



ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

L'évolution psychiatrique xxx (2013) xxx–xxx

**L'ÉVOLUTION
PSYCHIATRIQUE**

www.em-consulte.com

Article original

Analyse critique et épistémologique du neurofeedback comme dispositif psychothérapeutique. Le cas emblématique du trouble déficit de l'attention avec hyperactivité[☆]

*Epistemological and critical analysis of neurofeedback as a
psychotherapeutic system. The emblematic case of attention
deficit/hyperactivity disorder*

Jean-Arthur Micoulaud-Franchi^{a,*,b}, Michel Cermolacce^{b,c},
Jean Vion-Dury^{d,e}, Jean Naudin^{e,f}

^a Psychiatre et neurophysiologiste, chef de clinique assistant (CCA), unité de neurophysiologie, psychophysiologie et neurophénoménologie (UNPN), Solaris, pôle de psychiatrie universitaire, hôpital Sainte-Marguerite, 270, boulevard de Sainte-Marguerite, 13009 Marseille, France

^b Doctorant en neurosciences, UMR CNRS 7291, laboratoire de neurosciences cognitives (LNC), 31 Aix-Marseille université, site S-Charles, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 3, France

^c Psychiatre, praticien hospitalier (PH), Solaris, pôle de psychiatrie universitaire, hôpital Sainte-Marguerite, 270, boulevard de Sainte-Marguerite, 13009 Marseille, France

^d Médecin neurophysiologiste, maître de conférences des universités (MCU), praticien hospitalier (PH), unité de neurophysiologie, psychophysiologie et neurophénoménologie (UNPN), Solaris, pôle de psychiatrie universitaire, hôpital Sainte-Marguerite, 270, boulevard de Sainte-Marguerite, 13009 Marseille, France

^e Chercheur, habilitation à diriger des recherches (HDR), UMR CNRS 7291, laboratoire de neurosciences cognitives (LNC), 31 Aix-Marseille université, site St-Charles, 3, place Victor-Hugo, 13331 Marseille cedex 3, France

^f Psychiatre, professeur des universités (PU), Praticien Hospitalier (PH), Solaris, pôle de psychiatrie universitaire, hôpital Sainte-Marguerite, 270, boulevard de Sainte-Marguerite, 13009 Marseille, France

Reçu le 3 janvier 2012

[☆] Toute référence à cet article doit porter mention : Micoulaud Franchi JA, Cermolacce M, Vion-Dury J, Naudin J. Analyse critique et épistémologique du neurofeedback comme dispositif psychothérapeutique. Le cas emblématique du trouble déficit de l'attention avec hyperactivité. *Evol psychiatr* année; vol (n°): pages (pour la version papier) ou URL [Date de consultation] (pour la version électronique).

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jarthur.micoulaud@gmail.com (J.-A. Micoulaud-Franchi).

0014-3855/\$ – see front matter © 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.evopsy.2013.02.015>

Résumé

Dans l'optique d'asseoir la légitimité du neurofeedback comme thérapeutique et de mieux informer les patients sur cette thérapeutique, les études classiques d'efficacité (études contrôlées randomisées en double insu) sont indispensables mais ne représentent qu'un aspect parmi d'autres. Nous avons donc proposé d'appliquer les critères de Duruz au cas emblématique du neurofeedback pour la prise en charge du trouble déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH). Nous avons, d'une part, rendu compte du modèle du neurofeedback selon les cinq critères scientifiques de pertinence et de preuve. Nous avons, d'autre part, analysé l'épistémologie engagée par le modèle du neurofeedback et une perspective neuro-phénoménologique a été proposée. Enfin, nous soulignons, qu'en France, la création d'une communauté scientifique, rattachée aux sociétés savantes internationales existantes sur le neurofeedback, devient nécessaire.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Trouble déficitaire de l'attention hyperactivité (TDAH) ; Neurofeedback ; Autorégulation ; Thérapie cognitive ; Thérapie comportementale ; Psychothérapie ; Électrophysiologie ; Phénoménologie

Abstract

In order to establish the legitimacy of neurofeedback as a treatment and to better inform patients about this therapeutic, classical efficacy studies (double-blind randomized controlled trials) are essential but are only one aspect among many. We therefore proposed to apply the Duruz's criteria to the emblematic case of neurofeedback for the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). On the one hand, we applied five scientific criteria of relevance and evidence to the neurofeedback. On the other hand, we analysed the epistemology initiated by the model of neurofeedback according to a neurophenomenological perspective. Finally, we note that, in France, the creation of a scientific community, attached to the existing international scholarly societies on neurofeedback, is needed.

© 2013 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD); Neurofeedback; Self-regulation; Cognitive therapy; Behavioural therapy; Psychotherapy; Electrophysiology; Phenomenology

1. Introduction

1.1. Biofeedback et neurofeedback

Les techniques de biofeedback sont en partie basées sur le paradigme du conditionnement opérant, un concept important en psychologie expérimentale. Elles permettent l'apprentissage de la régulation d'une fonction physiologique qui, normalement, n'est ni perçue ni contrôlée consciemment [1]. Un paramètre mesurant cette fonction physiologique est traité par une interface technique afin de fournir au sujet une information continue et en temps réel, le « bio-feedback », le plus souvent sous forme visuelle ou auditive. Les changements réalisés dans la direction désirée sont renforcés positivement. Le sujet contrôle cette activité biologique afin d'obtenir éventuellement un effet thérapeutique sur un processus pathologique.

Un type spécifique de biofeedback, appelé « EEG biofeedback » ou « neurofeedback » utilise comme paramètre l'activité électroencéphalographique (EEG). Il permet la régulation de l'activité cérébrale par le sujet présentant des troubles neurologiques ou psychiatriques afin de réduire l'intensité de symptômes cliniques [2]. Chez l'enfant, le neurofeedback est étudié dans le trouble déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH) depuis environ une trentaine d'années [3].

En pratique, l'enfant souffrant d'un TDAH est assis devant un écran d'ordinateur alors qu'un enregistrement EEG est réalisé avec un nombre restreint d'électrodes. Le signal EEG est traité en temps réel et le feedback d'un paramètre EEG d'intérêt est intégré dans une interface ludique de type jeux vidéo assurant pour les enfants le renforcement positif. L'objectif du neurofeedback est de corriger certaines anomalies de l'EEG corrélées aux symptômes d'inattention et/ou d'impulsivité et d'hyperactivité. Le neurofeedback met en place un dispositif d'interaction à visée thérapeutique. Si l'on admet qu'une technique de psychothérapie puisse tenir sa spécificité du dispositif d'interaction qu'elle utilise comme base de son action, alors cette technique peut être considérée (sous certaines conditions) comme participant à un dispositif de type psychothérapeutique. Le modèle le plus proche en est les thérapies comportementales et cognitives (TCC). Comme les TCC, le neurofeedback se base sur les capacités d'apprentissage personnelles de l'enfant. Ce dernier utilise ses propres stratégies afin de réguler ses symptômes et obtenir un effet thérapeutique. Le couplage à l'EEG doit permettre une guidance plus efficace des capacités d'apprentissage de l'enfant. Une thérapie fondée sur le neurofeedback est constituée en général de 25 à 50 séances de 45 à 60 minutes.

Comme en TCC, elle nécessite donc la participation d'un thérapeute formé à cette technique, qui accompagne l'enfant pendant les séances. Cet accompagnement permet à l'enfant de prendre conscience des stratégies cognitives mises en place pendant les séances et d'apprendre à généraliser ses acquis dans la vie quotidienne, sans le neurofeedback [2]. Cette prise de conscience passe donc nécessairement par l'expression par la parole et l'usage intersubjectif du langage, ce qui en fait une raison supplémentaire pour considérer le neurofeedback comme un dispositif qualifiable de psychothérapeutique [4].

1.2. Une nouvelle thérapie pour le trouble déficit de l'attention avec hyperactivité ?

Les recommandations européennes pour les troubles hyperkinétiques préconisent une prise en charge combinée associant pharmacologie, TCC et guidance parentale [5,6]. Cependant, étant donné le taux relativement élevé de symptômes résiduels, la possibilité de pharmacorésistance, les réticences possibles à l'encontre du traitement pharmacologique et le handicap généré par ce trouble, il paraît intéressant de s'intéresser aux techniques complémentaires à l'arsenal thérapeutique classique. Parmi ces thérapeutiques complémentaires (parfois surprenantes), les acides gras polyinsaturés, le Millepertuis ou *Hypericum perforatum*, le *Ginkgo biloba*, les suppléments en fer, en magnésium ou en zinc, les interventions diététiques (avec élimination des aliments comportant des additifs, des colorants, ou des saveurs artificielles), l'électro-acupuncture, la méditation, les thérapies chiropratiques, la thérapie « anthroposophique », la stimulation magnétique transcrânienne et le neurofeedback ont été envisagés [7]. Le neurofeedback est parmi ces thérapeutiques complémentaires celle dont le niveau de preuve est le plus fort [2,7].

Pourtant le neurofeedback et plus généralement le biofeedback semble très peu connu en France, voire même jouit d'une relative mauvaise réputation. Cottraux citant Yates dans son livre sur *Les thérapies comportementales et cognitives* affirme ainsi que ces techniques représentent « une promesse jusqu'à présent non tenue » dont l'efficacité n'aurait « jamais été démontrée » [8]. En effet, les premières expériences initiales de Miller sur la régulation viscérale et glandulaire n'ont pu être que difficilement reproduites [1] et le biofeedback d'un certain nombre de paramètres physiologiques n'a pas fait la preuve de son efficacité pour le moment [8]. Il en est tout autrement pour le cardiofeedback, permettant la modulation de la variabilité de la fréquence cardiaque, utilisé notamment dans le cadre des TCC pour l'apprentissage de la gestion des émotions [9], et du neurofeedback utilisé pour améliorer notamment les capacités attentionnelles

dans le TDAH, dont l'évaluation de l'efficacité peut être désormais considérée comme bonne [2,10].

Dans l'optique d'asseoir la légitimité du neurofeedback comme thérapeutique, les études d'efficacité classiques (études contrôlées randomisées en double insu) sont indispensables mais ne représentent qu'un aspect parmi d'autres. Suivant Duruz [11], deux perspectives critiques doivent être appliquées au neurofeedback pour qu'il puisse être considéré comme une technique applicable en psychothérapie ayant sa place dans l'arsenal thérapeutique psychiatrique, avec une reconnaissance de cette méthode par la communauté scientifique et politique. Premièrement, le neurofeedback doit rendre compte de son modèle selon des critères scientifiques de pertinence et de preuve. Les études d'efficacité font partie de ces critères. Deuxièmement, l'épistémologie engagée par le modèle du neurofeedback doit être explicitée, afin de mettre en évidence les croyances et les valeurs spécifiques sous-tendant cette thérapeutique, qui ne sont pas nécessairement partagées par d'autres modèles [11].

2. Confrontation du neurofeedback aux critères de pertinence et de preuve scientifique

Duruz propose cinq critères scientifiques de pertinence et de preuve « en fonction desquels toute méthode psychothérapeutique devrait pouvoir être évaluée » [11]. Ils seront appliqués au neurofeedback dans le cas du TDAH de l'enfant.

2.1. Filiation thérapeutique et contexte socioculturel d'émergence

Le neurofeedback doit tout d'abord rendre compte de sa filiation thérapeutique et de son contexte socioculturel d'émergence [11], qui remonte ici à l'avènement de l'électroencéphalographie avec Berger en 1924. Dietsch, en 1932 réalisa les premières analyses de Fourier sur l'EEG, et très vite certains états mentaux furent corrélés à l'intensité des activités physiologiques spontanées en EEG (ou rythmes EEG) définies par une bande fréquentielle et des caractéristiques topologiques. Les travaux de Fessard en 1935 [12], confirmés un an plus tard [13], démontraient alors que les rythmes EEG étaient conditionnables. Les premiers protocoles de neurofeedback par conditionnement opérant chez l'homme allaient alors apparaître en 1941 [14] et l'avènement de la cybernétique et des possibilités de traitement du signal en temps réel permirent le développement de cette technique dans les années 1970–1980 [15,16].

Les protocoles de neurofeedback réalisées par Jasper et Shagass en 1941 consistaient à modifier la réaction d'arrêt (disparition) de l'alpha [14,17]. Les sujets étaient entraînés par un paradigme de conditionnement opérant à faciliter ou à inhiber la réaction d'arrêt. Ils parvenaient ainsi à déclencher une réaction d'arrêt les yeux fermés lors de l'écoute d'un son, ou à générer une activité alpha les yeux ouverts. Ces expériences ont été notamment reproduites par l'équipe de Kamiya [18]. Les protocoles de neurofeedback suivants consistaient à enregistrer les rythmes sensorimoteurs (SMR, entre 12–15 Hz) dans la région centrale et à demander au sujet de les augmenter. Ces travaux proviennent des expériences historiques menées chez l'animal par Wyrwicka, Serman et Clemente, dans les années 1960–1970. Les auteurs ont ainsi démontré la possibilité par conditionnement opérant par neurofeedback, d'une part, de modifier l'activité EEG et plus spécifiquement d'augmenter l'activité SMR [19,20] et, d'autre part, de rendre les animaux moins sensibles à l'exposition d'un agent pro-convulsivant [21]. Quelques années plus tard, Serman et Friar confirmèrent ces premiers résultats chez l'homme en rapportant le cas clinique d'une patiente de 23 ans présentant une épilepsie pharmacorésistante [22]. Un protocole d'EEG biofeedback permit en effet d'apprendre à la patiente à augmenter son activité SMR jusqu'à l'arrêt complet de ses crises d'épilepsie [22].

Les premières applications du neurofeedback chez l'homme ont donc concerné l'épilepsie [23]. Depuis les années 1970, une trentaine d'articles et deux méta-analyses ont confirmé l'intérêt du neurofeedback dans la prise en charge des épilepsies pharmacorésistantes [24,25]. Parallèlement, en 1976, Lubar et Shouse ont réalisé les premières applications psychiatriques du neurofeedback chez des patients présentant un TDAH [3] et une vingtaine d'articles et une méta-analyse ont été réalisés depuis, confirmant l'intérêt du neurofeedback dans la prise en charge de ce trouble [10]. Le neurofeedback a été également appliqué dans d'autres troubles psychiatriques mais le niveau de preuve reste globalement faible en dehors du TDAH [2,7].

Une historiographie plus détaillée du développement du neurofeedback reste à faire puisque des variations existent en fonction des sources. Cependant, il est intéressant de noter que la revue *Journal of Neurotherapy* a débuté une série d'articles (intitulée *Historical Archives*) afin de rendre compte de l'histoire du neurofeedback [17]. L'équivalent serait à réaliser en langue française.

2.2. Insertion sociale dans la communauté scientifique

Le neurofeedback doit pouvoir attester de son insertion sociale dans la communauté scientifique à partir de ses appartenances institutionnelles, ses activités de formation, de recherche, et de publication [11]. Il existe sur ce point une ambiguïté spécifiquement française qu'il s'agit de lever.

Comme aux États-Unis et dans plusieurs pays européens, le neurofeedback a commencé à se développer il y a une trentaine d'années. Pourtant, contrairement à ces pays, actuellement, en France, l'existence du neurofeedback est quasiment ignorée, à l'exception d'une technique distribuée par une société privée. Une rapide requête sur les moteurs de recherche d'Internet oriente directement sur cette technique et la plupart des thérapeutes français se disant pratiquer le « neurofeedback » l'utilisent. Cette technique consiste à faire écouter de la musique au sujet, et à créer des microcoupures sonores en fonction de l'activité EEG. Cette boucle rétro-active permettrait au « cerveau », selon les promoteurs, « de s'adapter et de s'améliorer ». Le sujet n'a rien à faire, aucune activité ou guidance n'est nécessaire. Ce type de neurofeedback « passif » est directement distribué aux patients ou aux familles de patients en dehors du réseau médical ou psychiatrique classique. En effet, aucune compétence neurophysiologique ou psychothérapeutique particulière n'est nécessaire pour utiliser ce type de neurofeedback passif.

D'un point de vue conceptuel, le dispositif mis en place nous paraît donc être plus proche d'une technique passive de neurostimulation couplée à l'EEG, que d'une technique de neurofeedback à proprement parler fondée sur le paradigme du conditionnement opérant. En effet, le neurofeedback classique est plus proche d'une technique de psychothérapie active (type TCC en particulier) puisqu'une stratégie consciente spécifique est demandée au sujet, et que c'est cette activité subjective consciente et non « le cerveau » isolé qui est guidée par le feedback. Par ailleurs, le neurofeedback classique actif demande une compétence neurophysiologique afin d'identifier rigoureusement les paramètres EEG d'intérêt à intégrer dans le dispositif. Il est important de distinguer ces deux types de dispositifs d'autant que la seule publication que nous avons retrouvée dans les bases bibliographiques scientifiques pouvant évoquer le neurofeedback passif n'utilise en fait que le matériel EEG de cette technique en l'adaptant pour un protocole de neurofeedback classique actif [26].

Cette situation est étonnante car le neurofeedback avait été développé dans la communauté des chercheurs neurophysiologistes Français dès les années 1970 et 1980. En particulier par Antoine Rémond (1917–1998), neurologue et électrophysiologiste, chercheur au CNRS où il avait créé

le Laboratoire d'Électroencéphalographie et de Neurophysiologie Appliquée (LENA) où Francisco Varela allait être directeur de recherche quelques années plus tard. Rémond s'est formé dans le laboratoire de Warren McCulloch (1898–1969) et a participé aux conférences Macy sur la cybernétique présidée par ce dernier [15,27]. Il a été président de la Fédération Internationale d'électroencéphalographie et de Neurophysiologie Clinique (1965–1973). Concernant le biofeedback il fonda la première société scientifique française intitulée l'Association pour l'Enseignement du Biofeedback Thérapeutique (BFKT) [15,28]. En 1997 il écrivit, avec sa femme, psychiatre, un des rares livres universitaires sur le biofeedback en France [29]. Comment expliquer alors le fait que ce démarrage se soit interrompu du moins dans le domaine psychiatrique ? La diffusion non contrôlée et non validée, dans les années 1980 d'appareils censés apporter des résultats spectaculaires dans le développement de facultés cérébrales (ou paranormales), et le décès, en 1998, de Antoine Rémond, semble avoir eu pour conséquence de discréditer le biofeedback et d'arrêter sa diffusion durant plusieurs années [30].

Contrairement à cette situation assez typiquement française, à l'étranger le développement du neurofeedback, bien que parfois non exempt de stratégies commerciales, s'est et continue à s'insérer dans une communauté scientifique et médicale mieux établie. Tout d'abord, le neurofeedback présente des appartenances institutionnelles diversifiées. Ensuite, le neurofeedback se développe suivant le paradigme scientifique et médical, avec une activité de recherche importante [10]. Aussi, des ouvrages de référence ont-ils été publiés en anglais par des éditeurs académiques [31–33]. Enfin, des sociétés savantes se sont développées dans les années 1970 permettant la promotion de la recherche, la diffusion et la formation aux applications thérapeutiques du neurofeedback. L'*Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback* (AAPB) est la première organisation à but non lucratif créée en 1969 afin de développer les techniques de biofeedback au sens large. Au sein de l'AAPB, le biofeedback concernant les activités cérébrales (neurofeedback) a pris une telle importance dans le début des années 1990, que la *Society for the Study of Neuronal Regulation* (SSNR) s'est détachée de l'AAPB. La SSNR est depuis les années 2000 l'*International Society for Neurofeedback and Research* (ISNR). En Europe, la *Biofeedback Foundation of Europe* (BFE) a été créée en 1997.

Ces sociétés savantes organisent au sein de l'*Institute for Credentialing Excellence* (ICE) des formations appelées *Biofeedback Certification International Alliance* (BCIA anciennement *Institute of America*) reconnues par la Mayo Clinic et un certain nombre d'états américains. La certification BCIA, comme d'ailleurs les formations aux psychothérapies en France, associe des cours (sur la neurophysiologie fondamentale et clinique, le neurofeedback, et la conduite d'une thérapie) à un contrôle des pratiques (avec nécessité de faire la preuve du suivi d'un certain nombre de patients et présentation de cas cliniques). Cette certification est indispensable afin d'obtenir les compétences psychothérapeutiques nécessaires pour accompagner un sujet pendant une thérapie utilisant le neurofeedback. Une fois le BCIA obtenu, une formation continue tous les quatre ans est obligatoire.

2.3. Théorie cohérente où sont définis des critères de santé et de pathologie psychique

Le neurofeedback doit pouvoir être intégré dans une théorie cohérente de « la personnalité » où sont définis des critères de santé et de pathologie psychiques [11]. L'efficacité des thérapies psychiatriques est ainsi traditionnellement évaluée sur des critères cliniques, ou plus généralement « psychiques » [11]. Le neurofeedback consiste à manipuler plutôt des critères neurophysiologiques. Avant de réaliser un protocole de neurofeedback pour un trouble psychiatrique,

il faut identifier des *patterns* (configurations) neurophysiologiques supposés sous-tendre certains symptômes. Il faut ensuite identifier un ou plusieurs paramètres facilement enregistrables représentant plus ou moins directement ces *patterns*, comme des anomalies de rythme EEG [34] ou de potentiels évoqués (*Event Related Potential* [ERP]) [35]. La thérapeutique consistera à amener le sujet à modifier ces paramètres et ainsi à normaliser secondairement les *patterns* neurophysiologiques dysfonctionnels pour obtenir un effet thérapeutique [36]. Ainsi, si le neurofeedback concerne au départ la neurophysiologie cérébrale, il permet de mettre en place une boucle rétro-active d'ordre psychothérapeutique sur les paramètres neurophysiologiques d'intérêt, et ainsi de ne pas mettre de côté l'activité mentale propre du sujet.

Par exemple, dans le TDAH deux *patterns* neurophysiologiques ont été ciblés par les stratégies basées sur le neurofeedback. Le premier *pattern* est une activité excitatrice/tonique thalamique moins importante pouvant entraîner des difficultés de maintien des ressources attentionnelles globales liées à l'éveil [34]. Le deuxième *pattern* est une dysfonction des réseaux fronto-striataux pouvant entraîner des capacités d'allocation de ressources attentionnelles altérées. Les paramètres neurophysiologiques d'intérêt, sont, pour le premier *pattern*, les rythmes EEG présentant une diminution de l'activité alpha et bêta et une augmentation de l'activité lente thêta, en particulier dans les régions centrale et frontale [34], et pour le deuxième *pattern*, une diminution de l'onde de variation contingente négative (*Contingent Negative Variation* [CNV]) qui est un potentiel évoqué lent faisant partie des *Slow Cortical Potential* (SCP) [35]. Deux types de protocoles ont donc été développés pour le TDAH : le neurofeedback des rythmes EEG et le neurofeedback des SCP [10]. L'objectif est soit l'augmentation de l'intensité du rythme bêta, soit la diminution du rythme thêta, soit la diminution du rapport thêta/bêta, soit l'augmentation de la négativité des SCP. L'ensemble de cette démarche est donc sous-tendu par une théorie cohérente du modèle neurophysiologique du TDAH et permet de mettre en place une stratégie en améliorant les symptômes [2]. L'objectif n'est pas d'obtenir une théorie physiologique totalisante du trouble mental, mais d'obtenir des cibles thérapeutiques efficaces.

2.4. Efficacité de la méthode

La première étude date de 1976 [3] et plus d'une vingtaine de publications ont été réalisées depuis [10]. Le protocole de neurofeedback des SCP est plus récent et date de 2004 [37]. La méta-analyse de Arns et al. [10], et les études récentes de Gevensleben et al. [38,39], jugées très fiables sur le plan méthodologique [2] et confirmées récemment par l'étude de Steiner et al. [40], permettent d'affirmer que le neurofeedback est la technique médicale complémentaire la plus efficace pour le TDAH [7] avec un maintien de son efficacité dans le temps [38].

Cependant, la taille d'effet est modérée et plus faible que pour le traitement pharmacologique. Le neurofeedback n'est donc pas une thérapeutique à envisager isolément dans la prise en charge du TDAH [2]. Il n'existe pas à l'heure actuelle de preuve qu'un traitement pharmacologique associé au neurofeedback soit plus efficace qu'associé à une TCC. La place exacte du neurofeedback dans les stratégies thérapeutiques reste donc à déterminer [6]. Le neurofeedback a cependant sa place dans les stratégies où l'enfant apprend par lui-même à réguler son comportement [41]. Il faut noter, de plus, l'existence d'un renforcement positif immédiat par le feedback ludique. Ce renforcement pourrait permettre d'augmenter le sentiment d'auto-efficacité et de possibilités de changement indispensables dans la réussite d'une prise en charge psychiatrique [42].

2.5. Facteurs curatifs du processus thérapeutique

Enfin, le dernier critère scientifique de Duruz consiste à dégager des facteurs curatifs du processus thérapeutique. Ces facteurs doivent permettre de faire un lien entre la théorie étiopathogénique du trouble psychique, les techniques utilisées et le changement qu'elle vise [11]. Il s'agit d'éliminer le risque d'effet placebo, particulièrement présent dans le cas du neurofeedback du fait du fort pouvoir suggestif des machines et de l'enregistrement électrique [43–45]. Il s'agit aussi de s'assurer que le neurofeedback permet spécifiquement d'agir sur le *pattern* neurophysiologique d'intérêt. Des études contrôlées randomisées et l'objectivation de modifications des paramètres neurophysiologiques utilisés dans le neurofeedback sont ainsi les deux points à analyser.

Les deux études de Gevensleben et al. [38,39] étaient contrôlées randomisées par une tâche attentionnelle informatisée sans neurofeedback mais présentant un attrait similaire pour les enfants. L'absence d'étude en double insu (puisque le groupe témoin n'avait pas d'enregistrement EEG) constituait la limite de ces études. Il reste donc nécessaire de réaliser des études dans lesquelles les deux groupes présentent un enregistrement électrophysiologique, mais dont le groupe témoin présente un neurofeedback fictif n'ayant pas d'effet sur le TDAH [2]. Récemment, Lansbergen et al. ont publié une étude préliminaire (8 versus 6 enfants) en double insu concernant l'efficacité du neurofeedback dans le TDAH [46]. Cette étude démontre la faisabilité d'un groupe neurofeedback placebo dans les études à venir. Elle ne met pas en évidence de différence d'efficacité entre les deux groupes. Cependant, la puissance statistique de cette étude est faible. L'information des parents, les efforts demandés aux enfants, la dose de psychostimulant n'étaient pas contrôlés, contrairement aux études de Gevensleben [38,39]. De plus, l'accompagnement par un psychothérapeute sur les stratégies cognitives mises en œuvre, indispensable au neurofeedback, n'était pas réalisé [46]. Ce point nous paraît exclure cette étude du cadre de l'évaluation d'efficacité des psychothérapies par l'intermédiaire du neurofeedback.

Le suivi électrophysiologique des enfants TDAH s'améliorant sous neurofeedback est en faveur d'un effet spécifique sur le paramètre EEG d'intérêt [2]. Ainsi dans les protocoles sur les rythmes EEG, il existe une diminution supérieure de l'intensité du rythme thêta dans le groupe neurofeedback par rapport au groupe « tâche attentionnelle » contrôle. Cette diminution corrèle avec l'amélioration clinique [47]. Dans les protocoles avec les SCP il existe une augmentation supérieure de la négativité de la CNV dans le groupe neurofeedback que dans la tâche attentionnelle contrôle, et cette augmentation corrèle avec l'amélioration clinique [48].

Ces résultats électrophysiologiques suggèrent que le neurofeedback pourrait s'intégrer dans une psychothérapie ciblant spécifiquement des *patterns* neurophysiologiques dysfonctionnels en jeu dans certains troubles mentaux [36]. Bien qu'il faille se garder d'explications possiblement trop simplistes ou trop totalisantes dans des pathologies complexes comme le sont les pathologies psychiatriques [49], il pourrait être possible d'adapter les stratégies de neurofeedback en fonction des *patterns* neurophysiologiques les plus dysfonctionnels chez un patient donné [2].

3. Épistémologie engagée par le neurofeedback

Outre les critères scientifiques de pertinence et de preuve d'efficacité que nous venons d'analyser, Duruz propose également qu'un travail d'explicitation épistémologique soit nécessaire afin de valider tout dispositif psychothérapeutique. « On pourrait souhaiter que chaque orientation et ses psychothérapeutes rédigent une sorte de « charte épistémologique », mettant en évidence les présupposés fondamentaux concernant l'homme tel qu'ils le rencontrent dans le traitement

psychothérapeutique, la société telle qu'ils la convoquent dans leur cabinet, et enfin la science, au nom de laquelle ils revendiquent ne pas être des charlatans » [11]. Cette analyse épistémologique ne doit pas consister à classer les psychothérapies suivant des approches qui seraient plus ou moins riches en présupposés, puisque toutes partent de présupposés. Mais, elle consiste à réaliser un travail de clarification quant aux représentations mises en jeux dans ces psychothérapies, afin que les patients puissent, en fonction de leurs représentations personnelles, choisir celles qui leurs correspondraient le mieux.

Historiquement, le neurofeedback semble réintroduire en électrophysiologie la conception initiale de Hans Berger sur l'électroencéphalographie qu'il désirait relier à l'expérience subjective. Cette conception serait issue d'une expérience primordiale et intense de Berger lors de son service militaire [50]. Berger fit une chute de cheval peu grave, mais sa sœur qui se situait à distance eut un pressentiment et demanda à son père d'envoyer un télégramme. Cette expérience aurait eu une influence très forte sur Berger qui écrivait en 1940 « c'était un cas de télépathie spontanée provoqué par le sentiment de mort imminente, au moment où je contemplais la mort, j'ai transmis à ma sœur une pensée, qui était devenue une sorte de récepteur du fait du lien très fort qui nous unissait » [51]. Cette expérience de transmission psychique aurait obsédé Berger, qui allait rechercher une trace de cette « énergie psychique », qu'il pensa donc avoir trouvé dans l'EEG en 1924 [50]. Cette conception de l'EEG peut paraître proche d'une parapsychologie problématique [52], mais elle permet de mettre en évidence un thème important des débuts de l'EEG centré autour de la recherche de corrélations entre les activités objectives du cerveau et des expériences psychiques subjectives [53]. Ce lien oublié par la suite en raison du développement des sciences cognitives (qui recherchent plutôt un lien entre les activités cérébrales et les activités cognitives) paraît cependant réintroduit par le développement actuel du neurofeedback [53,54]. Le neurofeedback a donc pu être vulgarisé et expliqué au grand public comme un moyen de réguler son « énergie psychique » [55]. Mais, pour ne pas rester dans le débat éventuellement polémique de cette interprétation du neurofeedback, il nous semble que la phénoménologie et plus précisément la neurophénoménologie pourrait être une épistémologie adaptée pour explorer les présupposés fondamentaux en jeux dans le neurofeedback [56–58].

Premièrement, le neurofeedback met le sujet en relation étroite, voire intime, avec sa propre activité cérébrale. C'est pour cette raison que les techniques de neurofeedback ont également été appelées « psychoneurothérapie » [59] ou « neuroimagerie thérapie » [60] ou « psychothérapie cérébrale » [58,61]. Ce rapprochement fait étonnamment écho à Merleau-Ponty qui soulignait que « la plus importante acquisition de la phénoménologie est sans doute d'avoir joint l'extrême subjectivisme et l'extrême objectivisme dans sa notion du monde ou de la rationalité » [56]. Ainsi, le dispositif de neurofeedback concrétiserait à un niveau technique l'exigence théorique de la double contrainte propre à la neurophénoménologie, qui consiste à enrichir et guider réciproquement les expériences subjectives en première personne et les données objectives neurophysiologiques en troisième personne [57,58,62]. Le neurofeedback implique d'un point de vue médical d'être extrêmement attentif à la fois aux *patterns* neurophysiologiques ciblés dans les thérapeutiques, et à l'expérience et aux stratégies mises en place par le sujet lors des séances. Des techniques d'entretien phénoménologique spécifiques comme l'entretien d'explicitation pourraient être un bon outil pour le psychothérapeute du neurofeedback permettant d'accompagner le patient à prendre conscience de ses expériences et stratégies permises par le neurofeedback [57,58,63,64].

Deuxièmement, le neurofeedback tend à créer pour le patient et le thérapeute un dispositif d'ouverture à un « monde » liant de manière frappante les activités mentales et cérébrales du sujet pratiquant le neurofeedback. La question de savoir si le changement de l'activité cérébrale est induit par l'activité mentale ou si c'est l'activation cérébrale qui change l'activité mentale reste

liée à une vision objectivante de la science cherchant à expliquer les phénomènes par des relations causales simples entre des objets postulés a priori (le « cerveau » et le « mental »). Or, « la science élargie au sens de la neurophénoménologie, c'est une science de l'articulation entre le subjectif et l'objectif via les règles communes de la coordination intersubjective » [65]. La phénoménologie permet donc de passer d'une science des objets à une science des relations, comme l'a fait d'une certaine manière la mécanique quantique [54]. Le point particulier du neurofeedback est que « la coordination intersubjective » trouve par son dispositif spécifique un étayage d'ordre strictement technique. Le neurofeedback permet d'envisager l'activité cérébrale et mentale du sujet comme les deux faces d'un même phénomène qui changent ensemble par l'entremise du neurofeedback. Les boucles rétroactives permises par le neurofeedback *enactent*, suivant la perspective Varelienne des neurosciences [62], un monde d'expérience relié dans le cas particulier du neurofeedback au fonctionnement cérébral. Cette *enaction* permet de « façonner un monde nouveau », soit dans le cas du neurofeedback : des dynamiques cérébrales nouvelles et thérapeutiques sur le long terme du fait de la neuroplasticité [66,67].

Comme dans les TCC ou la psychanalyse, le neurofeedback questionne le statut de la représentation dans l'action psychothérapique [4]. Mais, pour paraphraser Varela et al., le patient n'est pas « parachuté » dans une représentation cérébrale « prédonnée » de ce qui lui arrive [62], comme pourrait l'être la description neurologique extérieure d'un trouble mental expliqué au patient. Il n'est pas non plus tributaire des représentations d'une « psychologie du sens commun » qui pourrait rester présente dans le cas des TCC. Le neurofeedback ne met pas de côté toutes les représentations a priori sur les vécus du trouble psychique qui sont évidemment liées à l'histoire et au contexte du sujet. Cependant alors que la TCC créerait un dispositif de modifications du trouble « à partir » des représentations cognitives et émotionnelles du sujet, le neurofeedback créerait d'abord un dispositif de modifications des vécus détachés de ces représentations. Nous proposons d'appeler ce dispositif : « neuro-expérientiel ». Il permettrait d'introduire une nouvelle façon de se rapporter à soi-même, certes tributaire de la technique d'enregistrement et de traitement des données neurophysiologiques, mais d'abord centrée sur « le cerveau » et les dynamiques cérébrales, tout en étant profondément centrée sur « l'expérience que l'on fait de ce cerveau » [68]. Puisque traditionnellement l'activité du cerveau demeure inaccessible à toute perception [69], la spécificité de ce dispositif en psychothérapie tient à ce que s'il ne s'enracine pas directement dans l'expérience quotidienne. Ce dispositif postule cependant qu'il puisse se passer quelque chose dans le cerveau lorsqu'il se passe quelque chose dans « la tête », et implique un rapport entre un phénomène : la pensée et, du point de vue même de l'expérience que l'on peut en faire, une abstraction scientifique : le cerveau et son activité spécifique [70]. Ce rapport permet au sujet d'apprendre à percevoir dans sa « tête » l'activité neuronale de son cerveau [70].

Ce dispositif fait donc étonnamment penser à un appareil, imaginé par Herbert Feigl dans un article de 1958 : « *The "Mental" and the "Physical"* » et appelé l'autocérébroscopie [71,72]. L'autocérébroscopie était sensé permettre à un sujet d'observer sa propre activité cérébrale en temps réel et ainsi permettre à Feigl d'explorer théoriquement, par l'intermédiaire de cette machine imaginaire, la relation existant entre états cérébraux et états mentaux accessibles par l'introspection. Est ainsi évoquée l'idée qu'un enfant en relation avec un autocérébroscopie « apprendrait immédiatement à parler de ses propres états mentaux dans le langage de la neurophysiologie » [72]. Feigl envisage donc premièrement que les états cérébraux « objectifs » et les états mentaux « subjectifs » représentent une même chose sous deux aspects différents [71] et deuxièmement que l'autocérébroscopie est un instrument d'introspection formidable [72]. Notre analyse neurophénoménologique du neurofeedback pourrait paraître donc proche des propositions de Feigl. Pourtant ces propositions présentent un certain nombre de limites. Nous en avons évoqué deux

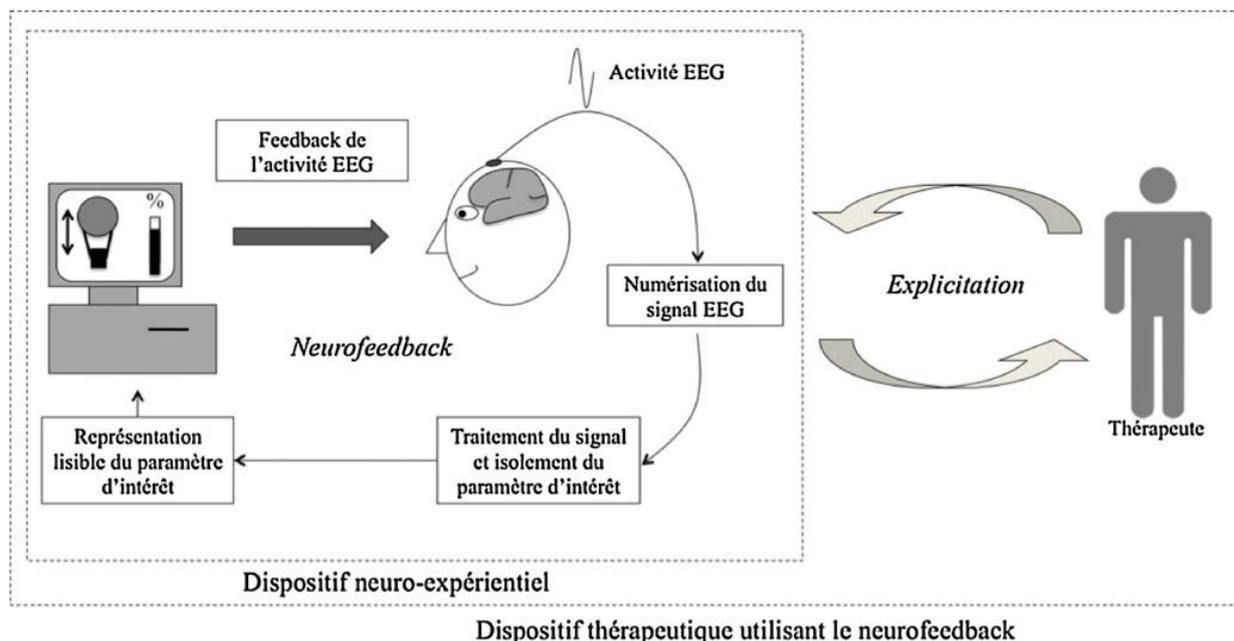


Fig. 1. Modèle pour une épistémologie du neurofeedback [2].

dans un article récent [58] et Bernard Andrieu en a évoqué trois autres [71]. Premièrement, le sujet observant son état cérébral observe également son activité cérébrale correspondant à l'état mental d'observation de son état cérébral. Il apparaît donc difficile pour un sujet d'isoler dans l'ensemble de son activité cérébrale celle correspondant à la tâche spécifique en cours, et celle correspondant à la tâche d'observer son état cérébral [58]. Ce point implique donc la deuxième limite : pour qu'un autocérébroscopie fonctionne, il faut isoler des paramètres neurophysiologiques d'intérêt [58]. Marvin Minsky a donc proposé de rajouter à l'autocérébroscopie un « personnalisateur sémantique », qui permette de traduire les données neurophysiologiques enregistrées dans une forme adaptée à nos propres représentations mentales [72]. Ces limitations rendent le dispositif de neurofeedback dépendant d'un certain nombre de présupposés quant aux traitements des données neurophysiologiques, à l'isolement du ou des paramètres d'intérêt et à leurs représentations pour le sujet (Fig. 1). Par ailleurs, Andrieu a évoqué trois autres limitations possibles que nous repreneons succinctement : « la pensée est déterminée en aveugle par une action du cerveau », « la pensée ne saisit l'état de son cerveau qu'après coup », et « la pensée croit en l'autonomie mentale de ses états alors que la durée d'un de ses états est une rémanence mentale d'un état neurobiologique disparu » [71]. Le dispositif « neuro-expérientiel » que nous avons évoqué n'est donc pas si transparent et si immédiat qu'il pourrait le paraître. L'autocérébroscopie en tant qu'outil d'introspection reste pour le moment peu propice à l'ouverture (ou à l'*enaction*, en termes Vareliens) transparente d'un monde « cérébral » du fait de l'écart inhérent au dispositif entre l'expérience en première personne et l'expérience en troisième personne.

Pour autant, si le dispositif en tant que simple instrument d'introspection semble finalement limité, ce même instrument en temps qu'outil thérapeutique nous paraît pouvoir offrir des possibilités de changement très intéressantes. Le neurofeedback contrairement à l'autocérébroscopie s'inscrit en effet dans un dispositif thérapeutique plus large impliquant un psychothérapeute. Le langage n'est en effet pas mis de côté mais arrive dans un deuxième temps, afin d'explicitier les modifications permises par le dispositif et les stratégies cognitives mises en place et donc afin de les amplifier par l'attention que le sujet porterait sur son expérience dans le neurofeedback [70] (Fig. 1). Ainsi, la psychothérapie s'inscrivant dans un dispositif de type neurofeedback inverse-

rait le rapport au langage. Alors que la TCC, qui n'utiliserait pas les principes du biofeedback, part du langage (dans la logique de son fondement qui est la philosophie analytique [54]) et des représentations cognitives et émotionnelles afin que le sujet puisse modifier activement son vécu, le neurofeedback permet de partir d'un dispositif expérientiel de modification des vécus (dans la logique de la tradition phénoménologique), qu'il s'agira ensuite d'expliciter par le langage [57,64]. Ces deux techniques psychothérapeutiques pourraient s'avérer complémentaires, comme c'est le cas pour le cardiofeedback qui est intégré dans les TCC de la troisième vague [9]. Dans les deux cas, le sentiment d'auto-efficacité est un point central de la thérapeutique [42]. Le neurofeedback a l'avantage de créer ce sentiment de manière très rapide (souvent dès la première séance) et en temps réel par le renforcement positif permis par la boucle rétroactive. La TCC a l'avantage de travailler ce sentiment sur une plus longue durée par l'objectivation des signes des modifications cognitives et comportementales obtenues par le thérapeute et le patient dans la vie quotidienne [8].

4. Conclusion

Les critères scientifiques et épistémologiques de Duruz permettent ainsi d'affirmer que le neurofeedback peut s'intégrer dans des prises en charge thérapeutiques légitimes dans le cas du TDAH [11]. Cela n'implique pas que le neurofeedback soit une thérapie envisageable pour tous les troubles mentaux. Cependant, les avancées concernant la découverte des *patterns* neurophysiologiques dysfonctionnels en jeux dans les troubles psychiatriques, ainsi que les évolutions technologiques concernant le traitement des données en temps réel, ouvrent des perspectives intéressantes pour le neurofeedback et son intrication dans les psychothérapies modernes [36,58]. Indépendamment de la réalité neurologique ou non des troubles psychiatriques, le neurofeedback met en place un dispositif vivant d'interaction que le sujet peut s'approprier et où, actif, il essaye de nouvelles expériences pouvant, accompagné par un thérapeute formé, avoir un effet thérapeutique [70]. Le neurofeedback est fondé sur une conception expérientielle du cerveau qui fait écho à la façon dont le cerveau est de plus en plus représenté comme le point central des stratégies de soins et plus généralement de santé, que le patient essaye de se réapproprier afin d'obtenir une bonne santé subjective [68]. Il s'agit donc d'une thérapeutique qui pourrait être largement acceptée, voire demandée par les patients.

Il reste cependant nécessaire, en France tout particulièrement, de développer une communauté de thérapeutes utilisant le neurofeedback sur le modèle des sociétés savantes américaines ou européennes. Cette communauté veillera à pratiquer et communiquer suivant les critères de l'*Evidence Based Medicine* et à développer une formation neurophysiologique et clinique rigoureuse et indépendante. Il s'agira alors de relancer ce que Rémond avait initié [28], lui qui soulignait en 1997, un an avant sa mort, dans un court article dans la revue *Neurophysiologie Clinique* que : « Ce rappel général plaide pour un développement du BFK en France. Les laboratoires de recherche y trouveront un vaste domaine à cultiver. (. . .) Ce rappel souhaitait aussi souligner l'intérêt et les avantages que pourrait apporter le BFK aux jeunes médecins, aux spécialistes de nombreuses disciplines, et en particulier, aux jeunes spécialistes de neurophysiologie clinique et à leurs techniciens » [16].

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements

Dr Clélia Quiles pour la comparaison avec la TCC et la relecture détaillée du manuscrit. Dr Michel Bitbol pour la partie épistémologique.

Références

- [1] Miller NE. Learning of visceral and glandular responses. *Science* 1969;163:434–45.
- [2] Micoulaud-Franchi JA, Bat-Pitault F, Cermolacce M, Vion-Dury J. Neurofeedback dans le trouble déficit de l'attention avec hyperactivité: de l'efficacité à la spécificité de l'effet neurophysiologique. *Ann Med Psychol* 2011;169:200–8.
- [3] Lubar JF, Shouse MN. EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): a preliminary report. *Biofeedback Self Regul* 1976;1:293–306.
- [4] Naudin J, Azorin JM. Quelques problèmes fondamentaux posés par la psychothérapie et son apprentissage: un point de vue phénoménologique. *Act Med Int Psychiatr* 1998;15:3854–63.
- [5] Goldman LS, Genel M, Bezman RJ, Slanetz PJ. Diagnosis and treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder in children and adolescents. Council on Scientific Affairs, American Medical Association. *JAMA* 1998;279:1100–7.
- [6] Taylor E, Dopfner M, Sergeant J, Asherson P, Banaschewski T, Buitelaar J, et al. European clinical guidelines for hyperkinetic disorder – first upgrade. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2004;13(Suppl. 1):I7–30.
- [7] Skokauskas N, McNicholas F, Masaud T, Frodl T. Complementary medicine for children and young people who have attention deficit hyperactivity disorder. *Curr Opin Psychiatry* 2011;24:291–300.
- [8] Cottraux J. Les thérapies comportementales et cognitives. Paris: Masson; 2004.
- [9] Servant D, Logier R, Mouster Y, Goudemand M. Heart rate variability. Applications in psychiatry. *Encephale* 2009;35:423–8.
- [10] Arns M, de Ridder S, Strehl U, Breteler M, Coenen A. Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clin EEG Neurosci* 2009;40:180–9.
- [11] Duruz N. Faut-il en finir avec la pluralité des orientations en psychothérapie? *Psychotherapie* 2006;26:69–77.
- [12] Durup G, Fessard A. L'électroencéphalogramme de l'homme. Observations psycho-physiologiques relatives à l'action des stimuli visuels et auditifs. *Ann Psychol* 1935;36:1–32.
- [13] Loomis A, Harvey E, Hobart G. Electrical potentials of the human brain. *J Exp Psychol* 1936;19:249–79.
- [14] Jasper H, Shagass C. Conditionning of the occipital alpha rythm in man. *J Exp Psychol* 1941;28:373–88.
- [15] Renault B, Naquet R. Antoine Rémond, 15 janvier 1917 – 5 juillet 1998. *Neurophysiol Clin* 1999;29:375–8.
- [16] Rémond A. Du feedback au neurobiofeedback en neurophysiologie clinique. *Neurophysiol Clin* 1997;27:168.
- [17] Arns M. Historical archives: the beginning. ... *J Neurother* 2010;14:291–2.
- [18] Kamiya J. Biofeedback training in voluntary control of EEG alpha rhythms. *Calif Med* 1971;115:44.
- [19] Wyrwicka W, Sterman MB, Clemente CD. Conditioning of induced electroencephalographic sleep patterns in the cat. *Science* 1962;137:616–8.
- [20] Wyrwicka W, Sterman MB. Instrumental conditioning of sensorimotor cortex EEG spindles in the waking cat. *Physiol Behav* 1968;3:703–7.
- [21] Sterman M, LoPresti R, Fairchild M. Electroencephalographic and behavioral studies of monomethyl hydrazine toxicity in the cat. *Aerospace Med Res Lab* 1969;AMRL-TR-69-3:1–8.
- [22] Sterman MB, Friar L. Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feedback training. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1972;33:89–95.
- [23] Sterman MB, Macdonald LR, Stone RK. Biofeedback training of the sensorimotor electroencephalogram rhythm in man: effects on epilepsy. *Epilepsia* 1974;15:395–416.
- [24] Sterman MB. Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clin Electroencephalogr* 2000;31:45–55.
- [25] Tan G, Thornby J, Hammond DC, Strehl U, Canady B, Arnemann K, et al. Meta-analysis of EEG biofeedback in treating epilepsy. *Clin EEG Neurosci* 2009;40:173–9.
- [26] Ali Nazari M, Querne L, De Broca A, Berquin P. Effectiveness of EEG biofeedback as compared with methylphenidate in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder: a cinical out-come study. *Neurosci Med* 2011;2:78–86.
- [27] Cherici C, Barbara J. Antoine Rémond, de l'origine aux nappes spatio-temporelles. *Rev Hist CNRS* 2007:19.

- [28] Stroebel E, Rémond A. The French connection – EEG, peripheral biofeedback and CBT. *Neuroconnect News* 2008;10:17–20. Available from: <http://www.isnr.org/uploads/NeuroConnections/2008/NCOct08.pdf>
- [29] Rémond A, Rémond A. *Biofeedback : principes et applications*. Paris: Masson; 1997.
- [30] Drouet J. *Principes du biofeedback*. Mise à jour le 1 janvier 2013. Available from: <http://www.biofeedback.fr/principes.html> [consulté le 23 février 2013].
- [31] Budzynski TH, Budzynski HK, Evans JR, Abarbanel A. *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*. London: Elsevier; 2009.
- [32] Evans JR. *Handbook of neurofeedback: dynamics and clinical applications*. New York: Haworth Medical Press; 2007.
- [33] Coben R, Evans JR. *Neurofeedback and neuromodulation techniques and applications*. London: Elsevier; 2011.
- [34] Barry RJ, Clarke AR, Johnstone SJ. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clin Neurophysiol* 2003;114:171–83.
- [35] Barry RJ, Johnstone SJ, Clarke AR. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials. *Clin Neurophysiol* 2003;114:184–98.
- [36] Schneider F, Backes V, Mathiak K. Brain imaging: on the way toward a therapeutic discipline. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 2009;259(Suppl. 2):S143–7.
- [37] Heinrich H, Gevensleben H, Strehl U, Annotation.: neurofeedback – train your brain to train behaviour. *J Child Psychol Psychiatry* 2007;48:3–16.
- [38] Gevensleben H, Holl B, Albrecht B, Schlamp D, Kratz O, Studer P, et al. Neurofeedback training in children with ADHD: 6-month follow-up of a randomised controlled trial. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2010;19:715–24.
- [39] Gevensleben H, Holl B, Albrecht B, Vogel C, Schlamp D, Kratz O, et al. Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *J Child Psychol Psychiatry* 2009;50:780–9.
- [40] Steiner NJ, Sheldrick RC, Gotthelf D, Perrin EC. Computer-based attention training in the schools for children with attention deficit/hyperactivity disorder: a preliminary trial. *Clin Pediatr (Phila)* 2011;50:615–22.
- [41] Toplak ME, Connors L, Shuster J, Knezevic B, Parks S. Review of cognitive, cognitive-behavioral, and neural-based interventions for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Clin Psychol Rev* 2008;28:801–23.
- [42] Bandura A. *Auto-efficacité : le sentiment d'efficacité personnelle*. Paris: De Boeck; 2007.
- [43] Stroebel CF, Glueck BC. Biofeedback treatment in medicine and psychiatry: an ultimate placebo? *Semin Psychiatry* 1973;5:379–93.
- [44] Steinberg H. Electrotherapeutic disputes: the “Frankfurt Council” of 1891. *Brain* 2011;134:1229–43.
- [45] Schwitzgebel RK, Traugott M. Initial note on the placebo effect of machines. *Behav Sci* 1968;13:267–73.
- [46] Lansbergen MM, van Dongen-Boomsma M, Buitelaar JK, Slaats-Willemsse D. ADHD and EEG-neurofeedback: a double-blind randomized placebo-controlled feasibility study. *J Neural Transm* 2011;118:275–84.
- [47] Gevensleben H, Holl B, Albrecht B, Schlamp D, Kratz O, Studer P, et al. Distinct EEG effects related to neurofeedback training in children with ADHD: a randomized controlled trial. *Int J Psychophysiol* 2009;74:149–57.
- [48] Wangler S, Gevensleben H, Albrecht B, Studer P, Rothenberger A, Moll GH, et al. Neurofeedback in children with ADHD: Specific event-related potential findings of a randomized controlled trial. *Clin Neurophysiol* 2011;122:942–50.
- [49] Peled A. From plasticity to complexity: a new diagnostic method for psychiatry. *Med Hypotheses* 2004;63:110–4.
- [50] Niedermeyer E, Lopes da Silva FH. *Electroencephalography, basic principles, clinical applications, and related fields*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg; 1982.
- [51] Berger H. *Psyche*. Jena: Gustave Fischer; 1940.
- [52] Bender H. Hans Berger and an energetic theory of telepathy. *Z Parapsychol Grenzgeb Psychol* 1963;6:182–91.
- [53] Vion-Dury J. Remarques épistémologiques sur l'exploration cérébrale : à propos de l'IRM et l'EEG. *Evol Psychiatr* 2010;75:621–32.
- [54] Vion-Dury J. Entre mécanisation et incarnation. *Réflexions sur les neurosciences cognitives fondamentales et clinique*. *Rev Neuropsychol* 2007;17:293–353.
- [55] Robbins J. *A symphony in the brain*. New York: Grove Press; 2000.
- [56] Merleau-Ponty M. *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard; 1945.
- [57] Depraz N, Varela F, Vermersch P. *À l'épreuve de l'expérience : pour une pratique phénoménologique*. Paris: Zeta Books; 2011.
- [58] Micoulaud-Franchi JA, Fakra E, Cermolacce M, Vion-Dury J. Towards a new approach of neurophysiology in clinical psychiatry: functional magnetic resonance imaging neurofeedback applied to emotional dysfunctions. *Neurophysiol Clin* 2012;42:79–94.
- [59] Paquette V, Beauregard M, Beaulieu-Prevost D. Effect of a psychoneurotherapy on brain electromagnetic tomography in individuals with major depressive disorder. *Psychiatry Res* 2009;174:231–9.

- [60] deCharms RC. Applications of real-time fMRI. *Nat Rev Neurosci* 2008;9:720–9.
- [61] Micoulaud-Franchi JA, Vion-Dury J. One step more toward new therapeutic options in brain stimulation: two models of EEG-based rTMS – from “EEG-contingent rTMS” to “EEG-biofeedback rTMS”. *Brain Stimul* 2011;4:122–3.
- [62] Varela F, Thompson E, Rosch E. *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris: Seuil; 1999.
- [63] Balzani C, Micoulaud-Franchi JA, Yunez N, Fagot A, Mariaud AS, Chen CY, et al. L'accès aux vécus pré-réflexifs. Quelles perspectives pour la médecine en générale et la psychiatrie en particulier? *Annal Med Psychol* 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.amp.2013.01.008>.
- [64] Vermersch P. Conscience directe et conscience réfléchie. *Intellectica* 2000;31:269–311.
- [65] Bitbol M. Remarques sur la physique et la naturalisation de la phénoménologie; 2002. Available from: <http://heraclite.ens.fr/~roy/GDR/bitbol.htm> [20 février 2013].
- [66] Wang W, Collinger JL, Perez MA, Tyler-Kabara EC, Cohen LG, Birbaumer N, et al. Neural interface technology for rehabilitation: exploiting and promoting neuroplasticity. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2010;21:157–78.
- [67] Ros T, Munneke MA, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. *Eur J Neurosci* 2010;31:770–8.
- [68] Brenninkmeijer J. Taking care of one's brain: how manipulating the brain changes people's selves. *Hist Human Sci* 2010;23:107–26.
- [69] Prinz W. Why don't we perceive our brain states. *Eur J Cogn Psychol* 1992;4:1–20.
- [70] Kotchoubey B, Kubler A, Strehl U, Flor H, Birbaumer N. Can humans perceive their brain states? *Conscious Cogn* 2002;11:98–113.
- [71] Andrieu B. Herbert Feigl, fondateur de la phénoménologie neurocognitive. In: Andrieu B, editor. *Herbert Feigl. De la physique au mental*. Paris: Vrin; 2006. p. 183–204.
- [72] Cassou-Noguès P. *Lire le cerveau. Neuro/science/fiction*. Paris: Seuil; 2012.