

Corrélatés cérébraux de l'amorçage sémantique inconscient

L'étude du substrat cérébral de la conscience s'affirme comme l'un des défis majeurs du projet des neurosciences cognitives. Ce mouvement scientifique s'est développé à partir de la fin des années 1970 avec la mise en évidence de dissociations neuropsychologiques entre traitements cérébraux conscient et inconscient chez des patients atteints de lésions cérébrales. Par exemple, en 1973, Pöppel *et al.* ont montré que 5 patients présentant un scotome hémianopsique étaient néanmoins capables de détecter un signal visuel présenté dans le scotome, à un niveau de performance nettement supérieur à celui prédit par le hasard [1], tout en niant avoir vu les stimulus. Ces observations ont permis d'attribuer à la conscience phénoménale un statut de variable expérimentale [2]. De nombreux travaux ultérieurs ont identifié des dissociations entre performance et conscience de la performance dans la plupart des chapitres de la neuropsychologie « classique » [3, 4].

Le concept de dissociation s'est avéré également pertinent pour étudier la cognition du sujet sain. Les travaux fondés sur le paradigme d'amorçage ont joué ici un rôle primordial en démontrant l'existence de phénomènes cognitifs inconscients. Dans une expérience typique d'amorçage, un sujet est soumis à une tâche de décision lexicale dans laquelle il doit décider le plus rapidement possible si une chaîne de lettre (la cible) correspond à un mot (exemple: maison) ou à un non-mot (exemple: osinam). Si la présentation de la cible est précédée par celle d'un vrai mot (le mot amorce), on observe alors que le sujet répond significativement

plus rapidement lorsque le mot amorce et le mot cible sont sémantiquement proches (exemple: cabane/maison) que lorsque leurs sens sont éloignés (exemple: abricot/maison). Il existe de multiples effets d'amorçages, fondés sur des similitudes physiques, lexicales ou sémantiques. D'autres études ont démontré l'existence d'effets d'amorçage en l'absence de perception consciente des stimulus amorces. Certains de ces travaux utilisent la technique de présentation sublimi-

nale [5], dans laquelle les stimulus amorces masqués (*figure 1*) sont affichés très brièvement (pendant quelques dizaines de millisecondes) immédiatement avant la présentation des stimulus cibles. Il est également possible d'exploiter le phénomène de rivalité binoculaire qui se manifeste lorsque l'on présente une image différente à chaque œil. Dans une telle situation, le sujet rapporte ne voir que l'une des deux images, et sa perception consciente alterne de manière imprévisible entre ces deux

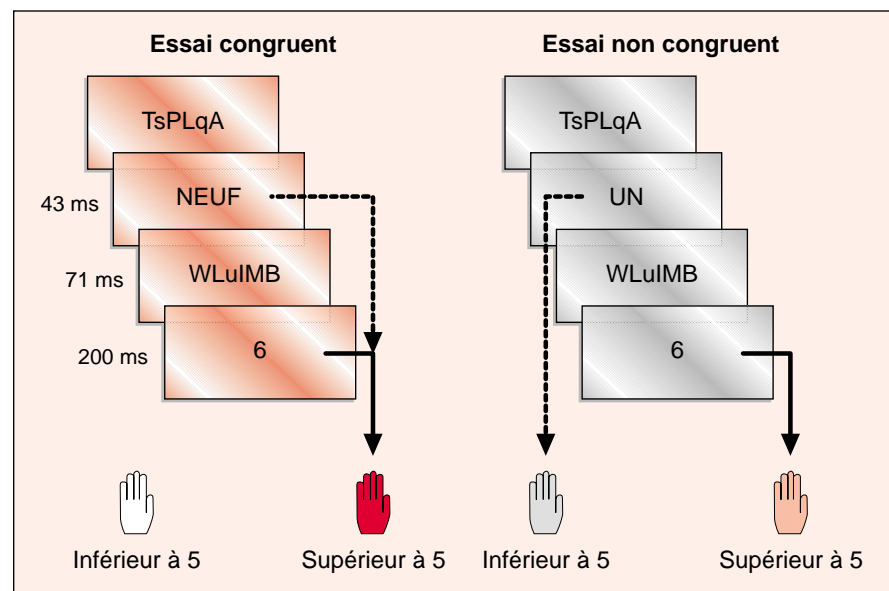


Figure 1. **Dessin expérimental.** À chaque essai, quatre stimulus apparaissent successivement, centrés au même endroit d'un écran d'ordinateur : un masque constitué d'une chaîne de lettres aléatoire dénuée de signification, un nombre amorce, un second masque et un nombre cible. Les sujets n'étaient pas informés de la présence du nombre amorce. Ils étaient simplement avertis qu'un « signal » précédait le nombre cible qu'ils auraient à classer comme plus grand ou plus petit que 5. La moitié des essais étaient congruents (l'amorce et la cible situés tous deux du même côté que 5), les autres étant non congruents.

images. Plusieurs expériences ont montré que le stimulus non perçu influence néanmoins le comportement des sujets dans des paradigmes proches de l'amorçage. L'ensemble de ces travaux ont ainsi permis d'identifier des traitements cognitifs réalisés à l'insu des sujets [6].

Ces travaux soulèvent deux questions essentielles à toute théorie scientifique de la conscience : (1) quels niveaux de traitement les processus cognitifs inconscients peuvent-ils atteindre ? (2) peut-on identifier des corrélats cérébraux de ces processus inconscients ? Nous avons abordé ces questions à l'aide d'un paradigme d'amorçage visuel masqué chez des sujets engagés dans une tâche de comparaison de nombres [7]. Les sujets voyaient apparaître un nombre compris entre 1 et 9 (jamais 5) qui pouvait être présenté en notation verbale (exemple : « quatre ») ou arabe (exemple : « 4 »). Leur tâche était de comparer le plus rapidement possible ce nombre cible au nombre 5. On leur demandait par exemple d'appuyer à droite si le nombre est supérieur à 5 et à gauche s'il est inférieur à 5. A leur insu, la présentation du nombre cible était précédée par la présentation brève (43 ms) d'un nombre masqué par deux chaînes de lettres dénuées de signification. Ce nombre amorce pouvait être n'importe lequel des nombres utilisés comme nombres cibles. Ce schéma expérimental permet de distinguer les essais congruents, dans lesquels les nombres cible et amorce sont situés du même côté que 5, des essais non congruents (*figure 1*).

Des expériences témoins dans lesquelles les sujets étaient informés de la nature exacte des stimulus nous ont permis de démontrer l'absence de perception consciente du nombre amorce à la durée de 43 ms. Dans ces expériences dites de discrimination forcée, les sujets étaient soumis à des essais avec ou sans nombre amorce et devaient répondre après chaque essai à la question : « y avait-il oui ou non un nombre amorce ? ». Cette méthode permet de calculer la capacité discriminative objective des sujets indépendamment d'éventuels biais de réponse. Ces expériences nous ont permis d'établir que la per-

formance des sujets n'était pas significativement différente du hasard. Les données de la chronométrie mentale ont cependant révélé l'existence d'un effet d'amorçage de la réponse : les sujets répondaient significativement plus rapidement aux essais congruents qu'aux essais non congruents (*figure 2*). Cet effet n'interagissait pas avec la notation utilisée pour chacun des deux nombres, ni avec le changement de notation. Ces résultats démontrent ainsi que le nombre amorce, bien qu'il n'était pas perçu consciemment, était néanmoins traité à un niveau de représentation sémantique indépendant du format d'entrée visuelle.

Dans cette expérience, nous avons enregistré les potentiels évoqués des sujets à l'aide de 128 électrodes. Afin de déterminer si le nombre amorce était traité jusqu'au niveau moteur, nous avons calculé un index d'activation motrice : le potentiel de préparation motrice latéralisée ou LRP (*lateralized readiness potential*) (*figure 3*) [8]. Avant la positivité tardive reflétant la réponse motrice au nombre cible, le LRP des essais non congruents était significativement plus négatif que celui calculé pour les essais congruents, révélant ainsi une activation masquée et inconsciente du cortex moteur. La médiocre précision spatiale des potentiels évoqués nous a conduits à répéter cette expérience en enregistrant les variations hémodynamiques intracérébrales par la méthode d'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique (IRM) dans un paradigme événementiel [9]. L'IRM fonctionnelle permet d'identifier de fines variations hémodynamiques intracérébrales à partir de la mesure du rapport entre hémoglobine désoxygénée et hémoglobine oxygénée. Après avoir localisé les cortex précentraux droit et gauche, qui présentaient l'effet le plus significatif de réponse motrice au nombre cible, nous avons calculé un analogue du LRP nommé LBR (*lateralized bold response*). Ce paramètre est comparable à l'intégrale temporelle du LRP (*figure 4*). La mise en évidence d'une valeur significativement plus importante du LBR pour les essais congruents que pour les essais non congruents nous a permis de

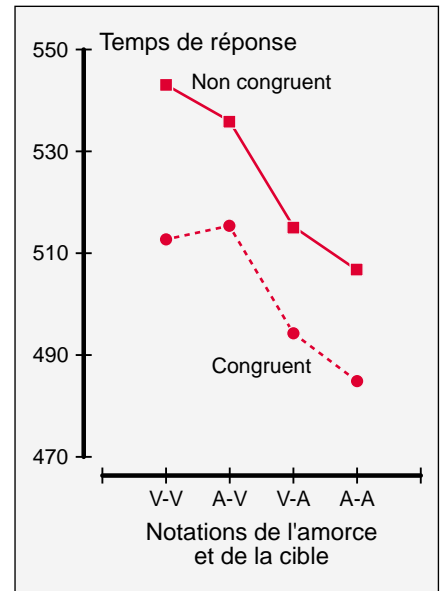


Figure 2. **Effet d'amorçage.** Les temps de réponses corrects moyens sont présentés en fonction de la congruence entre le nombre amorce et le nombre cible pour les différentes combinaisons de notations de l'amorce et de la cible. A : notation arabe ; V : notation verbale. Il existe un effet principal de congruence ($p < 0,0001$), sans interaction avec l'effet de notation.

confirmer que le corrélat électrophysiologique de l'effet d'amorçage trouvait bien son origine dans le cortex moteur.

En conclusion, ces résultats éclaircissent les deux questions qui motivaient notre travail. Tout d'abord, le niveau de traitement des processus cognitifs inconscients peut atteindre le stade d'une préparation motrice établie sur la base d'un traitement sémantique complexe. Inconsciemment, les sujets accédaient au sens du stimulus masqué, puis lui appliquaient une consigne de réponse motrice arbitraire, le tout sans avoir conscience d'avoir vu un nombre ! Quant à la question des corrélats cérébraux des processus inconscients, nos résultats, ainsi que plusieurs autres travaux récents [10], montrent qu'il est possible d'en déterminer certains à l'aide des méthodes modernes d'imagerie cérébrale. Au-delà d'un intérêt purement « cartographique », l'étude de ces

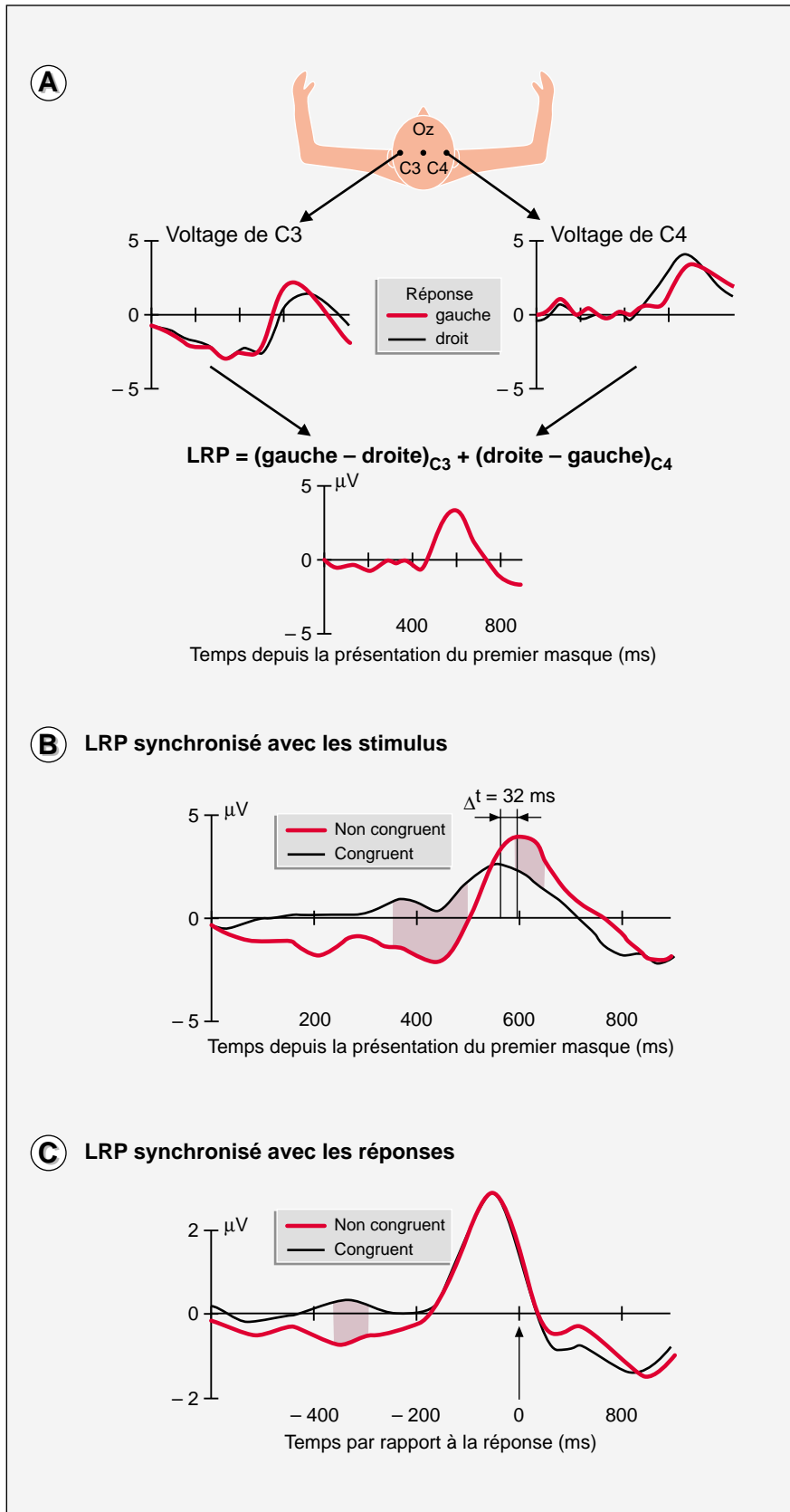


Figure 3. **Potentiel de préparation motrice latéralisée entre essais congruents et non congruents.** **A.** Calcul du potentiel de préparation motrice latéralisé (LRP, lateralized readiness potential). Les essais individuels ont été moyennés en synchronie avec la présentation des stimulus. Les électrodes C3 et C4 montraient des différences de voltage opposées précédant les réponses motrices gauches et droites. Le LRP est la moyenne des différences entre les électrodes C3 et C4, calculé selon la formule présentée. **B.** Dans les essais non congruents, avant la positivité principale correspondant à la préparation de la réponse motrice manifeste au nombre cible, le LRP était significativement plus négatif que dans les essais congruents (aires grisées, $p < 0,05$), reflétant l'amorçage moteur masqué. **C.** Le LRP calculé à partir des essais moyennés en synchronie avec le moment de pression du bouton réponse, supprimant ainsi les effets de décalage temporel de la réponse. On observe à présent encore plus nettement l'amorçage moteur masqué sous la forme d'une valeur significativement plus négative de la portion précoce du LRP dans les essais non congruents par rapport aux essais congruents (aires grisées, $p < 0,05$).

corrélats enrichit notre connaissance de la nature exacte des processus inconscients. Ce dernier point se répercute inévitablement sur notre conception de la conscience en élargissant la gamme d'opérations cognitives réalisables en l'absence de conscience phénoménale ■

RÉFÉRENCES

1. Pöppel E, Held R, Frost D. Residual visual function after brain wounds involving the central visual pathways in man. *Nature* 1973; 243: 295-6.
2. Weiskrantz L. *Blindsight. A case study and implications*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
3. Schacter DL, McAndrews MP, Moscovitch M. Dissociations between implicit and explicit knowledge in neuropsychological syndromes. In: Weiskrantz L, ed. *Thought without language*. Oxford: Oxford University Press, 1988: 242-78.
4. Köhler S, Moscovitch M. Unconscious visual processing in neuropsychological syn-

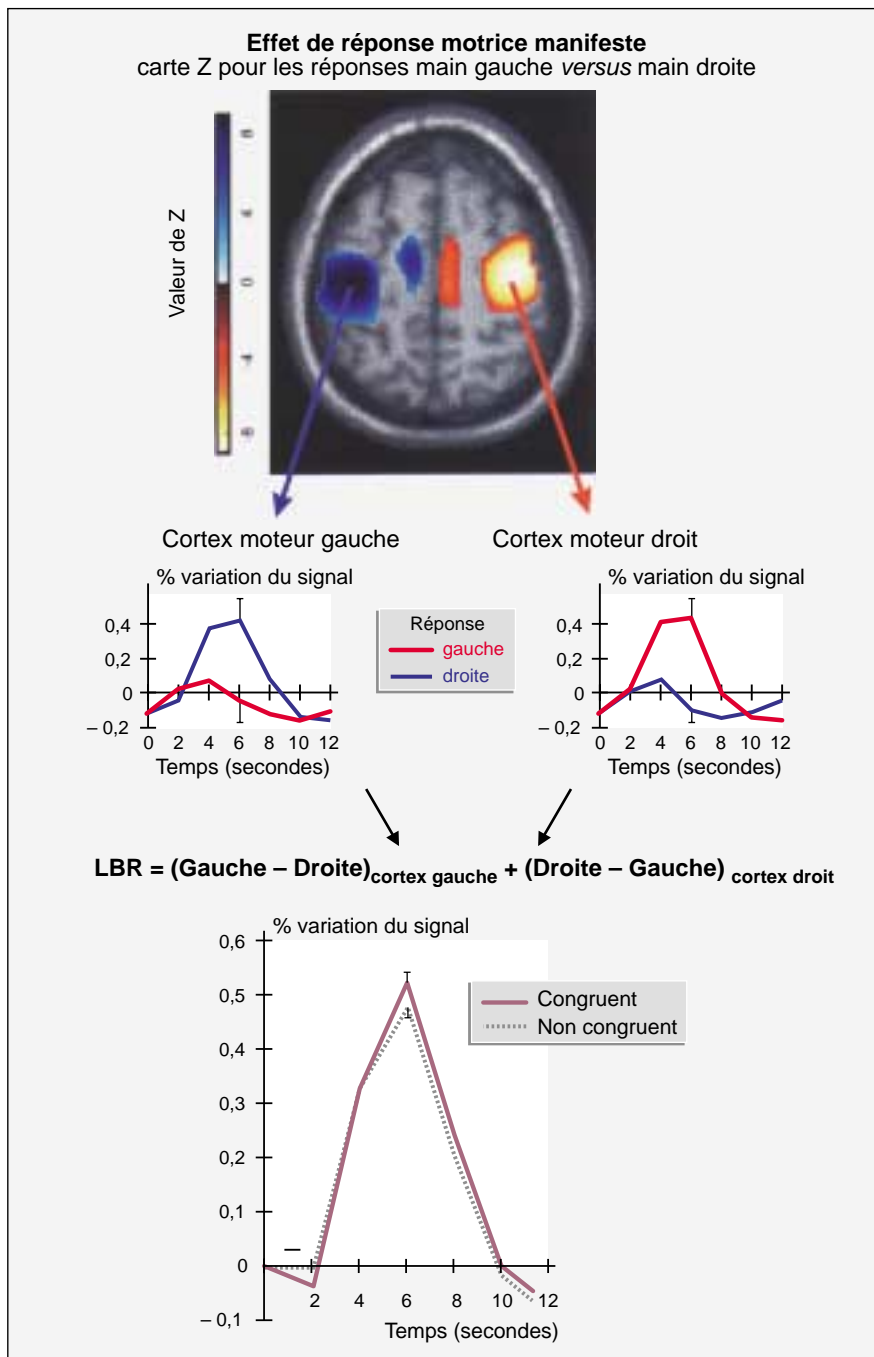


Figure 4. **Mesure de l'amorçage moteur par l'IRM fonctionnelle.** Les régions montrant des différences significatives (calculées à travers un test statistique Z) dans l'intensité du signal BOLD entre les réponses motrices main gauche et main droite sont codés selon l'échelle de couleur (à gauche). Les deux points montrant les effets les plus significatifs étaient situés dans les cortex précentral gauche et précentral droit. La cinétique du signal IRM (imagerie par résonance magnétique) moyen de ces deux voxels au cours du temps (courbe du milieu) montrait une activation pour un mouvement contrôlé après un délai d'environ 4-8 secondes (les points 0 et 2 secondes correspondent à la ligne de base, sans différence significative entre les deux courbes, puis les points 4, 6 et 8 secondes correspondent à des états d'activation: cortex moteur gauche). Il était donc possible de calculer un paramètre comparable au LRP indexant l'évolution temporelle de l'activation motrice latéralisée, le LBR (lateralized bold response) (pour réponse BOLD latéralisée). Le LBR était significativement plus intense dans les essais congruents (+ 9 %) que dans les essais non congruents, en accord avec la prédiction établie sur la base du LRP.

9. Buckner RL. Detection of cortical activation during averaged single trials of a cognitive task using functional magnetic resonance imaging. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996; 93 : 14878-83.

10. Morris JS, Ohman A, Dolan RJ. Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature* 1998; 393: 467-70.

Lionel Naccache

Docteur en médecine, neurologue, étudiant en thèse de neurosciences, poste accueil Inserm.

Stanislas Dehaene

Docteur ès sciences, directeur de recherches à l'Inserm.
Inserm U. 334, Service hospitalier Frédéric-Joliot, CEA/DRM/DSV, 4, place du Général-Leclerc, 91401 Orsay, France.

TIRÉS À PART

L. Naccache.

RÉFÉRENCES

dromes: a survey of the literature and evaluation of models of consciousness. In: Rugg MD, ed. *Cognitive neuroscience*. New York: Psychology Press, 1997 : 305-73.

5. Marcel AJ. Conscious and unconscious perception: experiments on visual masking and word recognition. *Cogn Psychol* 1983; 15 : 197-237.

6. Naccache L. Dissociation entre performance et conscience: analyse de la littérature et étude expérimentale. Thèse pour le

Doctorat en Médecine, Université René-Descartes, Paris V, 1998.

7. Dehaene S, Naccache L, Le Clec'h G, et al. Imaging unconscious semantic priming. *Nature* 1998; 395: 597-600.

8. Coles MGH, Gratton G, Donchin E. Detecting early communication: using measures of movement-related potentials to illuminate human information processing. *Biol Psychol* 1988; 26: 69-89.