



HAL
open science

Les méthodes en psychophysologie

Bernard Claverie, Jacques Paty

► **To cite this version:**

Bernard Claverie, Jacques Paty. Les méthodes en psychophysologie. Rossi Jean-Pierre. Les méthodes de recherche en psychologie, Dunod, 1999, Les méthodes de recherche en psychologie, 2100038400. hal-02494754

HAL Id: hal-02494754

<https://hal.science/hal-02494754v1>

Submitted on 4 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Jean-Pierre Rossi et coll.

Les méthodes de recherche en psychologie



DUNOD

AVANT-PROPOS

L'approche expérimentale en psychologie¹ s'est particulièrement développée durant les cinquante dernières années. Cet essor a été marqué par la différenciation des objets de recherche et par l'élaboration de méthodes spécifiques. Les plus importantes de ces méthodes sont présentées dans cet ouvrage.

L'analyse des indicateurs physiologiques du comportement est à l'origine de l'approche scientifique du fonctionnement mental. D'une part, les techniques électro-physiologiques ont considérablement progressé durant les vingt dernières années et d'autre part, l'imagerie cérébrale fournit au chercheur un nouvel outil d'exploration permettant d'observer en temps réel l'activité de différentes zones du cerveau. Ces techniques et leur utilisation en psychologie sont présentées dans le premier chapitre.

L'étude de la genèse des comportements a amené le chercheur à s'intéresser à la genèse des comportements. Comment comprendre les fonctions fondamentales si ce n'est en assistant à leur émergence? Mais le nouveau-né ne parle pas, a des capacités d'attention faible, bref, présente des caractéristiques qui ne facilitent pas l'expérimentation. D'où la nécessité de mettre au point les protocoles originaux qui sont décrits dans le second chapitre.

1. Cf. Jean-Pierre Rossi : *L'Approche expérimentale en psychologie*, Paris, Dunod, 1997.

Les modifications du comportement dues au développement de l'individu aboutissent soit à des améliorations soit à des détériorations de ses performances. L'intérêt de la description et de l'explication de ces modifications n'est plus à démontrer. Les méthodes d'études du développement sont exposées dans le troisième chapitre.

La diversification est une caractéristique fondamentale des êtres évolués, c'est pourquoi l'étude des différences individuelles se doit d'être au cœur de la recherche en psychologie. Là aussi, la méthodologie doit faire œuvre originale et mettre au point des paradigmes nouveaux. Les méthodes d'études de ces différences sont décrites dans le quatrième chapitre.

L'homme est un être sociable, la psychologie sociale est un domaine d'étude qui a élaboré les méthodes présentées dans le cinquième chapitre.

L'accumulation des données obtenues au moyen d'expériences aussi diverses que complexes, a permis la construction de modèles représentant l'organisation et le fonctionnement du système cognitif. Ces modèles jouent un rôle déterminant dans la recherche actuelle. Leurs caractéristiques aussi bien que leur mode d'utilisation en psychologie sont analysés dans le sixième chapitre.

Le développement de l'informatique, et plus particulièrement l'augmentation de la capacité de calcul des ordinateurs, a mis à la disposition des chercheurs des outils de simulation particulièrement efficaces. Les réseaux de neurones ou systèmes connexionnistes, parce qu'ils sont constitués d'unités élémentaires interconnectées, semblent se prêter le mieux à la simulation du fonctionnement du cerveau. La description et l'analyse de ces systèmes est l'objet du dernier chapitre.

Les méthodes présentées dans cet ouvrage sont de deux ordres : a) méthodes spécifiques de la recherche en psychologie ; b) systèmes de simulation et modèles qui sont amenés à jouer un rôle déterminant dans l'évolution de la recherche. Toutes témoignent du dynamisme de la recherche sur l'homme. Sans vouloir faire du lecteur un spécialiste d'une méthode particulière, nous espérons aussi bien l'aider à comprendre les publications qu'il consulte qu'à élaborer de nouvelles recherches.

Jean-Pierre Rossi.

Chapitre 1

LES MÉTHODES
EN
PSYCHOPHYSIOLOGIE

Bernard CLAVERIE et Jacques PATY

Le terme de psychophysiology est un néologisme forgé sur deux concepts : psychologie comme étude des comportements et de la pensée; physiologie comme étude des lois du fonctionnement et des mécanismes des organismes. C'est à l'interface de ces deux disciplines que se constitue la psychophysiology comme *science des mécanismes et des lois physiologiques des comportements et de la pensée chez l'animal et notamment chez l'homme*. Érigée progressivement comme discipline autonome par rapport à ses disciplines mères de la fin du XIX^e siècle, elle partage avec elles leurs méthodes propres tout en y adjoignant celles qui résultent de leurs relations réciproques. Centrée sur l'explication dans l'étude des mécanismes de la pensée, elle s'inscrit dans la constellation actuelle des sciences cognitives.

La psychophysiology se différencie de la psychologie physiologique à partir du statut de variables (dépendantes et indépendantes) qu'elles utilisent (Lykken, 1984; Stern, 1964). Les variables dépendantes correspondent à ce qui est mesuré des conséquences d'une expérimentation, les variables indépendantes à l'aspect des choses manipulées. En psychophysiology, les variables physiologiques sont dépendantes (par exemple le rythme cardiaque, l'activité électrique du cerveau), alors que les variables indépendantes sont psychologiques (par exemple la résolution de problèmes ou le stress). Par contre, les variables dépendantes de la psychologie physiologique sont d'ordre psychologique ou comportemental (la performance d'apprentissage, l'attention, etc.) alors que les variables indépendantes sont du registre physiologique (la stimulation cérébrale, les rythmes biologiques, le *Biofeedback*, etc.). En ce sens, la psychophysiology se distingue bien en tant que discipline propre et non en tant qu'une partie strictement limitée de la psychologie expérimentale.

Si cette distinction est utile, il convient de définir quelles sont les variables concernées. Au niveau psychologique, il s'agit de tous les processus explicites, clairement identifiables, reposant sur une définition opératoire

des phénomènes de pensée et des comportements. La psychophysio­logie se limite donc à des variables d'ordre cognitif ou conatif. En termes physiologique, les auteurs s'accordent sur la valeur fonctionnelle des indices mesurés.

	Psycho-physiologie	Psychologie physiologique
Données psychologiques	VD (variables dépendantes)	VI (variables indépendantes)
Données physiologiques	VI (variables indépendantes)	VD (variables dépendantes)

Tableau 1.1

*Rapports entre les disciplines et les données
en fonction du statut des variables*

Quelle que soit la limitation proposée, il semble qu'existe aujourd'hui un consensus (Andreassi, 1995) selon lequel « la psychophysio­logie est l'étude des relations entre des *manipulations psychologiques* et les *réponses physiologiques* qui en résultent, mesurées dans l'*organisme vivant*, afin de promouvoir la compréhension des relations entre les *processus mentaux* et les *processus corporels* ».

La première partie de ce chapitre sera consacrée à la méthodologie de la mesure : comment mesurer en psychophysio­logie? La seconde partie viendra en complément préciser les contraintes de réalisation technique de cette mesure : que mesure-t-on? Une troisième partie, dans la suite directe de la précédente, abordera les méthodes électro-physiologiques qui sont aujourd'hui à la base d'une psychophysio­logie cognitive basée sur l'étude des variations des biopotentiels, notamment ceux émis par le cerveau. Le lecteur pourra trouver en fin d'ouvrage les références bibliographiques qui lui permettront de se repérer dans les différents secteurs de la psychophysio­logie.

1 LA MESURE EN PSYCHOPHYSIOLOGIE

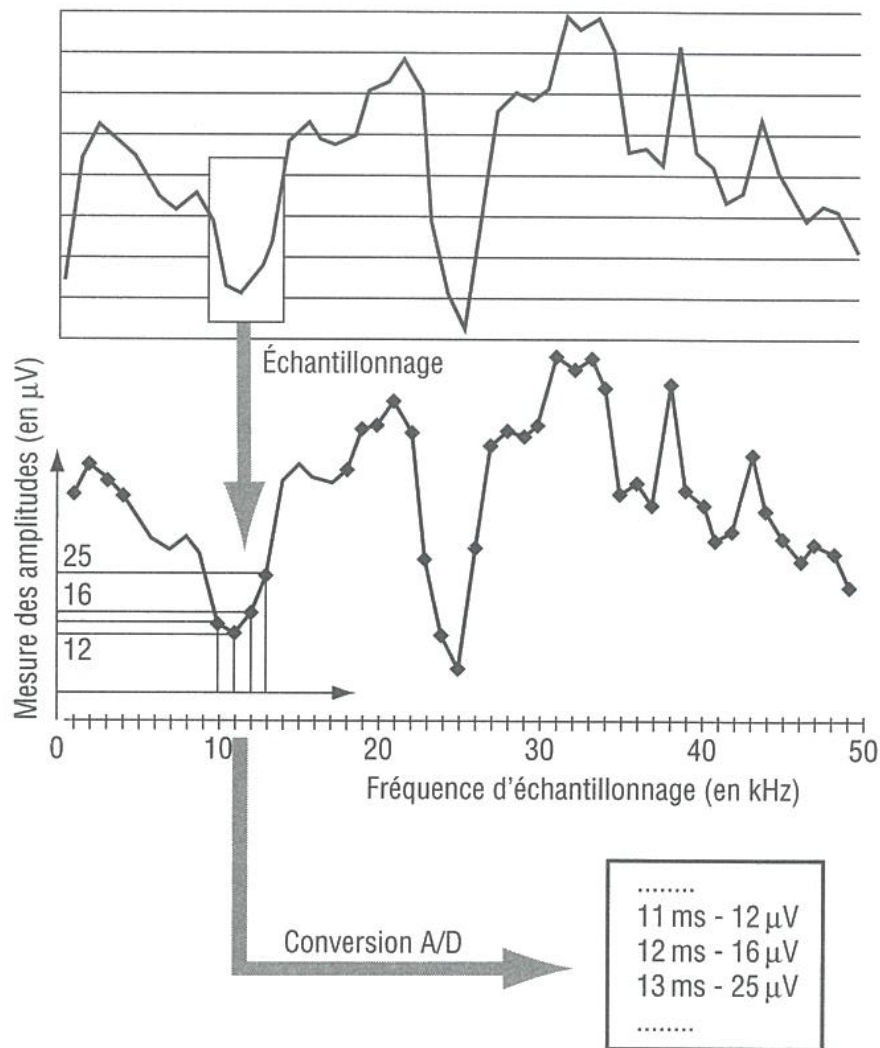
Mesurer, pour le psychophysiologiste, implique deux opérations successives : tout d'abord transformer des phénomènes recueillis au niveau du corps, habituellement continus, en valeurs de mesures définies à un moment donné; ensuite appliquer des nombres pertinents à ces transformations.

Le premier temps correspond à la transformation de l'analogique en digital. Les variables comportementales et corporelles sont des phénomènes continus qu'on qualifie d'analogiques. Ce premier temps de la mesure débute par la saisie d'informations, forcément réductrice par rapport au phénomène étudié, en une série de points de mesure de nature discontinue ou discrète, qualifiés de digitaux. Cette transformation analogique/digitale doit répondre à certaines règles pour que la variable dépendante mesurée rende compte de la ou des fonctions (au sens logique du terme) observées. Dans la majorité des cas, la mesure apparaîtra, à travers un dispositif technique, comme d'apparence continue, sous forme de courbes ou d'images.

Le second temps correspond à la numérisation. Il s'agit de sélectionner un certain nombre de valeurs selon une séquence temporelle : c'est l'échantillonnage. Il s'agit d'appliquer, sur des échantillons numérisés et selon leur signification psychophysiologique, des nombres entiers, réels, imaginaires, vectoriels ou matriciels. Leur traitement fera appel aux opérations mathématiques correspondantes d'additivité, de commutativité, de symétrie ou de transitivité. Ces données, transformées en nombres, sont dès lors présentées comme des séries mathématiques accessibles au calcul différentiel et intégral (Parain-Vial, 1981).

1.1 Variables et valeurs explicatives

Les données psychophysiques sont recueillies, traitées et stockées sous la forme de séries temporelles. Ce sont des séries de valeurs représentant celles que prend un paramètre physiologique à chaque instant défini arbitrairement comme unité temporelle d'échantillonnage. La suite chronologique de ces unités temporelles permet de définir des vecteurs de variation de tel ou tel paramètre pendant telle ou telle période.



Le signal physiologique est mesuré en amplitude à chaque unité de temps choisie en fonction de la fréquence d'échantillonnage (ici à chaque milliseconde pour une fréquence du kilohertz). Le signal est alors transformé en un vecteur d'amplitudes.

Figure 1.1

Schématisme de l'opération d'échantillonnage (figure du haut) et de conversion A/D (analogique/digital) (figure du bas)

Ce sont ces séries temporelles qui constituent les variables dépendantes du psychophysiologiste. La plupart du temps, ces séries correspondent à l'amplitude des phénomènes enregistrés qui varie avec le temps. L'instrumentation psychophysiologique consistera donc principalement à recueillir et traiter l'information physiologique en manipulant des temps et l'amplification des amplitudes.

Cette information ainsi traitée est habituellement représentée sous la forme de courbes. On peut alors distinguer deux approches psychophysiologiques complémentaires : celle qui décrit les phénomènes en termes d'organisation temporelle et celle qui tente de quantifier leurs importances respectives. Ainsi, les méthodes se fondent-elles, d'une part sur la mesure de latences ou de fréquences, et d'autre part sur celle des amplitudes ou des aires circonscrites par les courbes.

Ces deux types d'approches n'ont cependant de sens que dans le cadre de théories bien fondées (Teder, 1987). Ainsi, celles qui se basent sur l'analyse temporelle des signaux physiologiques s'inscrivent-elles dans une « chronométrie des opérations mentales » (Renault *et al.*, 1982); celles qui s'intéressent aux amplitudes, dans des théories dynamiques visant à comparer les implications différentielles de processus psychologiques distincts (Broadbent, 1970; Sternberg, 1969; Walter *et al.*, 1964; Timsit-Berthier, 1981, etc.).

1.1.1 Organisation temporelle

L'évolution des phénomènes dans le temps est une contrainte fondamentale de toute étude physique ou biologique. C'est une contrainte de la mesure, mais c'est aussi une contrainte du phénomène : par exemple, le processus de maturation cérébrale ou la réalisation d'un apprentissage demande un certain temps. L'échelle des temps est donc à envisager de manière très large dans le domaine psychophysiologique : elle peut se définir en microsecondes pour les phénomènes biologiques élémentaires, en secondes pour des phénomènes qui concernent l'état du système, en semaines voire en années comme pour les processus de maturation et de vieillissement, en siècles si l'on considère les processus généraux de l'espèce et la phylogénie.

Si le temps est un phénomène incontournable au niveau de l'analyse des variables indépendantes, c'est surtout une contrainte essentielle de la mesure échantillonnée. Celle-ci doit respecter une adéquation des échelles. Aussi faut-il tenir compte des notions de continuité, de stabilité,

de stationnarité, ainsi que de simultanéité ou de succession des différents phénomènes.

La mesure instrumentale du déroulement temporel des processus ne présente pas de difficulté théorique majeure. Elle s'effectue en déterminant des latences de phénomènes en rapport avec un indice temporel stable tel que la survenue d'un stimulus, des durées de ces phénomènes, des périodes ou des fréquences lorsque ces phénomènes sont répétitifs. Par contre, la mise en évidence de l'organisation chronométrique de ces processus, reste, elle, plus délicate et nécessite le recours à des procédures de calcul non triviales. Le temps biologique peut faire lui-même l'objet d'une transformation : ralentissement pour l'étude des phénomènes rapides, accélération pour celle des phénomènes lents, logarithmique pour privilégier les phénomènes tardifs, exponentielle pour les phénomènes précoces, etc. En tout état de cause, ce traitement n'intervient qu'à l'issue de celui du signal biologique et le plus souvent sur les traces stockées.

La mesure de latences et de durées correspond à la détermination de longueurs sur le document enregistré. La précision des mesures dépend de la vitesse de restitution de la trace graphique (base de temps) et des caractéristiques des filtres lorsqu'on a recours aux techniques électrophysiologiques (filtres passe bas, filtres passe haut ou constantes de temps). La mesure des périodes ou des fréquences, leur inverse, correspond à la détermination d'intervalles de temps séparant deux phénomènes similaires voisins dans un processus itératif. Ici encore, la précision des mesures dépend de la base de temps et des caractéristiques des filtres, mais également des capacités de mémoire du système de stockage.

■ *Échelles de temps*

Le problème majeur de l'échantillonnage est celui du choix de la fréquence à laquelle seront effectuées les mesures. En effet, une fréquence élevée donne un vecteur-mesure qui se rapproche de très près du phénomène biologique enregistré, mais est handicapante car elle fournit une quantité de chiffres très importante, nécessitant des capacités de mémoire et de calcul hors du commun. Par contre, une fréquence plus basse permet d'obtenir un ensemble de mesures maîtrisable tant au plan du stockage que de l'analyse mathématique ultérieure. Elle fait cependant perdre de la précision en émoussant les phénomènes et en effaçant certains éléments caractéristiques du signal initial.

L'échantillonnage doit répondre aux contraintes du théorème de Shannon (Max, 1981) : une mesure inscrite dans le registre temporel n'est valide que si la fréquence d'échantillonnage est au moins le double de la fréquence du

phénomène étudié. De manière simple, ceci signifie que l'on ne peut pas étudier la durée d'un phénomène périodique si l'on ne dispose pas d'au moins 4 points pour une période. Inversement, tout phénomène de période inférieur à la valeur de 4 points d'échantillonnage échappe à l'analyse.

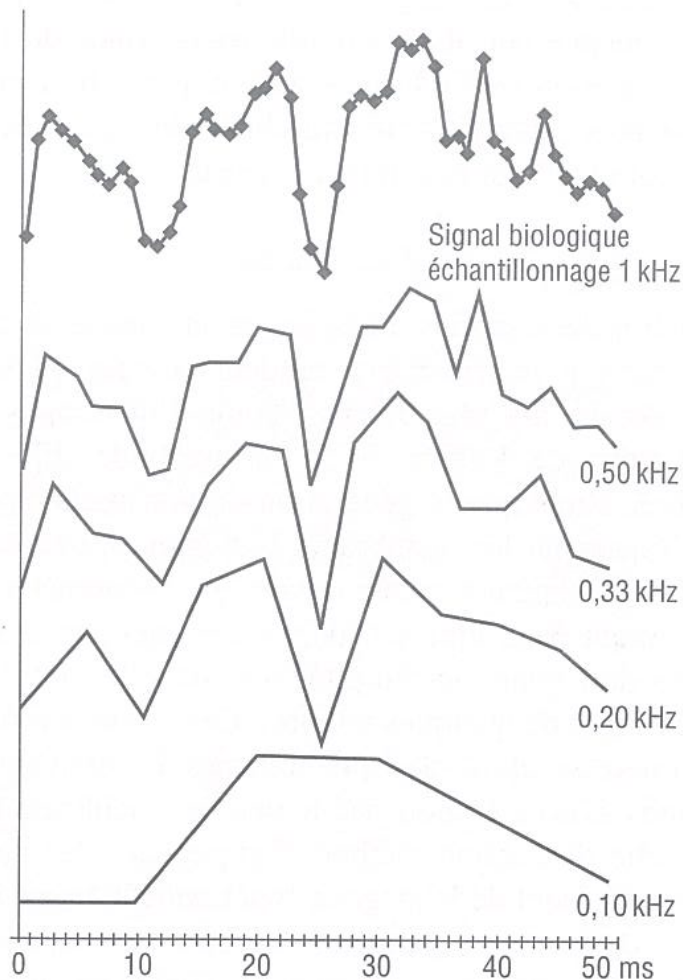


Schéma représentant les différentes formes comparées des courbes restituées après échantillonnage à des fréquences différentes, montrant l'émoussement du signal et la perte de certains éléments caractéristiques du signal initial.

Figure 1.2

Échantillonnage comparé à différentes fréquences

■ *Stabilité et stationnarité*

Le principe d'échantillonnage postule qu'il n'existe pas de changement du phénomène étudié dans l'intervalle entre deux mesures, donc qu'il existe une stabilité du système. Cette « stabilité » se traduit au niveau du signal par la « stationnarité » sur une période de temps donné. Une réduction des

données par rapport à l'analyse temporelle est possible dans le cas des phénomènes périodiques en étudiant, non pas les variations d'intensité au cours d'une période (variations en ordonnées sur une échelle de temps), mais les variations d'énergie dans une période de temps définie sur une échelle des fréquences. L'auto-corrélation permet d'identifier des périodicités sur une échelle de temps sans hypothèse sur la stationnarité du signal. L'analyse de fréquence par algorithme de transformée de Fourier rapide (*Fast Fourier Transform* ou FFT) n'est valide que si on respecte les trois contraintes suivantes : stationnarité, ergodicité du signal, échantillonnage respectant le théorème de Shannon (Max, 1981).

■ *Méthodes morphologiques et fonctionnelles*

On peut considérer deux grands domaines de la mesure en psychophysio-
logie. Les mesures à inertie brève rendent compte en temps réel de
l'évolution temporelle des phénomènes. Seule, l'électrophysiologie auto-
rise des résolutions de l'ordre de la milliseconde. Elle exploite des
phénomènes directs tels que la génération de potentiels électriques et de
champs magnétiques par les membranes biologiques, ou des phénomènes
indirects issus des capteurs transformant un phénomène physique ou
chimique en courant électrique (*cf. infra*). Les mesures à inertie longue,
telles que celles de l'imagerie morpho-fonctionnelle, ont des résolutions
temporelles de l'ordre de quelques minutes. Ces mesures n'ont de sens que
si l'on ne s'intéresse qu'à des phénomènes excessivement lents, de
plusieurs minutes. L'accélération des temps de calcul permet néanmoins
de minimiser cette distinction méthodologique entre les deux méthodes.
Le développement récent de l'imagerie fonctionnelle basée sur l'émission
Gamma à partir de traceurs radioactifs (SPECT), sur l'émission de posi-
trons (PET) ou sur la résonance magnétique (IRM) est un exemple de ce
rapprochement bien que la distinction basée sur l'inertie des phénomènes
reste encore d'actualité.

■ *Manipulations du temps*

Quelques méthodes permettent de s'affranchir de certaines contraintes
temporelles liées aux appareils de mesure. Le stockage sur support magné-
tique, le cinéma et la digitalisation d'images autorisent une dilatation *a*
posteriori de l'échelle de temps pour les phénomènes rapides (relecture lente)
ou de contraction pour les phénomènes lents (relecture accélérée). Ces tech-
niques permettent une réelle manipulation du temps. Des enregistrements au
long cours par système *holter* portable peuvent être relus en quelques minutes
(par exemple hypnogramme de sommeil de nuit). Il est également possible
par inversion de la direction de lecture d'identifier les processus précédant un

comportement. Le repérage d'événements contingents dans l'enregistrement polygraphique simultané de plusieurs paramètres permet l'étude de concomitances. Le moyennage et le déclenchement d'une analyse par un événement particulier (*trigger*) autorise le repérage d'un événement camouflé par le bruit de fond ou l'activité artéfactuelle, etc.

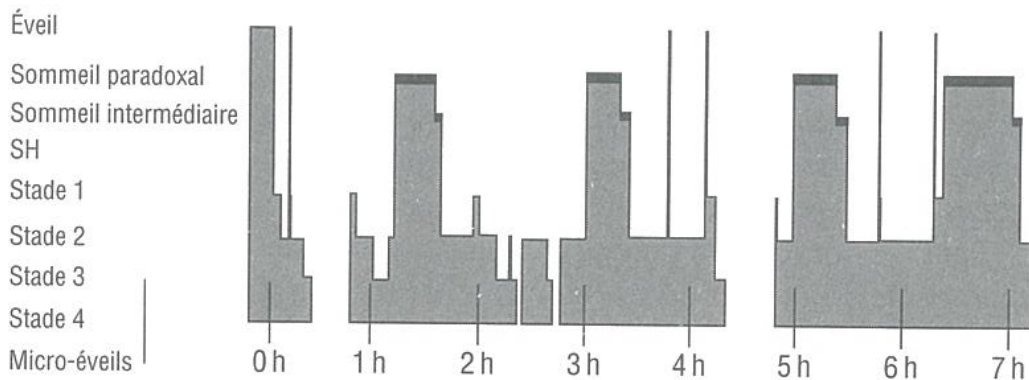


Figure 1.3

Hypnogramme de sommeil de nuit obtenu par lecture sur 7 heures d'informations polygraphiques (électroencéphalographie, électrooculographie, électrodermographie, etc.) échantillonnées à 100 Hz
(Source : J. Paty, CHU de Bordeaux)

1.1.2 Amplitudes

La détermination des amplitudes est plus délicate. Elle se fait sur la détermination de pics et de modifications significatives de la dynamique des courbes. Elle est directement dépendante de la somme intégrée des phénomènes sous-jacents mais également des caractéristiques de l'appareillage de recueil de l'information et de son amplification. Le psychophysiologiste devra donc, avant toute mesure, procéder à un étalonnage de la chaîne de traitement de l'information biologique, en envoyant à l'entrée de sa chaîne d'amplification un signal calibré dont il connaît les caractéristiques d'amplitude, de forme et de durée. Toute mesure physiologique ultérieure devra se rapporter aux déformations ainsi connues du signal d'entrée. Le problème de la mesure des amplitudes revient alors à la détermination d'indices et d'accidents de la dynamique des courbes en fonction des déformations mises en évidence, et à la comparaison d'un voltage à une tension de référence.

Les capacités des appareils de traitement sont aussi importantes et les caractéristiques de l'amplification doivent être choisies en fonction de leur

tolérance (bande d'amplitude) à laisser passer l'intégralité du signal. Faute de quoi, le signal physiologique est écrêté, interdisant alors toute mesure d'amplitude comme toute détermination de latence (Nuñez, 1981).

1.1.3 *Le complexe temps/amplitude et l'analyse topographique*

La mesure, pour le psychophysiole, consiste souvent à associer ces deux types de paramètres, temps et amplitude (ou intensité d'un phénomène), dans la détection de formes caractéristiques ou en référence à une topographie particulière. Certaines de ces formes sont connues pour être corrélées à un type d'activité précis. On appelle *patterns* ces formes typiques que le psychophysiole repère, soit de manière visuelle (recherche de pointes, d'ondes, etc.), ou par les moyens modernes de la reconnaissance automatique (corrélations, filtrages, reconnaissance de *patterns*...). De la même manière, la mesure peut se centrer sur les paramètres de surface (aire sous la courbe) circonscrite par un signal et un niveau de référence le plus souvent calculé à partir d'une moyenne d'activité. Cette procédure d'intégration permet de combiner temps et amplitude dans une fenêtre d'analyse connue et conventionnellement définie comme étant caractéristique du phénomène étudié.

Les techniques d'imagerie reposent sur ce principe. Elle permettent de représenter un phénomène physique ou chimique recueilli à distance par des capteurs adéquats. Les échantillons regroupés sous forme matricielle permettent par calcul, de construire des coupes de l'organe considéré, et à partir de plusieurs coupes d'effectuer une représentation tridimensionnelle. La limite de résolution temporelle de ces méthodes tient à la durée des phénomènes étudiés (supérieur au mieux à la seconde) et aux temps de calcul pour traiter des données considérables.

Les principales techniques utiles au psychophysiole sont les suivantes :

- scanner X, ou tomodynamométrie à rayons X, basé sur l'absorption des rayons X par les atomes lourds des tissus irradiés (Fe, Ca, I);
- tomographie par émission de positons ou *PET scan*, permettant l'étude de débits circulatoires par le repérage de rayons Gamma émis lors de l'annihilation d'un positon libéré par la dissociation d'un isotope de l'oxygène;
- tomographie par émission de positons ou *SPECT scan* pour *Single Photon Emission Computed*, repérant l'activité métabolique et certaines affinités tissulaires par la distribution de substances marquées radioactives.

vement et injectées dans l'organisme (glucose, médicament, hormone, etc.);

- imagerie par résonance magnétique nucléaire ou IRMN repérant la distribution d'eau dans les tissus par la mesure des moments de *spin* de protons soumis à un champ magnétique intense.

À ces techniques d'imagerie, principalement utilisées en médecine, se rattachent des méthodes de reconstruction d'images pour mettre en évidence les organisations topographiques des débits circulatoires régionaux par dilution d'un isotope radioactif et l'échographie d'ultrasons par effet Döppler, ainsi que la cartographie électroencéphalographique et la magnétoencéphalographie.

En psychophysiologie, l'imagerie est adaptée pour quantifier et fournir des paramètres topographiques de phénomènes chimiques ou métaboliques liés à certaines opérations psychologiques, de phénomènes circulatoires (débitgraphie) et humoraux (imagerie métabolique) ou localiser des structures dont l'état est modifié de façon durable dans certaines situations.

En pratique, les techniques d'imagerie fonctionnelle se présentent dans deux situations :

- par « soustraction » des images correspondant à deux situations, le plus souvent situation « neutre » contre situation « activée », qui permet de mettre en évidence des variables d'état et des variables de structure liées à certaines situations psychologiques, alors que l'exploration électrophysiologique reste privilégiée pour apprécier les fonctionnements;
- par « moyenne » d'images pour définir des localisations topographiques pour un sujet sur plusieurs périodes, ou pour un groupe d'individus, en gommant les différences intra- ou interindividuelles.

Les résultats topographiques par moyennes de groupe sont souvent décevants par rapport aux images individuelles. Les importantes différences entre les sujets dans l'organisation des phénomènes physiologiques ne permettent souvent pas une analyse topographique autre que macroscopique. Au contraire, les méthodes électro-physiologiques ou magnétiques permettent des moyennages très pertinents basés sur la stabilité temporelle des phénomènes.

Ici encore, la mesure n'a de cohérence qu'en rapport avec une théorie préalable du signal, qui donne sa pertinence à chacun des indices mesurés dans l'ensemble de l'information utile.

1.2 Extraction des pertinences

Un des problèmes fondamentaux de la psychophysologie est celui de pouvoir extraire d'un ensemble de données physiologiques sans signification *a priori*, des informations pertinentes quant aux questions psychologiques posées.

On distinguera, en premier lieu, l'ensemble des phénomènes physiques pour lesquels les grandeurs que l'on observe sont reliées aux conditions extérieures par des lois relativement faciles à déceler. Ces phénomènes, de même nature que l'information que recherche le psychophysiolgiste, sont considérés comme des *artefacts*. Par contre, il existe un ensemble de phénomènes qui s'imposent de manière complexe à la mesure sans entretenir de relation de stabilité ou de dépendance avec elle. Leur dynamique est aléatoire ou simplement gérée par des lois complexes qui nous échappent. Ces phénomènes sont habituellement considérés comme « bruit de fond ».

C'est aux différentes théories de la communication, du traitement du signal et du traitement de l'information, que le psychophysiolgiste va faire appel pour faire émerger l'information pertinente (le « signal utile ») noyée dans une information parasite (le « bruit ») considérée soit comme « bruit de fond » soit comme *artefact*. Le traitement électronique ou mathématique appliqué consistera à maximiser le rapport « signal/bruit ».

1.2.1 Amplificateurs biologiques

Les amplificateurs biologiques sont des appareillages techniques qui visent à amplifier un phénomène naturel afin d'en donner une représentation imagée (courbe, carte colorée, etc.) à la fois perceptible et compréhensible. Ces amplificateurs peuvent être mécaniques ou électroniques.

Le phénomène recueilli par un capteur adéquat (électrode, mécano-*graphe*, etc.) est converti par une interface, et c'est ce signal qui va être amplifié. Le coefficient d'amplification est conventionnellement désigné par le terme de « gain ». Ce gain est le rapport entre la valeur du signal de sortie (distribué par l'amplificateur) et le signal d'entrée. Les signaux biologiques étant, pour la grande majorité d'entre eux, temporellement réguliers ou itératifs, il est possible de leur attribuer une bande de fréquence en dehors de laquelle l'information n'est pas dépendante du phénomène étudié. Il conviendra donc de limiter l'amplification à l'ensemble des phénomènes utiles, c'est-à-dire à ceux qui appartiennent à la « bande utile ».

L'amplification va donc veiller à éliminer l'ensemble des phénomènes dont la fréquence est supérieure à la bande utile par une opération de

« filtrage » des hautes fréquences. On choisira ainsi une « fréquence de coupure » au-delà de laquelle on n'amplifie plus les phénomènes. Ce filtrage laisse passer les phénomènes de fréquence inférieure à la fréquence de coupure, et on parlera alors de « filtre passe-bas » (qui laisse passer les fréquences basses). De la même manière, on peut éliminer les fréquences supérieures à la bande utile par l'utilisation de « filtres passe-haut ». La bande de fréquence comprise entre les deux fréquences de coupure, c'est-à-dire entre filtrage passe-haut et filtrage passe-bas, est définie comme « bande passante » de l'amplificateur. Le filtrage consiste donc à faire correspondre la « bande passante » de l'amplificateur à la « bande utile » du phénomène étudié.

1.2.2 Artefacts et bruit de fond

Au-delà de l'inertie des chaînes de mesure, le signal est souvent modifié par l'apport de phénomènes additionnels qui déforment l'information pertinente. Le filtrage vise à épurer le signal psychophysique pertinent des signaux indésirables, c'est-à-dire des artefacts et du bruit de fond. Les artefacts sont des phénomènes du même ordre que ceux que le psychophysicien souhaite recueillir et qui pourtant ne l'intéressent pas. Pour rappel, un artefact est un phénomène produit par l'art, c'est-à-dire la technique de recueil, d'enregistrement, d'amplification et de rendu de l'information. Il convient donc de mettre en œuvre une série de procédures visant à maîtriser ces artefacts qui introduisent une distorsion ou une altération des signaux étudiés. Faute d'en maîtriser la survenue, il conviendra d'en minimiser l'importance.

Ces artefacts peuvent être caractérisés en fonction de leur origine. Ainsi distinguera-t-on les artefacts d'ambiance qui trouvent leur source dans l'environnement de l'expérimentation ou de la mesure, des artefacts inhérents à la méthode psychophysique elle-même. On classera ces derniers en artefacts d'instrumentation, relatifs aux techniques de mesure utilisées ou produits par l'expérimentateur, et en artefacts produits par le sujet lui-même. Ceux-ci sont habituellement désignés comme endogènes.

Origine	Environnement	Mesure	Sujet
Types des artefacts	Exogènes		Endogènes
	Ambiance	Méthode	

Tableau 1.2

Tableau récapitulatif des différents types d'artefacts en fonction de leur origine

Les artefacts d'ambiance sont des phénomènes parasites transitoires qui viennent s'imposer à la mesure du phénomène observé. Ainsi, des vibrations ou des bruits peuvent altérer les résultats d'une mesure du rythme cardiaque dans un protocole de stimulation visuelle, etc. D'autres artefacts sont dépendants de la technique de mesure. Ainsi, les capteurs sont-ils souvent générateurs de phénomènes indésirables, les liaisons entre ces capteurs et l'instrumentation électronique d'amplification, de stimulation ou d'inscription graphique peuvent être également source d'information parasite ou de distorsion.

Le sujet lui-même produit des signaux physiologiques qui n'intéressent pas l'expérimentateur. Ainsi, l'activité respiratoire naturelle du sujet va-t-elle altérer le recueil de son activité cardiaque.

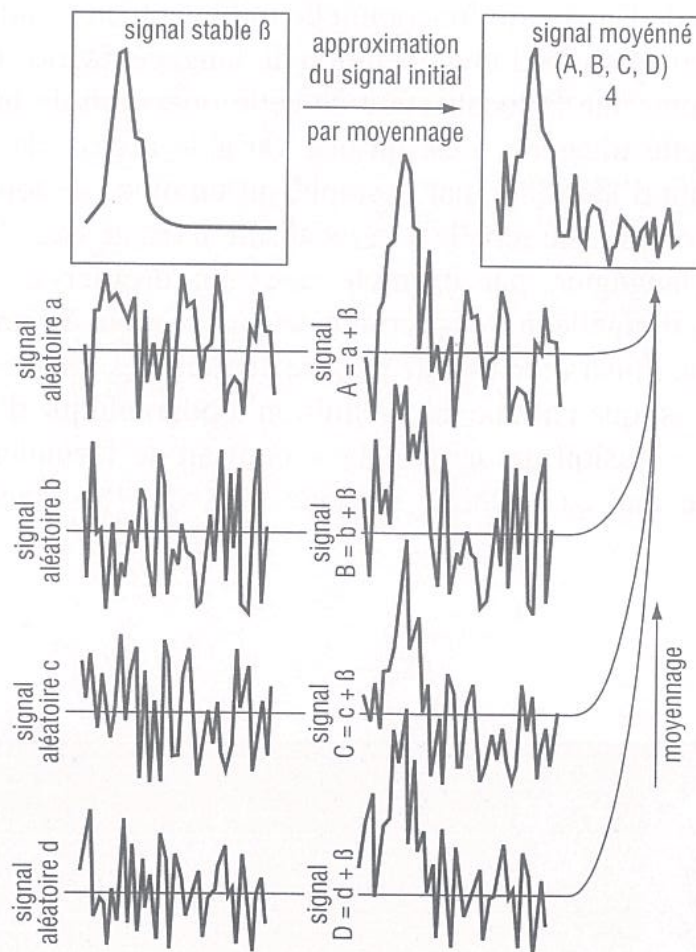
Enfin, au-delà des artefacts, l'ensemble de l'information correspondant aux phénomènes d'ordre différent qui sont néanmoins recueillis de manière concomitante et chronique à l'information pertinente, correspond au bruit de fond. Il envahit l'ensemble de l'enregistrement. Le bruit de fond peut donc être caractérisé comme un artefact exogène de longue durée.

De manière générale, le psychophysiologiste tentera de maîtriser la survenue *a priori* de ces artefacts, de filtrer ceux qui ne peuvent être supprimés afin d'en minimiser l'influence sur la mesure, et enfin d'extraire *a posteriori* l'information parasite, soit en rejetant les séquences artefactées, soit en supprimant mathématiquement cette information du signal utile par les algorithmes appropriés (Nuñez, 1981 ; Max, 1981).

1.2.3 Extraction et pertinence du signal

Au-delà de ces contraintes d'entrée, d'amplification et de filtrage, l'expérimentateur devra avoir recours à des méthodes mathématiques spécifiques qui lui permettent d'extraire *a posteriori* l'information pertinente du bruit (Max, 1981). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées en fonction des objectifs de l'expérimentation. Ainsi, le psychophysiologiste peut-il reconnaître des *patterns* particuliers, repérer des régularités ou au contraire des variations significatives dans une dynamique stochastique.

L'enrichissement des moyens de mesure a comme corollaire de multiplier les données d'analyse, la demande des expérimentateurs à ce niveau croît plus vite que l'offre technique malgré le développement et l'accélération de moyens de calcul de plus en plus accessibles sur le marché.



Les signaux sont synchronisés sur un « trigger » et moyennés. Les variations aléatoires tendent vers la racine énième de la somme des phénomènes, les variations stables tendent vers la moyenne des phénomènes.

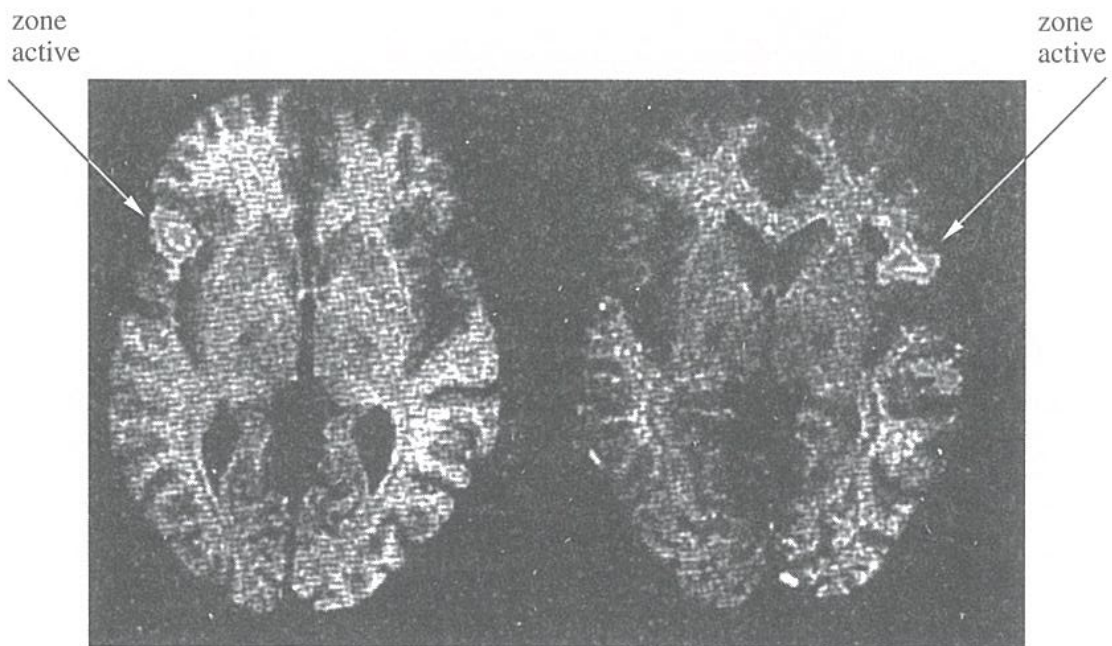
Figure 1.4

Méthode de moyennage

De ce fait, l'on se trouve de plus en plus conduit à utiliser des moyens de mesure automatiques ou de détection d'événements ou de représentation des phénomènes sous une forme symbolique et en particulier imagée, directement accessible à l'observateur.

L'image produite en fin de chaîne d'analyse peut à ce niveau conduire à une erreur méthodologique où l'observateur croit percevoir le phénomène alors qu'il ne perçoit en réalité qu'un indice généré par les appareils et le calcul. On rejoint ici le problème général de l'artefact en tant que variable de mesure générée par l'expérimentateur, qu'il convient bien entendu de ne pas confondre avec le phénomène.

La précision de l'imagerie fonctionnelle indiquant les localisations de la zone mise en jeu au cours d'une opération du langage risque de faire croire que l'image représente la localisation de cette opération de langage, alors qu'en réalité cette imagerie n'est qu'une variable accessible à la comparaison permettant d'identifier, par exemple, qu'un mode de fonctionnement en grande partie qui reste rebelle à la localisation existe dans les modalités de traitement langagier, par exemple chez un droitier et un gaucher. L'imagerie fonctionnelle doit être comprise, à ce niveau, davantage comme un repérage, une illustration ou une mesure pointant les différences intra- et interindividuelles, que comme une définition topographique d'un fonctionnement. Cette « illusion topographique » pourrait se formuler ainsi : « ce n'est pas parce que ça s'allume quelque part, que ça fonctionne à cet endroit ».



Images en résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) obtenues par soustraction entre une situation neutre et une situation d'activation (tâche silencieuse de génération de verbes), chez un sujet droitier (à gauche) pour qui la tâche active la région de Broca sur l'hémisphère gauche, et chez un gaucher (à droite) pour qui la zone activée par la tâche verbale est l'homologue de la zone de Broca sur l'hémisphère droit.

Figure 1.5

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

2 L'ART DE TRANSFORMER LES PHÉNOMÈNES

Nous présentons, dans cette partie, les phénomènes physiologiques utilisés dans les études psychophysiologiques pour répondre à des problématiques d'ordre psychologique. Cette liste, loin d'être exhaustive, présente séparément les mesures que l'on peut obtenir de manière directe, tant au niveau du comportement que du recueil d'indices corporels macroscopiques aisément repérables, et les mesures qui nécessitent une instrumentation psychophysiologique plus lourde, et qui correspondent à des processus bioélectriques ou biomagnétiques directement recueillis et amplifiés ou, de manière plus sophistiquée, transformés par des moyens mathématiques appropriés. Certains de ces phénomènes, couramment utilisés en « psychophysiologie cognitive », seront plus longuement analysés, notamment en rapport avec leur signification physiologique et leur valeur psychologique (EEG, RED, PES, ERP) dans le cadre d'un chapitre spécifique d'électrophysiologie. On opérera cependant une distinction entre une électrophysiologie directe, qui utilise l'information donnée par les potentiels électriques émis directement par les tissus, et une électrophysiologie indirecte qui enregistre les modifications de courants électriques que l'expérimentateur impose au sujet et qui sont modifiés par les processus physiologiques.

2.1 Mesures directes analogiques

Ces mesures concernent en premier lieu les comportements des sujets qui peuvent être paramétrés soit par des grilles d'observation, soit par une

instrumentation adéquate, puis la mesure directe de variables physiologiques, notamment homéostatiques.

2.1.1 Phénomènes globaux des comportements

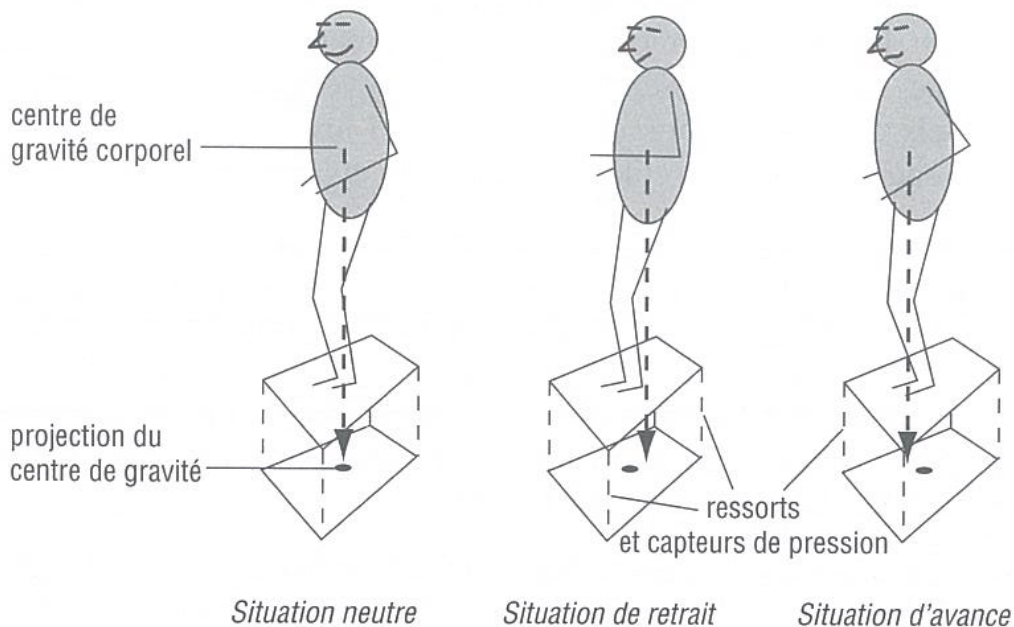
La première catégorie d'indices mesurée est celle concernant directement le comportement locomoteur. La détermination de la mobilité d'un sujet dans un espace donné peut être réalisée par dromographie. Cette technique correspond à la mesure de l'activité motrice d'un sujet dans un espace expérimental défini. Si cette technique est courante en éthologie par l'observation directe du comportement et sa décomposition en éthèmes ou unités comportementales, on peut avoir recours à une instrumentation facilement mise en jeu grâce au quadrillage d'une aire d'activité par un réseau de cellules photoélectriques, qui enregistrent ainsi la quantité de section des axes du quadrillage. Cette technique dromographique permet de déterminer par simple analyse des données de chaque cellule, la quantité totale de mouvement rapportée au temps et ses variations chronobiologiques ou en réponse à des conditions expérimentales données, mais également la localisation préférentielle d'un ou plusieurs sujets dans l'espace. Une information complémentaire est donnée par l'actimétrie. Cette technique consiste à équiper les sujets de capteurs de mouvements qui donnent la courbe de la quantité de déplacements par unité de temps.

La seconde catégorie d'indices concerne l'étude des mouvements d'un sujet statique, en condition expérimentale, sans motricité obligée ou intentionnelle. Cette méthode permet d'approcher l'efficacité des mécanismes sensori-moteurs par lesquels l'équilibre du corps est maintenu en dépit des causes expérimentales qui tendent à le perturber.

Le maintien de l'équilibre dépend en effet de l'action du système nerveux, qui assure le contrôle du tonus musculaire responsable de la cohésion mécanique entre les différentes parties du squelette. Dans les conditions statiques, cette répartition du tonus entre différents groupes de muscles amène à des attitudes posturales fondamentales propres à chaque sujet. Si les centres nerveux responsables de l'équilibration reçoivent des informations issues de la plupart des récepteurs sensoriels, c'est principalement l'organe vestibulaire et les récepteurs visuels qui jouent un rôle prépondérant. L'interaction entre les informations issues de ces deux types de récepteurs peut créer des situations conflictuelles (Lestienne, 1997) dont il est important de mesurer l'amplitude.

Cette étude peut être réalisée à l'aide d'un statokinésimètre. Cet appareil, dont la vocation est de repérer les modifications de position du centre

de gravité d'un sujet, habituellement debout ou assis, consiste en une plaque mobile, dont on repère selon deux axes les déplacements, en fonction des modifications de stature.



Une plaque mobile suspendue au-dessus du sol par quatre ressorts munis de capteurs de pression permet de repérer les modifications de stature par déplacement du centre de gravité du sujet.

Figure 1.6

Principe général de statokinésimétrie

On peut ainsi mesurer les modifications statokinésimétriques, ou réflexes posturaux en fonction des caractéristiques physiques des stimulations sensorielles, par exemple dans l'examen audiométrique (Meyer *et al.*, 1997), en fonction de vibrations imposées au sujet (Eklund, 1972), ou celles consécutives à la valeur affective d'une stimulation (Soulaïrac, 1959).

2.1.2 Indices corporels

L'étude psychophysiological des indices corporels est née avec la psychopneumographie et le pneumographe de Marey. Ce dispositif expérimental est constitué d'une plaque d'acier souple fixée au buste du sujet d'une attache élastique qui relie autour du thorax deux bras articulés, dont l'un est fixé au fond d'un tambour capteur et l'autre à la membrane de ce

tambour. Tout mouvement respiratoire fait alors varier le tambour, dont l'amplification des variations est effectuée par un bras inscripteur.

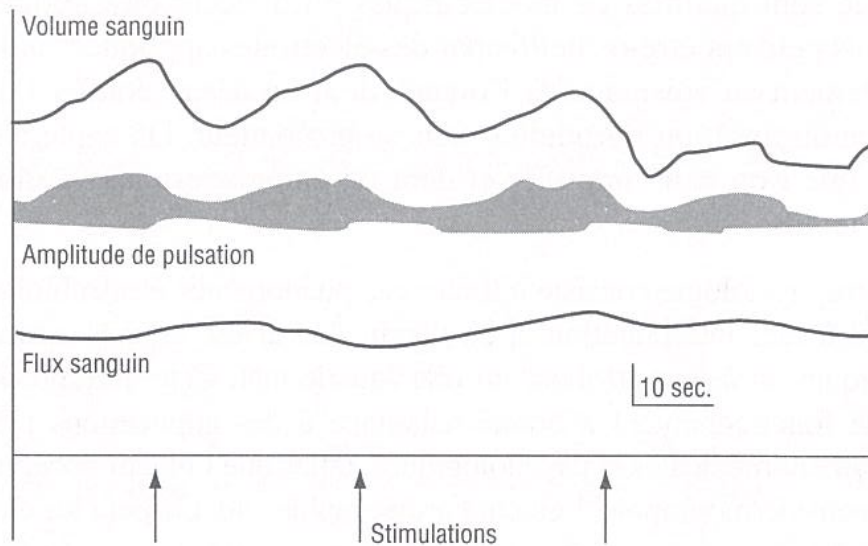
Le pneumographe de Paul Bert fonctionne selon un principe inverse. C'est l'inspiration qui provoque une traction sur la membrane d'un tambour constitué d'un petit cylindre appliqué sur le buste. Si le tracé obtenu est l'inverse du précédent, son interprétation est identique. Elle permet de fournir un ensemble d'indices développés par Woodworth (1938) tels que les rapports de durées entre l'inspiration et l'expiration (I/E) ou entre l'inspiration et la durée totale du cycle respiratoire ($1/I + E$).

Le tracé pneumographique ainsi obtenu permet de quantifier les différentes phases de la respiration normale ($I/E = 0,5$) ou pathologique, les apnées et la typologie des pauses, le rythme et ses modifications induites par les émotions ou les activités intellectuelles (Sutter *et al.*, in Delmas Marsalet, 1961). De la même manière, l'application du pneumographe a pu être faite à la détection de mensonge (Benussi, 1914) et en psychiatrie (Pachon, 1892, in Delmas-Marsalet, 1951).

Souvent associé à l'enregistrement de la respiration, celui du rythme cardiaque ne pose pas de problème particulier, puisqu'il peut être effectué directement par la simple prise du pouls. Au-delà de cette technique, on peut avoir recours à différents appareils, appelés de manière générique tensiomètres, parmi lesquels on citera le sphygmographe de Marey, qui correspond à une adaptation du tambour à la prise du rythme cardiaque, le pléthysmographe de Franck qui permet de connaître les variations volumétriques du doigt sous l'effet de la vasoconstriction et de la vasodilatation, le sphygmotentiomètre de Pachon qui permet de déterminer les différents paramètres diastoliques et systoliques de la pression artérielle humérale, etc. Ces différentes mesures ont certes leur intérêt, mais elles ont été progressivement abandonnées au profit des informations électro-physiologiques que fournit la technique électrocardiographique (EKG), notamment celle d'impédance (ZKG). On peut noter cependant que de nombreux travaux ont mis en évidence, par ces techniques directes, les réactions d'ordre orthosympatique ou vague qui accompagnent les émotions. En effet, l'organe cardiaque, outre ses propres générateurs d'activité (*pace makers*), est sous la dépendance réciproque des deux sous-ensembles du système autonome, et ceci tant au plan nerveux direct qu'à celui de la régulation endocrine. L'activité psychocardiographique est donc un indice fiable et particulièrement performant de l'étude des phénomènes psychiques ayant une concomitance sympathicotonique ou parasympaticotonique.

De même que l'activité cardiaque, et en complément logique, la pression sanguine, est une variable fréquemment mesurée en physiologie. Elle

est cependant d'usage plus rare en psychophysiologie, bien qu'elle apparaisse dans des protocoles complexes de monitoring, c'est-à-dire d'enregistrements à long terme de plusieurs variables physiologiques, notamment dans le cadre d'études chronobiologiques. Les études de la pression sanguine ont connu un succès certain dans les années 1920, notamment en relation avec les émotions (revue *in* Woddworth et Schlosberg, 1954). Mais, c'est principalement celles portant sur les variations du volume sanguin et de la vasodilatation par pléthysmographie qui ont été mises en relation avec les facteurs psychologiques. On a pu ainsi mesurer ces variations pendant la résolution de problèmes, en situation de stress, de frustration ou d'hostilité, ainsi qu'en réponse à des sautes d'humeurs. Des typologies ont également été tentées en relation avec la personnalité (type A/B), les processus de *coping* et divers facteurs sociaux (Andreassi, 1995).



Mesures vasculométriques effectuées sur l'index gauche des variations du volume sanguin, de l'amplitude des pulsations et du flot sanguin en réponse à une stimulation auditive (*tone burst*) aléatoire de 95dB et 1 000 Hz. Les flèches montrent l'occurrence des stimulations.

Figure 1.7

Exemple de mesures corporelles directes
(d'après Andreassi, 1995)

De la même manière peuvent être enregistrées d'autres variables physiologiques directement mesurables, soit par observation, soit en ayant recours à des technologies dérivées des précédentes. Il en est ainsi du diamètre pupillaire dont la mesure, ou iridométrie, est effectuée à partir de tracés photographiques ou de vidéogrammes. La mesure des variations de

la température corporelle est un autre exemple très utilisé en psychophysiologie. Elles sont habituellement mises en corrélation dans l'étude des modifications chronobiologiques de différentes variables végétatives et biochimiques, ou chronopsychologiques dans la résolution de problèmes, des capacités attentionnelles et mnésiques, ou de la résistance au stress, notamment en ergonomie.

2.2 Mesures directes des potentiels biologiques

Les cellules vivantes, constitutives des tissus, eux-mêmes constitutifs des organes, sont le siège d'activités métaboliques. Une grande part de ces activités consiste en des échanges ioniques qui engendrent des différences de potentiels membranaires locales. Ces phénomènes d'électrogenèse biologique sont qualifiés de bioélectriques ou d'électrophysiologiques et leurs effets peuvent être recueillis par des électrodes appliquées à distance ou directement au voisinage de l'organe dont on désire étudier l'activité, en surface du tissu, ou introduites dans sa profondeur. On capte alors des courants que l'on peut amplifier et dont on enregistrera les variations au cours du temps.

L'électrophysiologie consiste à traiter ces phénomènes électrobiologiques, du recueil à leur interprétation, à en décrire les divers aspects normaux ou pathologiques, et à leur attribuer un rôle fonctionnel. Cette interprétation en termes de fonctionnement a donné naissance à des applications pratiques, principalement médicales et psychologiques, telles que l'électroencéphalographie, l'électrodermographie, l'électrocardiographie, etc. On peut les classer en deux grands groupes : celles qui s'intéressent à des activités corporelles d'économie biologique générale (muscles, cœur, peau, yeux, etc.) et celles qui mesurent l'activité électrique du cerveau considéré comme organe de la pensée.

2.2.1 Phénomènes corporels

On sait, depuis Du Bois-Reymond en 1849, que les muscles produisent des courants électriques en se contractant. L'électromyographie ou EMG consiste à enregistrer ces courants à l'aide d'un galvanomètre (Fridlund et Cacioppo, 1986). L'EMG permet d'étudier l'activité de muscles directement mis en œuvre par des tâches motrices : temps de réaction psychomoteur (Davis, 1940; Kennedy et Travis, 1947), tâches de *tracking* ou recherche de cibles (Kennedy et Travis, 1948; Eason, 1963), fatigue (Mulder et Hulson, 1984). En second lieu, l'EMG peut être utilisée comme

indice indirect d'évaluation de la motivation (Surwillo, 1956), de l'émotion (Schwartz *et al.*, 1979) et dans des tâches cognitives diverses (Cacioppo et Petty, 1981), etc.

Une activité musculaire spécifique est particulièrement intéressante pour le psychophysiologiste, il s'agit de l'électro-oculogramme ou EOG. On a recours à cette technique principalement dans les études du parcours perceptif de scènes visuelles (Noton et Stark, 1971), de la lecture (Venezky, 1977) et ses troubles (Pavlidis, 1981), de diverses tâches cognitives de mémoire ou de résolution de problèmes (Loftus, 1972; Nakano, 1971), dans la pathologie neuropsychologique ou psychiatrique (Johnson *et al.*, 1988), etc.

L'activité électromusculaire la plus connue reste celle du cœur. Vu les caractéristiques des courants générés par les différents générateurs cardiaques, l'activité électrocardiographique ou EKG est facilement enregistrable et ne nécessite pas de fort gain d'amplification ni de contrainte de filtrage majeure. L'électrocardiographie est donc une technique facile à mettre en œuvre avec un simple amplificateur biologique, et qui permet de récupérer l'ensemble des informations psycho-cardiographiques (Pardee, 1933). L'utilisation de cette technique ainsi que sa signification psychophysiologique seront abordées plus loin.

Enfin, l'étude de la réponse électrodermale, ou psychogalvanométrie, correspond à la mesure des modifications des caractéristiques électriques de la peau. Ces modifications correspondent à des variations transitoires des propriétés électriques, et notamment de la résistivité ainsi que de l'émission directe de potentiels par la structure derme/épiderme. La modification de tels phénomènes électrophysiologiques dépend principalement des réactions émotionnelles du sujet. Cette technique, très utilisée dans le monde anglo-saxon, fera également l'objet d'un paragraphe particulier dans le cadre du chapitre portant sur l'électrophysiologie.

2.2.2 Phénomènes cérébraux

Le cerveau étant constitué d'un ensemble fantastique de cellules électriques, il se comporte comme un puissant émetteur de courants électrophysiologiques que le chercheur va tenter de mettre en relation avec les activités mentales.

Le psychiatre Hans Berger appliqua en 1924 la technique d'enregistrement de l'activité électrique cérébrale à l'étude du cerveau humain (Berger, 1931). Il décrivit rapidement deux types d'activités correspondant à des rythmes particuliers (alpha et bêta) qui variaient avec l'activité de

veille (repos ou veille active) (Porges et Coles, 1976). Plus tard, d'autres chercheurs identifèrent de nouvelles bandes de fréquence tout en continuant à utiliser l'alphabet grec pour les identifier : ondes delta (Walter, 1937), thêta (Walter, 1953), kappa (Kennedy *et al.*, 1948), lambda (Gastaut, 1951 ; Evans, 1952), mu (Gastaut, 1952).

Une technique voisine de l'électroencéphalographie réside dans le recueil des émissions magnétiques qui accompagnent les activités électriques des neurones. La magnétoencéphalographie (MEG) consiste à enregistrer et amplifier les courants magnétiques produits par l'activité cérébrale (Williamson, 1989). Si cette technique très rare et excessivement coûteuse diffère instrumentalement de l'électroencéphalographie, notamment au niveau des capteurs, elle reste très proche au niveau des principes de traitement du signal et de restitution infographique. Elle permet néanmoins de préciser avec une résolution topographique très intéressante les sources profondes des différents potentiels enregistrés en surface. Elle reste aujourd'hui encore du domaine de la recherche expérimentale et ses résultats manquent parfois de cohérence avec ceux issus de techniques plus fiables, tels que l'électrocorticographie ou les enregistrements stéréo-électroencéphalographiques par micro-électrodes directement implantées dans les structures sources (Guillem *et al.*, 1995, 1996 ; Halgren *et al.* 1980, 1986).

3 ÉLÉMENTS D'ÉLECTROPHYSIOLOGIE

De manière générale, la psychophysiology moderne s'intéresse à l'ensemble des phénomènes électrophysiologiques générés par le sujet (électrophysiologie directe) ainsi qu'aux modifications de phénomènes physiques qui peuvent être recueillies par des capteurs produisant eux-mêmes un signal électrique (électrophysiologie indirecte). En ce sens, l'électrophysiologie est la méthode par excellence en psychophysiology, où elle tient une place particulière qui mérite d'être distinguée.

3.1 Principes d'électrophysiologie

Le métabolisme des organismes correspond à l'ensemble des activités chimiques qui sont produites par les cellules. Ces cellules, groupées en tissus, produisent des mécanismes physico-chimiques qui engendrent des forces électromotrices dont le but est de séparer des ions de signes opposés de part et d'autre des membranes. Les forces élémentaires ainsi produites peuvent être directement mesurées en faisant pénétrer dans la cellule vivante des micro-électrodes de verre dont le diamètre de la pointe est inférieur à 1 micromètre. Le niveau de ces forces élémentaires est très faible, pouvant varier de 0,01 à 0,15 volt. Cette méthode « cellulaire » définit un niveau d'analyse micro-électrophysiologique. C'est principalement le domaine de la neurobiologie cellulaire, de la neuropharmacologie, ou de la psychologie physiologique animale qui cherche à trouver des corrélats entre les modifications du métabolisme cellulaire et ses conséquences sur le comportement.

Pourtant, de manière pratique, les psychophysiolgistes préfèrent une vue globale de l'activité électrique composite de toute une population de cellules (mini-électrophysiologie) ou même d'un tissu ou d'un organe entier tel que le cœur, la peau, les muscles ou le cerveau (macro-électrophysiologie). On ne mesure plus alors les forces électromotrices mais des différences de potentiel captées sur les boucles de courant qui passent en dérivation par un système d'électrodes. Le plus souvent, le psychophysiolgiste procède à plusieurs dérivations simultanées, ce qui permet de les comparer entre elles.

3.1.1 Grandeurs électriques amplifiées et électrodes

Les grandeurs électriques mesurées en psychophysiolgie sont principalement des différences de potentiels de l'ordre du microvolt. Sauf dans quelques études portant sur certains aspects énergétiques de l'électrogénèse ou de la résistance ou conductance électrique des tissus, on ne s'intéresse ni à la puissance des générateurs, ni à leurs intensités. Au contraire, la technique électrophysiologique consiste à rendre négligeable le courant extrait par la chaîne d'amplification, qui devra présenter une forte impédance d'entrée afin que les phénomènes biologiques soient le moins possible perturbés par la mesure. Les différences de potentiels mesurées correspondent à la différence électrique d'une dérivation, c'est-à-dire d'un circuit électrique situé entre deux électrodes. Cette différence se mesure en volts, c'est-à-dire qu'elle s'exprime en fractionnaires de volts (mV, μ V). Pour plus de facilité, on désigne par le simple terme de « potentiel » toute manifestation bioélectrique ainsi captée entre deux électrodes.

3.1.2 Dérivations, localisation des électrodes et recherche de sources

La pose des électrodes est une partie fondamentale du protocole électrophysiologique (Nuñez, 1981). Elle se fera selon deux techniques distinctes : référentielle ou monopolaire, non référentielle ou multipolaire.

Les enregistrements référentiels se font entre une électrode dite « active » ou « focale », censée recueillir le signal intéressant le psychophysiolgiste, et une électrode dite « de référence ». C'est par rapport au potentiel de référence de cette électrode que sera mesurée la différence avec le potentiel de l'électrode active.

Dans certains cas, le psychophysiolgiste travaille en dérivations non référentielles, dites « dérivations bipolaires ». Il s'agit alors de mesurer des

différences de potentiels entre deux électrodes focales. Ce type de dérivation utilise des électrodes spatialement proches, de quelques millimètres à quelques centimètres selon la surface ou l'organe exploré, que l'on dispose en réseau afin de recouvrir régulièrement un champ d'exploration. Ces croisements permettent d'étudier la meilleure orientation des paires d'électrodes, indicative de la direction du vecteur maximal du courant électrique (Humbert, 1975).

L'exploration électrophysiologique d'un organe permet de préciser l'organisation topographique de l'électrogenèse et des foyers bioélectriques. On détermine habituellement l'espace d'enregistrement pertinent, soit de manière conventionnelle, soit en explorant par tâtonnements, en bougeant les électrodes et en repérant les situations focales les plus favorables, soit en utilisant un réseau d'électrodes et en sélectionnant celles qui donnent les dérivation les plus favorables. L'espace pertinent connu, on lui applique une procédure d'exploration systématique permettant de déterminer des lignes de courant isopotentiels (Nuñez, 1981). On peut alors localiser la source du potentiel (conventionnellement notée «+») d'où sort le courant, et à l'opposé, un puits de perte de courant (noté «-»), correspondant à l'endroit où il semble rentrer. Cette organisation «source-puits» représente un «dipôle» dont on peut mesurer les variations d'orientation (direction du courant) et d'intensité (amplitude du courant). L'exploration conduit souvent, notamment en macro-électrophysiologie, à un modèle comportant plusieurs dipôles qui occupent de plus ou moins grandes surfaces. L'ensemble des vecteurs représentés sur ces surfaces constitue des cartes de polarités dont les courbes isopotentielles varient dans le temps pour constituer une «cartographie» spatio-temporelle. Le changement brusque du signe d'un potentiel sur ces cartes, ou lorsque deux électrodes présentent des images en miroir d'un dipôle, sont des critères d'existence d'une source électrophysiologique. L'analyse de telles isopotentielles est particulièrement utile en électrocardiographie (Benoit *et al.*, 1990; Goldschlage et Goldmann, 1990), en électroencéphalographie (Boulton *et al.*, 1990, Lopes Da Silva et Van Rotterdam, 1982; Nuñez, 1981; Wood, 1982) et surtout en électrocorticographie (Guillem *et al.*, 1995, 1996; Halgren *et al.*, 1980, 1986).

3.1.3 Indices temporels

La dimension temporelle joue un rôle fondamental en électrophysiologie puisque c'est à partir de cette dimension que l'on peut opérer une classification des différents potentiels biologiques. On pourra en premier lieu repérer les impulsions et les pointes qui présentent un aspect transitoire et

une durée très brèves de quelques millisecondes. Plus longues sont les ondes, aux contours arrondis et réguliers, qui peuvent prendre un aspect mono-, di- ou polyphasiques; elles peuvent être isolées, le plus souvent significatives d'un phénomène paroxystique, ou régulières et périodiques. Enfin, les potentiels lents présentent des variations complexes contingentes de phénomènes cognitifs ou affectifs. Ce sont ces phénomènes lents qui représentent le plus d'intérêt en psychophysiology cognitive. Ils peuvent se produire sans interventions extérieures; on les nomme alors spontanés ou auto-actifs. À l'opposé, certains autres sont des réponses liées au traitement d'un signal; certains semblant directement liées au stimulus (« stimulus dépendant »), d'autres résulter de l'éveil d'un processus endogène lié au traitement concerné.

Dans la majorité des cas, le phénomène électrophysiologique repéré est répétitif. On peut donc en déterminer la fréquence, exprimée en Hertz. Chaque phénomène peut être classé dans une bande de fréquences utiles qui permet de le sélectionner parmi d'autres phénomènes, qui peuvent faire l'objet d'un filtrage sélectif en dehors de la bande passante choisie.

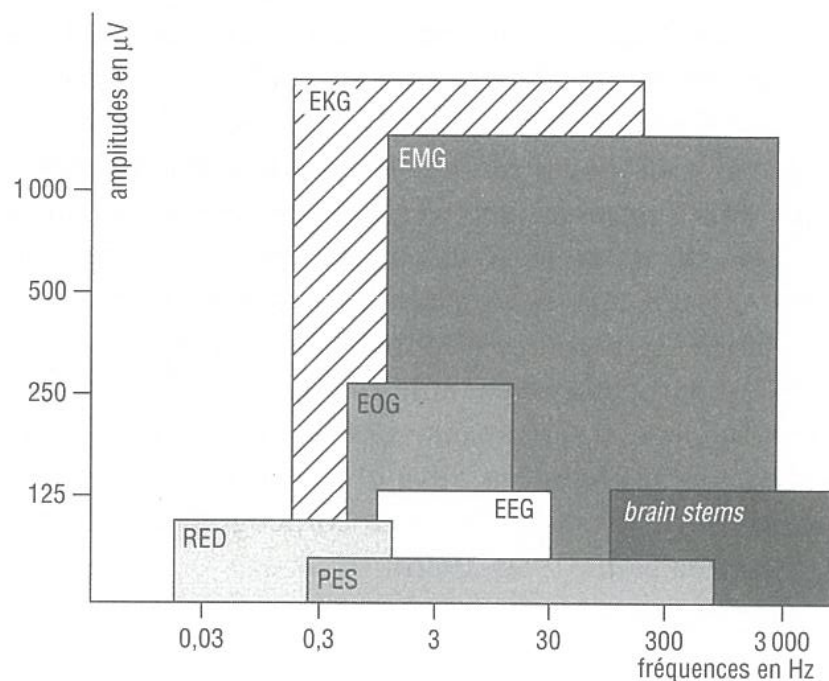


Figure 1.8

Caractéristiques fréquentielles comparées (en Hz) de différents signaux électrophysiologiques en fonction de leurs amplitudes (en μV) (d'après Guérit, 1991)

3.2 Applications électrophysiologiques choisies

De manière générale, l'activité électrique de tout organe dont on peut enregistrer un écho électrique de surface ou de profondeur, fait l'objet d'une application électrophysiologique spécifique. Il est bien entendu difficile de traiter ici de manière exhaustive l'ensemble de ces applications. Nous nous sommes limités à présenter quelques-uns de ces phénomènes électrobiologiques en précisant la méthode de recueil d'amplification et de traitement, leur signification physiologique puis leur intérêt psychologique.

3.2.1 L'activité électrocardiographique (EKG)

Le signal électrocardiographique ou EKG (le terme de ECG étant réservé à l'électrocorticographie) est recueilli par des macro-électrodes disposées sur le corps du sujet selon des dérivations standardisées. Le signal est alors amplifié avec un gain de l'ordre de 2 500, l'usage voulant que l'on étalonne les appareils pour obtenir une déflexion graphique de 1 centimètre pour un signal d'entrée de 1 millivolt, avec une vitesse de déroulement de l'ordre de 5 à 10 millimètres par seconde. À ce moment-là, on obtient un tracé dont la forme traditionnelle permet de repérer très facilement les différentes composantes. Ce tracé est couramment utilisé en clinique humaine, et le psychophysioleogiste peut en tirer des indices pertinents, notamment en termes de variation du rythme.

Au plan du signal, l'électrocardiogramme présente une succession d'ondes classiquement désignée par le terme de complexe P-T. La première onde P correspond à une déflexion lente d'environ 160 millisecondes; elle est suivie par un ensemble dyphasique de 300 millisecondes (complexe QRST) suivi d'une phase de repos de 300 à 400 millisecondes (Guyton, 1977). Chacune de ces ondes est mise en relation avec les périodes diastolique et systolique au niveau ventriculaire ou auriculaire.

De manière pratique, le rythme cardiaque est calculé par la mesure des intervalles séparant deux ondes R à partir d'un algorithme de seuillage (Brown, 1972). Si cette mesure est très utilisée en physiologie et en médecine, on lui préfère cependant la mesure d'impédance cardiaque (Miller et Horvath, 1978; Sherwood *et al.*, 1990) en psychophysioleogie. Cette méthode d'électrophysioleogie indirecte consiste à appliquer entre le cou et le diaphragme un courant constant de l'ordre de 100 kilohertz pour 4 milliampères (100 kHz/4 mA) qui va traverser la cavité thoracique. L'impédance mesurée entre deux niveaux d'électrodes isotopiques va alors

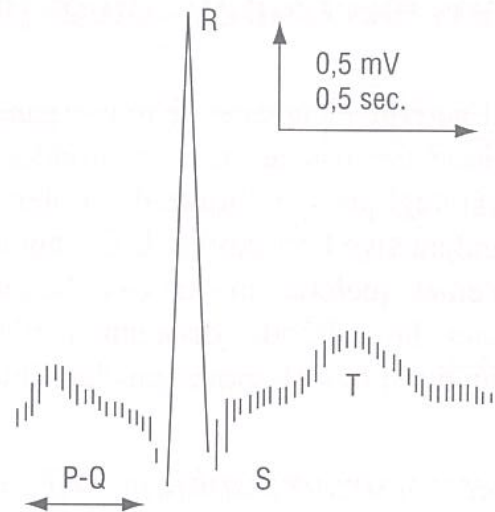
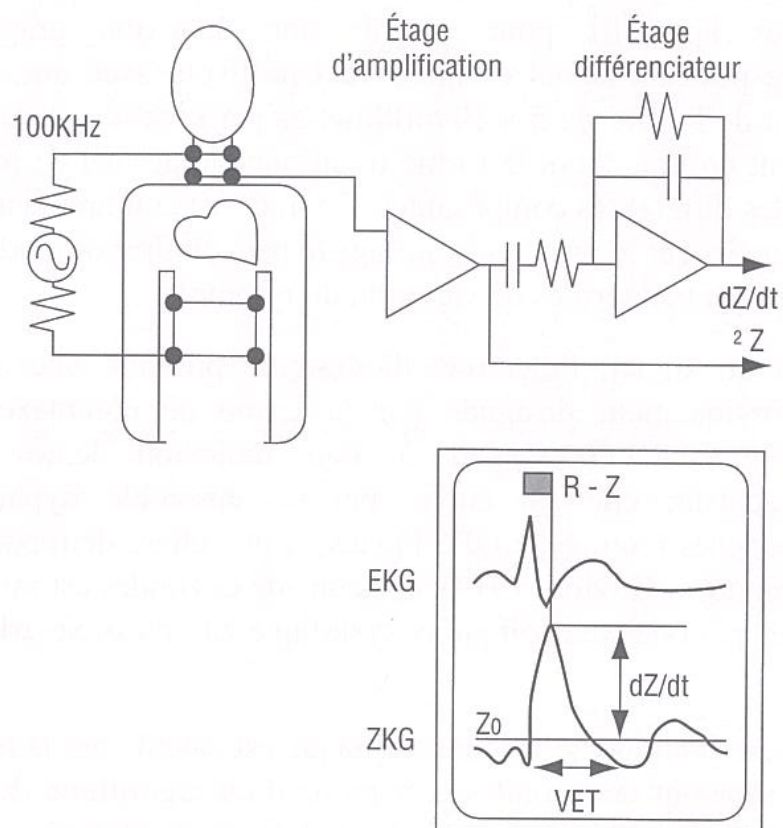


Figure 1.9

Signal électroencéphalographique obtenu de manière classique : complexe d'ondes PQRST



Mesure de l'activité cardiaque : enregistrement direct de l'électroencéphalogramme traditionnel (EKG - trace du haut) et cardiographie d'impédance (ZKG - trace du bas). La méthode de recueil de l'impédance est représentée d'après Miller et Horvath, 1978.

Figure 1.10

Électrocardiographie

varier en fonction et dans le même sens que le volume de la cavité, lui-même dépendant des volumes cardiaques. Les différentes composantes du signal d'électrocardiographie d'impédance (ZKG) permettent de donner, outre les informations de l'EKG standard, des variables de pression et de volume de la psycho-vasculographie.

■ *Intérêt psychologique*

On peut considérer que toute activité sollicitant une augmentation de la vascularisation induit une augmentation corrélative de l'activité cardiaque. Trois grands types de compartiments vasculaires peuvent être repérés comme consommateurs de sang d'une manière très significative. Il s'agit d'une part des muscles, d'autre part du cerveau et enfin de la peau et des organes mobilisés dans la régulation sympathique. L'utilisation de l'électrocardiographie en psychophysiologie fera donc référence à trois grands types d'applications. La première concerne les performances motrices, la seconde les tâches cognitives auxquelles le sujet est confronté, la dernière concerne les régulations de l'émotion.

Il est évident que l'activité motrice requiert un afflux majeur de sang au niveau musculaire. Le cœur ainsi sollicité augmente d'autant son activité, ce qui se traduit par l'augmentation des différents paramètres, dont le plus significatif est le rythme cardiaque. La méthode par excellence est ici l'enregistrement continu ou monitoring, qui peut être effectué par des appareils portables (*holters*), qui enregistrent les données et permettent une exploration *a posteriori*, ou qui transmettent de manière téléométrique les données traitées en ligne. Au-delà de ces données associées au comportement global et à long terme, de nombreux travaux se sont intéressés aux activités motrices phasiques, ne présentant pas de caractère intense, tel que les tâches de temps de réaction. Ainsi, par exemple, a-t-on pu montrer que le rythme cardiaque a tendance à diminuer pendant la période de préparation dans les tâches de temps de réaction avec alarme, et ceci proportionnellement avec la performance à venir (Webb et Obrist, 1970). Cette relation semble néanmoins modulée par le moment d'apparition du stimulus d'alarme dans le cycle cardiaque (Lacey et Lacey, 1977), notamment en relation avec l'activité vagale.

Les travaux portant sur les régulations EKG des émotions sont également nombreux. Globalement, les phases d'alarme orthosympathiques s'accompagnent d'augmentation du rythme et les phases secondaires parasympathiques sont associées à des ralentissements vagues (Lacey et Lacey, 1980). Un des principaux intérêts de ce type d'études est de pouvoir interviewer facilement les réponses corporelles d'enfants, notamment en bas âge et pendant la petite

enfance, ceci de manière simple et non traumatisante. Des relations ont pu ainsi être établies avec des constances réactives permettant l'établissement de typologies (Fox, 1989), ou dans des conditions expérimentales telles que la présentation de films à teneur affective graduée (Eisenberg *et al.*, 1988). De la même manière, chez les adultes, on a pu mettre en évidence le ralentissement cardiaque avec l'humour subjectif de problèmes à résoudre (Golstein *et al.*, 1975) et avec la teneur de scènes imaginées selon la personnalité (typologie A/B) des sujets testés (Baker *et al.*, 1984). Les travaux dans ce domaine sont particulièrement fréquents, et la mesure de la variabilité du rythme cardiaque sert souvent d'indicateur à cette classification différentielle de *coping* et résistance au stress (Smith *et al.*, 1989), notamment en relation avec les activités cognitives (Juszczak et Andreassi, 1987).

Les études considérant la relation entre rythme cardiaque et activités cognitives concernent aussi bien les apprentissages verbaux, la résolution de problème, la perception et l'imagerie mentale, que l'attention et la réponse d'orientation. Pour les apprentissages (Andreassi, 1966; Andreassi et Whalen, 1967) comme pour la résolution de problème (Steele et Lewis, 1968), la fréquence cardiaque est un indicateur de la difficulté de la tâche. En termes de perception et d'attention, l'acuité sensorielle (Schell et Catania, 1975), la sensibilité perceptuelle à l'environnement (Carriero et Fite, 1977) ou l'efficacité de la réponse (Lacey et Lacey, 1980, *op. cit.*) sont prédictibles par les décélérations cardiaques. De même, ces ralentissements sont observés dans des tâches où les sujets savent dériver leur attention (Spence *et al.*, 1972) ou pendant les phases de méditation (Wallace et Benson, 1972).

Si l'électrocardiographie est une technique des plus usitées en psychophysio-physiologie, elle est souvent associée à d'autres mesures électrophysiologiques, telles que la psychogalvanométrie (Croyle et Cooper, 1983...) ou l'EEG et les potentiels cognitifs (Friedman *et al.*, 1990...).

3.2.2 La réponse électrodermale (RED)

La psychogalvanométrie ou électrodermographie a été inventée presque simultanément par le Français Fere (en 1888) et le Russe Tarchanoff (en 1890) (Neumann et Blanton, 1970). C'est une méthode particulièrement utilisée en psychophysio-physiologie et notamment depuis l'après-guerre par les anglo-saxons. Au point de vue pratique, l'activité électrodermale peut être mesurée par l'enregistrement des courants émis par la peau (méthode de Tarchanoff) ou par l'étude de la modification de la résistance entre deux électrodes qui délivrent un potentiel biologique (méthode de Fere). Ces électrodes sont habituellement placées sur la main (doigts et face palmaire) selon un placement bipolaire

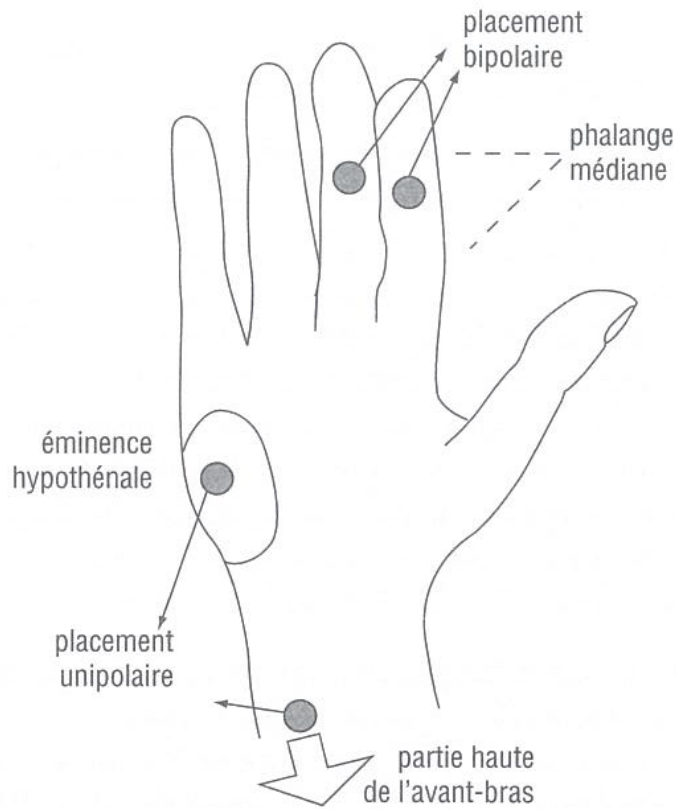


Figure 1.11

Méthode de recueil de la réponse électrodermale

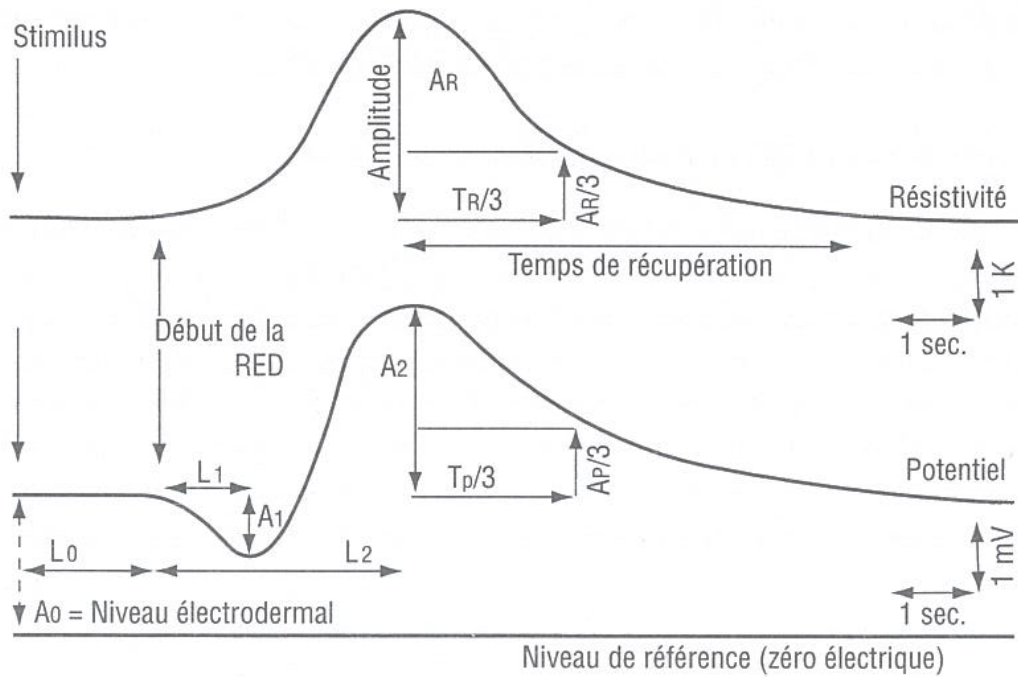


Figure 1.12

Méthode d'analyse de la réponse électrodermale

(entre deux doigts ou deux positions palmaires) ou unipolaire (entre une position palmaire et une référence électrophysiologique définie).

On appelle alors activité électrodermale l'ensemble des variations des caractéristiques électriques de la peau. Ces paramètres varient en fonction de données structurales du derme et de l'épiderme, mais également de l'activité transitoire des glandes sudoripares. Les méthodes d'enregistrement de la RED diffèrent selon la méthode utilisée. Lorsqu'on s'adresse au phénomène électrique émis (électrophysiologie directe – Tarchanoff) on parlera de REDp; s'il s'agit de la mesure de la résistivité de la peau au passage d'un courant électrique émis par l'expérimentateur (électrophysiologie indirecte – Fere), on parlera de REDr. Si les méthodes sont différentes, les mesures restent néanmoins comparables et les latences ainsi que les proportions d'amplitudes sont respectées.

Les latences (L) correspondent au temps écoulé entre la survenue du stimulus et les accidents de la courbe RED, le temps de récupération (TR ou Tp) au temps qui s'écoule entre la latence de l'amplitude maximale (AR ou A2) et la venue au niveau initial, les amplitudes de la RED sont celles qui caractérisent la différence, exprimée en microohms ou millivolts, entre les points d'inflexion de la courbe et le niveau initial pré-stimulus. D'autres indices de mesure peuvent rendre compte de la résolution de la RED : les amplitudes mesurées dans un rapport de temps défini (par exemple 1/3) du TR ou les latences dans un rapport d'amplitude défini de l'amplitude maximale. D'autres méthodes permettent d'intégrer l'aire sous la courbe et de définir les surfaces pré- ou post-maxima.

■ *Origine de la RED et signification physiologique*

Ce sont les glandes sudoripares et sébacées qui sont directement responsables des modifications transitoires des caractéristiques électriques de la peau. Les glandes sébacées sont impliquées dans les modifications à moyen terme, et la variation du niveau électrique initial ou de la résistivité de base est largement dépendante de leur activité. Les glandes sudoripares jouent également un jeu dans la régulation de ces paramètres, mais elles sont, pour ce qui nous intéresse, responsables des variations transitoires des paramètres électriques étudiés. Les glandes apocrines sont associées à la pilosité pubère, et ne présentent pas grand intérêt pour le psychophysiologiste (Andreassi, 1993). Par contre, les glandes eccrines qui sont réparties à quelques exceptions près sur l'ensemble de la surface du corps, concernent directement les caractéristiques électro-physiologiques de la peau. Leur densité est faible au niveau des membres ou du tronc, moyenne au niveau du scalp et de l'aîne ou de l'aisselle, et maximale au niveau de la

paume de la main ou de la plante du pied (Boucsein, 1982) jusqu'à atteindre plus de 3 000 au centimètre carré (Jacob et Francone, 1970).

Ces glandes sont sous la dépendance de régulations nerveuses végétatives, correspondant à une sécrétion relativement rapide liée à la mise en jeu du système orthosympathique, ou à une sécrétion plus lente sous dépendance du système parasympathique. L'activité sympathotonique (orthosympathique) est liée à une gestion globale et immédiate du stress, et donc responsable de réponses d'adaptation non spécifiques, rapides mais facilement épuisables. À l'opposé, l'activité vagotonique (parasympathique, dit parfois vague en référence à une paire de nerfs crâniens du même nom, particulièrement impliquée dans ce type de régulation) est liée à une gestion spécifique de l'adaptation qui se mobilise à plus long terme et de manière plus durable. Cette opposition correspond à deux types de comportement du système sudoripare qui, associés, constituent la réponse électrodermale. On distinguera donc la part relative des réponses rapides, liées à un stimulus identifié, des fluctuations plus lentes du niveau de base; la réponse électrodermale correspondant à une sommation de ces deux effets (voir plus loin le modèle de Sokolov).

■ *Caractéristiques des phénomènes recueillis*

La réponse psychogalvanométrique peut être différenciées en fonction du temps et de la nature de la caractéristique électrique de la peau qui subit une variation (Venables et Martin, 1967).

Une première distinction sera faite entre les fluctuations momentanées que l'on nomme «réponses phasiques» et les modifications lentes et stables du niveau initial que l'on qualifie de «réponses toniques».

Une seconde distinction concerne le caractère exogène ou endogène du signal électrique qui permet la mise en évidence de la réponse. Les signaux dits «exosomatiques» correspondent à des modifications apportées par la peau à un courant électrique que le psychophysioleogiste impose sur la peau du sujet. La peau joue alors le rôle de conducteur électrique et on peut en mesurer la résistance (aptitude à empêcher le passage du courant) ou la conductance (aptitude à conduire le courant électrique), et corrélativement leur variation. On distingue ainsi :

- la résistivité : *skin resistance response* (SRR);
- le niveau de résistivité : *skin resistance level* (SRL);
- la conductance : *skin conductance response* (SCR);
- le niveau de conductance : *skin conductance level* (SCL).

Les signaux dits « endosomatiques » sont, à l'opposé, directement produits par la peau (effet Tarchanoff). On distingue de la même manière :

- le potentiel électrodermal : *skin potential response* (SPR);
- le niveau de potentiel électrodermal : *skin potential level* (SPL).

Enfin, une troisième distinction (Dawson *et al.*, 1990) doit être opérée entre, d'une part les modifications spontanées qui apparaissent en l'absence de stimulus déterminé, que l'on qualifie alors de réponses non spécifiques (NS-SCR par exemple), et d'autre part les phénomènes phasiques, liés à la survenue d'un événement expérimental spécifique, que l'on qualifie alors de « liés aux événements » (*event related responses*, ER-SCR par exemple).

■ *La conductance*

La conductance évolue inversement à la résistance et ses modifications vont dans le même sens que le niveau d'activation (voir plus loin ce concept) que le psychophysioleste souhaite mesurer. Pour cette raison, alors que la résistance a été utilisée dans la majorité des travaux initiaux en psychogalvanométrie, les auteurs actuels ont abandonné cette mesure pour lui préférer celle de la conductance qui correspond à la mesure conventionnelle des phénomènes exosomatiques (Vanables et Christie, 1973).

L'unité de conductance est le « mho » (mot « ohm » épilé à l'envers). Les auteurs utilisent parfois le terme de « micro-Siemens » (μS) pour désigner le micromho (μmho). Une réponse (SCR) de 1 micro-Siemens ($1\ \mu\text{S}$) correspond ainsi à un réponse (SRR) de 1 000 000 ohms ($1\ \text{M}\Omega$) et un niveau (SCL) de 10 micro-Siemens ($10\ \mu\text{S}$) à un niveau (SRL) de 100 000 ohms ($100\ \text{k}\Omega$). L'amplitude de la conductance varie en fonction de la taille et de la procédure de pose des électrodes. Les électrodes sont situées sur la deuxième phalange de deux doigts adjacents : l'index et le majeur par exemple (Venbales et Christie, 1973, 1980).

■ *Intérêt psychologique*

La réponse électrodermale est considérée comme un indice pertinent caractéristique de l'émotion induite par une situation. La part relative de mobilisation de réponse de type rapide et de type lent permet de définir l'implication différentielle des deux systèmes et éventuellement de déterminer une prédisposition à mobiliser l'un plus que l'autre selon la « personnalité végétative » du sujet : respectivement sympathicotonique ou vagotonique (*cf. infra* le concept de processus opposants).

Au-delà du caractère stable de la répartition des réponses chez un sujet, une autre application de la psychogalvanométrie consiste à déterminer son

niveau transitoire de réactivité. On sait que l'activité électrodermale est sous la dépendance, d'une part de la formation réticulée du tronc cérébral, dont on connaît l'implication dans le domaine de la vigilance et de l'attention, d'autre part du cortex moteur, et enfin de l'hypothalamus et du système limbique dont on connaît l'implication dans l'émotion. La réponse électrodermale constitue donc un indice des activations du système réticulocortical et des systèmes de sortie dynamique, tant endocrinienne que motrice. C'est par excellence un indice de mesure de la capacité de réponse et de mobilisation de l'organisme. Cette activité est également associée au niveau de vigilance et renseigne le psychophysiologiste sur le niveau d'excitabilité du système nerveux.

3.2.3 *L'EEG et les potentiels spontanés cérébraux*

Les différences de potentiels créés par les neurones cérébraux peuvent être captées sous une forme intégrée à partir d'électrodes appropriées disposées à la surface du cuir chevelu. Ces variations électriques sont alors amplifiées, traitées de manière électronique afin de les débarrasser de leur contenu parasite, puis visualisées par des moyens infographiques ou paramétrées selon des algorithmes définis qui permettent d'évaluer différentes caractéristiques des signaux recueillis. On obtient alors un tracé qui revêt une forme d'onde dont la fréquence oscille de 1 et 100 cycles par seconde pour une amplitude qui varie de 5 à 200 microvolts. Ces potentiels sont recueillis selon des dérivations électriques particulières correspondant à des montages d'électrodes disposées sur le scalp selon certaines règles conventionnelles.

Le recueil de l'EEG s'effectue selon une dérivation qui correspond à une paire d'électrodes disposée selon un montage monopolaire ou bipolaire. Le montage monopolaire référentiel consiste à placer une électrode active sur le cuir chevelu dans un contact choisi avec une zone cérébrale dont on souhaite analyser l'activité (l'occipital pour le visuel, le temporal pour l'auditif, le frontal pour le moteur, le pariétal pour le somesthésique, etc.), et une électrode dite de référence sur une zone réputée inactive au sens de l'activité EEG, c'est-à-dire éloignée de l'encéphale tout en restant à proximité raisonnable du scalp (le lobe des oreilles, le bout du nez, ou la base du cou par exemple).

Un montage bipolaire consiste à enregistrer les différences de l'EEG entre deux électrodes actives, permettant ainsi d'évaluer l'activité comparée de points symétriques sur deux hémisphères (montage transversal), sur deux lobes d'un même hémisphère selon une ligne paramédiane (montage longitudinal), ou selon d'autres dérivations à courte ou à longue distance (Dondey, 1970). Une variation de ce montage

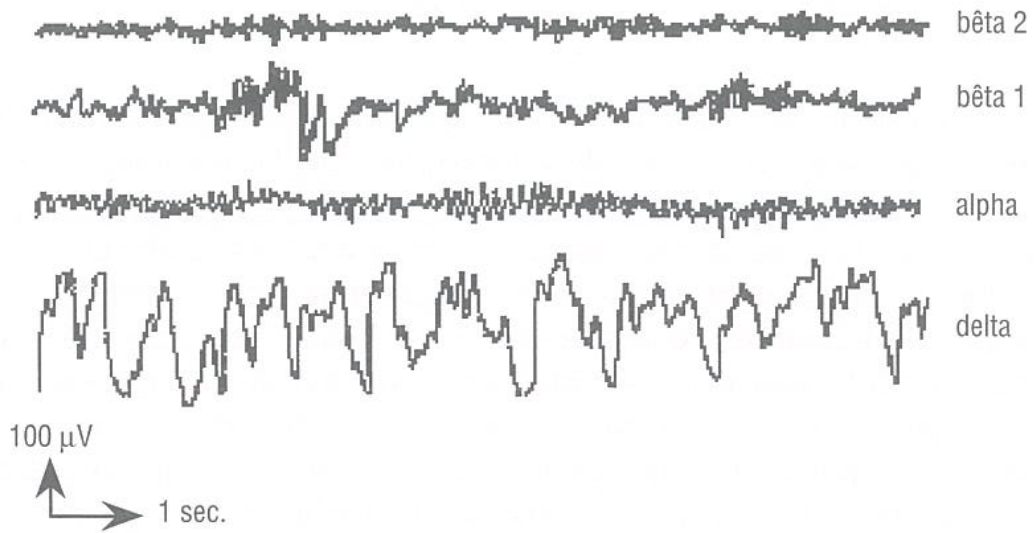
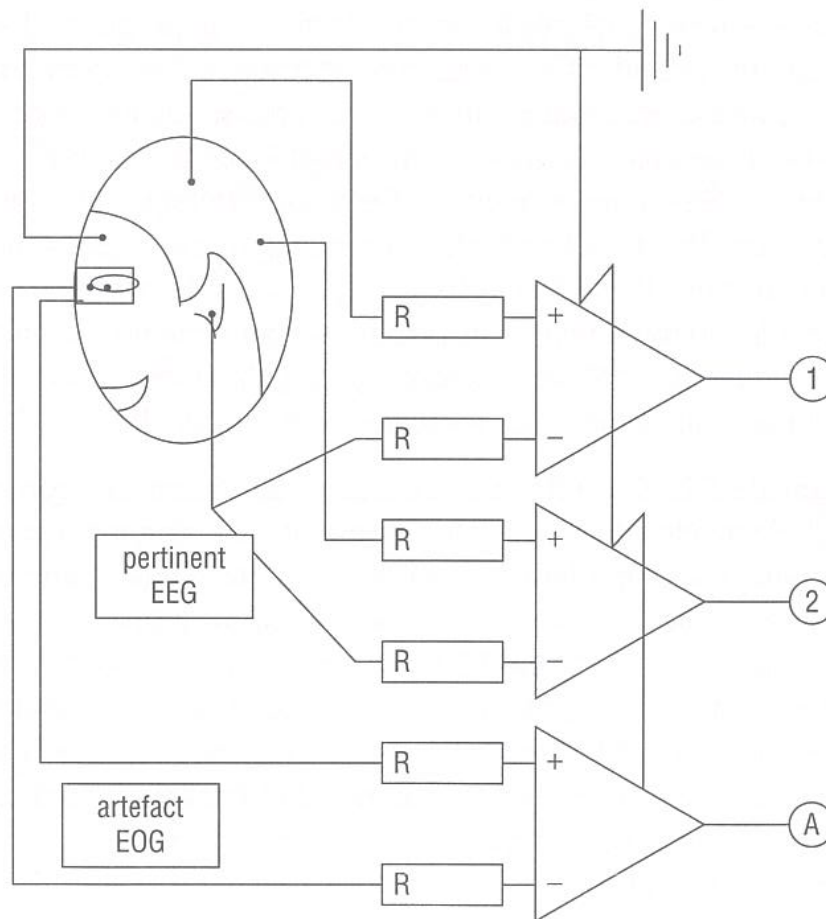


Figure 1.13
Principaux rythmes électroencéphalographiques recueillis en surface du scalp
 (Source : J. Paty, CHU Bordeaux)



Enregistrement EEG à plusieurs canaux - 1 et 2 chaînes EEG - A chaîne d'enregistrement des artéfacts EOG. On notera que chaque chaîne d'amplification est référée, comme le sujet, à la même terre électrophysiologique.

Figure 1.14
EEG à plusieurs canaux

consiste, lorsqu'on dispose de nombreux points d'enregistrement simultanés sur le scalp, à utiliser comme référence la moyenne des potentiels enregistrés sur l'ensemble des dérivations. Cette méthode, bien que performante et préférable à la précédente, reste d'une utilisation difficile et nécessite une interprétation prudente des données qui en sont issues (Bertrand *et al.*, 1985). En effet, l'utilisation de dérivations référencées à la moyenne des électrodes nécessite, non seulement de disposer les électrodes focales en nombre très important et largement dispersées sur l'ensemble du scalp, mais également de postuler une répartition uniforme des générateurs de l'activité électroencéphalographique contribuant au moyennage référentiel.

■ *Montages EEG et cartographie cérébrale*

On peut multiplier le nombre de dérivations d'enregistrement et positionner les électrodes pour établir des cartes isopotentielles et effectuer ainsi une véritable cartographie cérébrale. Les électrodes peuvent être disposées et multipliées à l'envi, cependant il est pratique d'utiliser des sites standardisés selon des topographies conventionnelles dont la plus usitée est celle de Jasper (1958). Cette topographie, plus connue sous le nom de « système 10-20 » selon la nomenclature EEG internationale de la Société américaine d'électroencéphalographie (American EEG Society, 1991), repose sur un principe de quadrillage du scalp selon des méridiens antéropostérieurs et latéraux divisés en arcs représentant 10 % de l'ensemble de chaque méridien. Le croisement des deux méridiens principaux orthogonaux « nasion-inion » et « oreille-oreille » s'effectue sur le « vertex » qui représente le centre de l'enveloppe crânienne. Les lignes de croisement principales sur l'axe médian permettent de définir de manière antéropostérieure les positions médianes (conventionnellement indexées par la lettre z) préfrontale (Fpz à 10 % de nasion), frontale (Fz à 20 % du préfrontal et du vertex), vertex (Cz au centre), pariétale (Pz à 20 % du vertex et de l'occipital), occipitale (Oz à 20 % du parétal et 10 % de l'inion). Chacune de ces positions permet de définir un méridien issu des deux oreilles qui peut alors être divisé en arc de 10 % permettant de définir des positions conventionnellement indexées par des chiffres pairs sur l'hémisphère droit, impairs sur le gauche et croissant en s'éloignant de la ligne médiane. Les zones temporales (Tx) sont définies à partir d'une ligne parallèle interceptant le préfrontal et l'occipital.

Lorsque les électrodes sont correctement placées et que les contacts sont satisfaisants, le rapport signal-pertinent/artefact est minimisé. Il reste cependant un ensemble d'activités indésirables que captent les électrodes et qu'il convient d'éliminer. Ces bruits peuvent être exogènes ou endogènes,

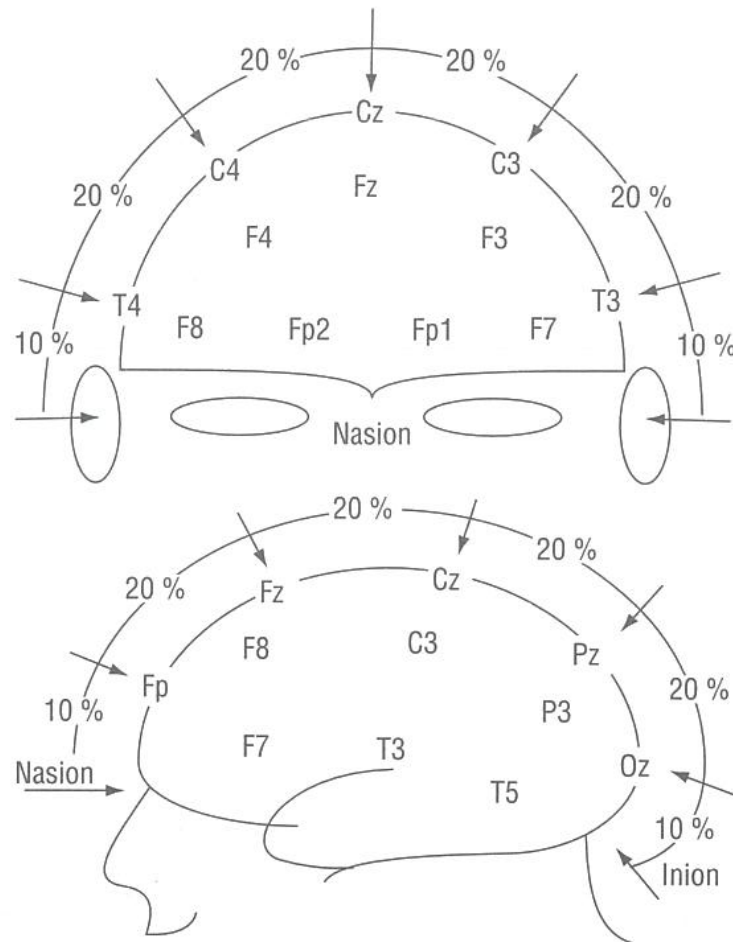


Figure 1.15

Positions des électrodes pour le recueil de l'activité électroencéphalographique selon la nomenclature EEG internationale (Jasper) ou système international 10/20 %

Montage des électrodes EEG

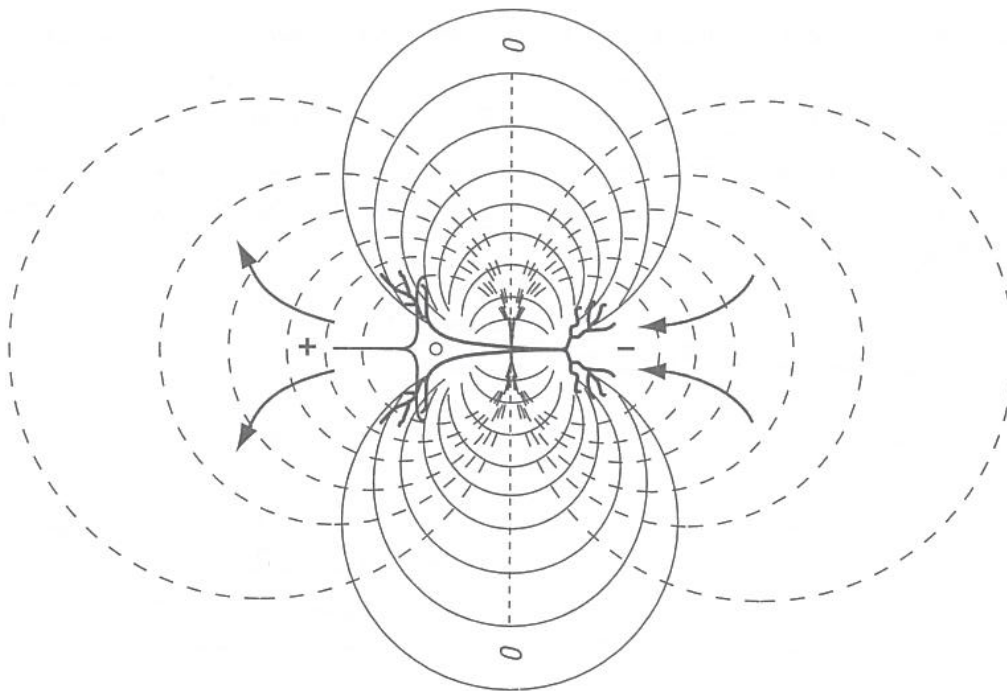
et nous avons déjà donné une classification de ces phénomènes parasites. En électroencéphalographie, les artefacts exogènes les plus fréquents correspondent à des signaux électromagnétiques d'ambiance captés par les électrodes qui se comportent en antennes. On les élimine de manière électronique lors de l'amplification par des filtres spécifiques type *notch filters* (50 Hz, radio, etc.). La solution idéale consiste à isoler le sujet et la chaîne d'amplification dans une cage de Faraday mise à la terre. Les artefacts endogènes correspondent à des phénomènes bioélectriques naturels tels que l'électrocardiogramme, l'activité électro-oculographique ou électromyographique. Ils sont, soit éliminés par des moyens de filtrage électronique, soit par calcul soustractif après leur recueil et leur amplification indépendante. Il convient donc de les enregistrer de manière spécifique afin de

pouvoir effectuer cette soustraction, ce qui impose l'usage de chaînes d'amplification à plusieurs canaux.

Le lecteur trouvera un approfondissement de ces méthodes EEG dans Regan (1989) et Nuñez (1981), notamment pour leurs aspects mathématiques et électroniques.

■ *Origine de l'EEG et signification physiologique*

Les modèles les plus classiques considèrent que l'activité électroencéphalographique recueillie à la surface est en relation directe avec l'activité synaptique des cellules corticales (Kandel et Schwartz, 1985). La libération de neuromodulateurs au niveau des cellules pyramidales provoque des inversions de polarité sous forme de dépolarisation excitatrice ou d'hyperpolarisation inhibitrice au niveau de boutons synaptiques. Ces inversions créent une différence de potentiel entre le dendrite apical et la base du corps cellulaire, un dipôle électrobiologique, provoquant alors un flux de courant extracellulaire.



Représentation du champ électrique associé à un dipôle. La polarisation ou la dépolarisation synchrone d'un groupe de neurones corticaux engendre un dipôle. Les champs d'isopotentiels (traits pointillés) où d'isocourants (traits pleins) indiquent qu'un courant se dirige des points à potentiel élevé vers les points à potentiels plus faibles.

Figure 1.16
Dipôle EEG

Le sens de ce dipôle électrophysiologique détermine la polarité du potentiel recueilli en surface. Ainsi, un potentiel négatif en surface peut être généré aussi bien par l'activité de synapses excitatrices au niveau apical que par celle de synapses inhibitrices au niveau somatique. À l'inverse, un potentiel positif peut être généré par une activité inhibitrice afférente au dendrite apical comme par une excitation au niveau du corps cellulaire.

Les rythmes électroencéphalographiques (fig. 1.17) dépendent de conditions internes au sujet (ouverture ou fermeture des yeux, rythmes de sommeil en fonction de la profondeur d'endormissement) ou de stimulations externes comme le montre les rythmes d'entraînement synchronisés sur la stimulation visuelle intermittente.

■ *Intérêt psychologique*

L'électroencéphalogramme spontané est peu utilisé en psychologie. C'est principalement à partir de techniques dérivées telles que les potentiels évoqués ou les potentiels lents endogènes qu'il prend toute sa signification dans l'étude des variables cognitives. On peut néanmoins signaler les études portant sur l'activation EEG et le temps de réaction (Lansing *et al.*, 1959), certaines activités de décision (Surwillo, 1971) et même les aptitudes intellectuelles (Giannitrapani, 1969; Giannitrapani et Murri, 1988). C'est néanmoins dans les domaines de l'attention, de la vigilance et du sommeil que l'EEG trouve son plus grand intérêt psychologique (Gale, 1977; Paty, 1985, etc.).

3.2.4 *Les potentiels évoqués*

Au sein de l'activité électroencéphalographique peuvent survenir des modifications du signal dues à des stimulations ou à des processus endogènes remarquables. Ces phénomènes, qualifiés en théorie du signal de causaux, sont appelé « potentiels évoqués ». Les signaux causaux sont ceux qui sont nuls avant un instant donné, puis deviennent significatifs; les distributions causales sont les distributions à support borné à gauche. Il en est de même des potentiels évoqués, qui naissent dans le bruit de l'électroencéphalogramme, et que l'on fait émerger par synchronisation des traces sur l'arrivée du stimulus considéré comme borne des vecteurs électro-physiologiques, par la technique du moyennage.

Ces potentiels présentent une succession d'accidents, appelée ondes ou composantes, qui correspondent à l'activité de noyaux afférents aux aires corticales. Ils sont spécifiques à chaque modalité sensorielle et restent des indicateurs particulièrement performants du fonctionnement du chaînage

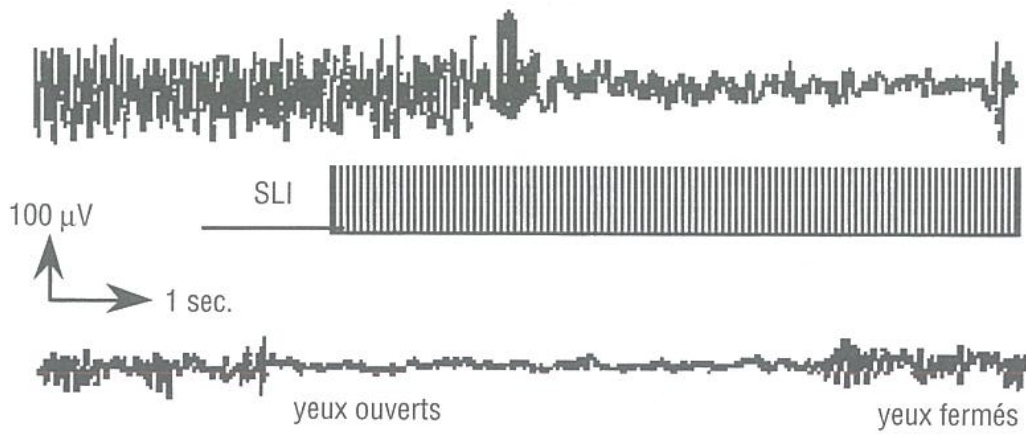


Figure 1.17

Rythmes d'entraînement induits par une stimulation visuelle intermittente à 10 Hz (en haut) et réaction d'arrêt du rythme alpha en rythme bêta à l'ouverture des yeux

Réaction d'arrêt EEG

(Source : J. Paty, CHU de Bordeaux)

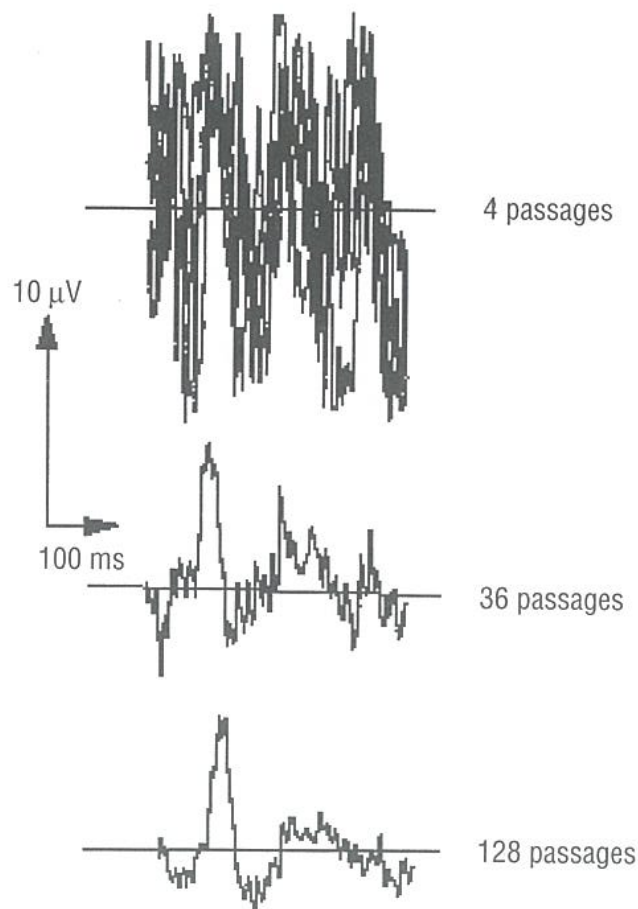


Figure 1.18

Extraction des potentiels évoqués par techniques de moyennage (d'après Regan, 1989)

neuronique qui conduit l'information des récepteurs sensoriels aux aires primaires et secondaires du cortex. Certains sont également significatifs d'activités plus tardives et ont un statut particulier en psychophysologie, comme nous le verrons plus loin.

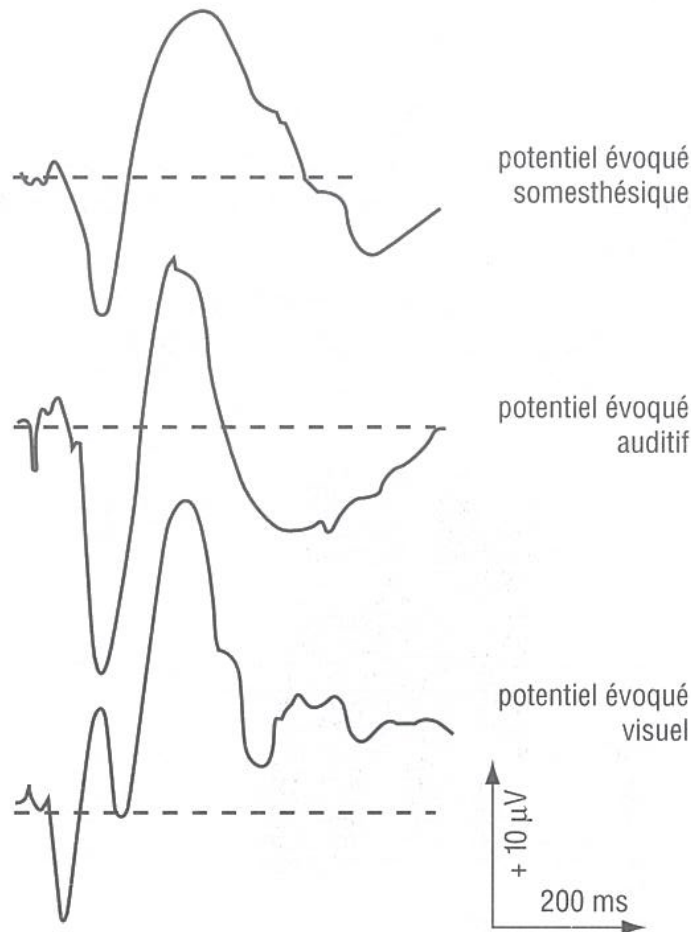


Figure 1.19

Potentiels évoqués sensoriels

■ Méthodes de mesure des potentiels évoqués

La mesure des composantes des potentiels évoqués s'effectue, pour l'amplitude, à partir de la détermination d'une ligne de base correspondant à l'activité spontanée EEG moyenne préalable à la survenue du signal, et pour les latences, à partir de ce signal. Chaque composante est ainsi paramétrée par un vecteur temps/amplitude et, par commodité, chaque composante est désignée par la lettre significative de son amplitude (N pour négatif; P pour positif) indexée de la latence en millisecondes (P100 pour

l'onde positive apparaissant aux environs de 100 ms après la stimulation, etc.). Certains auteurs anglo-saxons privilégient une indexation des composantes en dixième de seconde (P1 pour la P100, N2 pour la N200, etc.). On a néanmoins souvent recours à des variables intermédiaires qui mettent en relation deux composantes dans un « complexe » électrophysiologique, tel que la N1-P1 ou la N2-P2, etc.

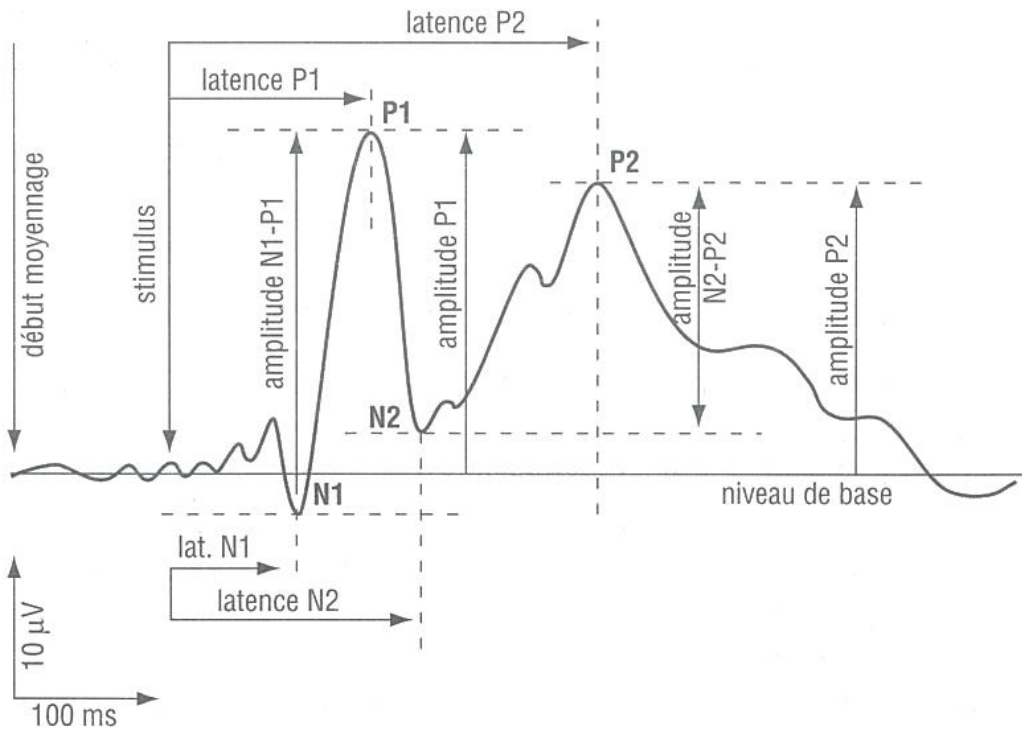


Figure 1.20
Potentiels cognitifs

■ *Un cas particulier, les potentiels lents endogènes*

Un domaine d'intérêt particulier en psychophysio­logie réside dans l'étude des fonctions intégrées coopératives corticales de l'homme. Or, une catégorie particulière de potentiels est moyennée à partir d'indices environnementaux externes dans des tâches cognitives non triviales. Ils sont appelés potentiels endogènes, ou potentiels liés aux événements (*event-related potentials*). Ces potentiels correspondent à des activités émises par un sujet confronté à des tâches cognitives. On les obtient dans des protocoles de décision perceptive, de sollicitation attentionnelle, de gestion d'informations mémorielles; ils permettent d'établir les bases d'une psychophysio­logie cognitive (Donchin *et al.*, 1983) d'étude des processus endogènes.

Ces potentiels lents se présentent comme une suite de composantes dont l'amplitude et la latence varient dans des fenêtres définies en fonction de la façon dont le sujet gère sa cognition. Ils surviennent à l'issue du traitement sensoriel afférent et caractérisent les étapes de la cognition (Kutas *et al.*, 1977; Renault *et al.*, 1982). On rencontre en premier lieu des composantes semi-précoces (N100 et P200) influencées de manière mixte par les caractéristiques externes des signaux et par les processus endogènes, puis les composantes tardives (N200, P300, *slow-wave...*) qui sont indépendantes des caractéristiques externes de la situation (Donchin *et al.*, 1983, *op. cit.*). D'autres composantes, plus lentes encore, sont produites dans des protocoles particuliers de préparation motrice (*bereitschaftspotential* ou potentiel de préparation motrice, onde variation contingente négative ou onde d'expectative).

Ces potentiels sont analysés en amplitude et en latence avec des méthodes similaires à celles utilisées pour les potentiels évoqués sensoriels.

Le *bereitschaftspotential* (fig. 1.21) est un potentiel endogène particulier et il nécessite le recours à une méthode électrophysiologique originale. Il accompagne la préparation d'actions motrices intentionnelles, et précède les indices qui peuvent permettre la synchronisation du moyennage. La technique d'enregistrement, développée par l'équipe de Ulm, repose sur le principe de synchronisation inverse de l'analyse des potentiels moyens à partir de la survenue d'une action motrice (Kornhuber et Deecke, 1965). Le *Bereitschaftspotential* correspond alors à une lente déflexion négative de 10 à 15 microvolts d'amplitude qui débute entre 500 millisecondes et une seconde avant l'action motrice. Ce potentiel de préparation motrice est utilisé dans les études portant sur la planification (Kristeva, 1984) et la programmation de la complexité de la tâche (Deecke *et al.*, 1984).

■ *Origine des ERP et signification physiologique (l'exemple de la P300)*

Les potentiels cognitifs sont des phénomènes composites, habituellement de grande amplitude, qui semblent dépendre de multiples générateurs corticaux, et dont la médiation neurochimique est encore discutée. Au plan de l'origine neurophysiologique, ces potentiels reflètent essentiellement l'activité des arbres dendritiques des neurones pyramidaux du cortex. Bien que l'on puisse admettre que les générateurs déclenchant cette activité pyramidale puissent être situés dans des structures sous-corticales, ce ne sont pas celles-ci qui semblent directement impliqués dans le phénomène bioélectrique enregistré au niveau du scalp. L'amplitude de ces potentiels cognitifs est en relation avec la synchronisation temporelle des activités neuronales distribuées dans des

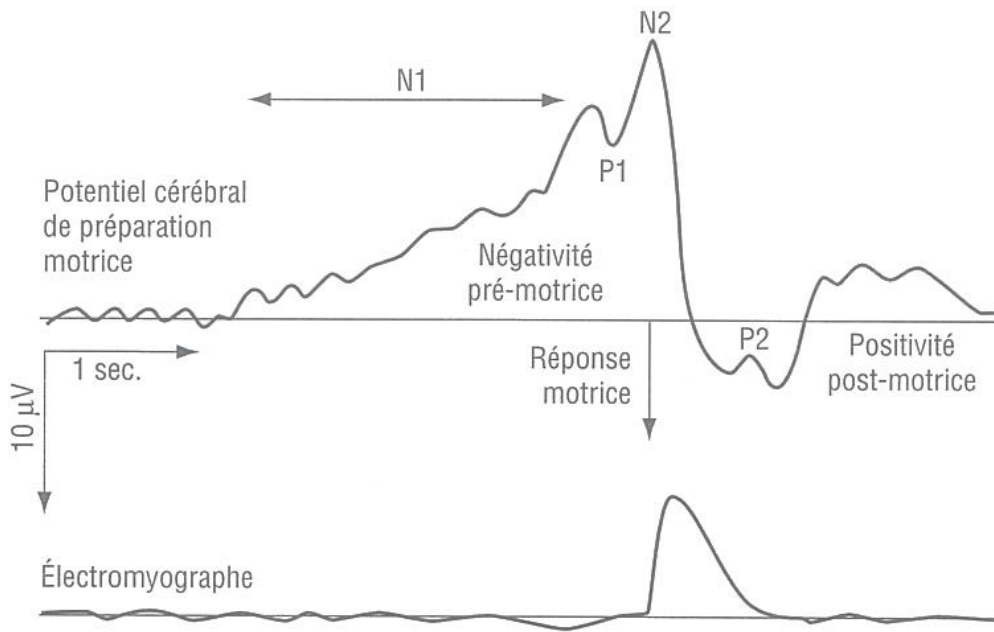


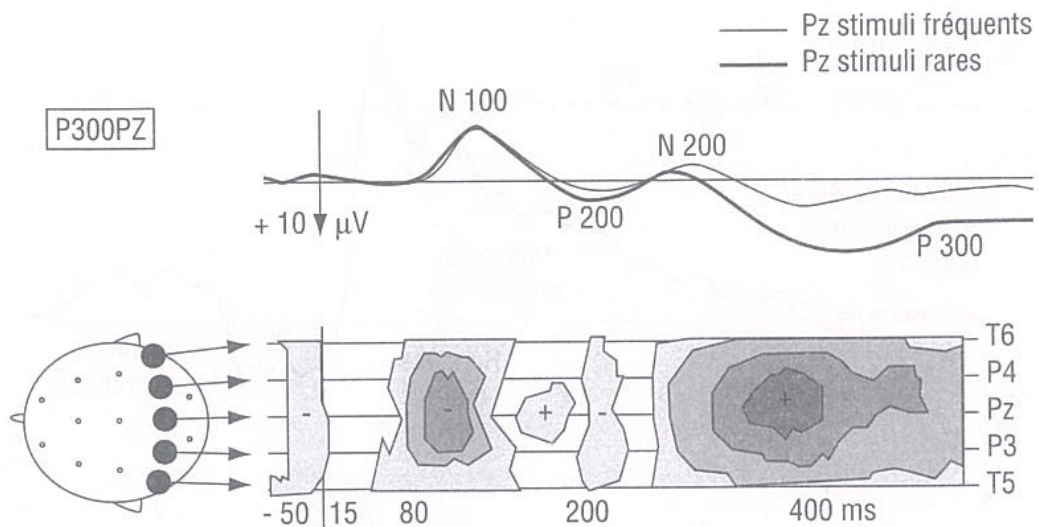
Figure 1.21

Bereitschaftspotential ou potentiel de préparation motrice obtenu par moyennage de l'inverse de la trace EEG précédant une action motrice

régions cérébrales topographiquement distinctes. Cette amplitude exprime donc une certaine forme de connectivité entre différentes structures corticales.

L'onde P300 (fig. 1.22) est la plus étudiée de tous ces phénomènes. La P3 est un potentiel endogène qui culmine en regard des zones pariétales entre 300 et 500 millisecondes après un stimulus pour lequel une décision de détection a été prise par le sujet (Sutton *et al.*, 1965). On l'obtient facilement dans des protocoles *oddball*, c'est-à-dire dans des tâches de détection de changement *go/no-go* dans lesquelles le sujet doit détecter un stimulus. L'onde est dépendante de la tâche et n'est pas modifiée par les caractéristiques extérieures des signaux (Simson *et al.*, 1977).

Cette onde positive exprime, de part sa polarité, des phénomènes d'hyperpolarisation qui correspondent fonctionnellement à un processus d'inhibition partielle et transitoire des systèmes d'activation. Elle est concomitante d'un processus de déconnexion qui limite les associations des réseaux corticaux, et qui rend ainsi possible la séquentialisation de l'activité cognitive (Desmedt, 1980). On a pu montrer chez l'animal, puis plus récemment chez l'homme, qu'elle dépend de multiples générateurs corticaux (Goff *et al.*, 1978; Halgren *et al.*, 1980, 1986, 1992) et qu'elle est associée à des bouffées de rythme alpha EEG de grande amplitude caractéristique d'une activité inhibitrice, et à une diminution de l'excitabilité



Nappes spatio-temporelles d'une P300 obtenue en pariéto-temporal. Supermoyennage chez 16 sujets. Protocole de type *odd-ball* auditif : stimulation fréquente 925 Hz ; stimulation rare 975 Hz. La représentation par cartes permet la localisation des ondes caractéristiques et d'apprécier les différences topographiques.

Figure 1.22

P300 odd-ball auditif

cérébrale (Vergleter, 1988 ; Elbert *et al.*, 1993). La N200 est une onde positive qui précède la P300. Elle correspond, au contraire, à un processus d'activation spécifique de certaines aires corticales. Elle traduit la mise en œuvre d'un processus limité tant topographiquement que temporellement, en relation avec la mise en jeu d'une activation focalisée visant à faciliter l'attention sélective (Ritter *et al.*, 1984). Les possibilités cognitives des sujets seraient directement dépendantes de cette capacité à activer et désactiver les communications en réseaux des processus corticaux (Timsit-Berthier et Gerono, 1998).

Au plan neurochimique, le système noradrénergique influence pour sa part l'amplitude du complexe bioélectrique N2-P3, et ceci de manière plus marquée pour le mode de décision auditif que pour le visuel (Pineda, 1995). De même, l'action synergique des systèmes cholinergique et sérotoninergique joue sur la latence (Meador, 1995). Le système GABAergique a un rôle de contrôle inhibiteur global à la fois sur l'amplitude et sur la latence de la P300, alors que le Glutamate module l'amplitude de la N200 (Javitt *et al.*, 1995). On peut donc interpréter des valeurs normales des amplitudes de la N200 et de la P300 comme indicateurs de la mobilisation correcte des processus de structuration temporelle

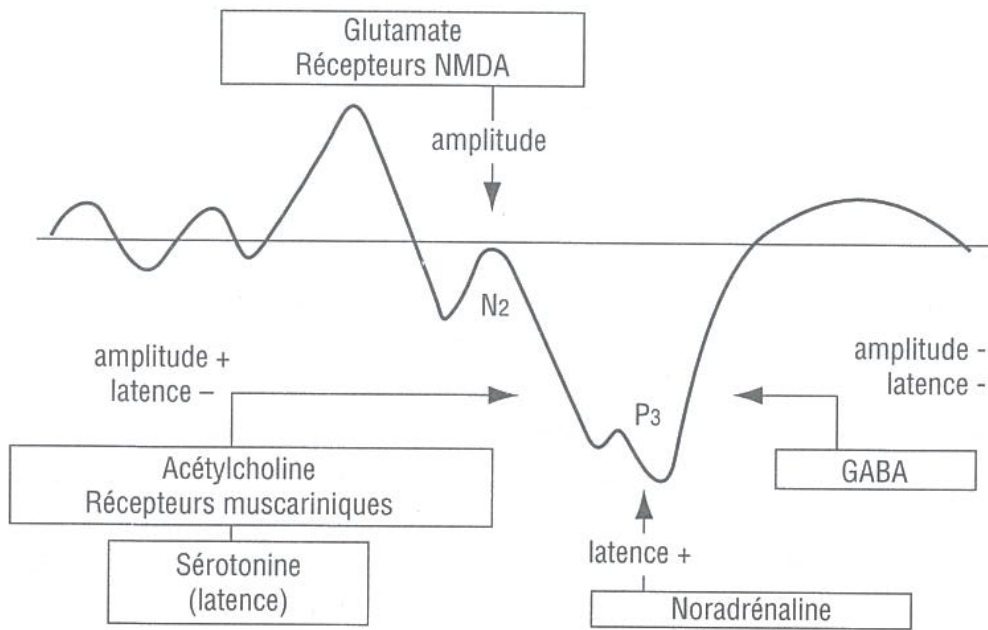


Figure 1.23

Modulation biochimique des composantes du complexe N200-P300
(d'après Thimsit-Berthier et Gerono, 1998)

des réseaux neuronaux par l'intermédiaire de ces neurotransmetteurs et neuromodulateurs.

À l'opposé, une diminution d'amplitude et l'augmentation de la latence de la P300 correspondent à une hypoactivité cholinergique, comme dans les démences corticales, alors qu'une augmentation de l'amplitude traduit une hyperactivité noradrénergique et/ou cholinergique pouvant faire évoquer l'existence d'un état de stress. De la même manière, les potentiels sont particulièrement perturbés lors de traitement pharmacologiques ou d'absorption de psychoactifs alors que les performances comportementales restent préservées.

■ Intérêt psychologique

La P300 est un concomitant psychophysiological des opérations mentales qu'impose une tâche de détection de non-concordance (Hillyard, 1971). Elle est indicative des processus cognitifs particuliers gérés par les ensembles neuronaux du cortex, en regard des zones où son amplitude est maximale.

Deux composantes peuvent être identifiées dans le phénomène P300 (Squires et Hillyard, 1975). La P3a culmine en zone fronto-centrale entre 275 et 300 ms lorsque le sujet reçoit passivement les stimulations. La P3b

apparaît en zone pariéto-centrale de manière beaucoup plus tardive lorsque le sujet participe activement à l'expérience (Simson *et al.*, 1977). Ces ondes peuvent être interprétées en référence à des théories cognitives du traitement de l'information.

Ces ondes peuvent en premier lieu être interprétées en termes de processus automatiques et contrôlés (Schneider et Shiffrin, 1977), pour qui l'appareil cognitif, et notamment la mémoire, correspond à un ensemble de nœuds susceptibles de s'associer grâce au conditionnement et à l'apprentissage. Si la majorité des nœuds est inactive et constitue la mémoire à long terme, l'activation d'une partie spécifique de ce réseau pour un tâche déterminée correspond à la mémoire à court terme. Les processus cognitifs qui, stabilisés par apprentissage, échappent au contrôle volontaire en associant des nœuds sans intention ni dépense attentionnelle sont dits automatiques. Ils sont mobilisés sans limitation de capacités ni effort. Les processus non stabilisés et initiés de façon intentionnelle activent la mémoire de travail, avec effort, sont limités par la capacité attentionnelle du sujet, et sont considérés comme contrôlés.

La P3a est directement dépendante du caractère de nouveauté de la stimulation. Elle est d'autant plus ample et d'autant plus rapide que la probabilité d'apparition du signal non concordant est faible et que la quantité d'information contenue par la stimulation est importante. Elle traduit l'existence d'un processus de traitement automatique en relation avec une focalisation involontaire de l'attention vers la stimulation rare non concordante. La P3b apparaît chaque fois que l'arrivée de la stimulation non concordante oblige le sujet à prendre une décision. Elle correspond à la mise en œuvre des processus de traitement contrôlé dans la tâche de détection.

Selon ce modèle, on peut expérimentalement tester les processus automatiques et les processus contrôlés en enregistrant la P3a sans la participation active du sujet, par exemple dans une condition d'écoute passive, et la P3b dans des tâches de décision volontaire où la composante positive observée correspond à la résultante de processus à la fois automatiques et contrôlés. L'onde concomitante au traitement contrôlé peut être alors obtenue par simple soustraction des moyennes des ondes enregistrées.

L'amplitude de la P300 a été également associée aux capacités d'orientation perceptivo-cognitives. Lorsque le sujet élabore un modèle du monde qui lui est propre en fonction de son passé, de ses convictions et de ses attentes (représentations) et qu'il est confronté à une situation qui n'y correspond pas (*mismatch*), il est contraint à procéder à une remise à

niveau de son appareil perceptivo-cognitif (*context updating*). La P300 correspondrait à un tel processus de remise à zéro (Donchin, 1988). L'amplitude des composantes P3a et P3b de la P300 varie en fonction du vécu subjectif de la situation expérimentale par le sujet. Ainsi, l'évaluation de la probabilité subjective des stimuli et la complexité ressentie de la tâche seraient représentées par ces amplitudes, qui permettent d'apprécier l'intensité des processus cognitifs mis en jeu.

Dans un protocole *go/no-go* standard, en gardant le même type de stimulus survenant avec une probabilité déterminée avec la même complexité de la tâche, l'amplitude de la P300 reflète les capacités d'orientation et d'attention du sujet et son vécu vis-à-vis de la situation (Johnson, 1986). Ainsi, une P300 de faible amplitude est en relation avec un défaut d'attention automatique dû à une faible motivation chez le sujet sain ou à un déficit cognitif en pathologie, ou au contraire avec une incertitude du sujet par rapport à ses propres performances. Une P300 de grande amplitude accompagne une réaction d'orientation et une attention importante, ceci en raison de la difficulté subjective ressentie pour exécuter la tâche, et dans ce cas la latence est modifiée, ou en relation avec des

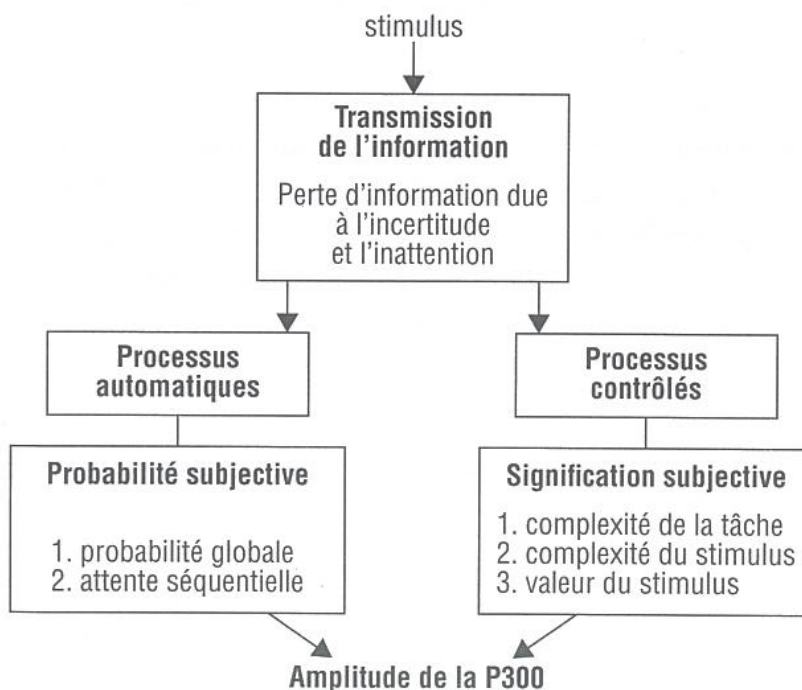


Figure 1.24

*Méthode d'interprétation psychologique des amplitudes de la P300
selon le modèle de Johnson (1986)
(d'après Timsit-Berthier et Geron, 1998)*

facteurs affectifs qui traduisent des difficultés à s'adapter au changement ainsi qu'une vulnérabilité psychopathologique, dans quel cas la latence n'est pas affectée (Timsit et Gerono, 1998).

Les variations de la latence du complexe N200-P300 peuvent être interprétées comme significatives des étapes du traitement de l'information (Kutas *et al.*, 1977, Renault *et al.*, 1982; Ritter *et al.*, 1983). Si, comme le postule la théorie chronométrique de Sternberg (1969), les traitements perceptif et moteur dans une tâche de temps de réaction psychomoteur se font indépendamment selon des durées différentes, alors la mesure des latences de la N200 et de la P300 permet d'obtenir des indices intermédiaires entre stimulus et temps de réaction. La N200 permet d'évaluer la durée des processus d'analyse perceptuelle, la P300 ceux de prise de décision, le temps de réaction ceux de décision et de contrôle moteur.

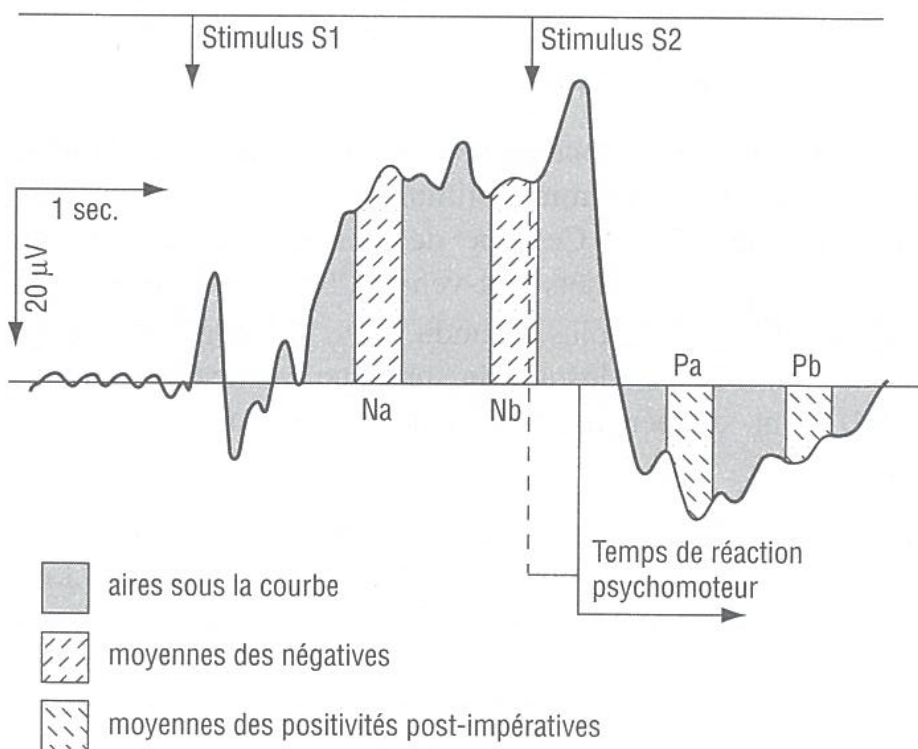
3.2.5 *Les variations du potentiel continu cérébral et l'onde variation contingente négative (VCN)*

Découverte par hasard au cours d'une manœuvre électrophysiotechnique (Walter *et al.*, 1964), la VCN est considérée à la fois comme une modification du potentiel continu cérébral et comme une onde composite (Grey Walter, 1967). On l'obtient dans un protocole de stimulation simple associant deux stimuli séparés de une à deux secondes dont l'un (stimulus d'alarme) est annonciateur du second (stimulus impératif) auquel le sujet doit répondre le plus rapidement possible par une tâche de décision motrice (temps de réaction psychomoteur) ou de choix (*go/no-go*). Cette onde composite (Hillyard, 1973, 1974) est analysée non plus en terme de latence mais uniquement en terme d'amplitude. Plusieurs fenêtres caractéristiques sont traditionnellement utilisées (Timsit-Berthier et Gerono, 1999) selon plusieurs méthodes complémentaires : nous citerons la méthode des aires, celle des amplitudes, et enfin celle des typologies.

La première méthode correspond à une mesure directe de l'amplitude par détermination de l'aire (négative) sous la courbe pré-impérative (S1-S2) et de l'aire (positive) sous la courbe post-impérative jusqu'au temps de réaction psychomoteur (S2-TR). Cette aire est déterminée par intégration en référence à la ligne de base calculée sur la seconde d'EEG précédant la survenue du signal d'alarme (S1). La seconde méthode, plus traditionnelle, correspond à la détermination d'amplitudes caractéristiques du signal VCN. On peut alors déterminer 4 fenêtres d'analyse de 4 composantes distinctes.

- Na ou VCN précoce : la première fenêtre concerne la partie négative pré-impérative établie entre 500 et 700 ms ($S1 + 500$ ms à $S1 + 700$ ms). On en détermine l'amplitude moyenne (N1) par rapport à la ligne de base.
- Nb ou VCN tardive : la seconde fenêtre correspond de même à l'amplitude moyenne circonscrite par la courbe et la ligne de base entre 200 ms avant la survenue du signal impératif et celui-ci ($S2 - 200$ ms à $S2$).
- Pa ou voltage post-impératif : la troisième fenêtre est établie à partir des latences 500 et 700 ms. après la survenue du signal post-impératif ($S2 + 500$ ms à $S2 + 700$ ms).
- Pb ou voltage post-moteur : la dernière fenêtre est déterminée par référence à la réponse psychomotrice (TR). Elle correspond à l'amplitude moyenne circonscrite entre 300 et 500 ms après la réponse motrice ($TR + 300$ ms à $TR + 500$ ms).

Chez les sujets normaux, les deux dernières mesures se superposent plus ou moins. Elles peuvent néanmoins être différentes chez des patients



Calcul des aires sous la courbe à partir de la ligne de base; les amplitudes Na, Nb, Pa et Pb correspondent à la moyenne d'amplitude dans chacun des créneaux désignés.

Figure 1.25
Méthodes de mesure de la VCN

présentant un ralentissement des processus de décision comme dans la pathologie psychiatrique (mélancolie, etc.), lors de la prise de substances psychoactives (intoxication alcoolique, traitement neuroleptique, etc.) ou dans les pathologies dégénératives (Alzheimer, Parkinson, etc.).

Les VCN peuvent également être classées en fonction de leur forme caractéristique, soit de manière globale, soit dans la partie pré-impérative, soit dans la partie post-impérative. De manière générale, il existe une grande variabilité inter- comme intra-individuelle de la VCN selon les protocoles proposés (Gaillard, 1976). On peut décrire trois types de VCN en fonction de leurs amplitudes mesurées au vertex (Cz) :

- Type 1 : VCN de faible amplitude qui correspond à des amplitudes pré-impératives maximales (Na-Nb) inférieures ou égales à 10 μ V.
- Type 2 : VCN normales décrivant des courbes dont l'amplitude est globalement comprise entre 10 et 22 μ V. Ce type de VCN est défini par exclusion des deux autres types (non-1 et non-3).
- Type 3 : VCN d'amplitude élevée dont les maxima sont supérieures à 22 μ V.

Une seconde typologie repose sur les amplitudes comparées des composantes pré-impératives (Tecce, 1982) :

- *Type A* : VCN présentant une augmentation rapide de la négativité pré-impérative qui, dès la première stimulation (S1) atteint un maximum d'amplitude (Na < Nb). Ce type de courbe se rencontre dans une proportion de 10 % des sujets tout-venant (Timsit et Gerono, *op. cit.*).
- *Type B* : c'est le type le plus répandu, avec une négativité progressive (Nb > Na) qui s'installe jusqu'à la survenue de la stimulation impérative (S2) pour donner une positivité d'amplitude le plus souvent significative.

Le type A a été souvent mis en relation avec un sentiment d'incertitude vis-à-vis du moment de survenue de la stimulation impérative. Les sujets qui présentent ce type de courbes sont habituellement peu réactifs aux substances ou traitements psycho-stimulants (*ibid.*). Le type B est rencontré chez des sujets présentant des performances correctes et témoignant d'une relative confiance en eux-mêmes et dans leurs performances. Ces sujets sont habituellement réactifs aux psycho-stimulants. Si le sexe ne semble pas influencer la typologie des courbes, l'augmentation de l'amplitude de la VCN est corrélée avec l'âge et la typologie A peut être, chez la personne âgée, considérée comme une modification progressive d'une VCN de type B que l'on rencontre chez les jeunes. Il est à noter que la positivité post-impérative peut être absente (moins de 15 % des cas), voire inversée (30 %

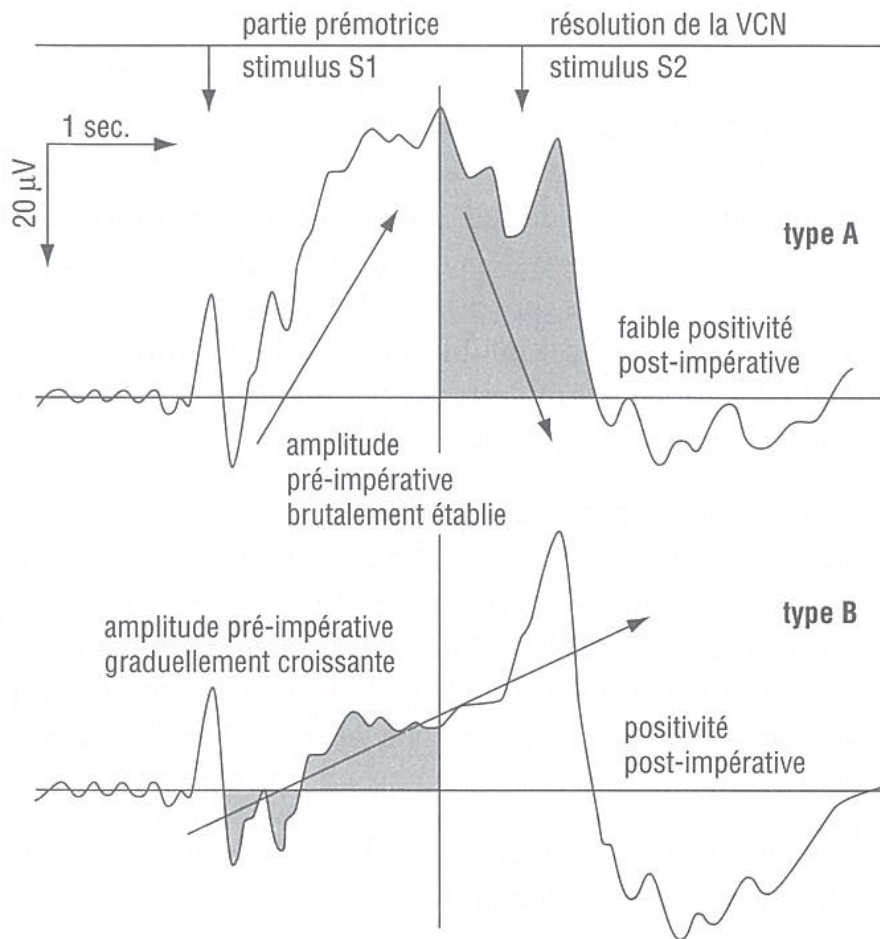


Figure 1.26

Typologie des ondes VCN : type A et type B

des cas). On parle alors de « négativité post-impérative » (PINV) en opposition avec la « positivité post-impérative » (PIPV) rencontrée dans la majorité des cas (> 50 %).

La signification fonctionnelle de la VCN se réfère, elle aussi, à deux cadres théoriques complémentaires : d'une part les aspects physiologiques de la génération et de la modulation de l'onde, d'autre part la signification psychologique de ces modifications d'amplitude ou de forme. Cependant, et contrairement aux potentiels endogènes traités jusqu'ici, cette interprétation postule une certaine forme de correspondance entre activités neurobiologiques globales et l'activité cognitive, et c'est en termes de « conditionnement », de « ressources » attentionnelles ou cognitives et de « capacités d'auto-organisation et d'auto-régulation » du système cérébral (Timsit et Gerondo, *op. cit.*) que la VCN prend sa signification.

■ *Origine de la VCN et signification biologique*

La VCN est un potentiel largement réparti sur le scalp. Elle est réputée dépendre de nombreux générateurs corticaux organisés de manière antéro-postérieure, et de générateurs sous-corticaux tels que le thalamus et la formation réticulée. Au point de vue physiologique, les processus mis en jeu dans la VCN sont ceux dont dépendent l'orientation et la mobilisation de l'attention, ainsi que les processus de décision et de préparation motrice, avec concurrence de l'inhibition et de l'activation. Les données du protocole (TR avec signal d'alerte préalable) mettent en évidence deux temps majeurs de mobilisation de l'activité cérébrale.

Dans la partie pré-impérative, en réponse à S1, le système nerveux mobilise une activation en relation avec la préparation motrice et une inhibition concurrente visant à empêcher l'exécution motrice jusqu'à la stimulation impérative S2. Cette partie correspond à l'onde négative pré-impérative et serait due à un ensemble complexe de processus de polarité inverse que l'on peut mettre en évidence *in vivo* chez l'animal (Rebert, 1972; Skinner et Yinling, 1977) :

- négativités au niveau du cortex cérébral, du thalamus, et surtout de la formation réticulée mésencéphalique;
- positivités au niveau des autres noyaux gris centraux (noyaux caudés, amygdale).

Ces processus pourraient se développer en deux temps. Un processus précoce, dépendant des structures frontales, correspondrait à une onde d'orientation ou *O-wave*, et un processus plus tardif associé aux aires corticales associatives centro-pariétales (Gaillard, 1976).

La partie pré-impérative de la VCN peut ainsi être considérée comme la résultante de deux processus physiologiques opposés qui se traduisent par des phénomènes électriques de polarité inversée (*cf. infra* processus opposants). Le processus d'activation physiologique engendrerait des phénomènes négatifs, et le processus d'inhibition des phénomènes de polarité positive. L'amplitude pré-impérative de la VCN peut donc être interprétée en terme de balance avec prépondérance de l'un ou l'autre des processus (activation/inhibition) qui se surajoute au potentiel de préparation motrice (PPM). Ainsi peut-on admettre que les VCN d'amplitude moyenne correspondent, lors de la préparation motrice, à un équilibre entre processus d'activation et d'inhibition, alors que les VCN de faible ou de forte amplitude seraient significatives, soit de l'exagération de l'un des processus opposés, soit de la non mobilisation de l'autre processus. La mesure comparée des amplitudes Na et Nb

permet de mesurer la mobilisation temporelle de ces deux processus opposés (concept de processus opposants).

La partie post-impérative, en réponse à S2, correspond à une inversion des phénomènes précédents avec suppression brutale de l'inhibition et de l'attention orientée vers l'attente du signal à la fin du PPM. Cette positivité peut revêtir plusieurs formes (PIPV ou PINV), mais, avant tout elle peut se poursuivre longtemps après la réponse motrice. Elle dénote alors la persévération des processus mis en jeu. De manière générale, une PINV exacerbée est significative d'une prépondérance des phénomènes d'activation ou faiblesse des phénomènes d'inhibition, alors qu'une PIPV (habituellement associée à une VCN avec inversion de polarité) correspond à la prépondérance des phénomènes d'inhibition ou à une faiblesse majeure de l'activation.

La partie corticale de l'électro-génèse de la VCN est largement dépendante des potentiels post-synaptiques inhibiteurs et excitateurs de longue durée qui caractérisent les cortex granulaires (frontal, pariétal). Ces potentiels lents, qui apparaissent plusieurs millisecondes après une stimulation et persistent plusieurs secondes après sa disparition, ont pour vocation d'étendre temporellement l'impact des événements extérieurs et d'augmenter le rapport signal/bruit, en facilitant l'excitabilité neuronale corticale.

Trois neuromédiateurs sont impliqués dans la modulation de la VCN (Marzynski, 1978) : l'acétylcholine stimule, sous le contrôle du GABA, les récepteurs muscariniques en provoquant des potentiels post-synaptiques excitateurs de longue durée; la norépinéphrine produit des potentiels lents inhibiteurs; la dopamine potentialise d'un côté l'action de l'acétylcholine en facilitant l'action post-synaptique excitatrice, et d'autre part une action directe sur les potentiels post-synaptiques inhibiteurs. Les interactions de ces régulations se traduisent par une variation de l'amplitude et de la latence de la VCN (Marczynski, *op. cit.*). Ces paramètres traduiraient alors le tonus des neurones cholinergiques et catécholaminergiques du cortex.

Les modifications fonctionnelles de la VCN sont à interpréter à travers cette grille de décodage neuropharmacologique. Ainsi, de grandes amplitudes traduisent une hypersensibilité des récepteurs muscariniques (acétylcholine) et catécholaminergiques et une diminution du tonus sérotoninergique. Par contre, des faibles amplitudes caractériseraient une faible sensibilité de ces récepteurs. L'évolution temporelle de l'amplitude au cours du protocole est également significative de l'activité neurochimique, et la diminution d'amplitude par « habituation » en fonction du temps serait liée au système sérotoninergique.

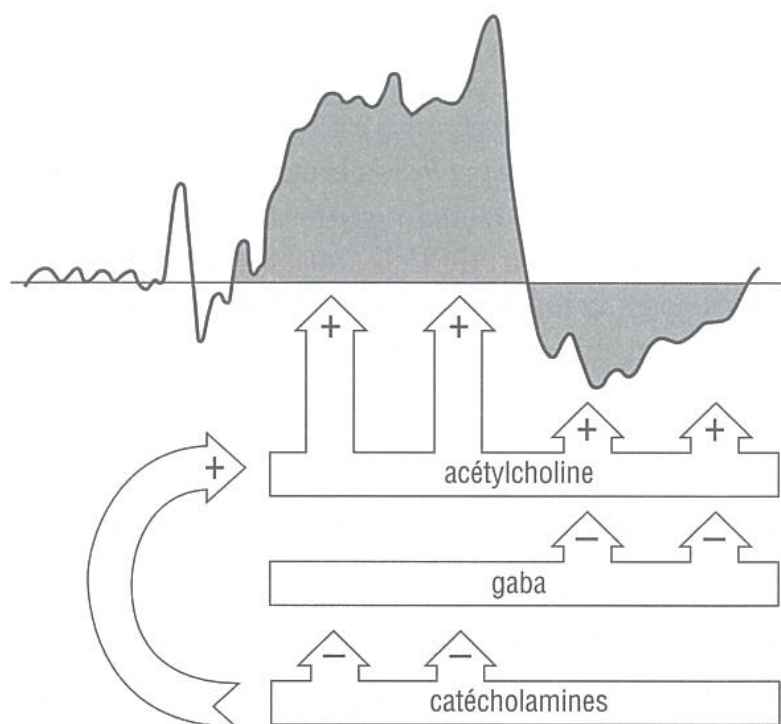


Figure 1.27

Modulation neurochimique des différentes composantes de la VCN
(d'après Marczinsky, 1978 et Timsit-Berthier, 1989)

L'interprétation des modifications de la VCN ou des formes anormales se réfère le plus souvent à la pathologie psychiatrique ou neurologique (Klein *et al.*, Morault *et al.*, 1992, 1997, 1998; Timsit-Berthier, 1989-1990; Zappoli *et al.*, 1991). Ainsi, on peut donner l'exemple de VCN anormalement développées et durables qui expriment une exagération de l'activation et une altération de la liaison temporelle conditionnée entre S1 et S2, ainsi qu'une mobilisation excessive des ressources attentionnelles avec impression de perte de contrôle, dans les états dépressifs. De la même manière, les atteintes neurologiques aiguës modifient significativement la forme de la VCN (Timsit *et al.*, 1987) comme la perturbe également les états dégénératifs (Zappoli *et al.*, *op. cit.*). De manière clinique, les hypothèses neuropharmacologiques de la VCN permettent d'ajuster le traitement pharmacologique et le choix des substances psychoactives en psychiatrie ainsi que de suivre l'évolution de ce traitement (Morault *et al.*, 1992; Timsit-Berthier, 1982) ou l'évolution des désintoxications (Morault *et al.*, 1993).

■ Intérêt psychologique

Depuis sa découverte, la VCN a été l'un des potentiels les plus utilisés en psychologie (Hillyard, 1971). Le protocole VCN de temps de réaction avec

alarme (S1-S2) nécessite de la part du sujet la mise en œuvre, l'ajustement et le contrôle d'un ensemble de processus sensori-moteurs. Son interprétation fait alors référence à une théorie du conditionnement (Pavlov, 1954; Richelle, 1966; etc.). La VCN correspond alors à l'expression électrophysiologique de la capacité à établir des connexions temporelles entre stimulus conditionnel, stimulus inconditionnel et renforcement. Dans ce cadre, une faible amplitude serait l'indice d'une mauvaise aptitude à élaborer les liaisons conditionnelles et donc d'une diminution des possibilités d'apprentissage temporel. Elle correspondrait à une diminution des capacités à relier et associer des événements entre eux, à en organiser la cohérence chronométrique, et par voie de conséquences à une difficulté à décoder la structure temporelle de l'environnement pour lui donner un sens. De même, la diminution rapide de l'amplitude de la VCN par habituation est à interpréter en termes de diminution progressive du lien conditionnel et exprime une incapacité à maintenir une structuration temporelle cohérente, comme c'est le cas dans les troubles de la vigilance (Timsit-Berthier et Gerono, *op. cit.*). Une grande amplitude de la VCN ou son augmentation au cours de l'enregistrement traduisent une exacerbation de la capacité à relier ensemble des événements successifs et l'incapacité à inhiber le processus conditionnel lorsqu'il est établi, comme dans certains troubles de l'attention (*ibid.*). Ces données sont bien évidemment à mettre en relation avec les interprétations neurophysiologiques qui ont été développées précédemment.

La VCN peut également être interprétée en termes de ressources attentionnelles (Kahneman, 1973; Norman et Bobrow, 1975). Ici, ce n'est plus l'amplitude globale de la courbe qui est utilisée, mais la typologie de la forme, avec une analyse comparée des amplitudes précoces (Na) et tardives (Nb) de la négativité pré-impérative. En effet, et c'est ce que l'on observe en augmentant l'intervalle interstimulus ($S1-S2 > 2$ sec), deux composantes distinctes peuvent être identifiées, chacune ayant sa signification fonctionnelle. Au plan sensoriel, si l'amplitude de la VCN précoce (Na) dépend des caractéristiques physiques du signal d'alarme (somesthésique > auditif > visuel), la VCN tardive (Nb) ne semble modifiée que par l'attitude du sujet par rapport à la tâche expérimentale. Il s'agit alors d'une composante endogène purement dépendante des processus mobilisés par le sujet. Au plan motivationnel, la VCN précoce semble pourtant dépendre de la facilité de mise en œuvre du contrôle moteur. Une polarité inverse (positive) se rencontre parfois lorsque ce contrôle est défaillant ou non encore établi comme chez le jeune enfant. On peut expérimentalement la favoriser en ayant recours à des protocoles difficiles sollicitant des capacités importantes de contrôle moteur dans des procédures entraînant une inhibition de l'action (tâche de type *go/no-go*) portant sur la stimulation

S2). Au plan de la typologie, et une fois maîtrisé le paramètre sensoriel de la stimulation d'alarme, le type A correspond à une VCN précoce de faible amplitude (Na normal) et traduit une augmentation des réactions automatiques d'orientation en cours de protocole (habituation), le type B recouvrerait une VCN précoce importante (Na importante) traduisant une incapacité à automatiser les processus d'orientation et une persistance des processus de contrôle, une VCN précoce inverse (Na microvoltée) correspond à une maîtrise insuffisante du contrôle des activités inopportunes prédécisionnelles du choix de la réponse adaptée (Timsit-Berthier et Gerondo, *op. cit.*).

La VCN tardive correspond à une onde composite toujours négative dans laquelle se surajoute à l'élaboration de la réponse motrice (potentiel PPM) un processus d'anticipation et de construction d'une représentation de la tâche. Au-delà de cette préparation motrice, deux types de facteurs sont concernés par cette négativité : d'une part la mobilisation de l'attention, d'autre part la motivation du sujet et son vécu subjectif de la tâche. Dans le premier cas, on montre que l'amplitude augmente avec l'attention et qu'elle diminue significativement lorsqu'on distrait le sujet. Dans le second cas, l'amplitude augmente lorsque le sujet s'attend à un stimulus qu'il considère comme déplaisant, alors qu'elle diminue dans l'attente d'un stimulus neutre. Les VCN tardives de faible amplitude correspondent globalement à un défaut d'attention ou de motivation, celles de grande amplitude à un excès d'attention. On peut alors considérer la partie précoce de la VCN comme significative de la mobilisation de processus d'alerte et d'orientation dépendants des données et la partie tardive comme correspondant à la mobilisation des ressources attentionnelles qui dépend du sujet, de sa décision d'allocation de ressources, et de sa motivation en fonction de critères d'appréciation subjectifs. Selon cette interprétation, les deux composantes de la VCN s'inscrivent dans la théorie de l'attention limitée par les données ou limitée par les ressources, développée par Norman et Bobrow (1975).

Dans cette perspective, il est nécessaire d'interpréter l'amplitude de la VCN à l'aide d'indices motivationnels externes. En effet, un sujet peut mobiliser des ressources attentionnelles pour maintenir un haut niveau d'efficacité (TR faible) dans une tâche qui lui semble difficile (Nb ample) ou inversement ne pas mobiliser ces ressources (Nb faible) pour une tâche aisée (TR faible). À l'opposé, de faibles performances (TR long) peuvent correspondre à un mauvais contrôle de la mobilisation de l'attention par un sujet motivé (Nb ample) ou à une démobilitation motivationnelle (Nb faible). On repère de tels *patterns* par exemple lorsque le sujet est obligé de mobiliser massivement des ressources attentionnelles, dans les cas

d'atteintes organiques (vieillesse) ou neurotoxiques (intoxications médicamenteuses, usage de psychoactifs, etc.), ou dans certaines configurations psychopathologiques (dépression) ou de démobilité pendant l'examen (usure attentive, démobilité, lassitude, somnolence).

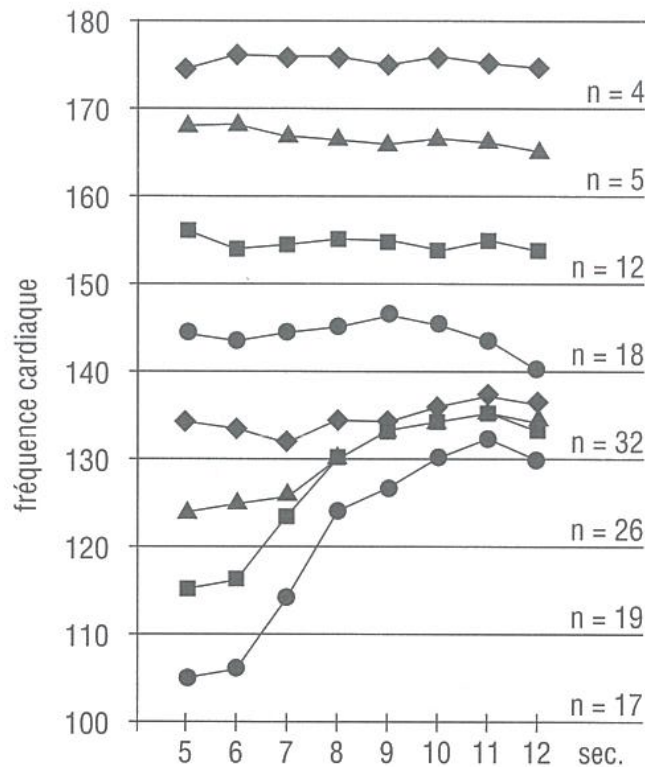
Les composantes post-impératives de la VCN (après S2) traduisent à la fois la fin des processus mis en jeu après S1 (Na et Nb) et le début de processus dépendant de l'exécution de la réponse et de son contrôle. L'onde Pa a souvent été associée à une onde P300 qui a déjà été décrite ailleurs. Elle est maximale en regard des aires pariétales, et est suivie d'une lente positivité additionnelle (Pb) en relation avec la façon subjective dont le sujet apprécie sa performance et vit l'expérience (Papaskostopoulos, 1978). Cette positivité peut être exacerbée lorsque la tâche devient monotone (PIPV) ou au contraire s'inverser lorsque la tâche de réponse est ambiguë, que la stimulation est aversive ou lorsque le sujet a l'impression de perdre le contrôle de la situation expérimentale (PINV) (Gauthier et Gottesman, 1977; Klein *et al.*, *op. cit.*; Timsit et Gerono, *op. cit.*). Cette PINV est une onde composite qui comprend au moins deux composantes. L'une prédomine dans les zones frontales et correspond à la remise en cause du modèle interne (concordance entre, d'une part, représentation de la tâche par le sujet et d'autre part sa perception au moment de la réponse motrice), l'autre se développe dans les zones centrales (vertex) lorsque l'effet de la réponse est en inadéquation avec l'attente du sujet, qui est amené à en réapprécier la cohérence *a posteriori* ou est confronté à une incertitude vis-à-vis de sa performance.

4 MÉTHODES D'INTERPRÉTATION EN PSYCHOPHYSIOLOGIE

Les méthodes que nous avons présentées ici, permettent au psychophysio- logiste de recueillir, analyser, catégoriser et comprendre une large palette de variables. Elles permettent également de tester une série d'hypothèses portant sur les relations entre les processus psychologiques et les concomi- tants ou conséquences physiologiques de ces processus. On peut néanmoins trouver, au travers des différentes méthodes, des constances explicatives qui sont plus du domaine de l'organisation générale de l'organisme que de la relation précise de tel comportement ou processus cognitif à telle activité d'un organe particulier. C'est dans ce cadre de généralisation de concepts issus d'un domaine spécifique de la psychophysiologie, que nous présen- tons trois exemples de lois psychophysiologiques qui semblent s'appliquer quelque soit le processus, le protocole ou la réponse physiologique enregis- trée. Ces exemples ont été choisis parmi bien d'autres comme illustration de l'esprit intégratif de la psychophysiologie en proposant un cadre inter- préatif à l'ensemble des phénomènes psychophysiologiques. Ils sont à la base de l'interprétation des amplitudes de tout signal psychophysiologique.

4.1. Loi du niveau initial de Wilder et régulation homéostatique de Lacey

On doit à Wilner (1957) la formulation d'une loi physiologique selon laquelle la variation relative d'un phénomène en réponse à une stimulation dépend de son niveau d'activité initial. Ce phénomène dit « loi du niveau initial » (LIV pour « *Law of Initial Value* »), a fait l'objet de nombreuses



Ces courbes ont été obtenues chez un nouveau-né en réponse à une stimulation tactile (jet d'air froid sur la région ombilicale s'échelonnant de 5 à 12 secondes). L'accélération cardiaque dépend à la fois des caractéristiques du stimulus (durée) et du niveau initial du rythme initial (avant 5 secondes) (d'après Lipton *et al.*, 1960).

Figure 1.28

Loi du niveau initial

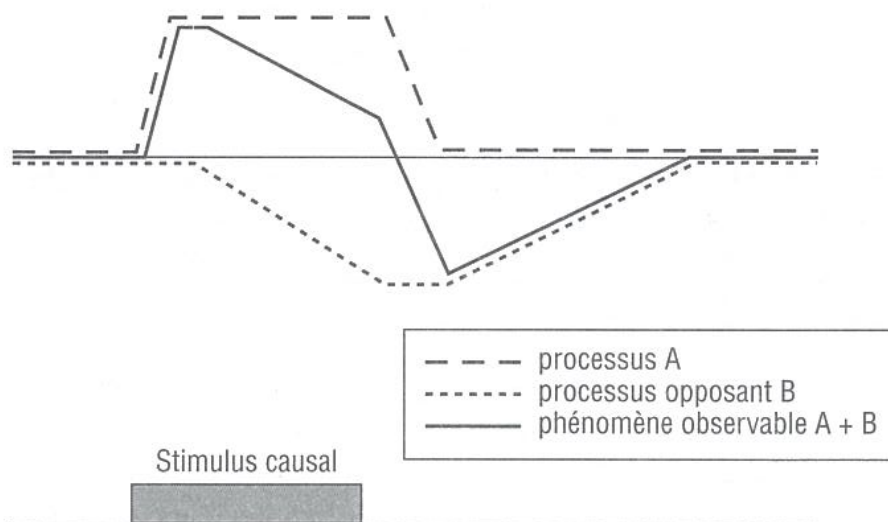
études et une formulation générale a pu en être donnée en psychophysiologie (Wilder, 1958, 1967, 1976), notamment en rapport avec les régulations du système nerveux sympathique (Lacey, 1956), et notamment en psychocardiologie (Lacey, 1977, 1980).

Cette loi s'appuie sur le principe selon lequel l'organisme est doté de propriétés homéostatiques régulatrices qui visent à stabiliser automatiquement les différents phénomènes physiologiques en s'opposant aux perturbations dont ils peuvent être l'objet. La réponse physiologique à une stimulation est à la fois dépendante de l'intensité de la réponse du système stimulé et de l'importance des phénomènes compensatoires mobilisés afin de limiter l'effet de la perturbation initiale (Lacey, 1956, *op. cit.*). Selon cette hypothèse, un niveau initial élevé faciliterait la mise en jeu des mécanismes compensatoires et diminuerait de manière corrélative l'amplitude de la réponse (voir Paillard, 1973, pour un développement complet de la modalisation).

On peut, dès lors, interpréter les différentes parties des potentiels cognitifs comme variations du niveau initial préstimulus. En effet, la technique électrophysiologique ne permet pas d'approcher de manière absolue l'amplitude de l'électroencéphalogramme (sauf amplis à courant continu qui sont l'objet de variations parasites handicapant les enregistrements de longue durée). Un potentiel macrovolté pourra alors correspondre à une série de modifications installées à partir d'un niveau continu cérébral de faible amplitude. À l'opposé, un potentiel microvolté correspondrait à la même série imposée à un niveau continu initial élevé qui faciliterait l'installation des phénomènes compensatoires. À ce niveau, il est nécessaire de prendre en compte les différentes interprétations proposées des composantes qui sont caractéristiques de processus soit inhibiteurs soit excitateurs, en relation avec leur modulation biochimique de base.

4.2. La loi des processus opposants de Sokolov

La concurrence de deux processus opposés contribuant à l'efficacité d'un phénomène est une des données de base de l'homéostasie. Sokolov a proposé une formulation générale explicative de cet équilibre sous le nom de « processus opposants » (Sokolov, 1963; Vincent, 1986). Selon cette



Un processus A est compensé par un processus opposant B qui s'installe puis persiste avec une inertie temporelle plus importante que le processus A. La réponse observable est la composée des deux processus opposants.

Figure 1.29

Loi des processus opposants

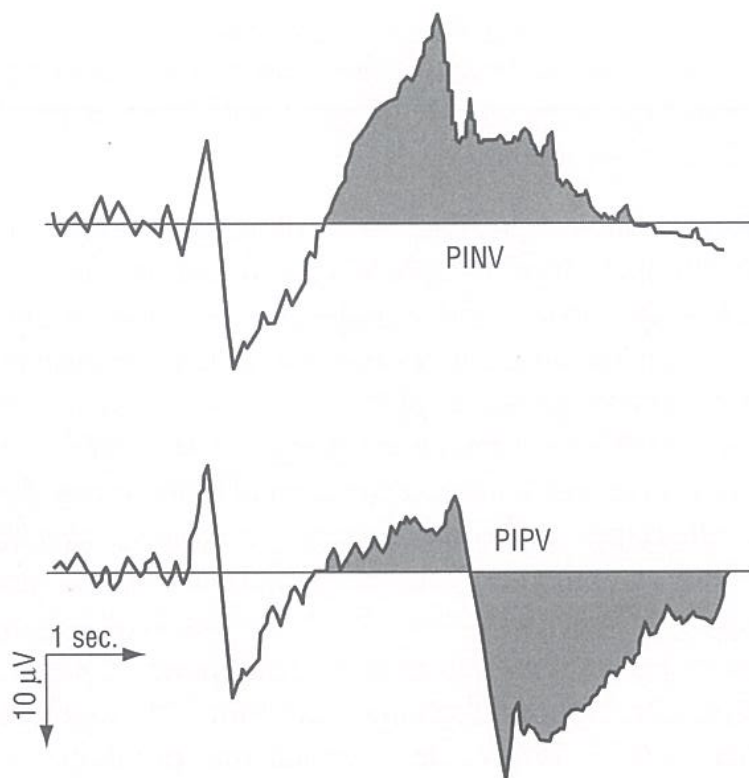
loi, chaque phénomène de régulation physiologique qui se développe à la suite d'une stimulation ou de tout événement causal, est compensé par un processus opposé qui s'installe de manière plus lente et persiste après la suppression de ce phénomène.

Cette théorie trouve son illustration dans la réponse adaptative du système sympathique (autrefois appelé système autonome) aux agressions du milieu. Ce phénomène homéostatique est composé d'une part d'une réponse rapide, non spécifique et globale du système orthosympathique, et d'une réponse parasympathique plus tardive, progressive, persistante et spécifique à la modalité de stimulation (Wenger, 1941, 1966). La dominance individuelle de l'un de ces systèmes correspond à une typologie gaussienne de « balance autonome » \tilde{A} , établie à partir de données psychophysiologiques électrodermographiques, pneumographiques, vasculographiques et cardiographiques (Wenger et Cullen, 1972). Les individus sympathicotoniques sont repérés par un score inférieur à 70 et répondent préférentiellement aux stress de manière orthosympathique. Les individus vagotoniques ont un score supérieur ($\tilde{A} > 70$) et leur organisme privilégie les réponses parasympathiques.

On peut appliquer cette loi d'opposition et d'équilibre homéostatique à l'ensemble des processus psychophysiologiques. Un exemple peut en être donné par les potentiels cognitifs qui présentent une succession de phénomènes de polarité opposée et de signification neurophysiologique et psychologique contraire. Ainsi, peut-on repérer non plus des composantes isolées mais des systèmes de composantes, comme le complexe N100/P200 correspondant aux aspects afférents de l'attention, le complexe N200/P300 concomitant des aspects efférents du processus attentionnel, et les parties négatives et positives de la VCN. Les amplitudes ne se mesurent plus de manière absolue, mais de manière relative par rapport à la ligne de base, dont l'évaluation relative doit être abordée dans le cadre complémentaire de la loi de Wilder. Les interprétations doivent être alors repensées en termes sokolien de complémentarité fonctionnelle des composantes de chaque complexe et dans le cadre de la typologie \tilde{A} des sujets enregistrés.

4.3. Effets diphasiques et activation

Le concept d'activation rend compte des relations entre, d'une part le niveau d'activités physiologiques, et d'autre part les modifications d'intensité du comportement (Duffy, 1957; Hebb, 1955; Malmo, 1959). Cette



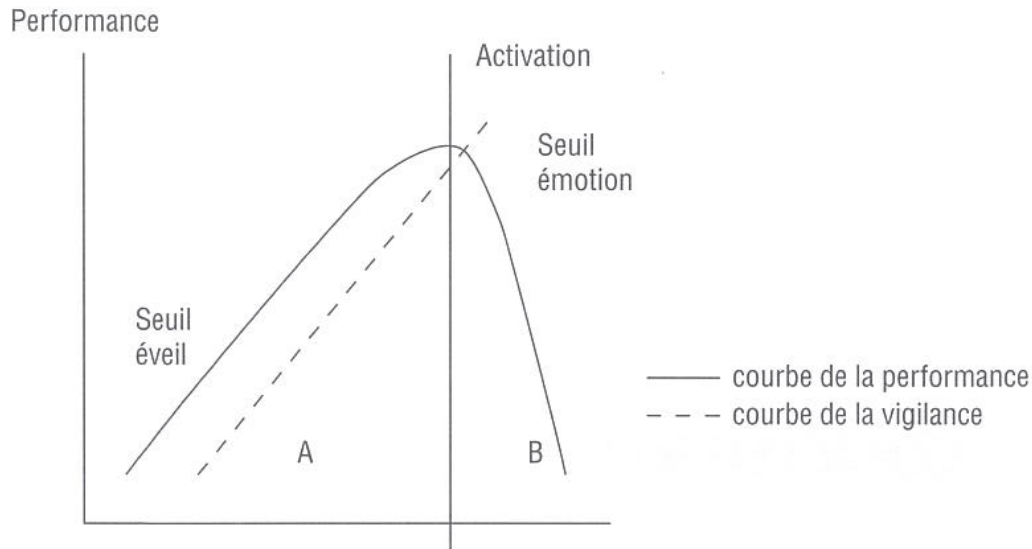
Les VCN amples avec PINV traduisent la prépondérance des phénomènes d'activation, les VCN inverses avec PIPV, celle des phénomènes d'inhibition (Timsit-Berthier et Gerono, 1998). Le PINV correspondrait à une dominance des processus précoces, le PIPV celle des processus opposés qui se mettent en place de manière concurrente. La VCN correspondrait à la somme des deux processus opposants.

Figure 1.30

Processus opposants et VCN : PINV PIPV

intensité correspond instrumentalement à la réactivité de différents paramètres physiologiques, tels que le rythme cardiaque, l'électrogénèse cérébrale, la résistivité de la peau, etc. De manière générale, on considère que plus ces variables sont élevées, plus l'activation est importante, et inversement, plus elles diminuent, plus on se trouve dans des niveaux faibles d'activation (Duffy, 1962, 1972; Lindsley, 1956). L'idée importante du modèle consiste à admettre que la performance et la vigilance croient de manière parallèle jusqu'au seuil de l'émotion, après quoi on observe un effet de dissociation avec une chute des performances comportementales malgré l'augmentation de la vigilance.

Cette courbe diphasique d'activation peut être représentée par une courbe en U inversé (Malmo, 1962) qui sépare une activation de type A



Représentation schématique des relations entre le niveau de vigilance et celui de performance : courbe dite en U inversé. Le seuil de l'émotion est caractérisé par une dissociation (B) des deux courbes jusqu'alors corrélées (A) (d'après Malmö, 1962).

Figure 1.31

Effet diphase

efficace, d'une activation de type B défavorable aux performances. Cette distribution a pu être confirmée par de nombreux travaux de physiologie (Pinneo, 1961; Shaw, 1956, etc.) comme ceux utilisant des variables psychologiques, tant en psychophysiologie qu'en psychologie physiologique (Bloch, 1973; Shaw, 1956; Smock et Small, 1962, etc.).

Cette courbe diphase, principalement obtenue sur des données musculaires, cardiaques, dermographiques ou électroencéphalographiques, est particulièrement applicable aux potentiels cognitifs. En effet, les amplitudes de la VCN semblent varier selon le niveau d'activation, et ceci indépendamment des performances motrices; et Timsit-Berthier (1998) a pu vérifier cette relation de manière «quasi expérimentale» (Timsit-Berthier et Geronio, 1998) en observant des amplitudes de VCN (Cz) faibles d'une part chez des sujets avec un faible taux d'éveil (sommolence - type A) ou présentant un état anxieux pendant l'enregistrement (hyperactivité avec temps de réaction très faibles - type B). Cette dissociation entre l'effet diphase de la performance (Duffy, *op. cit.*) et les composantes endogènes qui accompagnent ou précèdent cette performance, semble montrer la présence de mécanismes de régulation distincts qui pourtant semblent globalement soumis aux mêmes lois d'organisation.

5 CONCLUSION

Si la psychophysiology est une discipline à part entière, insérée entre d'une part, la psychologie et la physiologie, et d'autre part les problématiques de localisation et de rapport entre fonctions et supports, c'est principalement dans l'instrumentation et le recours à des modèles de traitement de l'information physiologique qu'elle se constitue en science autonome. La diversité des spécialistes, des techniques et des secteurs biologiques explorés ne doit pas masquer le fait que la psychophysiology repose sur un ensemble de concepts généraux organisés en lois d'organisation psychophysiology. Néanmoins, il ne faudrait pas croire que, une fois ce corpus théorique assimilé, la recherche en psychophysiology est accessible sans un grand souci de rigueur méthodologique, une excellente connaissance technique du traitement mathématique du signal. Enfin, les procédures de « bonnes pratiques » dans un cadre réglementaire strict, tant au niveau de l'expérimentation animale que chez l'homme sain ou pathologique, ainsi qu'à celui du recueil et de la conservation des données nominales informatiques, avec confidentialité et droit de communication des fichiers, imposent une réelle « démarche qualité » qui ouvre sur une véritable éthique de la pratique psychophysiology.

BIBLIOGRAPHIE

- ADRIEN J.-L. (1996). *Autisme du jeune enfant : développement psychologique et régulation de l'activité*, Paris, Expansion Scientifique Française.
- ANDREASSI J.-L. (1995). *Psychophysiology : Human Behavior and Physiological Response*, Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum.
- BACHER F. (1982). *Les Enquêtes en psychologie*, 2 vol., Lille, PUL.
- BACHER F. (1987, 1988). *Les Modèles structuraux en psychologie. Présentation d'un modèle, LISREL*; Première partie : *Le Travail humain*, 50, 347-370; Deuxième partie : *Le Travail humain*, 51, 273-288.
- BACHER F. (1989). Appendice méthodologique in M. Reuchlin et F. Bacher, *Les Différences individuelles dans le développement cognitif de l'enfant*, Paris, PUF.
- BAHRICK L.E. (1987). Infants' Intermodal Perception of Two Levels of Temporal Structure in Natural Events, *Infant Behavior and Development*, 10, 387-416.
- BAHRICK L.E. et PICKENS J.N. (1994). Amodal Relations : the Basis for Intermodal Perception and Learning in Infancy in D.J. Lewkowicz et R. Lickliter (eds), *The Development of Intersensory Perception, Comparative Perspectives*, NJ, Lawrence Erlbaum, pp. 205-235.
- BAILLARGEON R. (1998). *La Connaissance du monde physique par le nourrisson*, Héritages piagétiens, à paraître.
- BAILLARGEON R. et DE VOS J. (1991). Object Permanence in Young Infants : Further Evidences, *Child Development*, 62, 1227-1246.

- BAILLARGEON R., SPELKE E.S. et WASSERMAN S. (1985). Object Permanence in Five-Month-Old Infants, *Cognition*, 20, 191-208.
- BAKER L.J., HASTING J.E. et HART J.-D. (1984). Enhanced Psychophysiological Responses of Type A Coronary Patients During Type A-Relevant Imagery, *Journal of Behavioral Medicine*, 7, 287-306.
- BARBE V. et TOURRETTE C. (1998). Apprentissage de la marche et du langage : peuvent-ils être simultanés?, Communication affichée au colloque *Biologie de la Cognition*, Rouen, 28-29 mai 1998.
- BARON M. (1991). Algorithme in R. Doron et F. Parot, *Dictionnaire de Psychologie*, Paris, PUF.
- BARUCH C. et DRAKE C. (1997). Tempo Discrimination in Infants, *Infant Behavior and Development*, 20, 573-577.
- BAYLEY N. (1993). Bayley Scales of Infant Development, *Psychological Corporation*, New York, 2nd edition.
- BENOIT P., GAY J. et DESNOS M. (1990). *L'Électrocardiogramme, savoir l'interpréter*, Paris, Frison Roche.
- BERTENTHAL B.I., HAITH M.M. et CAMPOS J.J. (1983). The Partial-Lag Design : a Method for Controlling Spontaneous Regression in the Infant-Control Habituation Paradigm, *Infant Behavior and Development*, 6, 331-338.
- BOUCSEIN W. (1982). *Electrodermal Activity*, New York, Plenum.
- BOULTON A.A., BAKER G.B. et VANDERWOLF C.H. (eds) (1990). Neurophysiological Techniques : Applications to Neural systems in Boulton A.A. et Baker G.B. (Program Eds.) *Neuromethods Serie*, Clifton, NJ, Humana Press, 15.
- BORNSTEIN M.H. et SIGMAN M.D. (1985). Le Développement de l'intelligence chez les enfants : nouvelles recherches sur la « continuité », *L'Année Psychologique*, 85, 383-394.
- BORNSTEIN M.H. et SIGMAN M.D. (1986). Continuity in Mental Development From Infancy, *Child Development*, 57, 251-274.
- BORNSTEIN M.H., SLATER A., BROWN E., ROBERTS E. et BARRETT J. (1995). Stability of Mental Development From Infancy to Later Childhood : Three « Waves » of Research in G. Bremner, A. Slater et G. Butterworth, *Infant Development : Recent Advances*, Psychology Press, Erlbaum.
- BRIL B. (1995). Les Apports de la psychologie culturelle comparative à la compréhension du développement de l'enfant in J. Lautrey (ed), *Universel et Dif-*

- férentiel en psychologie*, Paris, PUF, pp. 327-352.
- BULLINGER A. (1991). Vision, posture et mouvement chez le bébé : approche développementale et clinique in F. Jouen et A. Hénoq, *Du nouveau-né au nourrisson, recherche fondamentale et pédiatrie*, Paris, PUF, 47-61.
- BULLINGER A. et ROCHAT P. (1985). L'activité orale du nourrisson comme indice du comportement, *Comportements*, 2, 55-68.
- CACIOPPO J.T., PETTY R.E. (1981). Electromyographic Specificity During Covert Information Processing, *Psychophysiology*, 18, 518-523.
- CAIRNS R.B., ELDER G.H. JR et COSTELLO E.J. (eds) (1996). *Developmental Science*, New York, Cambridge University Press.
- CARDINET J. (1997). De la théorie classique des tests à la théorie de la généralisabilité : l'apport de l'analyse de la variance, *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 47, 197-204.
- CASATI I. et LEZINE I. (1968). *Les Étapes de l'intelligence sensori-motrice*, Paris, Éditions C.P.A.
- CAVERNI J.-P. (1998). Pour un code de conduite des chercheurs dans les sciences du comportement humain, *Année Psychologique*, 98, 83-100.
- CHAPLIN J.-P., (1985). *Dictionary of Psychology*, New York, Bantam Doubleday Dell Publishing.
- CHAPUIS E. (1998). *Binet, la psychologie individuelle et l'enfant*, Thèse de doctorat, Université Paris VII-Denis Diderot.
- CHAUCHAT H. (1985). *L'Enquête en psychosociologie*, Paris, PUF.
- CLAVERIE B., LEBARS R., DANTZER R. et ZAVIALOFF N. (1994). *Douleurs : de la cellule à l'homme*, Paris, Eshel.
- COHEN P. et TUETING (eds.). *Brain and Information : Event-Related Potentials*, New York, *New York Academy of Sciences*, 425, 450-464.
- COUCHARD F., HUGUET M. et MATALON B. (1986). *La Psychologie et ses méthodes*, Paris, Le Livre de poche.
- COLOMBO J. et HOROWITZ F.D. (1985). A Parametric Study of Infant Control Procedure, *Infant Behavior and Development*, 8, 117-121.
- DE SCHONEN S., GIL DE DIAZ M. et MATHIVET E. (1986). Hemispheric Assymetry in Face Processing in Infancy in H.D. Ellis, M.A. Jeeves, F. Newcombe et A. Young (eds), *Aspects of Face Processing*, Dordrecht, Nijhoff.

- DE SCHONEN S. et MATHIVET E. (1990). Hemispheric Assymetry in a Face Discrimination Task in Infants, *Child Development*, 61, 1192-1205.
- CROYLE R.T., COOPER J. (1983). Dissonance Arousal : Physiological Evidence, *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, 782-791.
- DANIEL M.P. (1980). *Comportements d'assistance et effets d'une représentation religieuse en milieu urbain*, Thèse de 3^e cycle, Université Paris X-Nanterre.
- DANIEL M.-P., DECONCHY J.-P. (1982). Altruisme et prise de pouvoir. Recherche expérimentale, *Recherches de psychologie sociale*, 3, 19-43.
- DAWSON M.E., SCHELL A.M., FILION D.L. (1990). Skin Potentials in J.T. Cacioppo et L.G. Tassinary (eds.) *Principles of Psychophysiology*, Cambridge University Press, 295-324.
- DECONCHY J.-P. (1980). *Orthodoxie religieuse et Sciences humaines*, Paris, Mouton/Bordas.
- DEECKE L., BERND H., KORNHÜBER H.H., LANG M. et LANG W. (1984). Brain Potentials Associated With Voluntary Manual Tracking : Bereitschaftspotential, Conditioned Premotion Positivity, Directed Attention Potential and Relaxation Potential in R. Karrer, J. Cohen, P. Tueting (eds.), *Brain and Information : Event-Related Potentials*, New York, *Academy of Sciences*, 425, 450-464.
- DEHAENE-LAMBERTZ G. (1997). Image du développement cérébral in S. Dehaene (ed.) *Le Cerveau en action : Imagerie cérébrale fonctionnelle en psychologie cognitive*, Paris, PUF, pp. 185-204.
- DEHAENE-LAMBERTZ G. et DEHAENE S. (1994). Speed and Cerebral Correlates of Syllable Discrimination in Infants, *Nature*, 370, 28 July 1994.
- DERUELLES C. et SCHONEN S. (De) (1990). Hemispheric Asymetries in Visual Pattern Processing in Infancy, *Brain and Cognition*, 16, 151-179.
- DESMEDT J.E. (1980). P300 in Serial Tasks : an Essential Post Decision Closure Mechanism in H.H. Kornhöber et L. Deecke (eds) *Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain; Electrical Potentials, Behavior and Clinical Use, Progress in Brain Research*, Amsterdam, Elsevier, 54, 128-143.
- DICKES P. (1996). L'analyse factorielle linéaire et ses deux logiques d'application, *Psychologie Française*, 41, 9-22.
- DICKES P., TOURNOIS J., FLIELLER A. et KOP J.-L. (1994). *La Psychométrie*, Paris, PUF.

- DOISE W. (1982). *L'Explication en psychologie sociale*, Paris, PUF.
- DONCHIN E. (1988). Is the P300 a Manifestation of Context Updating?, *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-375.
- EDELMAN G.M. (1987). *Neural Darwinism : The Theory of Neural Group Selection*, New York, Basic Books.
- EICHORN D.H., CLAUSEN J.A., HAAN N., HONZIK M.P. et MUSSEN P.H. (1981). *Present and Past in Middle Life*, New York, Academic Press.
- ELBERT T. (1993). Slow Cortical Potentials Reflect the Regulation of Cortical Excitability in W.C. Mc Callum et S.H. Curry (eds.) *Slow Potential Changes in the Human Brain*, New York, Plenum Press, 235-253.
- EISENBERG N., FABES R., BUSTAMANTE D., MATHY R.M., MILLER P.A. et LINDHOLM E. (1988). *Denciation of Vicariously Induced Emotional Reactions in Children Developmental Psychology*, 24, 237-246.
- ESTES W. K. (1991). *Statistical Models in Behavioral Research*, Hilldale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- FAGAN J.-F. (1983). *The Fagan Test of Infant Intelligence*, Cleveland, Ohio, Infantest Corporation.
- FLOCCIA C. (1996). *Perception de la parole et apprentissage chez le nouveau-né. Étude méthodologique de la procédure de renforcement des succions de haute amplitude*, Thèse de doctorat de Sciences cognitives, Paris, EHESS.
- FODOR J.A., (1983). *The Modularity of Mind*, Cambridge Ma., The MIT Press.
- FOX N.A. (1989). Psychophysiological Correlates of Emotional Reactivity During the First Year of Life, *Developmental Psychology*, 23, 364-372.
- FRIDLUND A.J. et CACIOPPO J.T. (1986). Guidelines for Human Electromyographic Research, *Psychophysiology*, 23, 567-597.
- FRIEDMAN D., PUTNAM L. et HAMBERGER M.J. (1990). Cardiac Deceleration and E-Wave Potential Components in Young, Middle-Aged and Elderly Adults, *International Journal of Psychophysiology*, 10, 185-190.
- GHIGLIONE R. et MATALON B. (1978). *Les Enquêtes sociologiques*, Paris, Armand Colin.
- GIBSON E.J. et WALKER A. (1984). Development of Knowledge of Visual-Tactual Affordances of Substance, *Child Development*, 55, 453-460.
- GIANNITRAPANI D., MURRI L. (1988). The EEG of Mental Activities, Bâle, Karger.

- GOUIN-DECARIE T. (1966). *Intelligence et Affectivité chez le jeune enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- GRIZE J.-B. (1991). Formel in R. Doron and Françoise Parot, *Dictionnaire de Psychologie*, Paris, PUF.
- GUEGUEN N. (1997). *Manuel de statistique pour psychologues*, Paris, Dunod.
- GUIDETTI M. et TOURRETTE C. (1993). *L'ECSP : Évaluation de la communication sociale précoce*, Paris, Éditions EAP.
- GUIDETTI M. et TOURRETTE C. (1996). *Handicaps et Développement psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin.
- GUERIT J.-M. (1991). *Les Potentiels évoqués*, Paris, Masson.
- GUILLEM F., N'KAOUA B., ROUGIER A., CLAVERIE B. (1995). Effects of Temporal Versus Temporal Plus Extratemporal Lobe Epilepsies on Hippocampal ERPs : Physiopathological Implications for Recognition Memory Studies in Humans, *Cognitive Brain Research*, 2, 147-153.
- GUILLEM F., N'KAOUA B., ROUGIER A., CLAVERIE B. (1995). Intercranial Topography of Event-Related Potentials (N400/P600) Elicited during a Continuous Recognition Memory Task, *Psychophysiology*, 32, 382-392.
- GUILLEM F., N'KAOUA B., ROUGIER A., CLAVERIE B. (1996). Functional Heterogeneity of the Frontal Lobe : Evidence From Intracranial Memory ERPs, *International Journal of Psychophysiology*, 21, 107-119.
- HALGREN E., SQUIRES N.K., WILSON C.L., ROHRBAUGH J.W., BABB R.D., CRANDALL P.H. (1980). Endogenous Potentials Generated in the Human Hippocampal Formation and Amygdala by Infrequent Event, *Science*, 210, 803-805.
- HALGREN E., STAPLETON J.-M., SMITH M. et ALTAFULLAH I. (1986). Generators in the Human Scalp P3(s) in R. Cracco, I. Bodis-Wollner (Eds.) *Evoked Potentials*, New York, Alan R. Liss, 269-286.
- HAWN P.R. et HARRIS L.J. (1983). Hand Differences in Grasp Duration and Reaching in Two and Five-Month-Old Infants in G. Young, S.J. Segalowitz, C.M. Corter et S.E. Trehub (eds.) *Manual Specialization and Developing Brain*, New York, Academic Press, 17, 331-348.
- HURTIG M. et RONDAL J.A. (eds) (1981). *Introduction à la psychologie de l'enfant*, Bruxelles, Mardaga.

- HUTEAU M. (1987). *Style cognitif et personnalité. La dépendance-indépendance à l'égard du champ*, Lille, PUL.
- HUTEAU M. (1995). *Manuel de psychologie différentielle*, Paris, Dunod.
- HUTEAU M. et LAUTREY J. (1997). *Les Tests d'intelligence*, Paris, La Découverte.
- JACKENDORFF R. (1987). *Consciousness and the Computational Mind*, Cambridge University Press.
- JOHNSON-LAIRD P.N. (1983). *Mentals Models*, Cambridge University Press.
- JOHNSON C.W. et PIROZZOLO F.J. (eds.) (1988). *Neuropsychology of Eye Movements*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- JOHNSON R. (1986). A Triarchic Model of the P300 Amplitude, *Psychophysiology*, 23, 367-383.
- JOSSE D. (ed.) (1997). *Brunet-Lézine révisé*, Paris, Éditions et Applications Psychotechniques.
- JUHEL J. (1990). Analyse confirmatoire des relations entre visualisation spatiale et mémoire visuo-spatiale, *Psychologie et Psychométrie*, 11, 3, 28-42.
- JUHEL J. (1994). Opérationnalisation et recherche de validation : une alternative? in M. Huteau (éd.) *Les Techniques psychologiques d'évaluation des personnes*, Issy-Les-Moulineaux, EAP, 164-171.
- JUHEL J. (1997). Fonctionnement des systèmes psychologiques et modélisation de la variabilité in J. Juhel, T. Marivain et G. Rouxel (eds.) *Psychologie et différences individuelles : questions actuelles*, Rennes, PUR, 35-40.
- JUSZCZAK N.M. et ANDREASSI J.-L. (1987). Performance and Physiological Responses of Type A and Type B Individuals During a Cognitive and Perceptual Motor Task, *Journal of Psychophysiology*, 5, 81-90.
- KANDEL E.R. et SCHWARTZ J.H. (1983). *Principles of Neural Science*, New York, Elsevier.
- KELLMAN P.J. et SPELKE E.S. (1983). Perception of Partly Occluded Objects in Infancy, *Cognitive Psychology*, 15, 483-524.
- KINTSCH W. (1991). The Role of Knowledge in Discourse Comprehension : a Construction-Integration Model in G. Denhières et J.-P. Rossi (eds.) *Text and Text Processing*, Amsterdam, Elsevier Publishers.
- KISILEVSKY B.S. et LOW J.A. (1998). Human Fetal Behaviour : 100 Years of Study, *Developmental Review*, in press.
- KISILEVSKY B.S. et MUIR D.W. (1991). Human Fetal and Subsequent Newborn Responses to

- Sound and Vibration, *Infant Behavior and Development*, 14, 1-26.
- KLEIN C., ANDRESSN B., JAHN T., BERG P., ROCKTSTROH B. (1998). Topography of CNV and PINV in Subjects with Schizotypal Personality Characteristics, *Psychophysiology*, in press.
- KRISTEVA R. (1984). Bereitschaftspotential of Pianists in R. Karner, J. Cohen et P. Tueting (eds.) *Brain and Information: Event-Related Potentials*, New York, New York Academy of Sciences, 425, 477-482.
- LACEY B.C. et LACEY J.-L. (1980). Cognitive Modulation of Time-Dependant Primary Bradycardia, *Psychophysiology*, 17, 209-221.
- LARIVÉE S., NORMANDEAU S. et PARENT S. (1996). La filière francophone de la psychologie développementale différentielle, *L'Année psychologique*, 96, 291-342.
- LAUTREY J. (1990). Esquisse d'un modèle pluraliste du développement cognitif in M. Reuchlin, J. Lautrey, C. Marendaz et T. Ohlmann (dir.) *Cognition: l'individuel et l'universel*, Paris, PUF, pp. 185-216.
- LAUTREY J. et CIBOIS P. (1991). Application of Correspondance Analysis to a Longitudinal Study of Cognitive Development in D. Magnusson (ed), *The Lifespan Development of Individuals: Behavioral, Neurobiological, and Psychosocial Perspectives: a Synthesis*, New York, Cambridge University Press, pp. 191-211.
- LAUTREY J. (ed.) (1995). *Universel et différentiel en psychologie*, Paris, PUF.
- LECANUET J.-P., GRANIER-DEFERRE C. et BUSNEL M.C. (1988). La sensorialité foetale: ontogénèse des systèmes sensoriels, conséquences de leur fonctionnement foetal in J.-P. Relier, B. Salle et J. Laugier (eds.) *Fœtus et nouveau-né. Pathologie, Biologie*, Paris, Flammarion.
- LECANUET J.-P., GRANIER-DEFERRE C., JACQUET A.-Y. et BUSNEL M.-C. (1992). Decelerative Cardiac Responsiveness to Acoustical Stimulation in the Near Term Fetus, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44B, 279-303.
- LECOUTRE B., ROUANET H. et DENHIÈRE G. (1991). L'inférence statistique comme instrument de validation des modèles in J.-P. Caverni, C. Bastien, *Psychologie*.
- LÉCUYER R. et ROVIRA K. (1998). Organisation perceptive, délai inter-essais et catégorisation chez les bébés de quatre mois, *L'Année psychologique*, sous presse.

- LÉCUYER R. (1987). Habituation, réaction à la nouveauté et intelligence, *Bulletin de Psychologie*, 381, 815-831.
- LÉCUYER R. (1991). La catégorisation de formes géométriques continues chez des enfants de 5 mois, *Archives de Psychologie*, 59, 143-155.
- LÉCUYER R. (1994). Nouveauté et organisation des connaissances in R. Lécuyer, M.-G. Pêcheux et A. Streri, *Psychologie cognitive du nourrisson*, Tome 1, Paris, Nathan.
- LÉCUYER R. et STRERI A. (1986). Information Intake in Infants : Links Between Visual and Tactual Habituation, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 6, 6, 565-574.
- LÉCUYER R., STRERI A. et PÊCHEUX M.-G., (1996). *Le Développement cognitif du nourrisson*, Tome 2, Paris, Nathan.
- LIPIANSKY E.M. (1996). Le rapport de places : pour une systémique des groupes, *Connexions, Le groupe, évolution des théories et des pratiques*, 1, 68, 57-72.
- LHOTE M. et STRERI A. (1998). Haptic Memory and Handedness in 2-Month-Old Infants, *Laterality*, 3, 173-192.
- LOARER E., CHARTIER D., HUTEAU M. et LAUTREY J. (1995). *Peut-on éduquer l'intelligence?* Bern, Peter Lang.
- LOPES DA SILVA F. et VAN ROTTERDAM A. (1982). Biophysical Aspects of EEG and MEG Generation in E. Niedermeyer, F. Lopes Da Silva (eds.) *Electroencephalography : Basis Principles, Clinical Applications and Related Fields*, Baltimore, Urban & Schwarzenberg, 15-26.
- LYKKEN D.T. (1984). Psychophysiology in R.J. Corsini (ed.) *Encyclopedia of Psychology*, New York, Wiley, 934-937.
- MCRAE K., DE SA V.R. et SEIDENBERG M.S. (1997). On the Nature and Scope of Featural Representations of Word Meaning, *Journal of Experimental Psychology General*, 126, 2, 99-130.
- MCCALL R. B. et CARRIGER M.S. (1993). A Meta-Analysis of Infant Habituation and Recognition Memory Performance as Predictors of Later IQ, *Child Development*, 64, 57-79.
- MCCLELLAND J.-L. et RUMELHART D.E. (1985). Distributed Memory and the Representation of General and Specific Information, *Journal of Experimental Psychology General*, 15, 114-162.
- MAGNUSSON D. et CAIRNS R.B. (1996). Developmental Science : Toward a Unified Framework in R.B. Cairns, G.H. Elder et E.J. Costello (eds), *Developmental*

- Science*, New York, Cambridge University Press, pp. 7-31.
- MAGNUSSON D. (1988). Individual Development From an Interactional Perspective : a Longitudinal Study, vol. 1. Hillsdale, N.J., Erlbaum.
- MAISONNEUVE J. (1997). *Introduction à la psychosociologie*, Paris, PUF.
- MASSON M.E.J. (1995). A Distributed Memory Model of Semantic Priming, *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory and Cognition*, 21-1, 3-23.
- MATALON B. (1988). *Décrire, Expliquer, Prévoir*, Paris, Armand Colin.
- MAX J. (1981) *Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques*, Paris, Masson.
- MCWHINNEY B., SNOW C. (1990). The Child Language Data Exchange System : an Update, *Journal of Child Language*, 17, 457-473.
- MCWHINNEY B. (1991). *The Childes Project : Tools for Analyzing Talk*, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- MCWHINNEY B. et SNOW C. (1985). The Child Language Data Exchange System, *Journal of Child Language*, 12, 271-296.
- MEADOR K.J. (1985) Cholinergic, Serotonergic and Gaba Effects on the ERP, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, suppl. 44, 151-155.
- MELLIER D. (1992). *Le bébé bâtisseur de son devenir : les compositions sensori-motrices en développement chez le bébé normal et chez le bébé handicapé*, Thèse pour le doctorat d'état ès lettres et sciences humaines, Université de Paris V.
- MEYER B., NEVEU M. et AUBRY M. (1997). Oreille humaine, *Encyclopédia Universalis*, Paris, CLF, 17, 47b.
- MORAULT P., BERTHON G., PACCALIN J. et PATY J. (1993) Approche psychophysiological de la typologie cognitive des patients alcooliques récemment sevrés in B. Claverie, R. Jaffard, E. Esperet (eds.). *Cognisciences Atlantiques 92 : Langage et Mémoire*, Bordeaux : CNRS, 119-120.
- MORAULT P., BOURGEOIS M., LAVILLE J., BENSCH C. et PATY J. (1997), Psychophysiological and Clinical Value of Event-Related Potentials in Obsessive-Compulsive Disorder, *Biological Psychiatrie*, 42, 46-56.
- MORAULT P., PATY J., BOURGEOIS M. (1992) *L'Electrophysiologie cérébrale en psychiatrie*, Paris, Masson.
- MOULOU N. (1995). Modèles in *Encyclopédia Universalis*, Paris, Encyclopédia Universalis.

- MULDER T., HULSON, W. (1984) The Effects of Fatigue and Task Repetition on the Surface Electromyography, *Psychophysiology*, 21, 528-534.
- MUGNY G., OBERLE D. et BEAUVOIS J.-L. (1995). *Relations humaines, groupes et influence sociale*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- NOETLING G. (1982). *Le Développement cognitif et le mécanisme de l'équilibration*, Chicoutimi, Canada, Gaëtan Morin.
- NUÑEZ P.L. (1981). *Electric Fields of Brain : The Neurophysiology of EEG*, Oxford, Oxford University Press.
- OLSON S.L., BATES J.E. et BAYLE K. (1984). Mother-Infant Interaction and the Development of Individual Differences in Children's Cognitive Competence, *Developmental Psychology*, 20, 166-179.
- OHLMANN T. (1995). Processus vicariants et théorie neutraliste de l'évolution : une nécessaire convergence in J. Lautrey (dir.) *Universel et différentiel en psychologie*, Paris, PUF, pp. 77-105.
- PARAIN-VIAL J. (1981). *Les Difficultés de la quantification et de la mesure; recherches interdisciplinaires*, Paris, Maloine.
- PATY J. (1985) Psychophysiologie des états de conscience, *Psychologie Médicale*, 17, 10, 1561-1570.
- PATY J. (1997) Le Sommeil et les paradigmes de la psychiatrie in Y. Pélicier (ed.) *Les Objets de la Psychiatrie*, Paris, L'Esprit du temps, pp. 580-588.
- PAVLIDIS G.T. (1981). Do Eye Movements Hold the Key to Dyslexia, *Neuropsychologia*, 19, 57-64.
- PIAGET J. et INHELDER B. (1967). *La Psychologie de l'enfant*, Paris, PUF.
- PINE J.-M., LIEVEN E.V. et ROWLAND C. (1996). Observational and Checklist Measures of Vocabulary Composition : What do They Mean?, *Journal of Child Language*, 23, 573-589.
- PÊCHEUX M.G. et LÉCUYER R. (1988) Stability of Individual Habituation Patterns in Infancy, *International Conference on Infant Studies*, Washington, april.
- PÊCHEUX M.G. et LÉCUYER R. (1989). A Longitudinal Study of Visual Habituation Between 3, 5, and 8 Months of Age, *British Journal of Developmental Psychology*, 7, 159-169.
- PETRIE B.F. et PETERS M. (1980). Handedness : Left/Right Differences in Intensity of Grasp Response and Duration of Rattle Holding in Infants, *Infant Behavior and Development*, 3, 215-221.
- PINEDA J. (1995). Are Neurotransmitter Systems of Subcortical

- Origin Relevant to Electrogenesis of Cortical ERPs?, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, suppl. 44, 143-150.
- POIRIER C. (1993). *La Catégorisation chez les bébés de 3 mois. Les stratégies employées*, Thèse de Doctorat, Université René Descartes.
- QUERRIOUX-COULOMBIER G. et ROSSI J.-P. (1995). Variations journalières de performances et rythmes élémentaires, *L'Année psychologique*, 95, 675-691.
- REGAN D. (1989) *Human Brain Electrophysiology: Evoked Potentials and Evoked Magnetic Fields in Science and Medicine*, New York, Elsevier.
- RENAULT B., RAGOT R., LESÈVRE N., RÉMOND A. (1982) Onset and Offset of Brain Events as Indices of Mental Chronometry, *Science*, 215, 1413-1415.
- REUHLIN M. (1995). *Totalités, Éléments, Structures en psychologie*, Paris, PUF.
- REUHLIN M. (1992). *Introduction à la recherche en psychologie*. Paris, Nathan.
- REUHLIN M. (1997). *La Psychologie différentielle*, Paris, PUF, (nouvelle édition).
- REUHLIN M. et BACHER F. (1990). *Les Différences individuelles dans le développement cognitif de l'enfant*, Paris, PUF.
- RICHARD J.-F. et POITRENAUD S. (1991), Problématique de l'analyse des protocoles individuels d'observations comportementales in J.-P. Caverni, C. Bastien, Mendelsohn et G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie Cognitive, Modèles et Méthodes*, Presses Universitaires de Grenoble.
- RICHELLE M. (1991). Modèle in R. Doron et F. Parot, *Dictionnaire de Psychologie*, Paris, PUF.
- RICHELLE M. (1995). Éloge des variations in J. Lautrey (dir.). *Universel et différentiel en psychologie*, Paris, PUF, pp. 35-50.
- RITTER W., FORD J.-M. et GAILLARD A.W.K. (1984) Cognition and Event-Related Potentials. I. The Relation of Negative Potentials and Cognitive Processes, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 24-38.
- RITTER W., VAUGHAN H.G. et SIMSON R. (1983) On Relating Event Related Potential Components to Stage of Information Processing in A.W.K. Gaillard, W. Ritter (eds.) *Tutorial in Event-Related Potential Research*, Amsterdam, North Holland, 143-158.
- ROUXEL G. (1997). *Déterminants cognitivo-affectifs de la performance scolaire: approche interactionniste*, Thèse de Doctorat de psychologie, Université Rennes 2.

- ROBERT P. (1995). *Dictionnaire de la langue française*, Paris, SNL-Le Robert.
- ROSSI J.-P. (1997). *L'Approche expérimentale en psychologie*, Paris, Dunod.
- ROSSI J.-P. et BERT-ERBOUL A. (1991). Sélection des informations importantes et compréhension de textes, *Psychologie Française*, 36, 2, 135-142.
- ROSSI J.-P. (1981). *Les Mécanismes de la lecture*, Paris, Sorbonne.
- ROUANET H. (1983). Modèles en tous genres et pratiques statistiques in R. Ghiglione (éd.), *Comprendre l'homme construire des modèles*, Paris, Éditions du CNRS, *Comportements*, 4, 113-124.
- ROUANET H., LE ROUX B. et BERT M.C. (1987). *Statistique en sciences humaines : procédures naturelles*, Paris, Dunod.
- RIVIÈRE V. (1992). *Ontogenèse de la régulation temporelle et impulsivité*, Thèse de doctorat, Université Charles de Gaulle, Lille 3.
- ROVEE-COLLIER C. (1993). La Mémoire du nourrisson in V. Pouthas et F. Jouen (éd.) *Les Comportements du bébé : expression de son savoir?*, Bruxelles, Mardaga, pp. 127-143.
- SCAPIN D.L. et PIERRET-GOLBREICH C. (1990). Towards a Method for Task Description : MAD in L. Berlinguet et D. Berthelette (éds.), *Work With Display Units 89*, North-Holland, Elsevier Sciences Publishers.
- SEBILLOTTE S. (1991). Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs, de l'interview à la formalisation, *Le Travail Humain*, 54-3, 193-223.
- SCHONEN S. (De) et DERUELLE C. (1991) Spécialisation hémisphérique et reconnaissance des formes et des visages chez le nourrisson, *L'Année psychologique*, 91, 15-46.
- SEGOND H. et STRERI A. (1995). Mieux percevoir la forme des objets à deux mois : main droite ou main gauche?, *Enfance*, 2, 155-164.
- SEGOND H. (1997). *Développement de la spécialisation manuelle et exploration tactilo-kinesthésique des objets chez le bébé de 2, 4 et 6 mois*, Thèse de doctorat, Université de Paris V.
- SPELKE E.S. (1985). Preferential Looking Methods as Tools for the Study of Cognition in Infancy in G. Gottlieb et N.A. Krasnegor (eds.), *Measurement of Audition and Vision in the First Year Life : a Methodological Overview*, Norwood, NJ, Ablex.
- SMITH T.W., ALLRED K.G., MORRISSON C.A., CARLSON S.D. (1989). Cardiovascular Reactivity and Interpersonal Influence : Active Coping in a Social Context, *Journal of*

- Personality and Social Psychology*, 56, 209-218.
- STRERI A. (1987). Tactile Discrimination of Shape and Intermodal Transfer in 2 to 3-Month Old Infants, *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 213-220.
- STRERI A. (1991). *Voir, atteindre, toucher. Les relations entre la vision et le toucher chez le bébé*, Paris, PUF.
- STRERI A., et GOUARIR S. (1996). Handedness : Left/Right Differences in Object Holding and Motor Skills in 6-Month-Old Infants, *Current Psychology of Cognition*, 15, 209-230.
- STRERI A. et MOLINA M. (1993). Visual and Tactual Transfer Between Objects and Pictures in 2-Month-Old Infants, *Perception*, 22, 1299-1318.
- STRERI A. et PÊCHEUX M.-G. (1986a). Tactual Habituation and Discrimination of Form in Infancy : A Comparison With Vision, *Child Development*, 57, 298-301.
- STRERI A. et PÊCHEUX M.-G. (1986b). Cross-Modal Transfer of Form in 5-Months-Old Infants, *British Journal of Developmental Psychology*, 4, 161-167.
- STRERI A., et SPELKE E.S. (1988). Haptic Perception of Objects in Infancy, *Cognitive Psychology*, 20, 1-23.
- STRERI A. et SPELKE E.S. (1989). Effects of Motion and Figural Goodness on Haptic Object Perception in Infancy, *Child Development*, 60, 1111-1125.
- SUPER C.M. et HARKNESS S. (1986). The Developmental Niche : a Conceptualization of the Interface of Child and Culture, *International of Behavioral Development*, 9, 545-569.
- TECCE J.-J. (1982). Contingent Negative Variation (CNV) and Psychological Process in Man, *Psychological Bulletin*, 77, 73-108.
- TEDER W. (1987). La Mesure des signaux physiologiques, *Elektron*, 6, 64-69.
- TIMSIT M., TIMSIT-BERTHIER M., SCHOENEN J. et MAERTENS DE NOORDHOUT A. (1987). Intérêt de l'étude de la VCN dans les migraines et les céphalées de tension, *Revue d'Electro-Encéphalographie et de Neurophysiologie Clinique*, 11, 259-270.
- TIMSIT-BERTHIER M. (1981). À propos de l'interprétation de la VCN en Psychiatrie, *Revue d'Electro-Encéphalographie et de Neurophysiologie Clinique*, 11, 236-244.
- TIMSIT-BERTHIER M. (1989). Approche neurophysiologique des états dépressifs, *Psychologie Médicale*, 22, 8, 757-763.

- TIMSIT-BERTHIER M. (1990). Approche neurophysiologique de la schizophrénie, *Psychologie Médicale*, 21, 7, 929-937.
- TIMSIT-BERTHIER M. et GERONO A. (1998). *Manuel d'interprétation des potentiels évoqués endogènes (P300 et VCN)*, Sprimont, Belgique, Mardaga.
- TOURRETTE C. et GUIDETTI M. (1994). *Introduction à la psychologie du développement : du bébé à l'adolescent*, Paris, A. Colin.
- TOURRETTE C. (1991). *D'un bébé à l'autre. Les différences individuelles au début du développement*, Paris, PUF.
- TOURRETTE C. (1997). La psychologie du développement : une discipline dynamique in D. Josse (ed), *Manuel du Brunet-Lézine Révisé*, Paris, EAP, pp. 11-42.
- TOURRETTE C. et BLANCHARD S. (1997). Y-a-t-il un lien entre les compétences communicatives dans les deux premières années et les capacités langagières à deux ans? in J. Juhel, T. Marivain et G. Rouxel (éds) *Psychologie et différences individuelles : questions actuelles*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, pp. 131-134.
- VERGLETER R. (1988). Event-Related Potentials and Cognition : A Critic of Context Updating Hypothesis and Alternative Interpretation of the P300, *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 243-356.
- VRIES J.I.P. (de), VISSER G.H.A. et PRECHTL H.F.R. (1984). Fetal Motility in the First Half of Pregnancy in H.F.R. Prechtl (ed.), *Continuity and Neural Functions From Prenatal to Postnatal Life*, Oxford, S.T.M.P.
- WILLIAMSON S.J. (1989). *Advances in Biomagnetism*, New York, Plenum Press.
- WOOD C.C. (1982). Application of Dipole Localization Methodes to Human Evoked Potentials, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 388, 139-159.
- WYNN K. (1992). Addition and Substraction by Human Infants, *Nature*, 358, 749-750.
- WEIL-BARAIS A., (1991). Résolution de problèmes in J.-P. Rossi, *La Recherche en Psychologie : Domaines et Méthodes*, Paris, Dunod.
- ZAPPOLI R., VERSARI A., ARNELOTI G. et PAGANINI M. (1991). Cartographie de la VCN dans la démence présénile de type Alzheimer, *Revue d'Electro-Encéphalographie et de Neurophysiologie Clinique*, n° 21, pp. 473-483.
- ZAZZO R. (1983). *Où en est la psychologie de l'enfant?*, Bibliothèque médiation, Denoël (Gonthier).

INDEX

A

activité
- cardiaque, 22
- électrocardiographique, 31
amplitude(s), 7, 11, 12, 36
analyse
- de contenu, 238
- en groupes, 222
- factorielle, 180
appariement intermodal, 111
artefacts, 14, 15
auto-corrélation, 10

B

biographies, 77, 141, 142

C

cartographie cérébrale, 41
coefficient de corrélation, 215
cohorte, 144
compères, 238
conditionnement, 118
conductance, 38

construction

- d'algorithmes, 279
- d'heuristiques, 279

E

échantillon(s), 5, 12, 144, 152, 158, 211
échantillonnage, 8, 9, 165, 167
échographie, 88
EEG, 43, 125
effet en retour, 169
électrodermographie, 34
électroencéphalographie, 26
électromyographie, 24
électro-oculogramme, 25
électrophysiologie, 24, 27
émission de positrons (PET), 10
endogènes, 15, 47
enquête, 151
ERP, 48
étalonnage, 11
éthologie, 161
études longitudinales, 144
exogènes, 15

F

facteurs communs, 218
 fidélité, 212
 fixation, 104
 fréquences, 7

G

gain, 14
 grilles d'observation, 80

H

habituation/déshabitude, 89, 92,
 122, 123
 Hawthorne, 259

I

imagerie, 12, 18
 - cérébrale, 125
 - fonctionnelle, 10
 impédance, 31
 IRM, 126
 IRMf, 125
 IRMN, 13

L

latences, 7, 8, 36
 LISREL, 220
 locomoteur, 20

M

magnétoencéphalographie, 26, 127
 méthode
 - longitudinale, 138, 139
 - transversale, 138
 - séquentielle, 139
 modèle, 265
 modéliser, 229
 monitoring, 33
 monographie biographique, 141, 142

mortalité expérimentale, 169

N

N200, 50

O

observation, 77, 78, 151, 156, 161
 - intervenante, 85
 - libre, 158
 onde P300, 49

P

P300, 52
 panel, 144
 perception haptique, 107
 période fœtale, 87
 pneumographe, 21, 22
 potentiel(s), 29
 - cognitifs, 48
 - évoqués, 44
 psychogalvanométrie, 34
 psychophysologie, 3, 14, 27, 28

Q

questionnaire, 77, 154

R

réaction d'orientation, 104
 RED, 36
 régression, 225
 renforcement sonore, 104
 réponse
 - d'orientation, 93
 - électrodermale, 25, 34, 38
 réseaux récurrents, 303
 résonance magnétique, 10
 rythme
 - cardiaque, 33, 88, 89, 102
 - respiratoire, 89

- S**
- saturation(s), 219, 221
 scanner, 12
 signaux exosomatiques, 38
 simulations, 265
 Simuler, 281
 standardisation, 211
 succion, 100
 suivi
 - antérospectif, 145
 - rétrospectif, 145
 système
 - formel, 277
 - haptique, 105
- T**
- technique
 - dromographique, 20
 - électrophysiologique, 28
 TEP, 125
 tests, 82, 174, 208
 tomographie, 12
 transfert intermodal, 108
- V**
- validation, 179, 283
 - externe, 284
 valider, 265
 validité
 - externe, 241
 - interne, 241, 284
 variables
 - dépendantes, 3, 7, 171
 - distales, 172
 - indépendantes, 3, 171
 - proximales, 172
 variation contingente négative, 54
 VCN, 56, 58
 VD (variable dépendante), 4
 VI (variable indépendante), 4

043840 - (I) - (2) - OSB 80° - SNE

Achevé d'imprimer sur les presses de la
 SNEL S.A.
 rue Saint-Vincent 12 - B-4020 Liège
 tél. 32(0)4 344 65 60 - fax 32(0)4 343 77 50
 Mars 1999 - 10967

Dépôt légal : mars 1999

PSYCHO SUP

Jean-Pierre Rossi et coll.

LES MÉTHODES DE RECHERCHE EN PSYCHOLOGIE

L'approche expérimentale en psychologie s'est particulièrement développée durant les cinquante dernières années. Cet essor a été marqué par la différenciation des objets de recherche et par l'élaboration de méthodes spécifiques.

Ainsi, les auteurs décrivent, à partir d'exemples concrets, les méthodes utilisées en psychophysiology, les paradigmes expérimentaux employés en psychologie du développement ou encore les stratégies d'analyse en psychologie différentielle ou en psychologie sociale. Ensuite, l'ouvrage présente les méthodes liées à l'utilisation de systèmes de simulation qui jouent un rôle de plus en plus important dans l'évolution de la recherche.

Conçu notamment pour les étudiants de second cycle en psychologie, cet ouvrage offre une aide à la compréhension des publications scientifiques et à l'élaboration de nouvelles méthodes.



JEAN-PIERRE ROSSI

Professeur de psychologie cognitive à l'université Paris-Sud, il est l'auteur de plusieurs ouvrages et articles scientifiques. Il anime un groupe de recherche sur la « compréhension de textes » au sein d'un laboratoire du CNRS.

Avec la collaboration de :

Benjamin BOUTANQUOI
Bernard CLAVERIE
Marie-Paule DANIEL
Jacques JUHEL
Claire LECONTE-LAMBERT
Roger LECUYER
Jacques PATY
Arlette STRERI
Catherine TOURRETTE



9 782100 038404

ISBN 2 10 003840 0
Code 043840

