

Réunion de la Société de Psychophysiology et Neurosciences Cognitives

27 et 28 septembre 2012, Lyon

Salle de conférence du bâtiment INSERM
151 Cours Albert Thomas
69003 LYON

Audition : du neurone à la conscience



Programme

jeudi 27 septembre

14:00	Accueil / café	
14:30	Daniele Schön	L'apprentissage de la musique facilite le développement de la segmentation de la parole
15:10	Philippe Albouy	Déficits de perception et de mémoire auditives dans l'amusie congénitale, études comportementales et neuro-physiologiques chez l'Homme.
15:30	Tatiana Selchenkova	Temporal regularities that boost the implicit learning of tone structures.
15:50	Pause	
16:20	Catherine Fischer	Lésions des voies auditives, PEA et MMN chez les patients.
17:00	Maité Castro	Étude de l'influence de la musique préférée sur la perception de mots familiers ou non-familiers.
17:20	Assemblée générale	
18:00	Pot de départ à la retraite de Marie-Hélène Giard	
20:30	Diner au restaurant Bistro Pizay, 4 rue Verdi, Lyon 1er (participation 30 €)	

vendredi 28 septembre

09:00	Accueil / café	
09:30	Jean-Marc Edeline	Codage neuronal des signaux de communication acoustique dans le cortex auditif : du neurone au LFP...
10:10	Arnaud Jeanvoine	Apport des algorithmes binauraux pour la réduction de bruit dans l'implant cochléaire.
10:30	Kostas Kosta	Influence de la privation auditive et de l'expérience auditive post-implant sur le contrôle moteur langagier chez l'enfant implanté cochléaire.
10:50	Pause	
11:20	Nicole Bruneau	Réponses électrophysiologiques à la voix humaine chez l'enfant au cours du développement normal et pathologique (autisme)
12:00	Françoise Lecaigard	A simultaneous EEG-MEG MMN paradigm: a DCM study.
12:20	Repas (panier déjeuner fourni)	
13:30	Nicolas Grimault	Contribution des mécanismes de l'Analyse des Scènes Auditives pour la ségrégation et l'inintelligibilité de voix concurrentes.
14:10	Marion David	Ségrégation séquentielle de flux auditifs et coloration de sources.
14:30	Ludovic Bellier	Générateurs des réponses auditives du tronc cérébral aux sons de parole (<i>Speech ABRs</i>) et perception catégorielle.
14:50	Pause	
15:20	Isabel Suarez	Étude des processus d'inhibition chez des patients adultes TDA/H : approches comportementale et électromyographique.
15:40	Gaetan Sanchez	Etude MEG de la construction d'une référence interne dans une tâche de discrimination de fréquence tactile.
16:00	Fin	

Résumés des communications orales

Jeudi 27 septembre (Après-midi)

14h30. L'apprentissage de la musique facilite le développement de la segmentation de la parole

Daniele Schön, Institut de neurosciences des systèmes, Marseille.

Une des premières difficultés lorsque nous apprenons une nouvelle langue est la nécessité de segmenter le flux continu de syllabes en unités signifiantes, les mots. L'utilisation des propriétés statistiques du flux de parole semble être une façon simple mais performante d'extraire les mots. Cela a d'abord été montré en comportement, chez le bébé comme chez l'adulte, mais aussi chez l'animal. De plus ce mécanisme de segmentation semblerait être général car il est à l'œuvre avec des flux de syllabes mais aussi des flux de notes, timbres ou séquences de stimuli visuels. Après une revue rapide des données comportementales je présenterai une série d'études électrophysiologiques qui avait pour but d'étudier 1) La segmentation de la parole résultant de l'exposition à des séquences parlées et chantées ; 2) L'extraction d'information musicale et linguistique à partir d'une séquence chantée ; 3) Les différences entre musiciens et non-musiciens dans l'habileté de segmentation. Les résultats montrent que la segmentation est meilleure après une séquence chantée par rapport à une séquence parlée et que l'expertise musicale facilite la segmentation des deux dimensions. Pour finir, l'approche électrophysiologique semble être plus sensible que l'approche comportementale. De plus, alors que l'approche comportementale nécessite un test qui suit l'exposition au flux, l'approche électrophysiologique permet de s'intéresser à la phase d'exposition et de suivre donc pas à pas la dynamique spatiotemporelle de l'apprentissage et de la segmentation du flux.

15h10. Déficiences de perception et de mémoire auditives dans l'amusie congénitale : études comportementales et neurophysiologiques chez l'Homme

Philippe Albouy, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipes Dynamique cérébrale et Cognition & Cognition Auditive et Psychoacoustique)

L'amusie congénitale est un déficit musical qui ne peut pas être expliqué par des lésions cérébrales, des pertes auditives, des déficits cognitifs, intellectuels ou sociaux (Ayotte et al., 2002). Les personnes atteintes d'amusie congénitale (estimée à environ 4% de la population) sont incapables de reconnaître une chanson familière sans l'aide des paroles, de détecter une fausse note, ou lorsque quelqu'un chante faux (y compris eux-mêmes). Ce déficit peu connu a été décrit comme « handicap musical » (Peretz et al., 2003) qui contraste avec les capacités musicales implicites des personnes non musiciennes (Tillmann et al., 2000).

L'amusie congénitale n'est systématiquement étudiée que depuis peu. Ce dysfonctionnement musical serait basé sur un déficit dans la discrimination des notes de hauteurs différentes (Hyde et al., 2004), et surtout sur un déficit de la mémoire à court terme pour les notes (mais non pour les mots ; Tillmann et al., 2009 ; Williamson et al., 2010). Les principales études ont utilisé des approches comportementales et seulement très peu de travaux ont commencé à analyser les bases neuronales de ce déficit. Des études anatomiques ont montré des anomalies chez les sujets amusiques dans le gyrus frontal inférieur droit et plus généralement dans la connectivité fronto-temporale droite (Hyde et al., 2007 ; Loui et al., 2009), réseau qui est connu comme étant fortement impliqué dans le traitement perceptif et mnésique des informations musicales chez les sujets sains (Zatorre et al., 1994).

Nos travaux visent à étudier les corrélats neurophysiologiques de la perception et de la mémoire auditive à court terme dans l'amusie congénitale en utilisant la Magnéto-encéphalographie (MEG) combinée avec l'IRM anatomique (Albouy et al., soumis). Par la mise en relation de ces différentes mesures, nous avons confirmé le déficit de mémoire à court terme pour les sons musicaux chez les sujets amusiques, et montré en particulier des anomalies anatomiques dans le cortex auditif droit ainsi que dans le gyrus frontal inférieur droit. Les données MEG ont quant à elles révélées des anomalies fonctionnelles dès l'encodage perceptif des sons, révélant des réponses altérées et retardées chez les participants amusiques (en comparaison à des participants contrôles). Ces résultats avancent considérablement la compréhension du déficit de l'amusie congénitale et de ses corrélats cérébraux, car des études précédentes avaient seulement permis de montrer des anomalies cérébrales en dehors du cortex auditif (Peretz et al., 2005, 2009 ; Moreau et al., 2009 ; Hyde et al., 2006 , 2011).

15h30. Temporal regularities that boost the implicit learning of tone structures

Tatiana Selchenkova, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Cognition Auditive et Psychoacoustique)

Implicit learning is the acquisition of complex information without intention to learn. The Dynamic Attending Theory proposed by Jones postulates internal oscillators that synchronize with external regularities, helping to guide attention and to develop temporal and perceptual expectations about future events. Our study aimed to investigate which type of temporal presentation of an artificial grammar of tones (i.e., strongly metrical or isochronous) leads to better implicit learning of tone structures. Two groups of participants were exposed to an artificial pitch grammar with either a metrical or an isochronous presentation. Behavioral results showed that the two groups of participants learned the artificial pitch grammar. Electrophysiological results revealed that the metrical framework provided an additional benefit for learning.

16h20. Lésions des voies auditives, PEA et MMN chez les patients

Catherine Fischer, Hopital Neurologique de Lyon & Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Dynamique cérébrale et Cognition)

17h. Étude de l'influence de la musique préférée sur la perception de mots familiers ou non-familiers

Maité Castro, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Cognition Auditive et Psychoacoustique)

De nombreuses études se sont intéressées aux mécanismes et substrats cérébraux qui accompagnent l'écoute de la musique (en termes de perception, de mémoire ou d'émotion) et à leurs interactions avec d'autres fonctions cognitives, tels que l'attention, le langage ou la cognition sociale. Plus récemment, certaines recherches ont montré que la musique pouvait avoir des effets positifs sur ces différentes fonctions, en améliorant par exemple les performances à certaines tâches cognitives suite à la présentation de musique. Si les mécanismes sous-jacents à ces effets bénéfiques sont encore mal connus, l'évocation d'un souvenir personnel (autobiographique) par la musique apparaît comme un élément déterminant dans les améliorations observées. En lien avec les effets d'amorçage décrits pour la musique et le langage, il pourrait ainsi être prédit que la perception d'une information sera d'autant plus facilitée par une musique à forte charge autobiographique que cette information a également une nature autobiographique.

Dans cette étude, nous avons exploré les effets d'amorçage de la musique préférée sur la perception de mots à charge autobiographique ou non. L'électroencéphalogramme de 10 participants a été enregistré en réponse à des séquences de prénoms contenant des prénoms non-familiers et le propre prénom du participant (familier et auto-référentiel). Ces séquences étaient précédées soit d'une musique familière et préférée, soit d'un bruit de caractéristiques fréquentielles proches de celles de la musique (condition contrôle).

Les résultats indiquent que la réponse précoce évoquée par les prénoms non-familiers est modifiée selon la nature (musique vs bruit) de la stimulation préalablement envoyée. Par ailleurs, les résultats montrent que la réponse tardive évoquée par le propre prénom est améliorée (latence du P3 diminuée) après une exposition à la musique comparativement à une exposition au bruit, mais seulement pour les premières stimulations de la séquence.

Cette étude suggère donc que la musique autobiographique a des effets sur la perception de stimuli auto-référentiels mais aussi sur celle de stimuli non-familiers. Alors que la musique améliore à court terme la discrimination des stimuli familiers et autoréférentiels, elle modifie aussi l'attention précoce portée aux stimulations non familières et non pertinentes. Ces résultats seront discutés au regard des hypothèses qui proposent que la musique induirait un état émotionnel positif lié à une augmentation d'éveil et d'attention et qu'elle stimule des réseaux neuronaux liés à la mémoire autobiographique.

Vendredi 28 septembre (matin)

9h30. Codage neuronal des signaux de communication acoustique dans le cortex auditif : du neurone au LFP...

Jean-Marc Edeline, Centre de Neurosciences Paris-Sud, UMR 8195, Université Paris-Sud, Orsay

Depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux électrophysiologiques, effectués chez plusieurs espèces animales, ont tenté de décrypter le code neuronal impliqué dans la perception des signaux de communication acoustique. L'idée générale qui ressort de ces travaux est que les neurones du cortex auditif primaire codent les vocalisations par des patterns temporels de décharges plutôt que par des augmentations de taux de décharge qui conduiraient à des neurones sélectifs de types « call detectors ». Ce codage par des patterns temporels semble le plus apte à rendre compte des performances perceptives de sujets humains ou animaux. Par ailleurs, différents travaux ont montré que les réponses neuronales à des stimuli naturels sont très non-linéaires et qu'on peut donc difficilement prévoir à quoi répond un neurone dans une vocalisation sur la base de ces réponses à un son artificiel. Il reste donc de nombreux efforts à faire pour mettre en relation les données homme vs. animal mais aussi macro vs. microscopique afin de comprendre les bases neuronales de la perception du langage chez le sujet humain.

10h10. Apport des algorithmes binauraux pour la réduction de bruit dans l'implant cochléaire.

Arnaud Jeanvoine, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (groupe Parole, Audiologie, Communication, Santé)

La mise au point des implants bilatéral et binaural permet aux personnes porteuses de ces types d'implant de retrouver (ou de trouver) une ambiance spatiale. Contrairement à l'implant monaural, qui permet la compréhension de la parole, l'implant bilatéral/binaural permet aussi de localiser les sons environnants. La différence entre bilatéral et binaural vient du fait que ce dernier possède un seul microprocesseur pour les deux oreilles. Ainsi l'ajout d'un algorithme permettrait d'améliorer la compréhension de la parole tout en gardant la localisation.

10h30. Influence de la privation auditive et de l'expérience auditive post-implant sur le contrôle moteur langagier chez l'enfant implanté cochléaire.

Kostas Kosta, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (groupe Parole, Audiologie, Communication, Santé)

Chez les enfants sourds profonds bilatéraux réhabilités par implant cochléaire, 2 facteurs affecteraient le développement de la capacité motrice langagière. Plus la durée de privation auditive pré-implant (DP) est courte et la durée d'utilisation de l'implant (DU) est longue, plus la boucle audiophonatoire serait fonctionnelle. Les enfants avec des DP courtes et/ou des DU longues seraient ainsi très perturbés lorsque le retour auditif est absent, de l'autre côté, ils intégreraient mieux ce retour sensoriel lorsqu'il est de nouveau présent. Vingt enfants implantés cochléaires âgés de 3 à 12 ans sont inclus dans une étude transversale. La production des phonèmes était sollicitée lors d'une session composée de 4 blocs: ON1, OFF1, OFF2 (10 minutes après OFF1) et ON2. La quantité de changement entre la condition de référence (ON1) et les 3 autres conditions est calculée au moyen des distances euclidiennes entre les productions dans l'espace acoustique. Les mesures des conditions OFF1 et OFF2 évalueraient le degré de dépendance au retour auditif, alors que la condition ON2 évaluerait la capacité de réintégration sensorielle. La quantité de changement OFF1-OFF2 évaluerait l'éventuelle mise en place de stratégies basées sur des retours sensoriels autres que l'audition. Chez les enfants avec des DU supérieures à 1300 jours, la quantité de changement ON2-OFF2 diminue. En revanche, elle augmente pour des DU inférieures à 1300 jours ($p < 0.05$). La quantité de changement est aussi prédite par la DP. Pour des DP inférieures à 600 jours, elle diminue, au contraire, elle augmente pour des DP supérieures à 600 jours ($p < 0.05$). La DP n'est pas corrélée avec la DU, les 2 agiraient ainsi de manière indépendante. Le changement acoustique diminue de OFF1 à OFF2 ($p < 0.001$), les productions s'approchent ainsi à la condition

de référence. Les 2 facteurs, privation sensorielle et expérience avec implant, seraient tous les deux prédicteurs de la capacité motrice langagière, précisément de la capacité de réintégration du signal acoustique. Éventuellement, des modules indépendants, un étant lié à une plasticité de privation, l'autre à une plasticité de réhabilitation, seraient impliqués lors du contrôle moteur langagier. L'amélioration de OFF1 à OFF2 suggère que d'autres mécanismes de contrôle, n'ayant pas de traits «auditifs» pourraient aussi intervenir.

11h20. Réponses électrophysiologiques à la voix humaine chez l'enfant au cours du développement normal et pathologique (autisme)

Nicole Bruneau, INSERM U930, Université François-Rabelais de Tours

L'autisme se caractérise par des difficultés majeures de communication. Ces perturbations sont associées à des déficits de perception des stimuli sociaux (en particulier la voix et les visages). Dans le domaine auditif, une étude réalisée en imagerie cérébrale fonctionnelle (IRMf), montre que chez des adultes atteints d'autisme, la voix humaine induit les mêmes activations corticales, au niveau du Sillon Temporal Supérieur, que des stimulations non vocales alors que des différences sont observées chez les sujets contrôles avec des activations plus fortes en réponse à la voix. De telles anomalies sont-elles spécifiques à l'adulte comme conséquence possible de l'absence de relations sociales tout au long du développement ou existent-elles plus précocement chez l'enfant atteint d'autisme ?

L'objectif de notre travail a donc été de mettre en évidence grâce aux méthodes électrophysiologiques les réponses évoquées par la voix humaine, chez des adultes et des enfants avec autisme comparés à des adultes et des enfants au développement normal. Comparées aux réponses évoquées par les stimulations de l'environnement, une réponse spécifique à la voix humaine a été mise en évidence réponse que nous avons appelé FTPV « Fronto-Temporal Positivity to Voice » en raison de sa topographie et de sa polarité. Elle prédomine sur l'hémisphère droit. Cette réponse est robuste et a été enregistrée chez l'enfant de 4 ans à 12 ans et chez l'adulte. Elle pourrait refléter l'activation des aires temporales à la voix mises en évidence en IRMf. L'étude préliminaire que nous avons réalisée dans l'autisme montre que cette réponse est absente chez les adultes (en accord avec les résultats de l'IRMf) alors qu'elle est présente chez les enfants avec cependant des différences individuelles qui sont mises en lien avec des profils cliniques. L'extinction des réponses à la voix à l'âge adulte peut être envisagée comme une conséquence des difficultés de communication qui entraînerait une hypostimulation des réseaux neuronaux impliqués dans la perception de la voix humaine.

12h. A simultaneous EEG-MEG MMN paradigm : a DCM study.

Françoise Lecaigard, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Dynamique cérébrale et Cognition) & CERMEP

Dynamic Causal Modeling (DCM) [1] has been recently validated for EEG auditory data with a Mismatch Negativity (MMN) paradigm [2,3]. Here, we recorded simultaneous M-EEG data with a passive frequency protocol alternating a predictable and a random sequence of stimuli. Preliminary results on evoked responses are in line with the predictive coding theory [4]. MEG sensitivity should refine DCM parameters of the MMN model, leading to a better characterization of fronto-temporal dynamics.

[1] Friston et al. NeuroImage 2003

[2] Garrido et al. Clin Neurophys 2009

[3] Boly et al. Science 2011

[4] Friston. Philos Trans R Soc 2005

Vendredi 28 septembre (après-midi)

13h30. Contribution des mécanismes de l'Analyse des Scènes Auditives pour la ségrégation et l'inintelligibilité de voix concurrentes.

Nicolas Grimault, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Cognition Auditive et Psychoacoustique)

Dans notre quotidien auditif, nous sommes généralement confronté à des situations concurrentielles d'écoute. Notre système auditif est ainsi rapidement confronté à la nécessité d'analyser la scène auditive afin d'organiser le paysage sonore en objets acoustiques auxquels il pourra consécutivement associer des attributs perceptifs et cognitifs. La situation quotidienne la plus évidente où il devient absolument impératif d'organiser notre espace sonore en objets auditifs est la situation de paroles concurrentes. En effet, pour accéder au message linguistique, il est nécessaire de parvenir à un état d'organisation suffisant de la scène auditive qui permette d'attribuer un flux de parole distinct et signifiant à chaque locuteur ou tout du moins à notre interlocuteur. Toute différence acoustique existant entre deux flux de parole est potentiellement utile à cette analyse. Il est cependant établi que les différences de hauteur ou de timbre dominent cette organisation. La nature de ces indices ainsi que les mécanismes sous-jacents seront présentés dans la première partie de cet exposé. Enfin, l'analyse d'une scène auditive se fait généralement en présence d'un contexte multisensoriel. Ce contexte active des processus cognitifs mettant en œuvre les connaissances qui induisent des attentes perceptives. Quelques travaux exploratoires concernant le rôle de ce contexte pour la ségrégation auditive seront présentés dans la seconde partie de cet exposé.

14h10. Ségrégation séquentielle de flux auditifs et coloration de sources.

Marion David, ENTPE (Département Génie Civil et Bâtiment) & Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Cognition Auditive et Psychoacoustique)

Dans un contexte de cocktail-party, un auditeur cherche à comprendre le message délivré par une personne cible alors que d'autres personnes parlent en même temps. L'analyse de scènes auditives est un processus que nous rencontrons quotidiennement, et qui nous permet de dresser une représentation utile et fidèle de notre environnement sonore. Par exemple, dans une scène sonore composée de différentes sources acoustiques, le système auditif reçoit la somme de toutes les vibrations émises par toutes les sources présentes. L'enjeu est alors d'interpréter et d'organiser ces informations de manière à « visualiser » cette scène (position des sources, type de source, etc.).

Pour résoudre ce type de scène, le système auditif doit regrouper les éléments sonores correspondant à chaque source pour pouvoir les différencier. Un flux correspond à un ensemble d'éléments sonores qui créent une unité. Dans l'exemple du cocktail-party, les sons provenant alternativement de la cible et de la source concurrente devront être séparés en deux flux distincts (ségrégation séquentielle) pour que la source soit intelligible.

Le groupement, associé à la ségrégation des flux, sont des deux phénomènes qui permettent de résoudre les scènes auditives. Certains indices acoustiques, en fonction de leur nature, vont favoriser le groupement ou au contraire, la ségrégation des flux auditifs. Par ailleurs, dans les salles, la réverbération entraîne des distorsions temporelles et spectrales des signaux, donc des indices. On parle de coloration des sources par la salle. De la même manière, la forme du visage va jouer un rôle de filtre acoustique entre la source et les oreilles.

Dans cette étude, trois expériences ont été réalisées pour mettre en évidence l'influence de la coloration des sources sur la ségrégation séquentielle des flux auditifs. L'influence de l'ensemble tête-salle est étudié dans un premier temps (expérience 0), puis les contributions de la tête et de la salle seules ont été regardées séparément (respectivement expériences 1 et 2). Les résultats ont montré que les différences spectrales induites par la coloration des sources par la tête et la salle ont un effet significatif sur la ségrégation.

14h30. Générateurs des réponses auditives du tronc cérébral aux sons de parole (Speech ABRs) et perception catégorielle.

Ludovic Bellier, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Dynamique cérébrale et Cognition et groupe Parole, Audiologie, Communication, Santé)

Dans le cadre de nos travaux actuels, axés autour de l'étude des potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral en réponse à des sons de parole (Speech Auditory Brainstem Responses - Speech ABRs), nous avons investigué les générateurs sous-jacents de ces réponses et l'implication du tronc cérébral dans la perception catégorielle. En enregistrant simultanément les réponses sous-corticales et corticales évoquées par une syllabe écologique avec un système d'électroencéphalographie 32 voies, nous avons mis en évidence des topographies propres à chacune des composantes des Speech ABRs. Nous avons ensuite utilisé un continuum /ba-/pa/ pour déterminer des stimuli dits ambigus - physiquement différents mais perçus comme les syllabes /ba/ ou /pa/ - adaptés à la courbe de perception catégorielle de chaque sujet. Les réponses électrophysiologiques évoquées par ces stimuli vont dans le sens d'un encodage exogène aux niveaux du tronc cérébral et du cortex auditif primaire.

15h20. Étude des processus d'inhibition chez des patients adultes TDA/H : approches comportementale et électromyographique.

Isabel Suarez, Laboratoire de neurobiologie de la cognition, CNRS UMR6155, Université de Provence - Aix-Marseille I, Marseille

La présente étude s'intéresse à l'inhibition de réponses déclenchées automatiquement, l'interférence chez des patients adultes atteints de TDA/H. Elle utilise une tâche de temps de réaction, la tâche de Simon, couplée à deux méthodes sophistiquées qui permettent d'étudier de manière plus approfondie la mise en jeu de l'inhibition: 1/ l'analyse de la distribution des temps de réaction et 2/ l'analyse de l'EMG (électromyogramme) des erreurs partielles. Les résultats obtenus suggèrent que les patients TDA/H n'ont pas de déficits des processus d'inhibition de la réponse mais apportent plutôt de nouveaux arguments en faveur d'une possible explication attentionnelle de leurs troubles.

15h40. Etude MEG de la construction d'une référence interne dans une tâche de discrimination de fréquence tactile.

Gaëtan Sanchez, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Equipe Dynamique cérébrale et Cognition)

Nous avons étudié les corrélats neuronaux de la décision perceptive au travers d'un protocole simple de choix forcé. Deux stimulations électriques étaient présentées séquentiellement avec une première fréquence de stimulation fixe (la référence) qui devait être retenue et comparée à une seconde stimulation variable. Les sujets ne sont pas conscients de l'invariance de la première stimulation. Toutefois les 20 participants montrent tous une amélioration de leurs performances comportementales, à la fois en terme de précision et de temps de réponse, suggérant ainsi l'optimisation de leur stratégie. Cette optimisation s'accompagne de changements, à la fois des réponses évoquées et oscillatoires en lien avec la fréquence de référence. Enfin, la comparaison de modèles causaux dynamiques nous ont permis d'étudier les modulations de connectivité effective au sein d'un réseau impliquant les aires somatosensorielles primaires et secondaires ainsi que le gyrus frontal inférieur. Ces modulations suggèrent l'implication sélective des aires frontales en fonction de la phase de l'expérience, autrement dit selon que le sujet n'a pas encore optimiser sa stratégie (tâche de comparaison) ou qu'il a déjà construit une référence interne (tâche de classification).