

*Centre National de la Recherche Scientifique
Institut de Neurophysiologie & Psychophysiologie (Marseille)
Département de Psychophysiologie Générale*

**EFFETS DE LA DURÉE DU STIMULUS ET DE LA NATURE
DE LA RÉPONSE SUR L'AMPLITUDE DE LA CNV
ENREGISTRÉE CHEZ L'HOMME DANS DES TÂCHES DE
TEMPS DE RÉACTION ET D'ESTIMATION TEMPORELLE**

[EFFECTS OF STIMULUS DURATION AND RESPONSE NATURE ON CNV AMPLITUDE, STUDIED
IN MAN PERFORMING REACTION TIME AND TIME ESTIMATION TASKS]

FRANÇOISE MACAR, NICOLE VITTON & JEAN REQUIN

The effects of several factors upon CNV amplitude were examined. Subjects were proposed two types of situations: 1. A simple reaction time task with a fixed preparatory period. An auditory warning signal (s1) was followed 2 seconds later by a visual signal (s2). The subject had to press or release the button as rapidly as possible when s2 commenced. 2. A time estimation task (DRL schedule). The subject had to press or release the button between 2 and 2.5 seconds following the onset of s1. — Two types of s1 were used in each task: a short tone of 100 msec. or a long tone of 2.5 sec. Two types of responses were required: a brief button press, or a button release after a sustained button press. The type of task did not affect CNV amplitude, while the type of response had a slight influence according to time. The type of stimulus significantly affected CNV amplitude, which was higher when s1 was a long tone. Three points are mainly discussed: the possible relation between CNV and the temporal component of preparatory processes, the relation between CNV and slow positive waves associated with sustained motor activity, and the role of activation as a determinant of CNV amplitude.

INTRODUCTION

Découverte par Grey Walter et ses collaborateurs en 1964, la variation contingente négative (CNV) peut être définie comme une déviation négative de la ligne de base de l'EEG, qui apparaît habituellement pendant l'intervalle séparant deux événements significatifs pour le sujet. La situation expérimentale classiquement utilisée pour l'étude de ce phénomène implique la présentation d'un signal avertisseur (s1) préparant le sujet à l'occurrence prochaine d'un signal impératif (s2) auquel il doit répondre. Depuis les premières études réalisées par l'école de Bristol, un nombre impressionnant d'expériences ont été mises au point pour tester l'effet de différents facteurs sur les caractéristiques (amplitude et décours) de la CNV: facteurs liés aux stimuli utilisés, à la nature de la réponse exigée, à la situation générale dans laquelle est placé le sujet. Tecce (1972) a fait de ces facteurs une revue détaillée, qui met bien en évidence la complexité et la diversité des

questions qui se posent lorsque l'on tente de préciser la signification de ce phénomène.

L'effet du stimulus sur la CNV peut être considéré à différents égards : la nature, l'intensité, la complexité des s1 et s2 ont été maintes fois soumises à l'étude. La durée du s1, objet partiel de la présente expérience, ne semble pas avoir été analysée de façon aussi systématique, malgré l'observation de Köhler et Wegener (1955) notamment, selon laquelle un stimulus auditif de longue durée peut engendrer à lui seul une déviation négative du potentiel cortical. Nous avons ici comparé l'amplitude de la CNV selon que s1 est un stimulus auditif bref ou un son qui persiste au contraire jusqu'à l'occurrence de s2.

Si la CNV peut apparaître en l'absence de toute réponse motrice, il est cependant bien établi que son amplitude, moindre dans ce cas (Low M.D. et coll., 1966; Walter G.W., 1967), croît en fonction de l'effort musculaire exigé (Rebert C.S. et coll., 1967; Low M.D. et Mc Sherry J.W., 1968; Low M.D. et coll., 1968). Cette observation a conduit à considérer la CNV comme un indice de la motivation du sujet, ou encore de sa préparation à l'action. Des données récentes viennent compliquer l'interprétation des phénomènes associés à la réponse motrice : lorsqu'on demande au sujet d'appuyer sur une presselle de façon continue pendant tout ou partie de l'intervalle s1-s2, on voit apparaître une onde lente de polarité positive qui entre en compétition avec la CNV et peut donc, soit en diminuer l'amplitude, soit même la masquer entièrement (Otto D.A. et Leifer L.L., 1972; Macar F. et coll., 1975). Ce sont de telles constatations qui nous ont amenés à comparer l'amplitude de la CNV enregistrée selon que le sujet maintient ou non son appui sur la presselle pendant toute la durée de l'intervalle s1-s2.

Enfin, la troisième variable soumise à investigation dans la présente étude met plus directement en cause l'interprétation même de la CNV. Au vu des multiples situations expérimentales dans lesquelles ce phénomène a été étudié, et qui ont généralement en commun le fait, pour le sujet, de prévoir l'arrivée d'un événement significatif, il peut sembler légitime d'attribuer à la CNV le statut d'indice cortical des processus préparatoires. Encore faut-il tenter de déterminer à quelle dimension particulière de la préparation cette onde lente est éventuellement liée. De nombreux auteurs se sont interrogés sur le type de relation qui pouvait exister entre la CNV et le temps de réaction (TR), classiquement admis comme indice comportemental du niveau de préparation manifesté par le sujet à un moment particulier (Woodrow H., 1914). Sur la base des résultats interindividuels, la relation inverse entre le TR et l'amplitude de la CNV, observée par Hillyard et Galambos (1967) a souvent été contestée (Connor W.H. et Lang P.J., 1969; Waszak M. et Obrist W.D., 1969); cependant les mêmes auteurs s'accordent à constater son existence dans les données intra-individuelles : aux TR les plus rapides correspondent les CNV les plus amples. Corroborée par des études diverses (Besrest A. et Requin J., 1969; Hillyard S.A., 1969; Tecce J.J. et Scheff N.M., 1969; Lacey J.I. and Lacey B.C.,

1970), l'existence de cette relation n'est pas retenue par Mc Callum et Papakostopoulos (1973) : sur la base d'une analyse essai par essai, ces auteurs n'ont rassemblé que des résultats inconsistants, voire même contradictoires. Comme le fait remarquer Hillyard (1974), les données positives recueillies dans ce domaine peuvent n'être qu'accidentelles, résultant de variations produites par la manipulation d'une même variable : apprentissage, distraction, fatigue, consignes, longueur de l'intervalle s_1 - s_2 , caractéristiques particulières de s_2 . L'hypothèse d'une relation CNV-TR reste donc sujette à controverses, même s'il n'est pas exclu, comme l'indique Tecce (1972), que des facteurs parasites, tel le contrôle insuffisant des mouvements oculaires, aient empêché sa mise en évidence dans certaines expériences.

Les données fournies par Besrest et Requin (1973) suggèrent une dépendance particulière de la CNV par rapport à la dimension temporelle de la préparation. Dans une situation de TR simple avec période préparatoire (PP) de durée variable, le sujet reçoit une indication sur le temps écoulé depuis s_1 , sous la forme d'un clic délivré à chaque moment d'occurrence possible de s_2 . Dans ce cas, la CNV est plus ample, et sa résolution plus tardive, que si le sujet ne dispose pas d'une telle 'horloge'. Ces résultats conduisent à penser que les caractéristiques de la CNV pourraient dépendre, dans une certaine mesure, de l'information temporelle qu'utilise le sujet, et plus généralement des processus d'estimation temporelle qu'il met en œuvre pour s'adapter aux situations expérimentales auxquelles il est confronté. Dans le cadre de cette hypothèse, le troisième volet de notre étude consiste à comparer l'amplitude des CNV recueillies dans deux situations où la dimension temporelle de la préparation est supposée intervenir à un degré différent : d'une part, une tâche de TR simple avec PP fixe de 2 secondes, d'autre part, un programme dans lequel cet intervalle de 2 secondes devient la variable principale puisqu'il s'agit pour le sujet d'en évaluer la durée le plus précisément possible.

MÉTHODE

SUJETS

Huit jeunes gens des deux sexes, âgés de 17 à 28 ans, ont participé à cette expérience. Le sujet, installé dans un box insonorisé, est assis dans un fauteuil, son index droit reposant sur la presselle qu'il doit manœuvrer pendant les essais. Il lui est demandé de fixer une petite lampe, située en face de lui, pendant toute la durée des séries expérimentales. Des électrodes (Ag-AgCl) sont maintenues au collodion sur le vertex et le mastoïde gauche. Deux autres électrodes, destinées à l'enregistrement de l'électrooculogramme, sont placées, l'une frontalement entre les yeux, l'autre sur la tempe à la hauteur de l'œil gauche. Le sujet est relié à la terre par l'avant-bras gauche.

L'enregistrement des tracés corticaux est effectué en dérivation monopolaire par l'intermédiaire d'un amplificateur à courant continu (ROCHAR A. 1455), à travers un dispositif qui permet de rectifier en permanence les variations de la tension de polarisation entre les électrodes en réglant manuellement le niveau d'une tension compensatrice variable envoyée à l'entrée de l'amplificateur. Ce réglage est bien entendu toujours effectué entre les essais.

Les données sont recueillies sur un enregistreur magnétique (SCHLUMBERGER MP 5520) qui collecte également les stimuli et les réponses du sujet. Après élimination des tracés EEG contaminés par des artéfacts oculaires (très peu nombreux, grâce à la tâche de fixation), elles sont traitées par un analyseur multicanaux (INTERTECHNIQUE DIDAC 800), puis par un ordinateur (UNIVAC 1110). A chaque essai, un top de calibration de 20 μ V est délivré 0.5 s avant le signal préparatoire; le niveau moyen de la ligne de base de l'EEG, calculé pendant cette période de 0.5 s, sert de référence pour l'estimation de l'amplitude de la CNV.

SITUATION EXPÉRIMENTALE

Deux types de programmes ont été utilisés (Fig. 1): a. Une tâche de TR simple avec PP fixe. Un signal préparatoire auditif (s1) est suivi 2 s plus tard d'un signal visuel (s2), l'illumination brève d'une lampe rouge située en face du sujet (lampe qui sert de cible, par ailleurs, à la fixation oculaire). Le sujet doit répondre aussi vite que possible à l'éclairement de la lampe. — b. Une tâche d'estimation du temps, le programme de renforcement des débits de réponses lents (DRL). Le sujet doit répondre entre 2 et 2.5 s après le début d'un signal auditif (s1). Les réponses correctes, c'est-à-dire survenant seulement dans la période de disponibilité du renforcement ('limited hold' ou LH = 0.5 s), sont signalées par l'illumination d'une lampe témoin placée face au sujet.

Deux types de s1, tous deux de même fréquence et de même intensité, ont été utilisés: a. Un son bref qui dure 100 ms et marque le début de la PP. — b. Un son long, de 2.5 s au maximum, qui dure pendant toute la PP et s'arrête après l'occurrence de s2 dans la tâche de TR. Dans la tâche de DRL, ce son est stoppé soit par une réponse, soit par la fin du LH si aucune réponse n'est survenue avant celle-ci.

Enfin, deux types de réponses ont été demandées au sujet dans chaque situation: a. Un appui bref sur la presselle, exécuté dès l'occurrence de s2 dans la tâche de TR, ou quand le sujet estime que 2 s se sont écoulées depuis le début de s1, et donc que le LH est en vigueur, dans la tâche de DRL. — b. Un appui prolongé sur la presselle, qui doit ensuite être relâchée lorsque survient s2 ou que le LH est supposé en vigueur. Dans ce cas, le sujet doit actionner la presselle quand il le désire, déterminant lui-même le début de chaque essai; le son se déclanche au hasard 1.5 s, 3.5 s, 5.5 s ou 7.5 s après le début de l'appui.

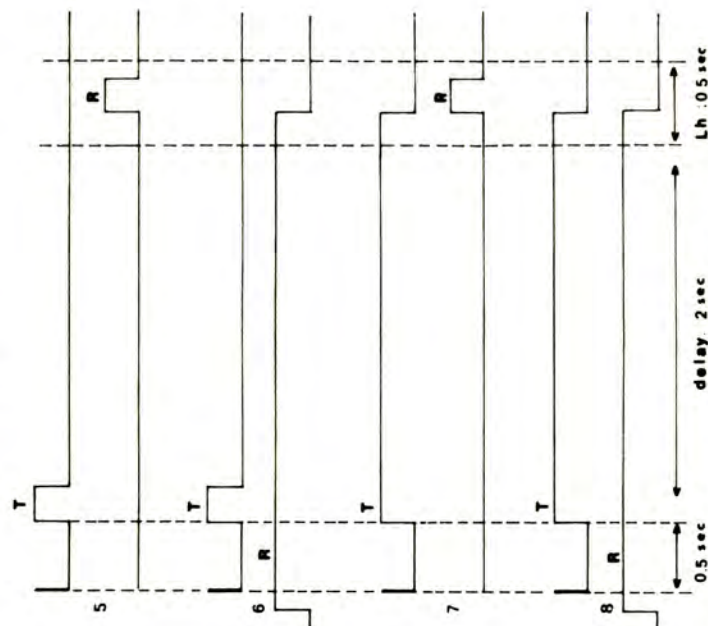
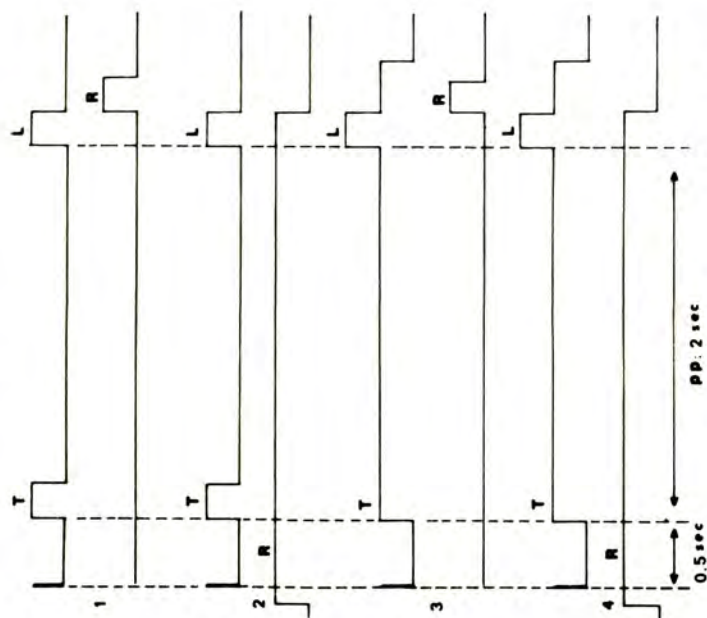


FIG. 1. SCHÉMA DE LA PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE. Les nombres 1 à 8 indiquent les différentes séries. CAL : top de calibration; T : son; R : réponse; L : lumière; PP : période préparatoire; LH : période de disponibilité du renforcement — SCHEME OF THE EXPERIMENTAL DESIGN. The numbers 1 to 8 indicate the different experimental series. CAL : calibration pulse; T : tone; R : response; L : light; PP : preparatory period; LH : limited hold.

La combinaison des trois facteurs (tâche, stimulus et réponse) conduit à définir 8 séries expérimentales différentes comprenant chacune 50 essais. Chaque sujet effectue ces 8 séries dans un ordre différent en fonction d'un plan en carré latin (8×8). Les intervalles entre les essais durent au hasard de 11 à 17 secondes, sauf quand le sujet est libre de déterminer lui-même le début de chaque essai; il lui est demandé, dans ce cas, de respecter un intervalle d'une dizaine de secondes au moins entre l'appui sur la presselle et le relâchement précédent. Quelques minutes de repos sont accordées au sujet après chaque série expérimentale. Une dizaine d'essais de familiarisation, prévus au début de l'expérience, lui permettent de s'accoutumer aux signaux ainsi qu'au maniement de la presselle.

RÉSULTATS

Le Tableau 1 présente les moyennes des distributions obtenues pour chaque sujet dans chaque série expérimentale, en ce qui concerne les

	RT				DRL			
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8
S1	205	201	191	206	2.5	2.7	2.6	2.6
S2	247	251	209	224	2.4	3.6	2.5	2.5
S3	226	277	220	293	2.6	2.9	1.9	2.6
S4	242	251	227	237	2.3	3.0	2.2	2.7
S5	258	263	244	244	2.3	3.1	2.5	2.7
S6	287	319	247	278	2.4	2.4	2.1	2.9
S7	262	254	276	267	4.1	3.0	2.4	2.8
S8	230	228	244	237	2.5	2.6	2.3	2.8

TAB. 1. MOYENNES DES TR (EN MS) ET DES ESTIMATIONS TEMPORELLES (EN S) OBTENUES CHEZ CHAQUE SUJET (S) DANS CHAQUE SÉRIE (s) — MEAN RT (IN MSEC) AND TIME ESTIMATION (IN SEC) OBTAINED FROM EACH SUBJECT (S) IN EACH SERIES (s).

indices comportementaux : TR (séries 1 à 4) et estimations temporelles (séries 5 à 8). Le Tableau 2 donne l'amplitude moyenne des CNV recueillies dans les mêmes conditions, cette amplitude étant mesurée 0.5 s, 1.0 s, 1.5 s et 2.0 s après le début de s1.

Deux analyses de variance ont été appliquées aux données recueillies dans le programme DRL afin de déterminer l'influence des facteurs stimulus (s1 long ou bref) et réponse (appui bref ou prolongé) sur la précision des estimations temporelles. La première analyse porte sur la distribution temporelle des réponses (Tableau 3, partie supérieure), la seconde sur la déviation de la moyenne de cette distribution par rapport à la valeur médiane du LH (Tableau 3, partie inférieure). Ces analyses révèlent que les estimations temporelles les plus précises sont obtenues en présence d'un stimulus auditif de longue durée et d'une

		RT				DRL			
		s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8
S1	a	10.34	10.20	+ .13	1.51	+ .13	+ 5.21	8.59	13.51
	b	11.20	5.22	1.04	8.75	1.04	+ 5.05	10.39	18.72
	c	9.23	3.75	2.08	+ 4.26	2.08	+ 5.64	14.74	23.84
	d	8.66	11.35	12.38	9.44	12.38	+ 4.33	20.42	18.19
S2	a	.52	7.77	6.79	7.39	7.50	.44	11.66	12.10
	b	2.47	5.58	4.76	8.05	13.02	5.29	18.70	10.30
	c	8.26	12.26	8.63	9.13	4.18	5.76	18.14	10.61
	d	10.10	8.18	12.11	17.81	11.64	9.26	21.59	13.53
S3	a	22.21	17.55	19.77	19.42	19.10	13.95	19.44	22.21
	b	28.79	15.21	20.63	27.52	12.94	15.34	19.80	22.32
	c	19.99	11.19	17.15	36.94	23.29	36.67	26.53	36.41
	d	24.43	18.60	19.70	36.62	26.86	29.61	27.22	38.29
S4	a	11.13	5.56	12.10	7.12	8.19	9.16	21.12	7.21
	b	17.14	2.51	13.89	3.84	13.87	7.15	19.26	8.23
	c	16.01	4.54	19.02	4.63	16.18	9.46	24.49	9.68
	d	17.17	11.29	22.18	6.05	19.96	18.39	36.12	12.54
S5	a	14.16	5.87	19.64	10.12	.85	+ .25	11.13	30.93
	b	21.22	8.96	20.42	11.91	10.33	+ 6.46	19.44	28.87
	c	17.45	6.15	19.51	14.54	11.79	+ 6.80	18.00	32.18
	d	14.06	8.37	20.66	15.55	29.03	+ 4.03	21.51	29.86
S6	a	20.87	4.04	38.01	11.15	.46	13.22	18.11	6.17
	b	26.40	17.54	51.06	7.52	11.13	8.29	20.29	14.29
	c	11.14	28.05	49.82	5.84	13.94	17.45	20.65	15.52
	d	59.81	8.69	58.07	7.57	11.24	10.42	25.68	17.69
S7	a	3.91	9.72	+ 3.74	.92	8.27	16.04	14.18	11.52
	b	10.47	10.87	23.46	13.34	9.73	17.30	20.37	9.63
	c	13.04	16.75	20.94	15.29	7.20	25.11	19.10	13.40
	d	15.21	18.65	45.12	16.96	9.18	31.68	20.17	28.91
S8	a	.82	5.54	8.82	5.48	.55	4.81	3.49	15.86
	b	4.88	11.36	14.97	13.97	5.83	.62	6.38	22.36
	c	12.48	20.70	21.71	24.92	12.02	6.13	7.80	32.85
	d	17.76	21.46	26.98	28.79	20.59	12.68	13.13	32.29

TAB. 2. AMPLITUDES MOYENNES DES CNV (EN μ V) OBTENUES CHEZ CHAQUE SUJET (S) DANS CHAQUE SÉRIE (s). L'amplitude est mesurée 0.5 s (a), 1.0 s (b), 1.5 s (c) et 2.0 s (d) après le début du son. Les signes (+) indiquent une polarité positive — MEAN CNV AMPLITUDE (IN μ V) OBTAINED FROM EACH SUBJECT (S) IN EACH SERIES (s). Amplitude is measured 0.5 sec (a), 1.0 sec (b), 1.5 sec (c) and 2.0 sec (d) after s1 onset. Signs (+) indicate positive polarity.

réponse motrice soutenue, modalités qui interviennent toutes deux dans la condition 8. Une troisième analyse de variance a montré qu'aucun facteur n'affectait significativement le TR.

Enfin, l'amplitude des CNV enregistrées dans chaque condition a été testée par une analyse de variance à 4 facteurs (délai x stimulus x réponse x tâche) où l'interaction de chaque facteur avec les sujets était

origin	d F	M S	F
stimulus (st)	1	6.24	6.24**
S x St	7	1.00	
response (R)	1	.16	
S x R	7	2.03	
St x R	1	.02	
S x St x R	7	1.81	

origin	d F	M S	F
stimulus (st)	1	.61	1.24
S x St	7	.50	
response (R)	1	2.92	6.11**
S x R	7	.48	
St x R	1	.40	1.04
S x St x R	7	.39	

TAB. 3. ANALYSE DE VARIANCE CONCERNANT LES DONNÉES DRL — ANALYSIS OF VARIANCE OF DRL DATA. **: $p < .05$.

prise comme résidu. Cette analyse (Tableau 4 et Fig. 2) révèle que : 1. le type de tâche n'affecte pas l'amplitude de la CNV; 2. le type de réponse montre une légère tendance à affecter la CNV en fonction du délai, l'amplitude de la CNV augmentant davantage avec le temps quand la réponse est brève; 3. le type de stimulus affecte significativement l'amplitude de la CNV, qui est plus importante quand st est un signal de longue durée.

Ces résultats sont illustrés dans la Figure 3 pour les 8 séries expérimentales du sujet 5. Le potentiel évoqué par st est suivi de CNV spécialement amples dans les séries 3, 4, 7 et 8 qui correspondent au signal long. Les CNV les moins amples apparaissent dans les séries 2 et 6, qui combinent signal bref et réponse motrice soutenue.

DISCUSSION

L'absence de relation constatée entre l'amplitude de la CNV et les deux types de tâches peut conduire à deux conclusions différentes. Il est possible que la CNV ne reflète pas les facteurs différenciant ces deux situations; mais il est vraisemblable également qu'il faille remettre

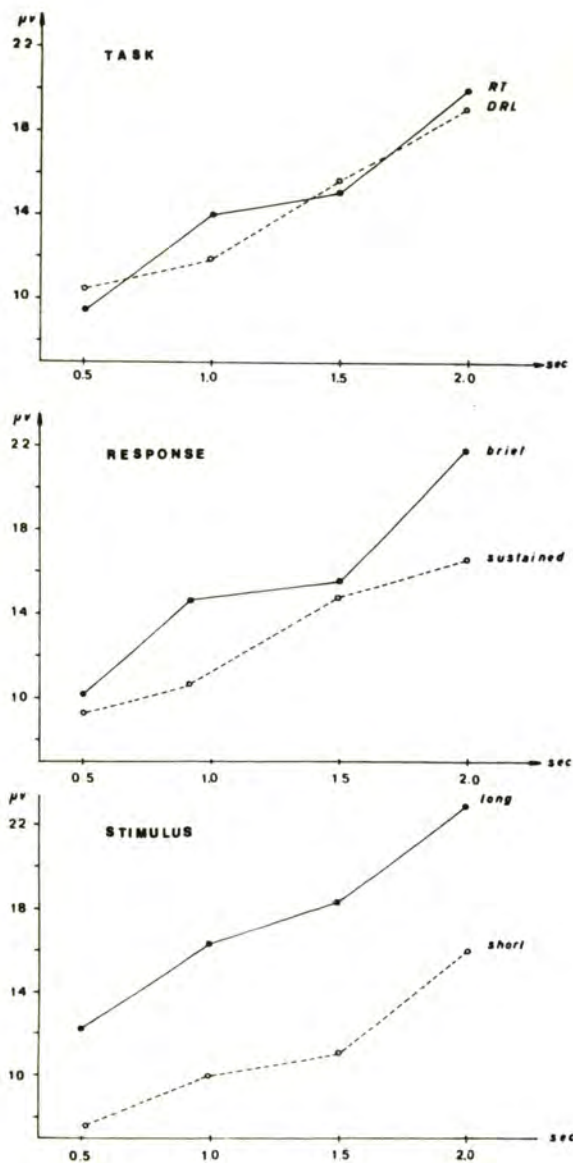


FIG. 2. EFFETS DE LA TÂCHE, DE LA RÉPONSE ET DU STIMULUS SUR L'AMPLITUDE DE LA CNV POUR TOUS LES SUJETS. En ordonnée, l'amplitude de la CNV (en microvolts); en abscisse, le temps écoulé depuis le début du SI (en secondes) — EFFECTS OF TASK, RESPONSE AND STIMULUS UPON CNV AMPLITUDE FOR ALL SUBJECTS. The CNV amplitude (in microvolts) is on the ordinates; the time elapsed since the onset of SI (in seconds) is on the abscissae.

en cause l'hypothèse selon laquelle ces deux situations se différencient réellement sur la base de facteurs temporels. Cette hypothèse voulait que les processus d'estimation temporelle soient davantage mis en œuvre dans une situation qui exigeait l'évaluation précise d'un certain

origin	d F	M S	F
delay (D)	3	1037.87	28.21***
S × D	21	36.78	
task (T)	1	3.15	194.42
S × T	7	194.42	
D × T	3	19.19	35.56
S × D × T	21	35.56	
stimulus (st)	1	2221.55	30.07***
S × St	7	73.87	
D × St	3	14.73	1.16
S × D × St	21	12.66	
T × St	1	509.03	3.59
S × T × St	7	141.46	
D × T × St	3	12.45	19.38
S × D × T × St	21	19.38	
response (R)	1	556.87	1.47
S × R	7	376.94	
D × R	3	76.47	2.40
S × D × R	21	31.86	
T × R	1	414.04	2.18
S × T × R	7	189.75	
St × R	1	.86	325.07
S × St × R	7	325.07	
D × T × R	3	4.92	39.02
S × D × T × R	21	39.02	
D × St × R	3	9.90	24.72
S × D × St × R	21	24.72	
T × St × R	1	166.78	1.20
S × T × St × R	7	138.70	
D × T × St × R	3	7.28	31.73
S × D × T × St × R	21	31.73	

TAB. 4. ANALYSE DE VARIANCE CONCERNANT L'AMPLITUDE DES CNV. — ANALYSIS OF VARIANCE OF CNV AMPLITUDE. ***: $p < .001$.

intervalle; cependant, on peut admettre que, dans la tâche de TR, le seul fait d'être confronté, à plusieurs reprises, à une PP fixe de 2 s amène le sujet à estimer la durée de cet intervalle, même si la consigne ne l'exige pas. En effet, le TR ne peut être suffisamment rapide que si

SUBJECT 5

RT

DRL

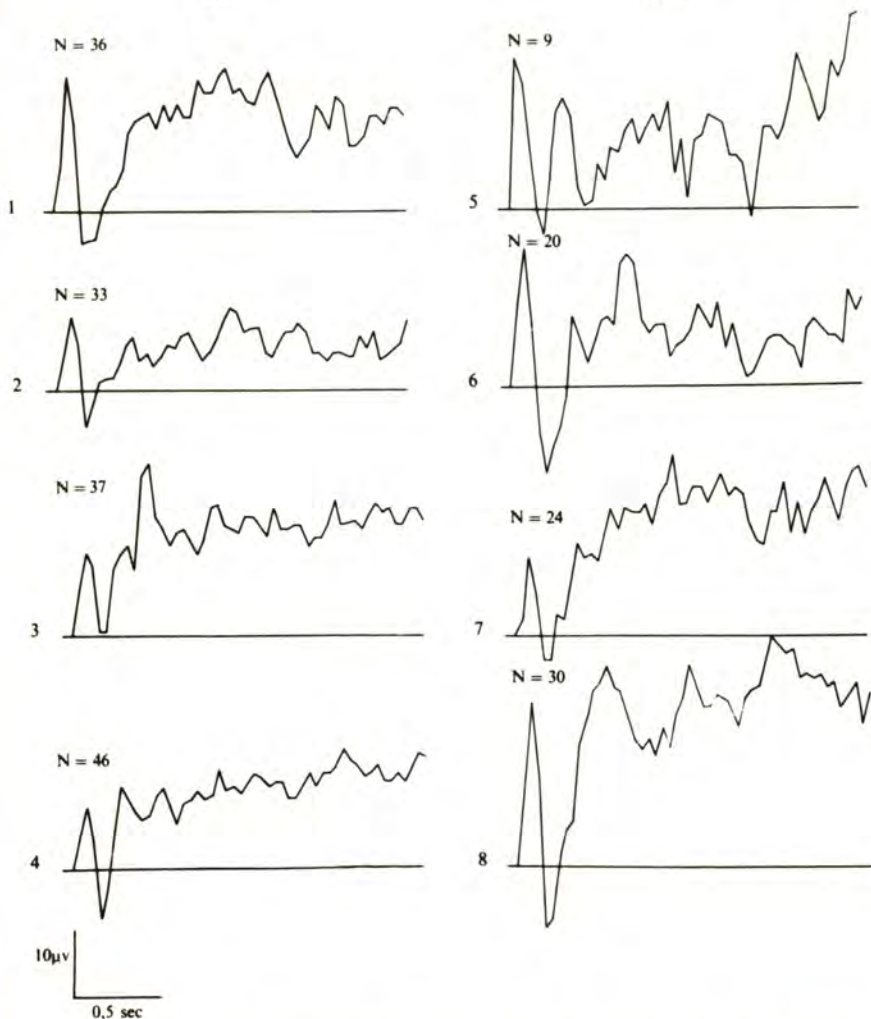


FIG. 3. MOYENNE DES CNV ENREGISTRÉES DANS CHAQUE SÉRIE EXPÉRIMENTALE CHEZ LE SUJET 5. Les nombres 1 à 8 indiquent les différentes séries. En ordonnée, l'amplitude de la CNV (en microvolts); en abscisse, le temps écoulé depuis le début du S1 (en secondes) — AVERAGE CNV RECORDED IN EACH EXPERIMENTAL SERIES FROM SUBJECT 5. The numbers 1 to 8 indicate the different series. The CNV amplitude (in microvolts) is on the ordinates; the time elapsed since the onset of S1 (in seconds) is on the abscissae.

le niveau de préparation du sujet est élevé au moment de l'occurrence de s2; cet ajustement du niveau de préparation au terme de l'intervalle s1-s2 implique l'évaluation de celui-ci. Au vu des résultats négatifs obtenus quant à l'influence du facteur 'situation expérimentale' sur les phénomènes étudiés, force nous est de conclure que les deux situations choisies ne se différenciaient pas de manière suffisamment claire pour apporter des informations susceptibles d'éclairer tant soit peu la signification de la CNV.

L'effet du type de réponse sur l'amplitude de la CNV autorise une discussion mieux étayée. L'amplitude de la CNV croît davantage en fonction du délai quand la réponse est brève. Cette augmentation d'amplitude ne peut être mise en rapport avec la qualité de la performance, puisque les meilleures estimations en DRL sont obtenues lorsque le sujet doit effectuer une réponse d'appui soutenu, et que le type de réponse n'affecte pas le TR. L'effet obtenu ici pourrait trouver une explication dans l'étude faite par Hamilton et coll. (1973), selon laquelle l'amplitude de la CNV diminue lorsque le sujet déclenche lui-même chaque essai, au lieu d'attendre que l'expérimentateur lui délivre les stimuli. L'appui sur une clef télégraphique produit l'occurrence de s1 après un intervalle de 0.0, 0.5 ou 3.5 s; le sujet doit répondre par un appui effectué avec l'autre main. Les auteurs font l'hypothèse que la diminution d'amplitude de la CNV résulte de la présence d'un 'readiness potential' préalable au mouvement de pression qui déclenche l'essai; cette onde négative, on le sait, se développe à la surface du cortex dans la seconde qui précède tout mouvement spontané de la main ou du pied (Kornhüber H.H. et Deecke L., 1965). Selon Hamilton et ses collaborateurs, l'existence du 'readiness potential' engendrerait un 'effet de plafond' (Knott J.R. et Irwin D.A., 1967, 1968) lors de l'apparition ultérieure de la CNV. Une telle hypothèse pourrait rendre compte de la diminution de négativité qui accompagne, dans notre expérience, les réponses d'appui soutenu, puisque celles-ci impliquent le déclenchement de l'essai par le sujet lui-même. Cependant, si les intervalles les plus courts choisis par Hamilton et ses collaborateurs entre l'appui et l'occurrence de s1 leur permettent d'envisager cette possibilité, il est peu vraisemblable, étant donné la gamme d'intervalles retenue dans notre expérience (1.5 à 7.5 s), que d'éventuels effets liés au 'readiness potential' se prolongent assez longtemps pour contaminer l'intervalle s1-s2.

Nos résultats s'éclairent davantage si l'on s'interroge sur la nature même de la réponse exigée. Otto et Leifer (1972) se sont attachés à définir l'effet, sur la CNV, de la réponse motrice d'appui soutenu. Ils demandent à leurs sujets d'appuyer avec les cinq doigts d'une main sur cinq presselles, au cours d'une PP de 1.5 s. Si les sujets maintiennent leur appui pendant tout l'intervalle, on enregistre sur le scalp une onde positive, maximale dans la région post-centrale. Par contre, s'ils sont soumis à un paradigme CNV classique, impliquant un appui limité au terme de la PP, la polarité du phénomène obtenu est négative, indiquant la présence d'une CNV. Enfin, toutes les situations intermédiaires,

dans lesquelles l'appui est maintenu pendant une partie plus ou moins importante de la PP, engendrent des patterns composites qui peuvent être analysés comme reflétant à la fois une CNV et une onde de polarité positive; cette dernière paraît spécifiquement liée à la réponse d'appui soutenu.

Les résultats obtenus dans notre expérience peuvent s'interpréter à la lumière de ces observations. Lorsque le sujet effectue une réponse motrice soutenue, il est vraisemblable qu'une onde de polarité positive entre en compétition avec la CNV, dont l'amplitude est alors moindre. Si cette déflexion positive ne suffit pas à camoufler la CNV, c'est sans doute parce que les enregistrements sont effectués, non pas dans l'aire post-centrale où la positivité est plus accusée, mais au vertex, où la CNV est, on le sait, d'amplitude maximale. De plus, comme l'ont précisé par la suite Otto et Leifer (1973), les CNV contemporaines d'une réponse motrice soutenue effectuée avec un seul doigt sont de toute façon plus amples que si les cinq doigts sont engagés dans le mouvement d'appui.

L'existence d'une onde positive associée à la réponse motrice soutenue a été mise en doute par Mc Callum et Papakostopoulos (1972), qui ont comparé l'effet de la réponse dans trois situations différentes où le sujet reçoit un clic (s1) suivi 2 s plus tard d'un train de flashes (s2). L'amplitude de la CNV est similaire lorsque le sujet doit actionner une presselle après s2, ou avant s1 pour la relâcher après s2. Par contre, cette amplitude décroît environ de moitié si le sujet effectue son appui après s1 pour relâcher la presselle après s2. Les auteurs concluent que seul le fait d'initier une réponse motrice *pendant* l'intervalle s1-s2 affecte le développement de la CNV. Voulant tester cette hypothèse, nous avons soumis nos sujets à une série expérimentale supplémentaire dans laquelle ils devaient actionner la presselle après s1 pour la relâcher après s2; aucune différence n'a été constatée, quant à l'amplitude de la CNV, entre cette situation et celles où l'appui débutait avant s1. Cette discordance, dont les causes restent à élucider, par rapport aux résultats de Mc Callum et Papakostopoulos, nous permet de conserver l'hypothèse interprétative que nous avons développée plus haut.

Enfin, l'effet du stimulus paraît déterminant dans la présente expérience : un signal auditif de longue durée choisi comme s1 accroît significativement l'amplitude de la CNV; l'examen des données comportementales révèle, par ailleurs, que les séries comportant un tel s1 donnent lieu aux meilleures performances dans le programme DRL. Les études psychophysiques ne permettent pas de déterminer avec certitude si une durée 'pleine' est mieux estimée qu'une durée 'vide'. Il est classique d'admettre que la première paraît subjectivement plus longue que la seconde; cependant, aucun argument décisif ne peut être invoqué à l'appui de cette hypothèse, et les résultats obtenus dans ce domaine dépendent essentiellement des conditions particulières de chaque expérience. On ne peut donc affirmer que le fait de transformer l'intervalle s1-s2 en durée 'pleine' en lui associant un son continu suffise à expliquer les bonnes performances obtenues; mais

il est vraisemblable que la qualité de la performance, tout comme l'amplitude élevée de la CNV, résultent à la fois, dans le cas particulier du DRL, de l'information qu'apporte au sujet la durée même de s_1 lorsqu'il est stoppé par une réponse, et, d'une façon plus générale, de l'effet activateur lié au s_1 de longue durée. L'éventualité d'un feedback résultant du stimulus a été analysée notamment par Peters et coll. (1970): on obtient à la fois un TR plus rapide et une CNV plus ample si la réponse met un terme au stimulus impératif (en l'occurrence, un train de flashes), car la durée même de s_2 apporte au sujet une indication sur la rapidité de sa réponse. Il est tout à fait probable qu'un effet de cet ordre soit lié à la durée de s_1 dans la tâche de DRL, puisque s_1 est stoppé par toute réponse survenant avant la fin du LH; il est à exclure, par contre, en ce qui concerne la tâche de TR , où s_1 dure invariablement 2.5 s et se termine donc après l'occurrence de s_2 , aucun des deux stimuli n'étant affectés par la rapidité de la réponse.

Pour Peters et ses collaborateurs, l'information fournie au sujet par la durée du stimulus aurait pour effet d'augmenter son niveau d'activation; c'est de ce facteur que résulterait, en dernière analyse, l'amélioration de la performance et l'augmentation d'amplitude de la CNV. Cette hypothèse nous ramène à la proposition plus générale que nous venons d'évoquer en ce qui concerne l'effet activateur du s_1 de longue durée. Un tel effet serait évidemment compatible avec le rôle important que l'on reconnaît à l'intensité et au volume des influx sensoriels, notamment auditifs, dans la détermination du niveau de l'activité dynamogène assurée par la formation réticulée du tronc cérébral; les composantes non spécifiques de la préparation seraient plus importantes avec un s_1 de longue durée qu'avec un s_1 n'excédant pas 100 ms. C'est à un effet activateur que font également penser les observations selon lesquelles une déflexion négative peut être liée à la seule stimulation auditive continue, alors que celle-ci n'a pas valeur de signal préparatoire pour le sujet (Köhler W. et Wegener J., 1955; Köhler W. et coll., 1955; Gumnit R.J., 1961; Gumnit R.J. et Grossman R.G., 1961; Hillyard S.A., 1969). Si Gumnit, dans son étude sur le chat, soutient qu'une telle négativité reste limitée au cortex auditif et rejette par conséquent l'hypothèse d'une activation réticulaire, Köhler et ses collaborateurs constatent au contraire que les courants auditifs diffusent sur le scalp chez l'homme et peuvent être recueillis par l'intermédiaire d'une électrode située au vertex. Ces auteurs s'accordent cependant sur le fait que la négativité liée au son prolongé montre une habituation rapide, ce qui semble exclure sa persistance dans les conditions particulières de notre expérience, qui impliquait la présentation de nombreux signaux auditifs de longue durée.

L'ensemble de ces remarques conduit à attribuer au niveau d'activation du sujet un rôle crucial dans la détermination de l'amplitude de la CNV, rôle que différents auteurs n'ont pas manqué de souligner (Hillyard S.A., 1969; Tecce J.J., 1971) et que vient corroborer l'effet de certains excitants, caféine et amphétamines, sur l'amplitude de cette onde (Walter W.G., 1964; Tecce J.J., 1972). Cependant, Tecce tire

argument du fait que l'élévation d'amplitude signalée après administration d'amphétamines affecte plus spécialement la phase initiale de la CNV (300 à 500 ms après s1) chez les sujets où l'onde montre une installation lente et progressive (CNV de type B), pour conclure que seule cette phase initiale est en rapport avec les processus d'activation. En effet, si cet auteur proposait, en 1971, un modèle théorique selon lequel la CNV montrait à la fois une relation positive directe avec les processus d'attention, et une relation en U inversé avec les processus d'activation, il s'est ensuite orienté davantage vers une interprétation de la CNV en termes d'attention seulement, s'appuyant sur certaines données qui suggèrent la possibilité de dissocier attention et activation. Ainsi, l'amplitude de la CNV diminue si le sujet est distrait pendant l'intervalle s1-s2, alors que son niveau d'activation, apprécié par le biais du rythme cardiaque et des impressions du sujet quant à l'effort de concentration qu'il fournit, a tendance à augmenter (Tecce J.J et Scheff N.M., 1969). On ne peut, cependant, oublier la complexité de la relation CNV-rythme cardiaque : les résultats de Connor et Lang (1969), montrant qu'à une même amplitude de l'onde corticale peut correspondre une accélération aussi bien qu'une décélération cardiaque, sont à cet égard éloquentes.

En fait, la relation entre processus attentionnels et activateurs n'est pas claire ; peut-être même ces processus sont-ils dans une large mesure équivalents, question que Tecce laissait ouverte dans sa revue de 1971. En tout état de cause, il restera difficile de déterminer l'influence relative de l'attention et de l'activation sur les caractéristiques de la CNV aussi longtemps que, faute d'assigner à ces concepts une acception précise, l'on n'aura pas clairement identifié les phénomènes dont ils sont censés rendre compte.

REFERENCES

- BESREST, A. & REQUIN, J. Onde d'expectative et niveau de performance dans une situation de temps de réaction. *C.R. Société de Biologie*, 1969, 163, 1875-1879.
- BESREST, A. & REQUIN, J. Development of expectancy wave and the time course of preparatory set in a simple reaction time task. In S. KORNBLUM, *Attention and Performance IV*. New York : Academic Press, 1973, 209-219.
- CONNOR, W.H. & LANG, P.J. Cortical slow-wave and cardiac rate responses in stimulus orientation and reaction time conditions. *Journal of Experimental Psychology*, 1969, 82, 310-320.
- GUMNIT, R.J. The distribution of direct current responses evoked by sounds in the auditory cortex of the cat. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1961, 13, 889-895.
- GUMNIT, R.J. & GROSSMAN, R.G. Potentials evoked by sound in the auditory cortex of the cat. *American Journal of Physiology*, 1961, 200, 1219-1225.
- HAMILTON, C.E., PETERS, J.F. & KNOTT, J.R. Task initiation and amplitude of the Contingent Negative Variation (CNV). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1973, 34, 587-592.
- HILLYARD, S.A. Relationship between the Contingent Negative Variation (CNV) and reaction time. *Physiology and Behavior*, 1969, 4, 351-357.

- HILLYARD, S.A. Methodological issues in CNV research. In R.F. THOMPSON, & M. PATTERSON, *Bioelectric recording techniques*, New York: Academic Press, 1974, 281-304.
- HILLYARD, S.A. & GALAMBOS, R. Effects of stimulus and response contingencies on a surface negative slow potential shift in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1967, 22, 297-304.
- KNOTT, J.R. & IRWIN, D.A. Anxiety, stress and the contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1967, 22, 188.
- KNOTT, J.R. & IRWIN, D.A. Anxiety, stress and the contingent negative variation (CNV). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1968, 24, 286-287.
- KÖHLER, W. & WEGENER, J. Currents of the human auditory cortex. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 1955, 45, suppl. 1, 25-54.
- KÖHLER, W., NEFF, W.D. & WEGENER, J. Currents of the auditory cortex in the cat. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 1955, 45, suppl. 1, 1-24.
- KORNHUBER, H.H. & DEECKE, L. Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 1965, 284, 1-17.
- LACEY, J.I. & LACEY, B.C. Some autonomic-central nervous system interrelationships. In P. BLACK, *Physiological correlates of emotion*, New York: Academic Press, 1970.
- LOW, M.D. & MC SHERRY, J.W. Further observations of psychological factors involved in CNV genesis. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1968, 25, 203-207.
- LOW, M.D., BORDA, R.P., FROST, J.D., Jr., & KELLAWAY, P. Surface-negative, slow potential shift associated with conditioning in man. *Neurology*, 1966, 16, 771-782.
- LOW, M.D., FROST, J.D., Jr., MAULSBY, R.L. & MC SHERRY, W. Electroencephalographic correlates of preparation set. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1968, 24, 286.
- MACAR, F., VITTON, N. & REQUIN, J. Slow cortical potential shifts in cats performing a time estimation task: preliminary results. *Neuropsychologia*, in press.
- MC CALLUM, W.C. & PAPAPOSTOPOULOS, D. The effects of sustained motor activity on the contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1972, 33, 446.
- MC CALLUM, W.C. & PAPAPOSTOPOULOS, D. The CNV and reaction time in situations of increasing complexity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1973, suppl. 33, 179-185.
- OTTO, D.A. & LEIFER, L.L. Positive and negative slow potential changes in the human brain related to sustained motor response. Paper presented at the 26th annual meeting of the American Electroencephalographic Society, Houston, Texas, October 1972.
- OTTO, D.A. & LEIFER, L.L. Effects of varying the magnitude, duration and speed of motor response on the Contingent Negative Variation. Paper presented at the 8th international congress of Electroencephalographic and Clinical Neurophysiology, Marseilles, France, 1973.
- PETERS, J.F., KNOTT, J.R., MILLER, L.H., VAN VEEN, W.J. & COHEN, S.I. Response variables and magnitude of the Contingent Negative Variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1970, 29, 608-611.
- REBERT, C.S., MC ADAM, D.W., KNOTT, J.R. & IRWIN, D.A. Slow potential change in human brain related to level of motivation. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1967, 63, 20-23.
- TECCE, J.J. Contingent Negative Variation and individual differences: A new approach in brain research. *Archives of General Psychiatry*, 1971, 24, 1-16.
- TECCE, J.J. Contingent Negative Variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 1972, 77, 73-108.

- TECCE, J.J., & SCHEFF, N.M. Attention reduction and suppressed direct-current potentials in the human brain. *Science*, 1969, 164, 331-333.
- WALTER, G.W. Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision. *Archiv für Psychiatric und Nervenkrankheiten*, 1964, 206, 309-322.
- WALTER, G.W. The Contingent Negative Variation : an electro-cortical sign of sensori-motor reflex association. In : E.A. ASRATYAN, *Progress in brain research*, 1967, 22, 364-377.
- WALTER, G.W., COOPER, R., ALDRIDGE, V.J., MC CALLUM, W.C., & WINTER, A.L. Contingent Negative Variation : an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 1964, 203, 380-384.
- WASZAK, M., & OBRIST, W.D. Relationship of slow potential changes to response speed and motivation in man. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 1969, 27, 113-120.
- WOODROW, H. The measurement of attention. *Psychological Monographs*, 1914, 17.

C.N.R.S. - INP 4
31 chemin J. Aiguier
13274 Marseille Cedex 2
France

Reçu janvier 1976