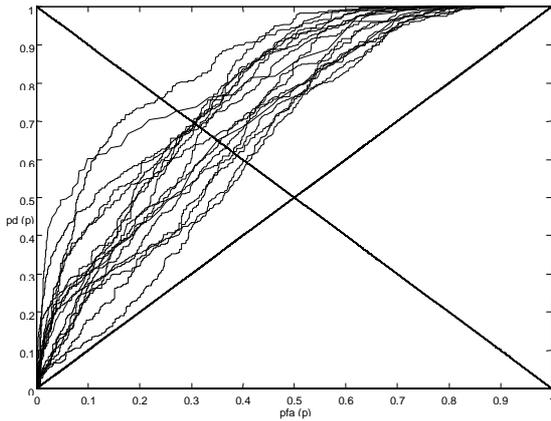


Figure 7 : Faisceau de courbes COR pour le lien aux accélérations longitudinales du véhicule

4.3) Liens avec les accélérations de la tête du sujet, décalage de 1,0 seconde

La figure 8 présente l'ensemble des courbes COR calculées pour l'accélération transverse. Les courbes sont moins dispersées que pour les accélérations véhicule. La spécificité est également meilleure. L'aspect de ces courbes met donc en évidence l'existence du lien entre EMG et fortes accélérations de la tête. Le tableau 1 présente les seuils calculés par intersection avec la droite caractéristique de Neyman-Pearson à coût 0-1 pour les deux axes d'accélérations considérés.

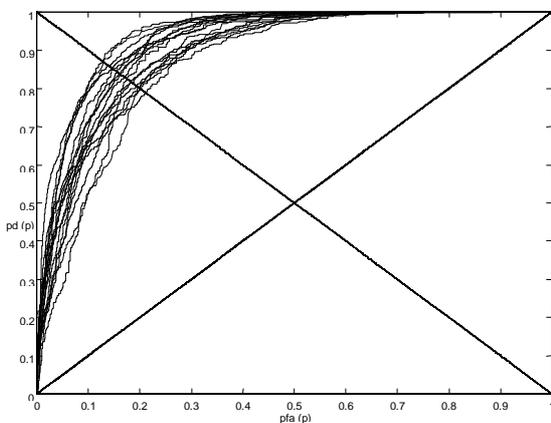


Figure 8 : Faisceau de courbes COR pour le lien aux accélérations transverses de la tête

Conclusion

Cette méthode a donc permis de conclure qualitativement quant à l'existence du lien entre EMG des muscles du cou et accélérations. Les courbes de type COR sont utilisées afin de mettre en évidence la qualité de la relation. Le lien n'est pas évident pour les mesures d'accélération du véhicule. En revanche, avec les mesures d'accélération de la tête, ce lien est facilement observé. La classification des EMGs phasiques consiste alors à observer, sur le support temporel de la bouffée, quels sont les échantillons d'accélération qui excèdent les seuils critiques calculés. Au total, quatre classes de bouffées EMG sont définies (tableau 2). L'évaluation du confort de l'appui-tête

repose aujourd'hui sur l'étude séparée de ces quatre classes d'EMG phasique.

	accélération longitudinale (N=17)	accélération transverse (N=12)
seuil (u.a.)	0,11 ± 0,03 [0,07 ... 0,16]	0,10 ± 0,01 [0,08 ... 0,13]
pd (p)	0,83 ± 0,03 [0,78 ... 0,88]	0,83 ± 0,03 [0,78 ... 0,89]
pfa (p)	0,17 ± 0,03 [0,13 ... 0,21]	0,17 ± 0,03 [0,11 ... 0,22]

Tableau 1 : caractéristiques des seuils déduits sur la cinématique mesurée sur le front du sujet
Le seuil est exprimé en unité arbitraire (u.a.), pd : probabilité de détection, pfa : probabilité de fausse alarme

Pour chaque bouffée		Accélérations longitudinales	
		$\geq S_{crit, longi}$	$< S_{crit, longi}$
Accélérations transverses	$\geq S_{crit, transv}$	EMG dit mixte 0,75 ± 0,08	EMG dit transverse (mouvement droite-gauche) 0,11 ± 0,06
	$< S_{crit, transv}$	EMG dit longitudinal (mouvement avant/arrière) 0,10 ± 0,04	EMG sans déplacement 0,04 ± 0,02

Tableau 2 : Les quatre classes d'EMG phasique ou bouffées déduites de la méthode
La moyenne et l'écart-type du pourcentage des bouffées classifiées dans chacune des catégories sont également reportés (N=12 expériences).

Références :

[1] T. Lamotte, A. Priez, E. Lepoivre, C. Tarrriere, J. Duchêne, 'Détection et caractérisation en temps différé de saut de dynamique : application à la segmentation de l'EMG', Quinzième colloque GRETSI, 1189-1192, 1995
[2] T. Lamotte, A. Priez, F. Guillon, A. Domont, E. Lepoivre, C. Tarrriere, J. Duchêne, 'Application of a detection-characterization frame for SEMG : preliminary results about head-rest comfort', IEEE EMBS 18ème conférence annuelle, Amsterdam, 1996
[3] T. Lamotte, 'Segmentation et exploitation de signaux physiologiques et cinématiques pour l'étude du confort postural de l'appui-tête', Thèse de génie biomédical, Université de Technologie de Compiègne, le 17.12.1996