



HAL
open science

L'étude du traitement des relations spatiales visuelles : approche dynamique des capacités cognitives

Benjamin Putois

► **To cite this version:**

Benjamin Putois. L'étude du traitement des relations spatiales visuelles : approche dynamique des capacités cognitives. Psychologie. Université Lumière - Lyon II, 2009. Français. NNT : 2009LYO20035 . tel-01540275

HAL Id: tel-01540275

<https://theses.hal.science/tel-01540275>

Submitted on 16 Jun 2017

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

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

Université Lyon 2

École doctorale : Neurosciences et cognition

Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs

**L'étude du traitement des
relations spatiales visuelles :
approche dynamique des
capacités cognitives**

par Benjamin PUTOIS

Thèse de doctorat en Sciences Cognitives

Mention Psychologie

Sous la direction de Olivier KOENIG

Présentée et soutenue publiquement le 10 juillet 2009

Composition du jury :

Olivier KOENIG, Professeur des universités, Université Lyon 2

Raymond BRUYER, Professeur d'université, Université Catholique de Louvain La Neuve

Sylvane FAURE, Professeur des universités, Université de Nice

Rémy VERSACE, Professeur des universités, Université Lyon 2

Claude-Alain HAUERT, Professeur d'université, université de Genève

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

[Note]

[Les références à la pagination concernent la version PDF de la thèse]

Remerciements

J'adresse des salutations respectueuses à Olivier Koenig pour m'avoir accordé sa confiance et pour avoir dirigé mes travaux. Je tiens à le remercier pour avoir accueilli, dans une grande ouverture scientifique, mon point de vue dans le cadre de ce travail. Je le remercie pour la formation qu'il m'a offerte, pour sa logique interdisciplinaire, pour sa rigueur de travail et pour la liberté qu'il m'a accordée pour « poursuivre plusieurs lièvres à la fois ».

Je tiens à remercier les membres rapporteurs, Raymond Bruyer et Sylvane Faure, et les membres examinateurs, Claude-Alain Hauert et Rémy Versace pour m'avoir fait l'honneur d'être mon jury de thèse.

J'ai réalisé ce travail doctoral avec une pensée particulière pour Jean-Charles Barthaud avec lequel le café de 7 heures prenait des allures de débats scientifiques. J'admire particulièrement sa passion à comprendre les choses et sa rigueur empirique.

Je suis très reconnaissant de l'aide et des encouragements apportés par Norbert Maionchi-Pino. Il fut la lumière dans mon parcours universitaire qui m'a permis de ne jamais baisser les bras. Nos chemins parallèles ont construit une grande amitié, je ne le remercierai jamais assez.

Cette thèse n'aurait jamais été réalisée sans le soutien de mes parents et beaux-parents, ma sœur, mon neveu, mes grands parents. Ils sont mes racines et mon oxygène.

Je félicite la joie de vivre et l'esprit féérique de ma femme, Eléonore Samson. Sans elle, ce travail doctoral aurait été une navigation sans cap.

Je remercie chaleureusement mes amis : François-Xavier Pénicaud pour son perpétuel dynamisme, Stéphanie Pornin pour sa chaleureuse humeur, Virginie Fillon pour sa force de vivre, Julien Volper pour son incroyable ritournelle d'esprit, Alexandre Mottot pour sa capacité à tenir le présent dans ses mains, Damien Wenzek pour sa passion des vents et des vagues, Claire Braboszcz pour sa précieuse curiosité, Damien Tyrode pour son habituel humour. J'adresse une pensée particulière à Mïcha pour sa succulente présence. Je tiens à remercier tous mes colocataires pour les bons moments passés au quotidien.

Je glisse un clin d'œil aux personnes qui ont réalisé le colloque des jeunes chercheurs en sciences cognitives 2007 (CJC'SC) et qui m'ont fait confiance pour la réalisation de ce projet : Barthélémy Durette, Damien Fernandez, Delphine Presselin, Dimitri Bayle, Elie

Prudhomme, Elodie Labeye, Emilie Gerbier, Lisianne Hoch, Nadège Bault, Céline Renau Op't'hoog, Valérian Chambon, Virginie Etienne et ceux déjà nommés. Je les remercie profondément pour le travail que nous avons réalisé, pour les liens amicaux que nous avons cousus pendant nos études et pour leurs interrogations sur l'usage du concept de représentation en sciences cognitives. Je salue toutes les autres personnes avec lesquelles nous avons agi dans le cadre d'Estigma, association des étudiants en sciences cognitives du Rhône, et de la Fresco, fédération française des étudiants en sciences cognitives ; comme Lilianne Schoot, Elise Métereau et Nicolas Lecointe. Je respecte énormément le travail bénévole de l'ensemble de ces acteurs et de la qualité de leurs projets.

Je salue les personnes que j'ai rencontrées dans le cadre de ma formation en thérapie comportementale et cognitive, en particulier Benjamin Schoendorff pour son appétit scientifique, pour mon initiation à la thérapie de l'acceptation et de l'engagement et sa fidèle amitié. Je souligne mon profond respect pour Jean Cottraux, Charly Cungi et Evelyne Mollard.

Je remercie chaleureusement les membres du laboratoire d'études des mécanismes cognitifs (EMC) pour leur accueil et sympathie. J'adresse une pensée particulière à Valérie Buron pour avoir guidé mes premiers pas de doctorant, à Luc Keita pour sa gentillesse, à Emanuelle Reynaud et Stéphanie Mazza pour leurs aides et collaborations, à Isabelle Tapiero pour sa bonne humeur, aux doctorants de l'équipe mémoire, représentation et émotion, Benoît Riou, Guillaume Vallet et Lionel Brunel pour leurs discussions scientifiques.

Je tiens à remercier Hélène Paugam-Moisy pour m'avoir toujours invité à la modélisation informatique de mes résultats comportementaux. Je regrette profondément de ne pas avoir mené ce projet en sa compagnie.

J'adresse une pensée bienveillante aux œuvres de Terry Pratchett et de Léo Ferré qui m'ont accompagnée pendant tout ce travail.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont accompagné à la chasse aux coquilles de ce document.

Je remercie affectueusement toutes les personnes qui m'ont fait une place dans leur vie, je les remercie pour m'avoir accepté tel que je suis.

[Epigraphe]

« Le doute est le commencement de la sagesse » Claude Bernard (1865).

Avant-propos

« Quel est le plus long chemin d'un point à un autre ? Etant donnés deux points, A et B, situés à égale distance l'un de l'autre, comment faire pour déplacer B sans que A s'en aperçoive ? » Tardieu (1978)

Le thème de cette thèse est l'étude du traitement des relations spatiales visuelles. La principale problématique est de savoir si le traitement des relations spatiales est sous-tendu par un processus unique ou par deux sous-systèmes fonctionnels distincts, l'un chargé d'extraire les propriétés catégorielles, l'autre les propriétés coordonnées. La problématique sous-jacente est une réflexion sur l'opérationnalisation d'une hypothèse sur la dichotomisation de processus cognitifs par l'utilisation des asymétries fonctionnelles, et plus particulièrement l'emploi du paradigme de présentation en champ visuel divisé. Ainsi, notre investigation empirique consistera dans un premier temps au recueil et à l'interprétation de doubles dissociations Fonction * Hémisphère. Plus précisément, notre but expérimental est de tester l'hypothèse de Kosslyn (1987) selon laquelle les processus catégoriels seraient sous-tendus par l'hémisphère gauche et les processus coordonnés par l'hémisphère droit. Dans ce travail doctoral, une problématique annexe, celle de l'interprétation de l'effet de pratique de l'hémisphère gauche lors de jugements coordonnés observé dans plusieurs études, sera abordée.

Cette thèse se divise en deux chapitres. Chacun se compose d'une partie théorique, d'une partie expérimentale et d'une synthèse.

Le premier chapitre porte sur l'étude du traitement des relations spatiales et sur la non-réplicabilité de certains résultats observés dans la littérature. Une analyse des travaux expérimentaux portant sur le traitement des relations spatiales sera menée. Une série de cinq expériences, utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé, nous a permis de mettre en évidence l'influence de certains facteurs pouvant biaiser l'observation d'asymétries fonctionnelles. La synthèse et la conclusion de ce premier chapitre porteront sur une critique du paradigme de présentation en champ visuel divisé et sur des perspectives vis-à-vis des processus du traitement des relations spatiales. Cette démarche nous permettra d'articuler notre réflexion sur le deuxième chapitre.

Le deuxième chapitre traite de la dynamique hémisphérique. En guise d'introduction, une relecture de la littérature sur le traitement des relations spatiales sera faite et soulignera la

possibilité d'interaction, d'une part entre les hémisphères lors du traitement des relations spatiales, et, d'autre part, entre les processus catégoriels et coordonnés. Une revue des différents modèles d'interaction hémisphérique.

sera présentée. Enfin, trois expériences que nous avons menées seront décrites. Leurs résultats confirment le lien entre les processus catégoriels et coordonnés et apportent des éléments d'informations sur la dynamique interhémisphérique. Notre but n'a pas été de tester différents modèles de la dynamique hémisphérique, mais de nous inspirer de ces différents modèles pour comprendre le fonctionnement des processus catégoriels et coordonnés.

Dans les parties théoriques, nous avons cherché à bâtir notre réflexion plutôt sur les faits que sur les interprétations. Notre lecture de la littérature a été menée par une volonté de nous assurer que les faits rapportés étaient suffisants pour déduire telle ou telle interprétation ou valider telle ou telle hypothèse. Certaines études ont été analysées sous différents angles afin de nous permettre une analyse objective des données sur notre sujet.

Détails des expérimentations conduites pendant cette étude doctorale

Dans nos huit expériences, nous avons utilisé le paradigme d'Hellige et Michimita (1989a) afin d'évaluer les performances de traitements des relations spatiales des participants. Ce paradigme se divise en une tâche de type catégoriel et une tâche de type coordonné. De plus, nous avons employé le paradigme de présentation en champ visuel divisé afin d'observer ou non des asymétries fonctionnelles. Notre objectif premier était l'observation d'un avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné et un avantage de l'hémisphère gauche en prenant en considération le plus de facteurs contrôles possibles.

Description du chapitre I

L'expérience 1 avait pour objectif de nous fournir une baseline méthodologique pour étudier la dynamique des processus mis en jeu dans le traitement des relations spatiales. Nous avons répliqué l'expérience de Kosslyn, Koenig, Barrett, Cave, Tang, et Gabrieli (1989,

expérience 3). Nous n'avons pas répliqué leurs observations. Nous avons mis en évidence un avantage de l'hémisphère gauche quel que soit le type de tâche pour les temps de réponse, et un avantage de l'hémisphère droit pour le jugement coordonné en termes de précision. Face à ces variables dépendantes contradictoires, il nous a semblé rigoureux de répliquer cette expérience.

L'expérience 2 est une réplique de la première expérience. Afin de réduire les rapidités de traitements de l'hémisphère gauche, nous avons réduit la luminance de nos stimulations. Nous avons obtenu les mêmes résultats que dans l'expérience 1. Nous avons donc établi une liste de facteurs pouvant expliquer la plus grande rapidité de l'hémisphère gauche dans nos tâches.

Dans l'expérience 3, nous avons testé uniquement les jugements coordonnés. Des contrôles supplémentaires ont été effectués pour nous assurer que la rapidité des traitements de l'hémisphère gauche était bien causée par le processus du traitement des relations spatiales et non par d'autres processus. Nos résultats étaient similaires à ceux des expériences précédentes : l'hémisphère droit est plus précis pour les jugements coordonnés, l'hémisphère gauche plus rapide.

Dans l'expérience 4, nous avons reconduit l'expérience 3, mais en utilisant une présentation de la distance de référence qui ne favorise pas la catégorisation de l'espace préalablement à la réalisation de l'expérience. Nous avons répliqué le même pattern de résultats. En revanche, l'opérationnalisation que nous avons effectuée lors de cette expérience, nous a permis de conclure que des processus catégoriels s'opéraient de manière automatique lors de jugements coordonnés.

L'expérience 5 a consisté en un contrôle de l'ordre de présentations des stimuli pour vérifier si des amorçages inter-essais n'étaient pas une variable parasite à nos observations. Nos résultats sont en accord avec cette hypothèse. Lorsque nous avons contrôlé cette variable, nous avons observé un avantage, de précision et de rapidité, de l'hémisphère droit lors de jugements coordonnés. Les conclusions de cette étude valident en partie l'hypothèse de la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés et elles nous ont conduits à nous interroger quant à l'influence d'un hémisphère sur l'autre lors du traitement des relations spatiales. Au final, les amorçages inter-essais que nous avons observés nous ont suggéré que l'influence interhémisphérique n'était pas équivalente.

Description du chapitre II

Dans l'expérience 6, nous avons utilisé le paradigme de Boles (1983) afin de tester les relations interhémisphériques lors du traitement des relations spatiales coordonnées. Ce paradigme consiste en la présentation bilatérale de stimuli en faisant varier le niveau de congruences des informations qui sont envoyées simultanément aux deux hémisphères. Cette expérience nous a permis de recueillir de nombreuses observations. D'une part, nous avons trouvé que les représentations catégorielles influençaient les traitements coordonnés. D'autre part, nous avons mis en évidence que l'activité d'un hémisphère dépendait des informations traitées par son homologue. Nous avons répliqué l'effet de pratique (avantage de l'hémisphère droit pour les jugements coordonnés restreint au début de l'expérience) quand les hémisphères traitaient des informations communes. Dans le cas où les hémisphères traitaient des informations contradictoires, nous avons observé un effet de pratique inverse ; c'est-à-dire un avantage initial de l'hémisphère gauche qui disparaissait au profit d'un avantage de l'hémisphère droit. Nous avons effectué la méthode d'association inversée de Dunn et Kirsner (1988) afin de tester la dichotomisation des processus catégoriels et coordonnés : sa conclusion est plus en faveur de l'hypothèse d'un processus unique.

Afin de nous assurer de la répliquabilité et de la fidélité de notre protocole, nous avons répliqué l'expérience 6 et nous avons focalisé nos observations sur le début de l'expérience. Nous avons obtenu les mêmes patterns de résultats. Ainsi, nous pouvons assurer que la dominance d'un hémisphère pour un type de traitements dépend de l'interaction qu'il entretient avec son homologue. Ce fait nous donne un nouveau point de vue sur l'interprétation d'une dissociation Tâche*Hémisphère, nous questionnant sur la notion de spécialisation hémisphérique et de son efficacité pour dissocier des processus cognitifs. L'analyse de l'association inversée nous a conduits à modérer les conclusions de l'expérience 6 ; les processus catégoriels et coordonnés entretiendraient une relation de dépendance.

Dans le but de recueillir des informations supplémentaires avec un autre paradigme, l'expérience 8 a été conduite en utilisant un paradigme d'amorçage hémisphérique lors de jugements coordonnés. Les résultats obtenus confirment l'importance des communications interhémisphériques lors de ce type de tâche. En contrepartie, nous ne répliquons pas les

mêmes effets que dans les expériences 6 et 7. Ces résultats sont discutés et une ouverture est proposée afin de mener les contrôles nécessaires pour aboutir à des conclusions plus fiables. En conclusion générale, un questionnement sur notre démarche empirique est proposé. Une série d'investigations est décrite afin d'ouvrir une continuité de recherche sur le sujet.

Chapitre I

-

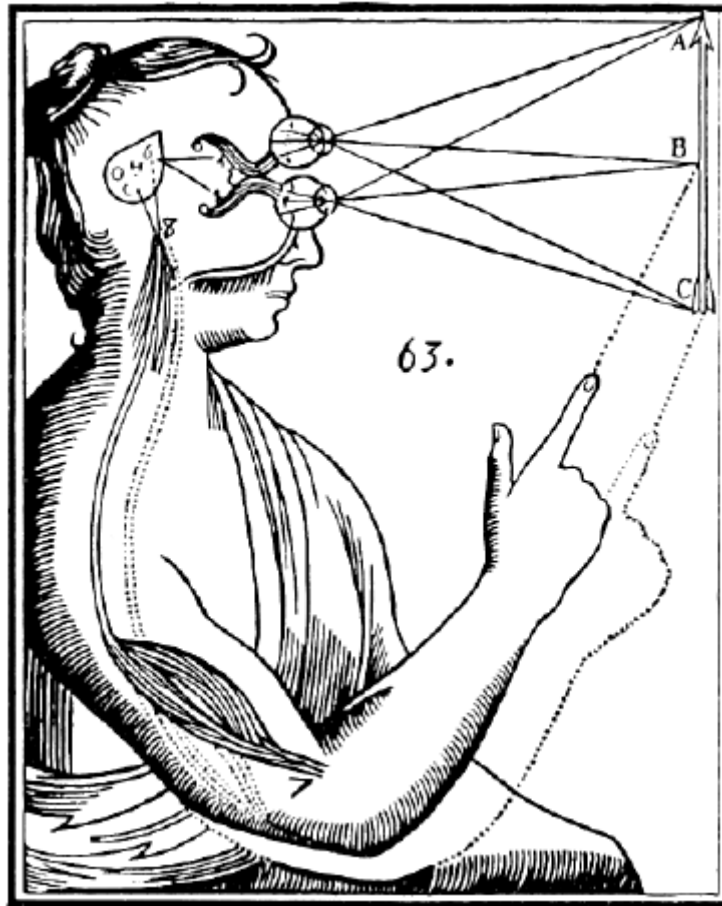
Etudes des relations spatiales visuelles

-

Partie théorique

Figure 1 Illustration issue de travaux de Descartes (1596-1650).

Détourné de son but premier, ce schéma peut être considéré comme une esquisse d'un schéma explicatif de l'organisation des voies visuelles.



Objectif

Ce chapitre a pour vocation d'établir une analyse précise de la littérature sur le traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées.

Le modèle de Kosslyn et Koenig (1992)

Le modèle de Kosslyn et Koenig proposé en 1992 dans leur ouvrage *Wet Mind* repose sur une conception computo-fonctionnelle du système cognitif. Ils ont proposé un modèle général du traitement de l'information visuelle. Les travaux présentés dans cette thèse s'inscrivent dans ce modèle. Dans un premier temps, nous décrirons l'approche computo-fonctionnelle et ses principes. Ensuite, nous rappellerons les problèmes auxquels un modèle

sur la perception visuelle doit répondre. Enfin, nous présenterons le modèle de vision de haut niveau de Kosslyn et Koenig (1992).

L'approche computo-fonctionnelle

L'approche computo-fonctionnelle repose sur la théorie computationnelle (définie par Marr, 1982) selon laquelle le système cognitif est composé de sous-systèmes qui « interprètent et transforment les informations » (Kosslyn, 1987), c'est-à-dire qui opèrent des calculs sur l'information (*i.e.*, *computation* en anglais). Ces sous-systèmes sont des descriptions fonctionnelles de réseaux de neurones. Kosslyn et Koenig (1992) expriment cette idée en proposant que : « *l'esprit est ce que fait le cerveau: une description de l'esprit est une description de la fonction du cerveau* ». Les buts de l'approche computo-fonctionnelle sont de (1) décrire l'ensemble des sous-systèmes qui contribue à une fonction cognitive, par exemple la vision, (2) savoir ce que calcule ces différents sous-systèmes et pourquoi. Cette approche est distincte de la conceptualisation algorithmique, laquelle cherche à décrire les différentes étapes de traitements de l'information. Le but de l'approche algorithmique est de savoir comment les computations sont réalisées, et non pas ce qu'elles sont (Kosslyn, 1987). Il nous semble important de souligner que l'approche computo-fonctionnelle ne se réduit pas à une description d'évènements psychologiques, mais à la description de fonctions de réseaux de neurones dissociés. Les défenseurs de cette approche se situent donc intégralement dans le champ des neurosciences cognitives : l'étude de fonctions cognitives est corrélée à une recherche de substrats neurobiologiques. Kosslyn et Koenig (1992) ont différencié plusieurs sous-systèmes fonctionnels interagissant lors de l'identification visuelle d'un objet (Figure 2). Ce modèle s'oppose au modèle de Biederman (1987) ; la distinction entre ces deux modèles de la reconnaissance d'objet est très bien décrite dans l'article de Baker Cave et Kosslyn (1993).

Problèmes relatifs à la vision de haut niveau

Comment arrivons-nous à reconnaître un objet bien que celui-ci puisse être présenté dans différents endroits de notre champ visuel ? Par exemple, nous percevons bien le même objet qu'il soit sous ou sur une table, qu'il soit proche ou loin de nous. Si l'on pose l'hypothèse qu'il existe pour chaque image rétinienne, une représentation mentale associée, alors, pour un seul objet, plusieurs milliers de représentations seraient nécessaires à sa reconnaissance.

En réponse à ce problème (*i.e., problem of position variability*) et partant du postulat que le cerveau fonctionne de manière économique, Marr (1982) postulait que nous encodions une représentation de l'objet de manière centrée, c'est-à-dire indépendante de sa position dans l'espace. En effet, notre système visuel est divisé en deux grandes fonctions : la reconnaissance et la localisation. La dichotomisation de ces traitements nous permet de reconnaître un objet indépendamment de sa localisation spatiale (voir partie Dissociation fonctionnelle entre la voie ventrale et la voie dorsale, p. 19).

Comment arrivons-nous à reconnaître un objet bien que celui-ci puisse être vu sous différents angles ? Par exemple, nous reconnaissons une tasse que son anse soit présentée à droite ou à gauche. Dans la même logique que nous avons évoquée, s'il existe une représentation mentale associée à chaque rotation d'un objet, alors le nombre de représentations nécessaires à sa reconnaissance serait extrême. La théorie computationnelle avance que nous ne coderions pas un objet dans son ensemble, mais nous coderions ses parties. La représentation des parties d'un objet représente une économie par rapport à l'encodage de toutes les rotations qu'un objet peut faire, toutefois ce type d'encodage nécessite que chacune des parties soit intégrée pour confectionner un objet entier. La résolution de ce problème nommé *problem of separate encoding parts* (Kosslyn, 1987) précise que l'identification d'un objet nécessite la localisation relative de ces parties. L'encodage des objets et l'encodage de leur position ne sont donc pas indépendants.

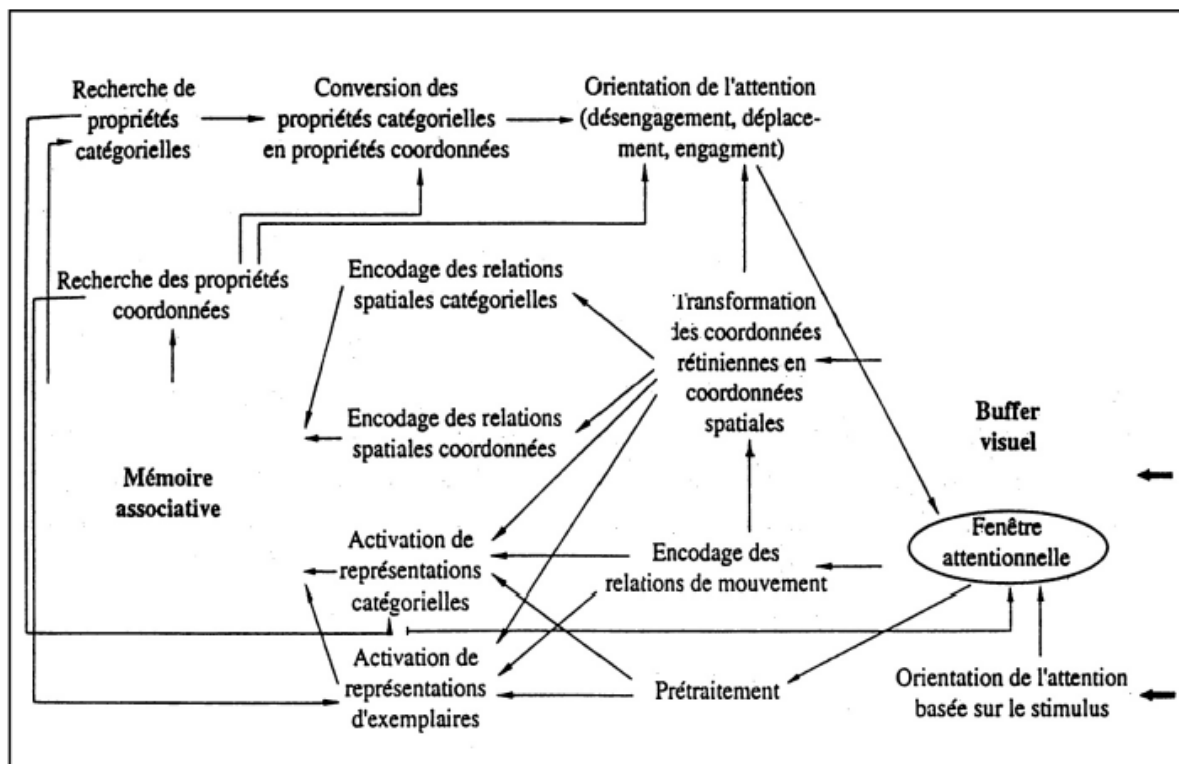
Comment arrivons-nous à reconnaître des objets dont la position des parties varie ? Par exemple, nous reconnaissons un corps humain que ces bras soient levés ou le long du tronc. De même, nous arrivons à distinguer un visage souriant, d'un visage triste. Kosslyn (1987) propose une solution à ce problème (*i.e., problem of irrelevant shape variation*). La juxtaposition des parties d'un objet nécessiterait, d'une part une reconnaissance catégorielle, par exemple les jambes sont en-dessous du ventre, et, d'autre part, un calcul des distances entre les parties, par exemple les jambes sont écartées de cinquante centimètres l'une de l'autre. Ces deux types de traitements permettent de coder une infinité de représentations d'objets dits flexibles (en opposition aux objets rigides dont la configuration métrique entre les parties ne varient pas). La distinction entre les processus catégoriels et coordonnés est l'objet de notre travail doctoral.

Les réponses à ces différentes questions ont donné lieu à la proposition d'un modèle de la vision de haut niveau par Kosslyn et Koenig (1992). Ils proposent une architecture fonctionnelle de la vision (Figure 2) qui répond aux questions suivantes : (1) Comment le

cerveau est-il organisé pour identifier visuellement des objets ? (2) Quelles sont les différentes fonctions nécessaires à cette fin ? (3) Quelles sont les structures cérébrales qui sous-tendent ces différentes fonctions ? Dans une première partie, nous décrirons succinctement les différentes composantes, fonctionnelles et cérébrales, de ce modèle. Nous présenterons ensuite des études sur la distinction entre la reconnaissance et la localisation visuelles. Dans une troisième partie, nous décrirons les évidences de l'intégration de la reconnaissance et de la localisation des objets ou parties d'objets. Enfin, nous rassemblerons les études portant sur les processus coordonnés et catégoriels et nous présenterons les problèmes d'interprétations qui y sont liés.

Description du modèle de la vision de haut niveau

Figure 2 Architecture fonctionnelle de la vision de haut niveau selon Kosslyn et Koenig (1992).



Le premier sous-système du modèle est le buffer visuel qui peut être considéré comme une mémoire tampon sous-tendue par les aires visuelles primaires et secondaires. Le buffer visuel est organisé spatialement, c'est-à-dire qu'il conserve les propriétés topologiques des projections sur la rétine (Hubel & Wiesel, 1959). Le buffer visuel a pour rôle la ségrégation figure / fond et serait sous l'influence d'un focus attentionnel. L'orientation de l'attention

serait contrôlée par les colliculi supérieurs et par un processus top-down. L'existence d'une fenêtre attentionnelle a été mise en évidence par les travaux de Sperling (1960). Selon cet auteur, le déplacement de l'attention visuelle n'est pas forcément lié au déplacement des yeux.

Les informations du buffer visuel se propagent de manière parallèle vers la voie du « what » (ventrale) et vers la voie du « where » (dorsale).

La voie ventrale, aboutissant à la reconnaissance de l'objet, nécessite l'intervention de trois sous-systèmes : (1) Le sous-système de pré-traitements, qui extrait les propriétés non-accidentelles de l'objet, c'est-à-dire les invariants géométriques d'un objet. L'importance de ces propriétés non-accidentelles dans la reconnaissance d'objets a été mise en évidence par Biederman (1987). (2) Le sous-système d'encodage des relations de mouvements, qui permet de relier les informations empruntant la même trajectoire. (3) Le sous-système d'activations de patterns, qui peut être considéré comme une mémoire unimodale. Ce sous-système permet la reconnaissance visuelle de l'objet et peut être divisé en deux sous-systèmes : le sous-système d'activations d'exemplaires contient des informations sur les différentes instances d'une catégorie d'objet permettant de faire face au problème de la constance d'un objet ; et le sous-système d'activations de catégories contient des informations sur les prototypes d'une catégorie. Rappelons que la voie ventrale aboutit à la reconnaissance de l'objet, mais pas à son identification.

La voie dorsale, permettant d'extraire les propriétés spatiales générales de l'objet, nécessite l'intervention de trois sous-systèmes : (1) Le système de transformation des coordonnées rétiniennes en coordonnées spatiales réajuste la métrique rétinienne par des informations spatiales issues des systèmes vestibulaires et somatotopiques. (2) Le sous-système d'encodage des relations spatiales catégorielles a pour rôle d'extraire les positions relatives entre objets ou entre parties d'objets. (3) Le sous-système d'encodage des relations spatiales coordonnées a pour rôle d'extraire la distance entre deux objets ou entre deux parties d'un objet. Cette distinction entre un traitement catégoriel et un traitement coordonné est, comme nous l'avons dit, l'hypothèse de Kosslyn (1987) ; sa validation empirique fait l'objet de notre travail.

Les informations intégrées par la voie ventrale et la voie dorsale convergent vers la mémoire associative, sous-tendue par les lobes temporaux supérieurs. L'activation de ce système est indépendante de la modalité d'entrée des informations. Là, un processus d'appariement permet l'émergence de l'identité de l'objet, par exemple son nom ou des connaissances qui

lui sont reliés. En cas de nécessité, un feedback attentionnel sur les différentes unités du réseau permettra un réajustement des traitements pour aboutir à une identification plus fine.

L'architecture fonctionnelle proposée par Kosslyn et Koenig (1992) est soutenue par des évidences empiriques. Premièrement, nous présenterons des études portant sur l'existence d'une dichotomie entre le système ventral et le système dorsal. Deuxièmement, nous focaliserons notre attention sur les sous-systèmes d'encodage des relations spatiales.

Dissociation fonctionnelle entre la voie ventrale et la voie dorsale

Nous pouvons aujourd'hui réunir de nombreux faits sur l'évidence d'un système de reconnaissance des objets et d'un système de localisation des objets. L'étude princeps est une étude lésionnelle chez le singe réalisée par Pohl (1973) et confirmée par les travaux d'Ungerleider et Mishkin (1982). Une lésion bilatérale des lobes pariétaux entraîne un déficit dans la reconnaissance des objets, les capacités spatiales étant préservées. Inversement, une lésion bilatérale des lobes temporaux entraîne un déficit dans la localisation spatiale, la reconnaissance des objets étant préservée. Cette double dissociation est un argument fort pour assurer l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels.

Les constatations issues des études chez le singe, que nous venons de décrire, ont été confirmées chez l'Homme par des observations neuropsychologiques. Une atteinte des zones temporales engendre des troubles de la reconnaissance visuelle, nous pouvons regrouper trois principaux syndromes : l'agnosie visuelle est une incapacité à reconnaître des objets en dépit d'atteinte des traitements visuels de bas niveau ; elle est généralement consécutive à des lésions bilatérales des lobes temporaux (Farah, 1990). La prosopagnosie est une incapacité à reconnaître des visages ; elle est généralement consécutive à des lésions occipito-temporales inférieures droites ou bilatérales (Beyn & Knyazenva, 1962 ; Damasio, Damasio, & Van Hoesen, 1982). Enfin, l'agnosie des lieux est une incapacité à reconnaître des lieux familiers (Aguire & D'esposito, 1999) ; ce trouble est sous-tendu par des lésions occipito-temporales inférieures. Une atteinte des zones pariétales engendre des troubles d'ordre spatial ; ils recouvrent les syndromes suivants : le syndrome de l'orientation spatiale est une incapacité à s'orienter dans l'environnement, bien que la reconnaissance des lieux soit effective ; ce trouble est consécutif de lésions pariétales supérieures. Les personnes atteintes du syndrome de Gerstmann (pour une description voir, Vallar, 2007), parmi d'autres symptômes, présentent une confusion entre la droite et la gauche. Ce syndrome est

causé par des lésions pariétales inférieures. Des lésions unilatérales (postérieures ou inférieures) des lobes pariétaux engendrent le syndrome d'héminégligence (pour une revue voir, Kerkhoff, 2001). Les effets de ce dernier s'expriment par une incapacité à percevoir et à répondre à des stimuli présentés dans l'hémichamp visuel controlatéral à la lésion. Les personnes atteintes d'héminégligence présentent des déficits du traitement spatial allocentrique (*i.e.*, relation spatiale entre deux objets) ; ce trouble est mis en évidence dans des tâches de bissection de ligne qui consiste à trouver le centre de segments (Schenkenberg, Bradford, & Ajax, 1980). Un déficit du traitement spatial égocentrique (*i.e.*, relation spatiale du sujet par rapport à l'environnement) est aussi présent chez ce type de patient ; il est mis en évidence dans des tâches où l'on demande au patient de pointer du doigt le milieu de leur corps. Les réponses des patients sont déviées ipsilatéralement à leur lésion (Heilman, Bowers, & Watson, 1983, 2001). Bisiach et Luzzatti (1978) ont proposé que l'héminégligence repose sur un déficit de la représentation d'un hémiespace. Deux de leurs patients étaient incapables de rappeler les localisations spécifiques du côté gauche d'une place de Milan quand ils s'imaginaient la place d'un certain point de vue. Quand on demandait à ces patients de se tourner mentalement de 180° de leur point de vue, ils rappelaient alors les détails omis, mais omettaient cette fois-ci les localisations de leur côté gauche (côté droit de la première condition qu'ils avaient réussi à rappeler). L'héminégligence regroupe un certain nombre de déficits qui portent sur le traitement spatial ; ce trouble étant consécutif de lésions pariétales unilatérales, cette structure sous-tend donc un traitement spatial de l'information visuelle.

Une lésion de la jonction occipito-pariétale entraîne une incapacité à concevoir la topographie des parties des objets engendrant ainsi une difficulté de reconnaissance des objets (Robertson, Treisman, Friedman-Hill, & Grabowecky, 1997). Ce trouble a été nommé syndrome Balint (Balint, 1909, cité dans Buron, 2004). Ce trouble est souvent corrélé à une difficulté à différencier des objets dont les pourtours se chevauchent (*i.e.*, *simultaneous agnosia*). Les personnes souffrant de cet handicap reconnaissent un objet isolé, mais ne sont pas capables d'interagir avec lui ou de lui donner un sens en fonction de leur environnement. Rafal (2001, chapitre 6) dit qu'ils ont perdu l'espace. En résumé, localiser des parties d'objets ou des objets entre eux est donc important pour reconnaître des objets. L'interaction entre la voie dorsale et la voie ventrale n'est pourtant pas nécessaire pour reconnaître un objet, puisque des objets présentés isolément peuvent être reconnus par des patients ayant le syndrome Balint. Les symptômes de ce trouble montrent une distinction entre la reconnaissance des objets et leurs localisations spatiales, mais ils

montrent également que ces fonctions sous-tendues par des sous-systèmes différents interagissent.

En résumé, il existe donc un grand nombre d'études de patients cérébraux lésés dont les conclusions vont dans le sens d'une double dissociation fonctionnelle entre la voie ventrale et la voie dorsale. Ces études lésionnelles et neuropsychologiques sont corroborées à des observations issues d'études en imagerie cérébrale (Haxby et al., 1991 ; Haxby, Horwitz, Ungerleider, Maisog, Pietrini, & Grady, 1994 ; Ungerleider & Haxby, 1994). Les études tomographiques par émission de positrons d'Haxby et al. (1991, 1994) rapportent qu'une tâche de discrimination de visages active davantage la région occipito-temporale et qu'une tâche de localisation active davantage la région pariétale latérale supérieure.

La convergence des données issues de différents moyens d'observations valide l'hypothèse de l'existence d'une double dissociation entre la reconnaissance des objets et leur localisation cérébrale.

Dissociation fonctionnelle des relations catégorielles et des relations coordonnées

Selon la théorie computationnelle, reconnaître un objet nécessite de reconnaître ces différentes parties (Biederman, 1987 ; Marr, 1982). Cette hypothèse a été validée et intégrée au modèle de Kosslyn et Koenig (1992) par les travaux empiriques de Cave et Kosslyn (1992). Selon leurs résultats, la distinction des différentes parties d'un objet serait nécessaire à la reconnaissance d'un objet, mais les objets seraient représentés de manière intégrée (*i.e.*, et non pas uniquement sous la forme de différentes parties) dans la mémoire à long terme. On appelle le problème d'assemblage (*i.e.*, *binding problem*), la fonction d'intégration des différentes parties d'un objet afin d'identifier un objet comme un tout unifié. Kosslyn et Koenig (1992) proposent que cette intégration soit sous-tendue par la convergence de la voie dorsale et de la voie ventrale vers un même sous-système fonction (la mémoire associative). Kosslyn (1987) précise que l'identification d'un objet demande certes la reconnaissance de ses parties, mais aussi la localisation relative de celles-ci. La voie dorsale ne servirait donc pas uniquement à calculer la position des objets entre eux, mais aussi les relations topographiques entre les parties des objets. *In extenso*, Kosslyn postule l'existence de deux types de relations spatiales. L'un serait particulièrement utile pour intégrer les parties d'objets rigides (par exemple, une tasse, un panier..., des objets dont la configuration topographique de leurs parties est constante), l'autre serait utile pour intégrer

la position des parties d'objets flexibles (par exemple, une main, un visage, un corps humain..., des objets dont la position des parties constitutives varie). Le traitement de représentations spatiales permettrait donc de mieux reconnaître des objets, et ceci sous différents angles.

Une hypothèse fructueuse

À partir des deux fonctions différentes des processus des relations spatiales, Kosslyn postule l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels distincts au sein du système du traitement des relations spatiales de la voie dorsale. Il existerait d'une part une représentation catégorielle des relations spatiales, par exemple « cette porte est à gauche ou à droite de la fenêtre ». D'autre part, une représentation coordonnée des relations spatiales nous permettrait d'évaluer la distance entre deux objets, par exemple « cette porte est à deux mètres de la fenêtre ». Les représentations catégorielles et coordonnées ne se basent pas sur les caractéristiques absolues d'un objet, mais sur une correspondance relationnelle non arbitraire entre deux objets ou deux parties d'objet. Ces deux types de représentations peuvent être allocentriques (*i.e.*, relation entre un objet et son propre corps) ou égocentriques (*i.e.*, relation entre deux objets de l'environnement).

Les relations catégorielles

Les représentations catégorielles entre deux objets ou entre deux parties d'un objet codent la position relative. Elles sont exprimées en classes binaires ou nominales, par exemple : au-dessous de/au-dessus de, à droite de/ à gauche de, au sud de/ au nord de, à l'ouest de/ à l'est de, *etc* (par exemple, une cardinale ouest est à bâbord d'un bateau faisant route au sud). L'encodage des informations catégorielles serait particulièrement utile pour construire une description structurale des objets rigides et de leurs parties (selon les considérations computationnelles).

Les relations coordonnées

Les représentations coordonnées codent la distance entre les objets ou des parties d'objet (Kosslyn, 1987), mais aussi la taille précise et l'orientation des objets ou des parties d'objet (Kosslyn, 1994). Contrairement aux représentations catégorielles, les informations coordonnées peuvent s'exprimer sur une échelle numérique (*i.e.*, un continuum) et nécessitent un point de référence. Comme toute échelle numérique, les informations coordonnées peuvent être regroupées en différentes classes nominales ou ordinales, par exemple près de/ loin de, à moins d'une certaine distance de/ à plus d'une certaine distance

de, *etc.* L'encodage des informations coordonnées serait utile pour la description structurale d'objet flexible (par exemple, le corps humain ou un visage), mais aussi pour la navigation (par exemple, connaître la distance exacte entre nos pieds et un précipice ou la distance entre le chat d'une aiguille et un fil).

Opérationnalisation

L'un des moyens de savoir si deux processus cognitifs sont distincts est l'observation d'une double dissociation entre deux types de tâches (chacune supposée n'impliquer qu'un seul sous-système prédit) et deux réseaux de neurones différents.

Kosslyn (1987) énumère quatre propriétés du cerveau. Le premier est que le cerveau est fonctionnellement organisé en une série de sous-systèmes séparés. Le deuxième est l'exercice ; le traitement successif d'un stimulus par un réseau de neurones engendre une modification des poids synaptiques de ce réseau. La modification de ses poids améliore les traitements et est rendue possible, selon Kosslyn, par un feedback donné par les structures auxquelles le résultat de ses traitements est envoyé. Le troisième est celui de la dégradation transhémisphérique. Citant les hypothèses de Kinsbourne (1970), Kosslyn considère que les hémisphères se partagent un stock commun d'activations. Si un hémisphère reçoit en premier un stimulus, alors son activation réduit l'activation de son homologue. Il précise que les hémisphères ignorent complètement les informations stockées dans l'autre hémisphère. Des activités demandant une coordination des deux hémisphères seraient pilotées par un sous-système de contrôle bilatéral (*i.e.*, « *central* » *bilateral control*). Kosslyn suppose que ce sous-système serait initialement latéralisé afin qu'un hémisphère contrôle l'activité de son homologue. Enfin, Kosslyn évoque le mécanisme de boule de neige (*i.e.*, *snowball mechanism*). Les enfants seraient initialement latéralisés, mais pas de manière complète. L'articulation des quatre propriétés, que nous venons de décrire, aurait pour conséquence d'accentuer les différenciations fonctionnelles entre les hémisphères au fur et à mesure du développement. Par exemple, la fonction langagière serait pilotée par un sous-système de contrôle bilatéral situé dans l'hémisphère gauche. Ce sous-système enverrait un feedback aux sous-processus lui envoyant des informations. Par le principe d'exercice, ces sous-systèmes modifieraient leurs poids synaptiques et deviendraient plus efficaces. Par le principe de dégradation transhémisphérique, les sous-systèmes de l'hémisphère gauche recevraient ce feedback, alors que les sous-systèmes de l'hémisphère droit recevraient un feedback dégradé et donc ne pourraient pas modifier suffisamment leurs poids pour être efficaces. Ainsi, tout sous-système envoyant des informations au sous-

système langagier deviendrait asymétriquement localisé (dans l'hémisphère gauche). Kosslyn applique le même raisonnement pour le traitement de la navigation spatiale qui serait piloté par un sous-système de contrôle bilatéral situé dans l'hémisphère droit. En correspondance, tout sous-système envoyant des informations au sous-système spatial deviendrait asymétriquement localisé (dans l'hémisphère droit). Comme les représentations des relations catégorielles sont fortement reliées à des catégories verbales, le sous-système sous-tendant leurs encodages serait donc situé dans l'hémisphère gauche. Inversement, les représentations des relations coordonnées sont fortement reliées à la navigation spatiale, le sous-système sous-tendant leurs encodages serait donc situé dans l'hémisphère droit.

En résumé, en présentant sa conception de la dynamique hémisphérique, Kosslyn opérationnalise son hypothèse de dichotomisation des traitements des relations spatiales en faisant appel aux asymétries fonctionnelles. Son hypothèse serait donc validée par l'observation d'une double dissociation entre deux types de tâches (catégorielle et coordonnée) et les deux hémisphères. Nous présenterons dans la prochaine partie, les différentes investigations qui ont eu lieu pour valider cette prédiction.

Investigations des traitements des relations spatiales catégorielles et coordonnées

La force d'une conclusion tient à la multitude des preuves qui la valide. Telle est la démarche des sciences cognitives. Nous présenterons, dans cette partie les différents moyens qui ont été mis en place pour infirmer ou confirmer l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales. Adopter un point de vue pluridisciplinaire sur notre problématique, nous semble essentiel pour une bonne compréhension des phénomènes. Dans un premier temps, nous décrirons les résultats issus de la psychologie cognitive. Plus particulièrement, nous présenterons et discuterons les données de chronométrie mentale recueillies à partir du paradigme de présentation en champ visuel divisé. Une synthèse des paradigmes employés sera élaborée. De même, un inventaire des facteurs impactant sur ce genre d'étude sera établi. Enfin, nous présenterons une analyse critique de cette littérature afin de déterminer dans quelles mesures ces données sont suffisantes pour valider l'hypothèse opérationnelle de Kosslyn (1987). Dans un deuxième temps, nous décrirons des travaux de simulations des processus catégoriels et coordonnés de réseaux de neurones artificiels. Cette description apportera des arguments théoriques qui seront discutés. Ensuite, nous exposerons des observations

neuropsychologiques, suivies d'une analyse d'études d'imagerie cérébrale sur les processus catégoriels et coordonnés. Une présentation de travaux sur les animaux sera faite, suivie de l'étude de l'impact des processus du traitement des relations spatiales sur la reconnaissance d'objets et sur la génération d'images mentales visuelles. Chacune de ces parties sera étayée d'une synthèse pour faciliter la lecture ; une synthèse générale sera proposée pour introduire notre problématique.

Dissociations fonctionnelles mises en évidence dans les études de présentation en champ visuel divisé

Principe de la méthode de présentation en champ visuel divisé

Le paradigme de présentation en champ visuel divisé aurait été utilisé pour la première fois par Mishkin et Forgays (1952, selon White, 1969). L'œil capte les variations de lumière de notre environnement via un réseau de neurones qui tapisse le fond de notre rétine. Deux types de cellules constituent la famille des photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. Les cônes, majoritairement présents en fovéa (*i.e.*, région centrale de la rétine), sont sensibles aux hautes fréquences spatiales et à la couleur. Les bâtonnets, majoritairement présents en périphérie rétinienne, sont sensibles aux basses fréquences spatiales et au mouvement. La concentration de récepteurs (et surtout de cônes) étant plus dense au centre qu'à la périphérie, l'acuité visuelle baisse avec le carré de l'excentricité (*i.e.*, angle optique de la rétine dont l'origine est la fovéa). D'autres cellules constituent le réseau rétinien, dont la fonction principale est la détection des variations lumineuses et du contraste par unité de champ visuel, on parle de champ récepteur. A la suite de ces premiers traitements, 90% de l'information visuelle, via le nerf optique, converge vers les corps genouillés latéraux puis vers l'aire visuelle primaire. On nomme cette voie la voie rétino-géniculo-striée. Dix pour cent de l'information visuelle converge vers d'autres noyaux cérébraux dont les colliculi supérieurs et le pulvinar (voie rétino-tecto-pulvinar). Cette voie a pour principale fonction le contrôle oculomoteur et attentionnel ; elle serait responsable des micro-saccades oculaires qui s'opèrent à une période d'environ 180 millisecondes (ms).

La voie rétino-géniculo-striée est le vecteur principal de l'information visuelle, elle est divisée en quatre axes en fonction des parties rétiniennes dont elle est issue. La rétine est composée de deux parties : selon l'axe médian vertical de l'œil, la partie la plus externe est nommée la partie temporale ; la partie la plus interne est nommée nasale. En vision binoculaire, la partie temporale de l'œil gauche et la partie nasale de l'œil droit reçoivent

approximativement¹ la même information de l'environnement, celle contenue dans le champ visuel droit. De façon complémentaire, la partie temporale de l'œil droit et la partie nasale de l'œil gauche reçoivent les informations contenues dans le champ visuel gauche (Kandel, 1991). Les nerfs optiques des hémirétines temporales convergent vers l'aire visuelle primaire ipsilatérale. Les nerfs optiques des hémirétines nasales se croisent au niveau du chiasma optique, leurs afférences sont controlatérales. Remarquons que les axones des neurones de la fovéa se projettent sur les deux hémisphères, c'est au-delà d'un degré d'angle visuel que l'information est projetée sur l'hémisphère qui lui est controlatéral (Beaumont, 1982 ; Sergent & Hellige, 1986).

Le paradigme de présentation en champ visuel divisé repose sur cette configuration des projections nerveuses afférentes sur les hémisphères. Le principe est le suivant : le participant doit fixer un point, ce point est donc projeté sur la fovéa. La présentation rapide d'un stimulus décalé au minimum d'un degré d'angle visuel va se projeter sur la périphérie rétinienne. Les informations de la périphérie rétinienne convergent sur l'hémisphère controlatéral au champ visuel dans lequel elles sont présentées. Ainsi, si le participant fixe uniquement le point de fixation, une information, présentée pendant une durée inférieure à une saccade oculaire dans le champ visuel droit, sera reçue en premier lieu par l'hémisphère gauche. Inversement, une information présentée dans le champ visuel gauche sera reçue initialement par l'hémisphère droit. En présentation unilatérale, un hémisphère recevrait donc le stimulus avec un délai d'avance par rapport à son homologue. En partant du principe que le transfert d'informations d'un hémisphère à l'autre prend du temps ou dégrade celle-ci, l'observation de meilleures performances en réponse au champ visuel droit refléterait un avantage de l'hémisphère gauche. À l'inverse, l'observation de meilleures performances en réponse au champ visuel gauche refléterait un avantage de l'hémisphère droit. L'avantage hémisphérique s'exprime par le fait que l'avance accordée à un hémisphère ou la non-dégradation de l'information par transfert calleux ait été maintenue par la rapidité ou l'efficacité des traitements de l'hémisphère controlatéral à la stimulation. Ainsi, observer des différences significatives de temps de traitements ou de bonnes réponses atteste que les hémisphères traitent différemment l'information. Trois points sont importants dans cette technique : premièrement, les informations doivent être présentées pendant une durée inférieure à 180 ms. Deuxièmement, les informations doivent être présentées au minimum à un degré d'angle visuel de l'endroit où les participants fixent leur regard.

¹ L'information est sensiblement différente car les yeux sont écartés en moyenne de 6,5 cm, les deux images rétiniennes sont donc différentes, on parle de disparité oculaire qui est à l'origine de la vision stéréoscopique.

Troisièmement, le principe de chronométrie mentale doit être respecté, c'est-à-dire que les participants doivent répondre le plus vite possible. L'ouvrage de Beaumont (1982) présente de manière complète et détaillée cette technique. Selon cet auteur, trois autres précautions doivent être prises en considération. Premièrement, le sexe des participants est un facteur important. En effet, plusieurs études ont montré que les hommes présentaient plus de différences hémisphériques que les femmes (voir, Beaumont, 1982). Deuxièmement, la latéralité des participants doit être évaluée. La latéralité est le degré d'asymétrie hémisphérique. Une faible latéralité exprime de faibles différences hémisphériques ; une forte latéralité reflète des différences hémisphériques importantes. La latéralité est mesurée par la préférence manuelle et est évaluée par le Test d'Oldfield (1971). Rappelons que chaque moitié de notre corps est contrôlée par l'hémisphère controlatéral. La main droite est donc dirigée par l'hémisphère gauche et vice versa. Une personne utilisant uniquement ou préférentiellement sa main droite, qualifiée de droitier, est fortement latéralisée. Une personne ambidextre est faiblement latéralisée. Des études présentées dans l'ouvrage de Beaumont (1982) ont montré que les droitiers étaient fortement latéralisés, comparativement aux gauchers qui sembleraient ne présenter que de faibles différences hémisphériques. Afin d'optimiser les chances d'observation de différences hémisphériques, il convient donc de choisir des échantillons fortement latéralisés, c'est-à-dire des droitiers. *In extenso*, la troisième précaution est le mode de réponses. En effet, les réponses données par la main droite seront plus rapides que celle données de la main gauche, chez un droitier. De plus, répondre de la main droite donne un avantage temporel à l'hémisphère gauche et inversement. De même, demander une réponse verbale, favorisera les temps de traitement de l'hémisphère gauche chez des personnes droitiers. Dans les études employant le paradigme de présentation en champ divisé, il est donc important de contrôler le mode de réponses. La solution classique qui est adoptée est de diviser notre échantillon de participants en deux groupes ; l'un répondant de la main droite, l'autre de la main gauche.

Les études princeps du traitement des relations spatiales

Hellige et Michimata (1989a) ont réalisé une expérience testant l'hypothèse d'une dissociation hémisphérique pour le traitement des relations spatiales. Ils ont présenté unilatéralement et bilatéralement un point et une barre. La tâche catégorielle consistait à dire si le point est au-dessus ou en-dessous de la barre. La tâche coordonnée consistait à dire si le point est à plus ou moins deux centimètres de la barre. Premièrement, ils ont observé que les réponses aux présentations bilatérales (*i.e.*, présentation de stimuli identiques de chaque côté

du point de fixation) étaient plus rapides que celles aux présentations unilatérales. Deuxièmement, l'interaction Tâche * Champ visuel était significative. Toutefois, l'avantage du champ visuel gauche (*i.e.*, *cvg-HD*) était significatif pour la tâche coordonnée, mais l'avantage du champ visuel droit (*i.e.*, *cvd-HG*) n'était pas significatif pour la tâche catégorielle. En appliquant le principe de l'association inversée (*i.e.*, *reversed association*) de Dunn et Kirsner (1988), Hellige et Michimata (1989a) ont rejeté l'hypothèse d'un processus unique chargé des deux types de traitements spatiaux.

Kosslyn et al. (1989) ont publié une série de quatre expériences. Dans leurs expérimentations, ils ont utilisé le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Dans leur première expérience, la tâche catégorielle consistait à déterminer si un point était connecté ou non à une forme patatoïde ; la tâche coordonnée consistait à déterminer si ce point à plus ou moins deux millimètres de la figure. Dans leur deuxième expérience, Kosslyn et al. (1989) ont utilisé les mêmes stimuli, mais la tâche catégorielle a été modifiée, elle consistait à dire si le point était à gauche ou à droite de la figure. Dans leur troisième expérience, ils ont répliqué le protocole d'Hellige et Michimata (1989a) en apportant quelques modifications : la distance critique pour le jugement coordonné était de deux millimètres et la présentation bilatérale était remplacée par une présentation centrale. Dans ces trois expériences, Kosslyn et al. (1989) ont répliqué les résultats de Hellige et Michimata (1989a), c'est-à-dire qu'ils ont obtenu une interaction Tâche * Champ visuel significative, un avantage significatif de la condition *cvg-HD* pour les jugements coordonnés et un avantage non significatif de la condition *cvd-HG* pour les jugements catégoriels. Dans une quatrième expérience, Kosslyn et al. (1989) ont reconduit leur première expérience et ont observé le même pattern de résultats, mais uniquement chez les participants ayant un fort score de latéralité.

Pour Hellige et Michimata (1989a) et Kosslyn et al. (1989) leurs résultats valident l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales. Nous ne partageons pas leur avis, en ce sens que l'absence d'avantage significatif de l'hémisphère gauche (répliquée dans 5 expériences) ne permet pas de conclure à une asymétrie fonctionnelle du traitement des relations catégorielles. Bien que l'interaction Tâche * Champ visuel soit significative, nous pensons qu'elle est non suffisante pour tirer une telle conclusion. En effet, une simple dissociation n'est pas suffisante pour rejeter l'existence d'un processus unique. Il est nécessaire d'observer une double dissociation pour rejeter cette hypothèse (Teuber, 1955) ; on parle aussi d'interaction double croisée.

Illustrons notre propos par l'exemple suivant : dans une tâche A, un réseau de neurones 1 présente de bonnes performances et un réseau de neurones 2 de mauvaises ; inversement, dans une tâche B, le réseau 1 présente de mauvaises performances et le réseau 2 de bonnes performances. Si les différences de performances des deux réseaux sont significatives, alors nous avons un argument empirique fort pour déduire que la tâche A et la tâche B sont soutenues par des processus distincts. Cette déduction nécessite que l'interaction des facteurs Réseau de neurones et Tâche soit significative et que les effets du facteur Réseau de neurones soient inversés pour chacune des tâches. Dans notre cas, l'absence de l'avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel donne lieu à une dissociation simple, mais pas à une dissociation double. Plusieurs auteurs insistent sur ce point statistique important et avancent même qu'une double dissociation n'est pas encore suffisante pour infirmer l'hypothèse d'un processus unique (Chater, 2003 ; Dunn, 2003; Dunn & Kirsner, 1998, 2003; Van Ordena, Penningtonb, & Stonec, 2001).

Les différents paradigmes d'étude des traitements des relations spatiales.

Nombreuses sont les tâches qui ont été inventées pour l'étude du traitement des relations spatiales. Il nous semble important d'en faire l'inventaire. Le paradigme le plus utilisé est celui que nous venons de décrire, celui d'Hellige et Michimata (1989a), dit paradigme du point et de la barre (*i.e.*, *dot/barre paradigm*). À plusieurs reprises, ce paradigme a été adapté pour répondre aux besoins opérationnels des chercheurs. Un autre paradigme a été proposé par Rybash et Hoyer (1992) qui consiste en un jugement catégoriel, dire si deux points sont situés au-dessus ou en-dessous d'une barre, et en un jugement coordonné, dire si la barre peut être contenue entre les deux points. Selon les auteurs, les jugements coordonnés dans cette tâche feraient moins appel à des processus catégoriels. La tâche de l'horloge a été employée pour étudier les relations spatiales en imagerie. Cette tâche, inventée par Laeng (Laeng, 1994 ; Laeng & Peters, 1995), est de donner l'heure au participant et consiste, pour le jugement catégoriel, à dire si les deux aiguilles sont dans la partie inférieure ou supérieure du cadran ; pour le jugement coordonné, il convient de dire si l'angle entre les aiguilles est plus ou moins grand. Une autre tâche utilisée est celle du paradigme S1-S2 qui consiste à comparer les relations spatiales catégorielles ou coordonnées entre deux stimuli successivement présentés. Ce paradigme présente l'avantage de pouvoir manipuler le temps de rétention des informations catégorielles et coordonnées (van der Hamm, van Wezel, Oleksiak, & Postma, 2007 ; van der Lubb, Schölvinck,

Kenemans, & Postma, 2006). Les variations de positions spatiales relatives catégorielles et coordonnées sont opérées dans différents types de tâches pour appréhender l'influence de ces sous-systèmes fonctionnels sur d'autres processus. Ces genres d'expérimentations n'ont pas pour objectif premier de tester l'hypothèse d'un processus unique dans le traitement des relations spatiales et partent du principe, comme un axiome, que les traitements des relations catégorielles et coordonnées sont sous-tendus par deux sous-systèmes distincts. Par exemple, pour la reconnaissance des visages ou l'identification d'objet (pour plus de détails, voir p. 70).

Les facteurs importants dans les études du traitement des relations spatiales

Plusieurs auteurs ont tenté de répliquer les résultats obtenus dans les études princeps en manipulant certaines variables pouvant influencer l'observation de différences hémichampiques. Jager et Postma (2003) ont présenté une analyse assez détaillée de l'importance de divers paramètres dans l'étude du traitement des relations spatiales. Beaumont (1982) ainsi que Sergent et Hellige (1986) ont présenté différents paramètres à prendre en considération dans l'emploi de présentation en champ visuel divisé. Nous présentons ici les différentes variables qui ont été étudiées dans ces deux champs méthodologiques.

Latéralité manuelle des participants

Comme nous l'avons mentionné, Kosslyn et al. (1989, expérience 4) ont montré que les différences hémisphériques étaient plus saillantes chez des personnes fortement latéralisées comparativement à des personnes ayant un faible score de latéralité (personnes ambidextres). Hellige, Bloch, Cowin, Eng, Eviatar et Sergent (1994) ont répliqué le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) en testant des droitiers et des gauchers. Ils ont observé un avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée chez les droitiers et aucun avantage hémisphérique pour la tâche catégorielle. Par contre, les gauchers ont présenté un avantage de l'hémisphère droit quelle que soit la tâche. Une autre étude (Laeng & Peters, 1995) ne montre pas de différences hémisphériques chez les gauchers pour les deux types de tâches comparativement aux droitiers. Il est donc préférable de tester des personnes droitrières ayant un fort score de latéralité pour observer des patterns hémisphériques différents entre les tâches catégorielles et coordonnées.

Sexe des participants

Comme le précise l'analyse de Jagger et Postma (2003), le sexe des participants ne semble pas être un facteur déterminant dans l'étude du traitement des relations spatiales. La plupart des études testent un échantillon équilibré d'hommes et de femmes. Quelques études ont montré des différences entre les hommes et les femmes, mais celles-ci n'influencent ni les effets principaux ni l'interaction des variables expérimentales. Par exemple, Rybash et Hoyer (1992) ont montré que les femmes étaient plus rapides que les hommes pour la tâche catégorielle et inversement pour la tâche coordonnée.

Âge des participants

Koenig, Reiss et Kosslyn (1990) ont testé des enfants de 5 et 7 ans en adoptant le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) sous la forme d'un jeu de baseball présenté unilatéralement. Cette étude montre qu'à cet âge, les jugements coordonnés sont mieux réalisés par le *cvg-HD* et les jugements catégoriels par le *cvd-HG*. Bruyer, Scailquin et Coibion (1997, expérience 5) ont testé des personnes ayant entre 60 et 80 ans pour la réalisation du paradigme Hellige et Michimata (1989a). Chez cette population, aucun effet du Champ visuel n'a été obtenu. Majoritairement, les études sur les relations spatiales testent des jeunes adultes.

Excentricité des présentations

Horner et Freides (1996) ont répliqué le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) en variant l'excentricité des présentations hémichampiques. Ils ont observé que l'interaction Tâche * Champ visuel n'était significative, dans le sens des hypothèses, uniquement quand les stimuli étaient présentés à trois degrés d'angle visuel. Aucune différence hémisphérique n'a été obtenue à une excentricité d'un degré et un avantage général de l'hémisphère droit a été constaté à une excentricité de neuf degrés d'angle visuel. Ainsi, l'excentricité, paramètre important lors de présentation en champ visuel divisé (Beaumont, 1982 ; Sergent & Hellige, 1986), est aussi un facteur sensible lors de l'étude du traitement des relations spatiales. Les informations présentées à une excentricité trop petite seraient envoyées aux deux hémisphères ; les informations présentées à une excentricité trop importante privilégieraient les traitements de l'hémisphère droit.

Mode de réponses

Le mode de réponses peut avoir un impact sur les asymétries fonctionnelles observées lors du paradigme de présentation en champ visuel divisé. Un mode de réponses oral peut impliquer davantage l'hémisphère gauche. Un mode de réponses manuel nécessite soit l'utilisation des deux mains, soit tester un échantillon de la main droite et tester un autre de

la main gauche. Bien que Kosslyn et al. (1989a) n'aient pas observé de différences de ces modes de réponses sur les différences hémisphériques, Bruyer et al. (1997, expérience 1) ont montré que le mode de réponses oral atténue les différences hémisphériques, mais ne les annulent pas. Bruyer et al. (1997, expériences 3 et 4) ont aussi manipulé le pattern de réponses. A l'évidence, les représentations catégorielles reposent principalement sur une échelle binaire, alors que les représentations coordonnées reposent principalement sur une échelle continue. Dans la majorité des protocoles expérimentaux mis en place pour l'étude de ces représentations, les chercheurs utilisent un mode de réponses binaire pour les deux types de tâches (par exemple, à plus/ à moins de 8 millimètres). Selon Bruyer et al. (1997), ce type de réponse est plus catégorisable. Ils ont testé une tâche catégorielle et une tâche coordonnée pour lesquelles les participants avaient un choix de huit réponses, rendant la tâche coordonnée moins catégorisable. Ils ont observé un avantage du *cvd-HG* pour la tâche catégorielle et un avantage du *cvg-HD* pour la tâche coordonnée (uniquement pour le 2^{ème} et le 3^{ème} bloc), validant ainsi l'hypothèse de Kosslyn (1987). Toutefois, les réponses à la tâche coordonnée étaient données par un panel de nombres (de 1 à 8) écrit en chiffres arabes, alors que les réponses à la tâche catégorielle étaient données par un panel de lettres. En utilisant le même panel de réponses dans les deux tâches, Bruyer et al. (1997) ont observé un avantage du *cvd-HG* sur le *cvg-HD* pour le premier bloc de la tâche coordonnée. Ce résultat est inverse aux prédictions de Kosslyn (1987). Selon ces auteurs, les dissociations observées par Kosslyn dépendraient de la nature catégorielle des réponses utilisées et non à proprement parler de représentations spatiales différentes.

Feedback

Un feedback lors d'une expérimentation en psychologie cognitive consiste à avertir le participant si ses réponses sont correctes ou fausses. La présence de feedback lors d'expérience de chronométrie mentale peut être un facteur important. Le fait de savoir si le participant a commis une erreur peut jouer un rôle dans l'apprentissage de la tâche. Bruyer et al. (1997) ont montré que l'absence de feedback empêchait l'observation de différences hémisphériques. Cependant, l'article de Bruyer et al. (1997) ne présente pas de manière spécifique d'analyse de l'effet du feedback sur l'effet de pratique de l'hémisphère gauche (voir Effet de pratique, p. 37). Il est donc difficile de savoir si le feedback joue un rôle réel ou non sur l'apprentissage de la tâche coordonnée.

Synthèse

Tester la dichotomie des processus des relations spatiales par le paradigme de présentation en champ visuel divisé nécessite donc plusieurs contrôles. D'une part, il convient de tester des adultes droitiers et fortement latéralisés, et dans la mesure du possible jeunes. L'échantillon de participants devrait comporter la moitié d'hommes et de femmes. Pour la procédure expérimentale, il est préférable d'utiliser une présentation excentrée de trois degrés d'angle visuel avec l'utilisation d'un feedback. Le mode de réponses est important : des réponses bimanuelles doivent être contrebalancées en fonction des réponses ; des réponses monomanuelles nécessitent de tester la moitié de l'échantillon avec la main droite et l'autre moitié avec la main gauche.

Les remises en question des études de présentation en champ visuel divisé

À l'heure actuelle, la distinction entre les sous-systèmes catégoriels et coordonnés n'est pas un débat tranché. Plusieurs observations ne sont pas de défaveur de l'hypothèse d'un processus unique, remettant en doute la validité de l'hypothèse de Kosslyn (1987). Premièrement, les résultats obtenus dans les études comportementales ne sont pas stables. Comme nous l'avons vu, beaucoup de facteurs influencent l'observation d'asymétries fonctionnelles. De plus, l'interaction Tâche * Champ visuel n'est pas systématiquement obtenue. La fragilité des observations rend difficiles les conclusions sur l'hypothèse de travail. À ce titre, plusieurs effets remettent en cause la validité de l'hypothèse de Kosslyn : (1) l'avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel est rarement obtenu, (2) l'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné disparaît rapidement avec la pratique, (3) les différences entre les deux types de tâches ou les performances hémisphériques s'expliquent par des processus de plus bas niveau, par exemple les fréquences spatiales, (4) les traitements catégoriels et coordonnés ne sont pas indépendants et (5) les différences de performances aux tâches peuvent s'expliquer par des niveaux de complexités différents.

Revue de la littérature sur les études de présentation en champ visuel divisé

Nous avons réalisé une synthèse des effets obtenus dans les études utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé chez les sujets sains. Nous sommes bien conscients du fait que chaque expérience prend sens par rapport aux variables expérimentales qu'elle manipule. Toutefois, ce travail nous semble utile pour dresser un panorama de l'ensemble des études publiées, dont le but était de valider l'hypothèse de Kosslyn (1987). Partant du

principe que beaucoup d'études sur le sujet n'ont pas été publiées pour la raison que leurs auteurs n'ont pas observé d'effet significatif suffisant pour la publication, nous pensons que notre analyse n'est pas exhaustive.

Nous avons sélectionné 22 articles publiés dans des revues à comité de lecture et 2 thèses portant spécifiquement sur la validation de l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels, catégoriels et coordonnés, pour le traitement des relations spatiales (voir Annexe, p. 336). Parmi cette sélection, nous avons pris en compte 54 expériences. Nous entendons par expérience aussi bien des expériences présentées en tant que telles par les auteurs que des parties expérimentales variant sur des variables fondamentales pour les auteurs (par exemple, une tâche testée en luminance haute et une tâche testée en luminance basse, présentées dans une même expérience, peuvent, selon notre définition, être considérées comme des expériences différentes). Pour des raisons de lisibilité, nous avons considéré les effets des temps de réponse et les effets des taux d'erreurs au même titre. Nous notons aussi que 80% des expériences sélectionnées était composées de tâches similaires à celles utilisées dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a).

Dans un premier temps, nous avons dénombré les études présentant une double dissociation significative ($p < .05$) entre les tâches (catégorielle versus coordonnée) et les champs visuels (droit versus gauche), les études ne présentant pas cette interaction significative et celles ne présentant cette interaction significative uniquement au début de l'expérience (cf. Tableau 1). Bien entendu, nous n'avons pas considéré les expériences portant uniquement sur le jugement coordonné (au nombre de 5). Précisons que plusieurs chercheurs manipulent plus de deux modalités du facteur Champ visuel (par exemple, présentation bilatérale ou présentation centrale). Nous ne présentons ici que les analyses spécifiques portant sur cette variable à deux modalités (champ visuel droit versus champ visuel gauche).

Tableau 1. Proportions des expériences (sur un total de 49) présentant une interaction entre les facteurs Tâche (catégorielle versus coordonnée) et Champ visuel (droit versus gauche). La première colonne est la proportion d'études observant cette interaction significative et croisée. La deuxième colonne représente la proportion d'études observant cette interaction significative et non croisée. La troisième colonne est la fréquence des études dont la double dissociation a été non significative. La dernière colonne présente la proportion d'étude obtenant une double

dissociation Tâche * Champ visuel significative restreinte au premier bloc.

	p<.05 croisée	p<.05 non croisée	p>.05	p<.05 bloc 1
double dissociation	22.45%	24.49%	48.98%	4.08%

La moitié des études, portant spécifiquement sur le traitement des relations spatiales utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé, montre une double dissociation Tâche * Champ visuel significative. Ainsi, uniquement la moitié des études valide l'hypothèse de Kosslyn (1987). *Nonobstant* qu'une double dissociation ne soit pas un argument suffisant pour rejeter l'hypothèse d'un processus unique, une double dissociation croisée est un argument plus satisfaisant qu'une double dissociation non croisée. Nous avons dénombré 22,45% des expériences présentant une double dissociation croisée (significative) sur le facteur Champ visuel (*i.e.*, présentant des avantages significatifs de la condition *cvg-HD* pour la tâche coordonnée et de la condition *cvd-HG* pour la tâche catégorielle). Pour obtenir un point de vue plus détaillé, nous avons analysé les effets spécifiques dans chacune des tâches. Nous avons dénombré le nombre d'études présentant des effets du facteur Champ visuel pour chaque modalité du facteur Tâche (cf. Tableau 2). Nous n'avons pas dénombré les études présentant des effets du facteur Tâche sur chaque hémichamp visuel, car trop peu d'études présentent ce type d'analyse.

Tableau 2 Proportions des expériences (sur un total de 54) présentant des avantages de la condition de présentation hémichampique gauche (*cvg-HD* : première et troisième ligne) et des avantages de la condition de présentation hémichampique droite (*cvd-HG* : deuxième et quatrième ligne) en fonction de la tâche coordonnée (deuxième et troisième ligne) et de la tâche catégorielle (quatrième et cinquième ligne). La première colonne représente la proportion d'expériences obtenant des effets des champs visuels significatifs. La deuxième colonne présente la proportion d'expériences obtenant des effets des champs visuels marginaux. La troisième colonne présente la proportion d'expériences n'obtenant pas de différences hémichampiques significatives. La quatrième colonne présente la proportion d'études ne précisément pas clairement les effets du facteur Champ visuel en fonction de chacune des tâches. La dernière

colonne présente la proportion d'expériences dont l'effet du facteur champ visuel est significatif, mais des conditions très spécifiques (par exemple, au troisième bloc expérimental).

	p<.05	.07<p<.05	p>.07	?	sous certaines conditions
Tâche coordonnée - Avantage cvg-HD	44.4%	1.9%	29.6%	3.7%	20.4%
Tâche coordonnée - Avantage cvd-HG	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	3.7%
Tâche catégorielle - Avantage cvg-HD	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Tâche catégorielle - Avantage cvd-HG	29.6%	5.6%	48.1%	13.0%	3.7%

Environ 45% des expériences, que nous avons sélectionnées, observe un avantage de l'hémisphère droit pour les jugements coordonnés et 20% ne l'observe que sous certaines conditions. Nous remarquons qu'environ 30% des études n'observe aucune différence hémisphérique pour les jugements coordonnés et que 4 études sur 54 trouvent un avantage de l'hémisphère gauche pour ce type de jugement. L'hypothèse de l'avantage de l'hémisphère droit pour les traitements coordonnés semble raisonnablement valide. Par contre, pour les jugements catégoriels, plus de 50% des études ne trouve pas d'avantage significatif de l'hémisphère gauche (contre 30% environ). L'hypothèse de l'avantage de l'hémisphère gauche pour les traitements catégoriels est difficilement défendable. Au vu de ces analyses, il nous semble peu raisonnable de croire qu'il existe des preuves comportementales suffisantes pour valider ou rejeter l'hypothèse de Kosslyn (1987) sur la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. L'avantage de l'hémisphère droit pour les traitements des relations coordonnées ne fait que peu de doute, mais le nombre d'études présentant une double dissociation croisée est trop faible pour ne pas rejeter l'hypothèse d'un sous-système fonctionnel unique. À défaut, une question se pose alors : le paradigme de présentation en champ visuel divisé n'est-il pas un protocole expérimental trop instable pour observer des doubles dissociations ?

Notre approche est fortement critiquable, puisqu'elle est uniquement descriptive. De plus, une absence d'effet observé peut renvoyer à une erreur de type II. En d'autres termes, ce n'est pas parce qu'une étude ne trouve pas d'effet significatif que cet effet n'existe pas dans la nature. En contrepartie et dans cette logique, nous pourrions prétendre que les effets significatifs obtenus sous-tendent une erreur de type I. Hormis le fait que notre analyse est

restreinte au plan descriptif, nous pensons que la démarche que nous avons adoptée nous offre un point de vue général intéressant à prendre en considération.

Synthèse :

Cette revue de la littérature, nous a permis d'avoir un point de vue général sur la convergence des résultats des études employant le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Il existe une évidence, celle de l'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné. En revanche, la double dissociation Tâche * Champ visuel et l'avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel n'est pas systématiquement obtenu. Il est donc difficile de conclure sur l'hypothèse de dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. De plus, nous verrons que cet avantage de l'hémisphère droit est restreint au début de l'expérience.

Effet de pratique

Revue de la littérature :

Beaucoup d'études utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé ont montré que l'avantage de la condition *cvg-HD* pour le jugement coordonné était restreint au début des expériences (voir Annexe 1). Cet avantage s'estompe au fur et à mesure de la passation par une amélioration des performances de la condition *cvd-HG* (la condition *cvg-HD* présentant des performances constantes). Ce phénomène est connu sous le terme *effet de pratique*. En continuité avec notre analyse présentée dans le chapitre précédent, nous avons dénombré parmi les études employant la présentation hémichampique, les études présentant cet effet de pratique (cf. Tableau 3)

Tableau 3. Effectifs et proportions marginales des expériences (sur un total de 54) présentant un avantage significatif de la condition de présentation hémichampique gauche (*cvg-HD*) restreint au début de l'expérience. La première ligne présente les études dont les analyses par bloc ont permis l'observation ou non de l'effet de pratique. La deuxième ligne présente les études dont les résultats ne contiennent pas d'analyses par bloc, empêchant de savoir si l'effet de pratique a eu lieu ou pas.

Effet de pratique		
Observé	Non observé	Proportion marginale

Etudes présentant des analyses par bloc (n=20)	14	6	37.40%
Etudes ne présentant pas d'analyses par bloc (n=34)	34		62.96%

Premièrement, nous remarquons qu'environ deux tiers (62,96%) des études ne présentent pas d'analyses bloc par bloc. Parmi ces dernières, nos analyses ont montré que 47% présente un avantage général de l'hémisphère droit et 35% n'en présente pas (résultat non mentionné dans les tableaux). Toutefois, parmi les études observant un avantage de l'hémisphère droit, un quart présente un effet de pratique ; et parmi les études n'observant pas d'avantage de l'hémisphère droit, un huitième présente un effet de pratique. Un avantage général de l'hémisphère droit observé n'exclut donc pas la présence de l'effet de pratique ; tout comme son absence. Nous ne pouvons donc savoir si dans ces études un effet de pratique a eu lieu ou pas. Ceci est d'autant plus gênant, quand posant l'hypothèse selon laquelle l'effet de pratique est une variable pertinente dans notre problématique (voir ci-après), les deux tiers des études publiées seraient caducs. Deuxièmement, parmi les études menant des analyses bloc par bloc (n=20), 70% d'entre elles observe un effet de pratique (qui représente 26% sur le total de toutes les études confondues). L'effet de pratique semble donc être un effet robuste.

En dehors des études comportementales, des recherches ayant recours à d'autres techniques ont répliqué l'effet de pratique. Baciú, Koenig, Vernier, Bedoin, Rubin et Segebarth (1999) ont observé l'effet de pratique avec la méthode IRMf (*i.e.*, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle). Leurs résultats ont montré une augmentation de l'activation du gyrus angulaire gauche et une diminution concomitante de l'activité du gyrus angulaire droit lors de la réalisation de la tâche coordonnée du paradigme d'Hellige et Michimata (1989a).

Des études ont été menées afin de déterminer les facteurs permettant l'émergence de l'effet de pratique. Ginchereau (2001, expérience 2) a montré que l'effet de pratique ne s'observait que pour les stimuli difficiles (*i.e.*, proche de la distance critique). L'hémisphère gauche était dominant dès le début de l'expérience pour les stimuli faciles. De plus, Ginchereau (2001, expérience 3) était partie du principe qu'en augmentant le nombre de positions que puisse prendre le point par rapport à la barre, dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), empêcherait l'hémisphère gauche d'apprendre la tâche coordonnée. Elle a répliqué l'effet de pratique. Le nombre de positions de points n'aurait donc pas d'incidence sur l'apprentissage du traitement des relations coordonnées de l'hémisphère gauche. Selon ces résultats, elle a conclu que l'effet de pratique n'est que peu sensible aux modifications de tâches.

Deux interprétations de l'effet de pratique :

Deux alternatives ont été proposées pour interpréter cet effet de pratique. Kosslyn et al. (1989) ont proposé que l'hémisphère gauche améliore ses performances par un traitement catégoriel, moins coûteux et plus rapide, aux éléments les plus facilement « catégorisables », lui permettant de mieux réaliser une tâche coordonnée. Rybach et Hoyer (1992) ont suggéré que les capacités coordonnées limitées de l'hémisphère gauche puissent se développer progressivement en cours de pratique. À l'heure actuelle, ces alternatives font encore débat. Au cours de ce travail doctoral, nous proposerons une troisième alternative explicative de ce phénomène.

L'hémisphère gauche crée de nouvelles catégories de relations spatiales utiles pour la tâche coordonnée :

Le sous-système d'encodage des relations spatiales coordonnées serait moins utilisé avec la pratique suite à une implication progressive du sous-système d'encodage des relations spatiales catégorielles. L'hémisphère gauche développerait avec la pratique de nouvelles catégories de positions de points. De ce fait, la répétition d'un même stimulus entraînerait la formation de nouvelles catégories selon un continuum allant des éléments les plus facilement catégorisables (les stimuli se trouvant loin de la distance critique) aux éléments les plus difficilement catégorisables (les stimuli se trouvant proches de la distance critique). Banich et Federmeier (1999) ont testé cette hypothèse en partant du principe suivant : l'effet de pratique de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée s'expliquerait par la mise en place d'une stratégie catégorielle en prenant l'écran comme cadre de référence. En effet, les participants peuvent diviser l'écran en différentes régions « proche » ou « loin » de la barre. Ils ont testé deux versions de la tâche d'Hellige et Michimata (1989a) : dans l'une, la position de la barre restait statique, dans l'autre, la position de la barre variait, ce qui empêchait les participants d'utiliser l'écran comme cadre de référence. Les résultats de leur expérience ont montré un avantage marginal de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée et un avantage significatif de l'hémisphère gauche dans la tâche catégorielle quand la position de la barre variait (uniquement pour les deux derniers blocs). Ceci leur a permis de conclure que le déplacement de la barre a empêché l'hémisphère gauche d'utiliser l'écran comme référence. Une réplique de cette expérience par Ginchereau (2000, expérience 1) a réajusté les résultats de Banich et Ferdemeier (1999). En effet dans l'expérience de Banich et Ferdemeier (1999), avant la passation de l'expérience, les participants étaient exposés aux stimuli expérimentaux représentant chacune des positions du point par rapport à la barre. De plus, les participants effectuaient la tâche catégorielle avant de faire la tâche coordonnée.

Les différences hémisphériques, obtenues par Banich et Federmeier (1999), s'expliqueraient par l'expérience que les participants auraient pu acquérir avant même de commencer la tâche coordonnée. Dans l'expérience de Ginchereau (2000), les participants, exposés qu'à la distance critique (et non à l'ensemble des positions des points), réalisaient la tâche coordonnée avant la tâche catégorielle. Ses résultats ont montré que la variation de la position de la barre n'influait pas l'interaction Tâche * Champ visuel. Les participants ne se sont donc pas servis de l'écran pour opérer des stratégies catégorielles lors de la tâche coordonnée. De même, Vernier (2000, expérience 4) a réalisé une tâche coordonnée du type point-barre, mais en présentant dans 3 blocs différents une nouvelle distance à évaluer. Elle a contrebalancé l'ordre de ces évaluations. Son hypothèse était que le changement de la distance critique empêcherait l'hémisphère gauche d'apprendre la tâche coordonnée. Or, elle observe que quel que soit le changement de la distance critique d'un bloc à l'autre, les participants présentent un avantage de l'hémisphère droit pour le premier bloc qui disparaît pour les suivants. Vernier a répliqué ce protocole (Vernier, 2000, expérience 5), mais en faisant en sorte qu'aucune répétition de stimuli n'ait lieu entre les blocs. Elle supposait que la répétition de stimuli ayant la même position coordonnée pourrait être la cause de l'apprentissage de l'hémisphère gauche. Une fois de plus, Vernier a observé un avantage de l'hémisphère droit restreint au premier bloc. Enfin, Vernier a changé la distance à évaluer à chaque essais, et non-pas entre chaque bloc comme dans ses expériences précédentes. Elle a observé toujours le même pattern de résultats. Selon elle, l'hypothèse d'une implication progressive de l'hémisphère gauche due à un développement progressif de nouvelles catégories serait fausse.

L'hémisphère gauche améliore ses capacités coordonnées pour l'encodage des relations spatiales coordonnées :

Certains auteurs conçoivent les spécialités hémisphériques comme relatives. Selon, cette conception, l'hémisphère gauche aurait des capacités, bien que limitées, pour le traitement des relations spatiales coordonnées. Avec l'entraînement, les capacités coordonnées de l'hémisphère gauche s'amélioreraient. Les travaux de Rybash et Hoyer (1992) vont dans ce sens. Ils ont utilisé une tâche qui consiste à comparer la distance entre deux points avec la longueur d'un segment. La tâche consiste à dire si le segment peut se situer entre les deux points. En effet, cette tâche est moins catégorisable que celle d'Hellige et Michimata (1989a). Rybash et Hoyer (1992) ont observé les mêmes patterns de résultats dans les deux types de tâches, en particulier leur manipulation n'a pas empêché les améliorations de

performances du *cvd-HG*. L'hémisphère gauche serait alors capable avec la pratique de réaliser des jugements coordonnés.

Synthèse :

L'effet de pratique n'est pas systématiquement recherché par les investigateurs, cependant il semble être un effet robuste. Cet effet est un fait problématique pour la validation de l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales. En effet, si celui-ci est causé par un affinage catégoriel de l'hémisphère gauche, alors il y a de fortes raisons de penser qu'un jugement coordonné peut être sous-tendu par un processus de catégorisation. Rien n'empêche de supposer, alors que les hémisphères opèrent sur le même type de computations, mais à des niveaux de complexités différents. Cette hypothèse semble vraisemblable, puisque la double dissociation croisée entre les facteurs Tâche et Champ visuel n'est pas systématiquement répliquée (voir paragraphe précédent). Il existe deux types d'hypothèse explicative de cet effet. À nos yeux, il nous semble important de comprendre le mécanisme sous-tendant l'effet de pratique pour valider l'hypothèse de Kosslyn (1987). Le but initial de cette thèse était de trancher entre les deux hypothèses de l'effet de pratique. Notre démarche expérimentale nous a conduits à proposer une autre alternative à l'explication de ce phénomène (voir Chapitre II).

Fréquences spatiales

Sergent (1991a, expérience 1) a testé deux types de jugements coordonnés : dire si un point est au centre ou non d'un cercle et dire si un point est plus ou moins loin de la circonférence d'un cercle ; elle a testé aussi deux types de jugements catégoriels : dire si un point est à gauche ou à droite du centre d'un cercle et dire si un point est au-dessus ou au-dessous du centre d'un cercle. Dans ces tâches, Sergent (1991a) n'a observé aucune différence significative du facteur Champ visuel. En revanche, elle a montré que les relations catégorielles et que les relations coordonnées interagissaient. Sergent (1991a, expérience 2) a répliqué le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), mais en utilisant trois types de présentations : bilatérale, centrale et unilatérale. Elle a observé de meilleures performances de la présentation centrale par rapport aux autres types de présentations. Par contre, elle n'a pas trouvé d'interaction entre le type de tâche et le type de présentation. Des analyses spécifiques sur les présentations unilatérales n'ont pas donné d'effet ni de l'interaction Champ visuel * Tâche ni du facteur Champ visuel pour chacune des tâches. Sergent (1991a, expérience 4) a reconduit cette expérience, mais en utilisant une faible luminosité de présentation. Dans ce cas, elle a observé un avantage significatif de la condition *cvg-HD*

pour le jugement coordonné et une absence de différence hémichampique pour le jugement catégoriel. Ses résultats montrent que la réduction de luminance influence uniquement les jugements coordonnés. Sargent (1991a) a rejeté l'hypothèse de Kosslyn et a conclu comme ceci : “ *both hemispheres are equipped to process spatial-relation representations but may not do so equally efficiently, depending on the conditions under which these processes have to be implemented* ”.

Trois expériences, menées par Wilkinson et Donnely (1999), ont montré, d'une part qu'une forte luminosité (et un fort contraste) améliorerait les performances de la condition *cvd-HG* dans le cas où les stimuli étaient présentés blancs sur fond noir (les auteurs n'ont obtenu cet effet que dans une seule expérience sur deux). D'autre part, les jugements coordonnés seraient mieux réalisés dans des conditions de luminosité faible, de contraste moyen et de présentation noire sur fond blanc que l'inverse. En contrepartie, leurs études ont montré un avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG*, observé dans des conditions de luminance élevée, de stimuli noirs sur fond blanc et avec une durée d'exposition des stimuli de 100 ms (comparativement à une durée de 200 ms). Les résultats de Wilkinson et Donnely (1999) sont difficilement interprétables. La description de leurs résultats et leur méthodologie manquent de rigueur et présentent des contradictions dans les effets observés. Par exemple, ils ont inclus la variable Distance (à deux modalités: *loin* et *proche*) dans leurs analyses statistiques, mais n'ont pas inclus la variable Position catégorielle (à deux modalités: *au-dessous* et *au-dessus*). De même, ils n'ont pas comparé la condition de fort contraste à une condition de contraste faible, plus précisément ils n'ont pas opéré de croisements orthogonaux systématiques entre toutes leurs variables. Enfin et pour ne pas aller plus en amont dans la critique, une présentation d'une durée de 200 ms permet la fixation oculaire, comparativement à une présentation de 100 ms. Dans leurs études, les modalités choisies pour le facteur Durée d'expositions présenteraient donc un effet confondu. La seule conclusion rigoureuse que nous pouvons tirer de leurs travaux est que la luminance ou le contraste sont des paramètres importants dans les études du traitement des relations spatiales en présentations hémichampiques.

Kitterle et Selig (1991) ont réalisé une tâche de comparaison de réseaux de fréquences spatiales (alternance de bandes blanches et noires plus ou moins espacées), en faisant varier les octaves et les fréquences spatiales. Pour la discrimination de hautes fréquences spatiales, ces auteurs ont observé un avantage de la condition *cvd-HG*, pour la discrimination des basses fréquences spatiales, un avantage de la condition *cvg-HD* a été obtenu. Niebauer et

Christman (1999) ont répliqué cette expérience en analysant les différences hémichampiques en fonction de la variation d'octave entre les deux stimuli à comparer. Quand la variation d'octaves est grande, les processus catégoriels devraient être efficaces, c'est-à-dire que la condition *cvd-HG* devrait engendrer de meilleures performances. Inversement, une petite variation d'octaves devrait faire intervenir un traitement plus coordonné et donc engendrer des performances meilleures dans la condition *cvg-HD*. Niebauer et Christman (1999) ont aussi manipulé la durée entre la fin du premier stimulus et le début du second (*i.e.*, *inter-stimuli intervalle*, *ISI*). Selon ces auteurs, un *ISI* de 100 ms évaluerait des représentations perceptuelles de bas niveau et un *ISI* de 3600 ms évaluerait des représentations d'ordre plus mnésique. Leurs analyses montrent que seule la comparaison de stimuli ayant des fréquences spatiales proches engendre des différences hémichampiques. Selon leurs hypothèses, cela signifierait que des différences hémisphériques ne sont observables que lors de tâches de type coordonné. Niebauer et Christman (1999, Figure 2) ont observé un avantage de la condition *cvd-HG* pour un *ISI* de 100 ms dans la condition de hautes fréquences spatiales. En opposition, ils ont observé un avantage de la condition *cvg-HD* pour un *ISI* de 2600 ms dans la condition de basses fréquences spatiales. Ils ont donc répliqué les observations de Kitterle et Selig (1991). Leurs résultats ont montré, d'une part que les performances hémisphériques diffèrent en fonction des modalités perceptives des stimulations et uniquement dans le cas d'une tâche de discrimination difficile. D'autre part, l'hémisphère gauche serait plus performant que le droit pour traiter des fréquences spatiales hautes et *vice versa*. Enfin, les fréquences spatiales influenceraient davantage l'hémisphère gauche à un niveau perceptuel, et davantage l'hémisphère droit à un niveau mnésique. Ceci est notre interprétation et non celle des auteurs. Étant donné que l'interaction Variation d'octaves * Fréquence spatiale n'était pas significative, Niebauer et Christman (1999), par prudence, ont conclu que leur étude n'apportait pas de preuves quant au lien entre les fréquences spatiales et le traitement des relations spatiales. Bien que ce n'ait pas été leur but premier, Parrot, Doyon, Démonet et Cardebat (1999) ont répliqué les résultats de Niebauer et Christman (1999). Dans leurs analyses, l'hémisphère gauche présentait un avantage à comparer des stimuli dont la luminance variait énormément et l'hémisphère droit présentait un avantage à comparer des stimuli dont la luminance variait peu.

La voie rétino-géniculo-striée se divise en différentes voies (nous n'en mentionnerons que deux) : la voie parvocellulaire est constituée des axones des cellules ganglionnaires bêta de la rétine. Cette voie véhicule les informations sur les hautes fréquences spatiales, et présente

des latences longues. La voie magnocellulaire est constituée des axones des cellules ganglionnaires alpha de la rétine. Cette voie véhicule les informations sur les basses fréquences spatiales, et présente des latences rapides. Cowin et Hellige (1994, 1998) ont proposé que les processus catégoriels traiteraient les informations de la voie parvocellulaire et que les processus coordonnés traiteraient les informations de la voie magnocellulaire. Pour Cowin et Hellige (1994), opérer un flou (*i.e.*, *dioptric blurring*) atténuait le transit des informations par la voie parvocellulaire. À l'évidence, cet effet de flou dégrade les hautes fréquences spatiales et préserve les basses fréquences. Ils ont répliqué l'expérience 3 de Kosslyn et al. (1989) en opérant un flou sur les stimuli, pensant que ce dernier influencerait davantage les performances dans la tâche catégorielle et plus particulièrement les performances de l'hémisphère gauche. Cet effet de flou devrait aussi empêcher l'hémisphère gauche d'améliorer ses performances de jugements coordonnés. Leurs résultats montrent que l'effet du flou perturbait uniquement les jugements catégoriels de manière identique pour les champs visuels. L'effet de flou n'a pas influencé les jugements coordonnés. Cowin et Hellige (1994) ont répliqué l'effet de pratique observé par Kosslyn et al. (1989) dans des conditions de perceptions normales et de perceptions floues. Ces auteurs ont conclu que l'hémisphère gauche ne nécessite pas d'informations sur les hautes fréquences spatiales pour apprendre la tâche coordonnée. Il semblerait que l'amélioration des performances du *cvd-HG* puisse être basée sur un traitement des basses fréquences. Roth et Hellige (1998) et Hellige et Cumberland (2001) ont utilisé des stimuli verts sur fond isoluminant rouge, censés atténuer l'implication de la voie magnocellulaire, et des stimuli rouges sur fond isoluminant vert, censés moins atténuer l'implication de la voie magnocellulaire. Leurs résultats montrent que l'atténuation de la voie magnocellulaire ralentit les jugements coordonnés, mais pas les jugements catégoriels. Toutefois, ils n'ont pas observé d'effet de ce facteur sur les différences hémisphériques. À ce propos, notons que Hellige et Cumberland (2001) n'ont pas observé d'interaction Tâche* Champ visuel significative. Au regard de ces expériences, Hellige et ses collaborateurs concluent que (1) les processus catégoriels sont sous-tendus par des traitements d'informations parvocellulaires, les processus coordonnés sont sous-tendus par des traitements d'informations magnocellulaires ; (2) les deux hémisphères traitent les mêmes informations visuelles et opèrent les mêmes traitements.

Okubo et Michimata (2002, 2004) ont confirmé la première conclusion de l'équipe d'Hellige, mais pas la seconde. En employant le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) en présentation unilatérale droite et gauche, ils ont manipulé directement les fréquences

spatiales en variant les niveaux de contraste. En atténuant les basses fréquences (Okubo & Michimata, 2002), ils ont observé une disparition de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée, mais également un maintien de l'avantage de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle. En filtrant les hautes fréquences spatiales, Okubo et Michimata (2004) ont observé une disparition de l'avantage de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle, mais aussi une disparition de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée. Les hautes fréquences seraient donc nécessaires pour observer un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel, alors que les hautes et les basses fréquences seraient nécessaires à l'observation de l'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné.

Remarquons que l'avantage de l'hémisphère droit pour traiter les basses fréquences spatiales explique les résultats obtenus par Horner et Freides (1996). En effet, en présentation les stimuli d'Hellige et Michimata (1989a) à une excentricité de neuf degrés d'angles visuels, ces auteurs ont observé un avantage de l'hémisphère droit quel que soit le type de tâche (catégorielle ou coordonnée). En effet, à une telle excentricité, les traitements rétiniens portent davantage sur les basses fréquences spatiales que sur les hautes.

Synthèse :

Les études convergent vers le fait que les hautes fréquences spatiales contribuent au traitement catégoriel des relations spatiales, les basses fréquences spatiales au traitement coordonné des relations spatiales. Les observations comportementales de la dissociation Tâche * Fréquence spatiale sont soutenues par les travaux de modélisation des traitements de relations spatiales (voir partie Simulation de réseaux de neurones, p. 48). Un réseau ayant de petits champs récepteurs serait plus performant pour réaliser des jugements catégoriels, cette configuration d'entrée du réseau représenterait des hautes fréquences spatiales. Un réseau ayant de grands champs récepteurs serait plus performant pour réaliser des jugements coordonnés, cette configuration d'entrée du réseau représenterait des basses fréquences spatiales. Le lien entre les hémisphères et le traitement des relations spatiales est moins évident. Trois études (Cowin & Hellige, 1994 ; Hellige & Cumberland, 2001 ; Roth & Hellige, 1998) ne montrent aucune incidence des fréquences spatiales sur les différences hémisphériques. Trois autres (Sergent, 1991 ; Okubo & Michimata, 2002, 2004) montrent le contraire. Il est difficile dans ces conditions de valider l'hypothèse opérationnelle de Kosslyn (1987) sur l'existence de sous-systèmes fonctionnels distincts. Manifestement, nous pouvons supposer, comme le suggère Hellige, que les hémisphères traitent identiquement

les relations spatiales, mais que l'hémisphère gauche reçoit principalement des informations de la voie parvocellulaire, lui conférant un avantage dans le traitement des relations catégorielles ; et que l'hémisphère droit reçoit principalement des informations de la voie magnocellulaire (Livingstone & Hubel, 1988). Rappelons que deux sous-systèmes fonctionnels se distinguent par des computations différentes sous-tendues par deux réseaux différents et non-pas par des entrées différentes. Dans un modèle cognitiviste classique, cette distinction est très importante, car dès lors que deux fonctions se distinguent par leur entrée et non leurs computations, peut-on parler de représentations mentales différentes ? De plus, si la dichotomie catégoriel/coordonné repose sur la dichotomie des voies parvocellulaire/magnocellulaire en quoi est-elle spécifique au traitement des relations spatiales ? Une dichotomie globale/locale (Navon, 1977) ne serait-elle pas suffisante pour décrire le système de vision de haut niveau ?

Influences entre les processus catégoriels et coordonnés

Des auteurs (Sergent, 1991a ; Vernier, 2000, expérience 7-8) ont montré que lors d'un jugement catégoriel, les positions coordonnées influençaient les performances et que lors d'un jugement coordonné, les positions catégorielles influençaient les réponses. Sergent (1991a) en a conclu que l'interaction entre les deux types d'informations est un argument en défaveur de l'hypothèse de Kosslyn (1987). La thèse de Vernier (2000) modère cette interprétation, elle a conclu que la distinction entre les sous-systèmes de traitements des relations spatiales est relative. Dans ses expériences, elle a montré aussi que l'identification préalable des stimuli affectait davantage les jugements catégoriels que les jugements coordonnés. Cette différence serait en faveur d'une différence qualitative entre les deux sous-systèmes. Les expériences de Niebauer (2001), utilisant un paradigme d'amorçage, montrent qu'un jugement coordonné peut être amorcé par des informations des relations catégorielles, mais qu'un jugement catégoriel n'est pas amorcé par les informations des relations coordonnées. Contrairement à la majorité des chercheurs du domaine, Niebauer (2001) adopte une approche algorithmique et pense que le traitement des relations catégorielles pourrait être une première étape à celui des relations coordonnées. Si tel est le cas, alors un seul processus unique pourrait sous-tendre le traitement des relations spatiales ; ce processus pourrait comporter plusieurs étapes dont les computations seraient équivalentes, mais portant sur des niveaux différents de l'information. Une autre étude portant sur les liens entre les processus catégoriels et coordonnés ne montre pas de corrélation entre les deux types de tâches (Andresen & Marsolek, 2005). Cependant, nous

ne sommes pas confiant des conclusions de cette étude (pour une critique, voir Chapitre II, p. 190).

Synthèse :

L'interaction des informations catégorielles et coordonnées remet en question une distinction nette entre les deux sous-systèmes de traitements des relations spatiales. Il est toutefois difficile d'inférer ou de confirmer leur existence. En effet, ce fait peut-être interpréter sous différents angles : (1) les informations catégorielles et coordonnées sont encodées par un processus unique à plusieurs étapes ou ayant différentes profondeurs de traitement, (2) les informations catégorielles et coordonnées sont encodées par deux sous-systèmes fonctionnels qui sont fortement interconnectés. Il est difficile de trancher entre ces deux alternatives, à défaut l'interaction des informations catégorielles et coordonnées ne valide pas l'existence de deux processus totalement indépendants et distincts.

Différents niveaux de complexité entre le jugement catégoriel et le jugement coordonné

L'effet le plus répliqué est celui de la différence de performances entre un jugement catégoriel et un jugement coordonné. A l'évidence, dans la majorité des études, les performances sont toujours meilleures dans les tâches catégorielles comparativement à celles obtenues dans les tâches coordonnées. Cette différence de la complexité des tâches est un bon argument sur la qualité différente du traitement des informations catégorielles et coordonnées. Toutefois, cette différence de difficulté peut être considérée comme un effet confondu, en ce sens que les relations catégorielles et coordonnées pourraient être soutenues par la même computation à des niveaux de complexité différents. L'hémisphère droit serait plus performant pour traiter les stimuli difficiles et l'hémisphère gauche serait plus performant pour traiter les stimuli faciles. Cette hypothèse est vraisemblable, puisqu'il est souvent observé des performances identiques entre les hémichamps visuels dans des tâches coordonnées pour des stimuli faciles (par exemple, Parrot et al., 1999). Ginchereau (2000, expérience, 1-3) a montré qu'en rendant la tâche coordonnée plus difficile, cela permettait d'observer un avantage constant de l'hémisphère droit. Alors qu'en rendant la tâche coordonnée plus facile, les différences hémisphériques disparaissaient rapidement lors de jugements coordonnés. Bruyer et al. (1997), en rendant les deux tâches aussi difficiles, ont observé une disparation de l'interaction Tâche * Champ visuel et un avantage initial de l'hémisphère gauche pour les jugements coordonnés. Il y a une forte raison de penser que la différence de difficulté entre les tâches soit la cause d'observation d'interaction Tâche *

Champ visuel. Cependant, dans les deux premières expériences de Kosslyn et al. (1989) et la première expérience de Laeng et Peters (1995), les tâches catégorielles étaient plus difficiles que les tâches coordonnées et ces auteurs ont toutefois observé des interactions Tâche * Champ visuel significatives.

Synthèse :

Le niveau de difficulté est un facteur important à prendre en considération pour distinguer les processus du traitement des relations spatiales. La facilité des tâches catégorielles pourrait être une cause de la non-observation systématique de l'avantage de l'hémisphère gauche. En d'autres termes, si une tâche n'est pas suffisamment complexe, il est difficile d'observer des différences hémisphériques. D'un autre point de vue, la différence de difficulté entre les tâches pourrait être un facteur confondu invalidant l'hypothèse de processus séparés (Bruyer et al., 1997).

Synthèse générale

Les études sur le traitement des relations spatiales et des différences hémisphériques ont été fructueuses. La revue de cette littérature nous invite à penser que l'hypothèse de la dichotomie des processus des relations spatiales n'est pas, à l'heure actuelle, validée rigoureusement. Afin de ne pas nous restreindre aux observations comportementales, nous avons analysé des études utilisant d'autres moyens d'investigation. Nous pensons qu'une approche pluridisciplinaire nous apportera des éléments de réponse à notre problématique.

Simulation de réseaux de neurones

Avantage de traitements séparés pour le traitement des relations spatiales

Kosslyn, Chabris, Marsolek et Koenig (1992) ont testé des perceptrons multicouches dont l'espace d'entrée représentait les barres et les points du paradigme d'Hellige et Michimita (1989a) et les sorties les réponses attendues lors du jugement coordonné et du jugement catégoriel. En comparant un réseau unique pour réaliser les deux types de jugements et deux réseaux réalisant chacun un type de jugements, ils ont démontré que la division des traitements pour le traitement des relations spatiales était plus performante que le travail d'un réseau unique (Kosslyn et al., 1992, expérience 1.1). En revanche, la division du travail n'est pas avantageuse pour la réalisation de deux jugements coordonnés différents (Kosslyn et al., 1992, expérience 1.2). Leurs résultats sont en faveur du clivage du sous-système du traitement des relations spatiales en deux sous-systèmes, catégoriel et coordonné. La

méthodologie de Kosslyn et al. (1992) a été critiquée par Cook, Früh et Landis (1995) sur quatre points principaux. Premièrement, Kosslyn et al. (1992) auraient fait une erreur conceptuelle. En effet, il n'y a aucune garantie que les relations spatiales codées dans la couche d'entrée soient l'information qui ait été prise en compte par les réseaux. Les réseaux peuvent avoir détecté des combinaisons spécifiques entre les unités ON-OFF de la couche d'entrée et non pas réellement des représentations spatiales. Pour assurer que les réseaux aient bien recours à l'information spatiale, Cook et al. (1995) ont proposé la logique suivante : en présentant une sortie désirée contradictoire avec celle de la position spatiale lors de l'apprentissage, les réseaux devraient présenter des difficultés d'apprentissage. Par contre, si le réseau ne présente aucune difficulté d'apprentissage, alors le réseau n'apprend pas sur la base spatiale des entrées, mais sur des combinaisons d'unités ON-OFF de la couche d'entrée. Que le réseau soit divisé ou non, Cook et al. (1995) ont obtenu la même différence de performances en utilisant des entrées dont les unités ON étaient mélangées aléatoirement (*i.e.*, ne présentant pas de pattern spatial). Le gain de performances en utilisant un réseau divisé n'est donc pas spécifique au traitement des relations spatiales. Deuxièmement, Kosslyn et al. (1992) n'ont pas utilisé des conditions équilibrées pour les modalités des couples entrée/sortie (*i.e.*, *input/output*) de l'expérience 1.2. De plus, le coefficient d'apprentissage est différent dans l'expérience 1.1 et 1.2. Troisièmement, dans l'expérience de Kosslyn et al. (1992), la barre (symbolisée par deux unités ON du vecteur d'entrée) variait de position. Les unités à l'extrémité du vecteur étaient toujours être associées à la réponse *au-dessus* ou à la réponse *au-dessous*. En contrepartie, les unités au centre du vecteur étaient parfois associées à la première réponse, des fois associées à la deuxième réponse, en fonction de la position de la barre. En calculant les corrélations entre la probabilité de l'activation d'une entrée et la probabilité d'activations d'un pattern de sortie, Cook et al. (1995) ont montré que la tâche catégorielle présentait une plus grande corrélation entre les patterns d'entrée et de sortie que dans la tâche coordonnée. D'après Cook et al. (1995), Kosslyn et al. (1992) n'ont pas comparé un traitement catégoriel versus un traitement coordonné, mais seulement une tâche difficile et une tâche facile. Dans la première simulation de Kosslyn et al. (1992), la tâche catégorielle était plus facile que la tâche coordonnée, puisqu'elle contenait un nombre plus important d'inputs ayant une corrélation de 1 avec l'output désiré. En contrepartie, dans la deuxième simulation de Kosslyn et al. (1992), les tâches coordonnées sont identiquement difficiles, puisque les deux tâches présentaient un faible nombre d'input ayant une forte corrélation avec leurs outputs désirés. Enfin, Cook et al. (1995) ont terminé leur article en regrettant l'absence totale de

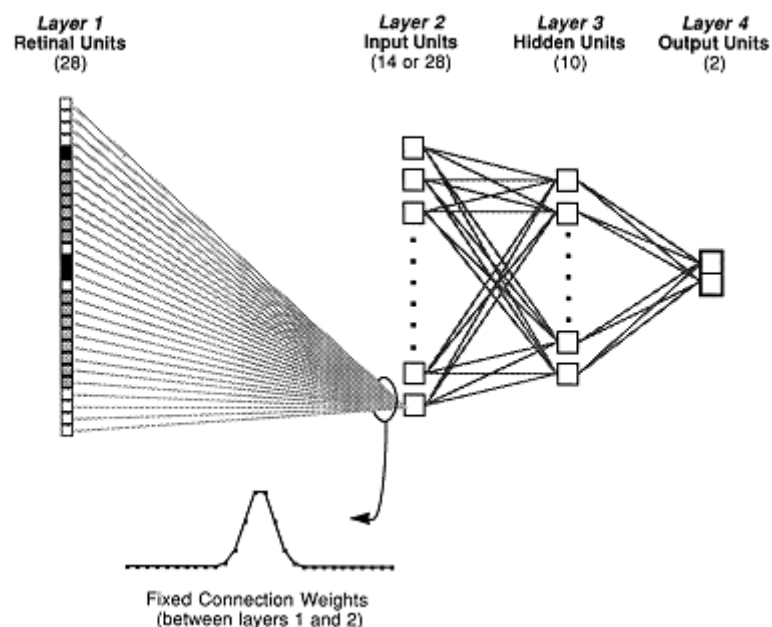
considération envers les communications interhémisphériques dans les travaux de Kosslyn et al. (1992). Ce point sera discuté plus en détail dans le chapitre II (p. 187).

En résumé, les deux premières expériences de Kosslyn et al. (1992) ne permettent pas d'aboutir à la conclusion que deux réseaux séparés calculent mieux les relations spatiales qu'un seul réseau.

La taille des champs récepteurs : un paramètre important pour le traitement des relations spatiales

Figure 3 Architecture d'un réseau de neurones utilisé dans les études de Kosslyn et al. (1992). La première couche (i.e., Layer 1) représente l'espace d'entrée composé de la barre et du point. Les poids entre les deux premières couches étaient régis selon une fonction gaussienne dont l'attribut permettait de faire varier la taille des champs récepteurs.

[Figure tirée de Kosslyn, S.M, Chabris, C.F, Marsolek, C.J, & Koenig, O. (1992). Categorical versus coordinate spatial relations: computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 562-577].



Kosslyn et al. (1992) ont montré qu'un perceptron multicouche entraîné à un jugement coordonné développait des champs récepteurs plus grands qu'un réseau entraîné à un jugement catégoriel (Kosslyn et al., 1992, expérience 3.1, cf. figure 3). Les jugements

coordonnés sont mieux réalisés par les réseaux dotés de grands champs récepteurs se chevauchant que par des réseaux dotés de petits champs récepteurs ne se chevauchant pas. Toutefois, les jugements catégoriels sont aussi bien réalisés par des réseaux dotés de grands que de petits champs récepteurs, un léger avantage pour les réseaux dotés de petits champs récepteurs a été observé (Kosslyn et al., 1992, expérience 3.2). Quand une grande quantité d'unités constitue l'entrée du réseau, comme cela peut être le cas pour les fréquences spatiales hautes, la taille des champs récepteurs n'affecte pas les performances des réseaux (Kosslyn et al., 1992, expérience 4). Les critiques de Cook et al. (1995), que nous avons présentées, sont aussi valides pour les simulations sur la taille des champs récepteurs réalisées par Kosslyn et al. (1992). Toutefois, l'équipe de Kosslyn (1995, 1999) a répliqué ses premières observations en prenant en compte les critiques de Cook et al. (1995). De même, en contrôlant les facteurs confondus décrits par Cook et al. (1995), Magué (2001) a entraîné des réseaux à des jugements catégoriels et coordonnés et a cherché à optimiser la taille des champs récepteurs (les simulations précédentes utilisaient des tailles de champs récepteurs fixes). La taille des champs récepteurs était modifiée par une version modifiée de l'algorithme de rétropropagation de l'erreur. Celle-ci était significativement plus petite pour les réseaux réalisant un traitement catégoriel que pour les réseaux réalisant un traitement coordonné. Dans une autre simulation, Magué (2001) valide l'hypothèse de l'effet de pratique selon laquelle un réseau catégoriel affinerait ces traitements pour réaliser un traitement coordonné. Si tel est le cas, alors le processus catégoriel devrait assimiler progressivement les informations coordonnées en fonction de leur difficulté. Magué a observé qu'un réseau doté de petits champs récepteurs catégorise initialement les positions les plus éloignées de la distance critique puis progressivement les positions les plus proches (lors d'un jugement coordonné). Enfin, Magué a répliqué l'effet de pratique observé par Baciú et al. (1999) à l'aide d'une mixture d'expert. Une mixture d'expert est composée de réseaux experts et d'un réseau aiguilleur. Les réseaux experts sont en compétition. Le module aiguilleur est l'arbitre de la compétition : il attribue à chaque expert une probabilité qui fait figure d'indice de confiance en sa réponse. Au départ, le module aiguilleur attribuait une forte probabilité au réseau coordonné, mais celle-ci a diminué progressivement au profit d'une probabilité croissante attribuée au réseau catégoriel. Cette permutation des probabilités est flagrante pour les positions éloignées de la distance critique, mais peu évidente pour les positions proches. Magué (2001) a conclu que l'effet de pratique de l'hémisphère gauche reposait bel et bien sur un affinage des catégories de l'hémisphère gauche. Toutefois, nous pensons que cette modélisation est peu écologique et, d'autre part,

le réseau coordonné utilisé dans cette étude était équipé de connaissances préalables pour le différencier du réseau catégoriel. Cette manipulation remet en cause l'attribution des probabilités du module aiguilleur sur la base de l'amélioration des performances catégorielles lors d'un jugement coordonné.

Synthèse

L'ensemble des simulations de réseaux de neurones apporte des arguments théoriques sur la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. Les arguments sur la comparaison d'un processus unique versus deux processus (Kosslyn et al., 1992, première partie de l'article) ne sont pas valides, puisque la méthodologie a été remise en cause (Cook et al., 1995). En revanche, les arguments sur la relation entre la taille des champs récepteurs et les processus catégoriels et coordonnés sont solides. Une tâche catégorielle serait mieux réalisée par un réseau ayant de petits champs récepteurs ne se chevauchant pas. Une tâche coordonnée serait mieux réalisée par un réseau ayant de larges champs récepteurs se chevauchant. Cette observation se corrèle bien avec la dissociation entre les fréquences spatiales et les deux types de tâches (voir Fréquences spatiales, p. 41). Nous pouvons cependant émettre les mêmes discussions sur ces travaux informatiques que celles faites lors de la présentation de l'influence des fréquences spatiales sur les processus du traitement des relations spatiales.

L'explication de l'effet de pratique en termes d'affinage de catégories de Magué (2001) est sujette à caution. Nous pensons que des modélisations à l'aide de réseaux auto-associatifs et interconnectés seraient plus écologiques et permettraient de mieux comprendre la dynamique des processus. Néanmoins, il faut attester le fait que l'apprentissage supervisé, utilisé dans ces travaux, est comparable aux tâches comportementales employant un feedback. En conclusion, ces simulations informatiques présentent une limite conceptuelle dans notre problématique en ce sens que les perceptrons multicouches ne réalisent uniquement des catégorisations de leur espace d'entrée. Dans ce sens, les processus catégoriels et coordonnés se distingueraient uniquement sur la qualité de leurs entrées et non à proprement parler sur des calculs, des algorithmes différents.

Etudes neuropsychologiques du traitement des relations spatiales

Études de patients commissurisés

Les patients commissurisés, dit patients *split-brain*, sont des patients dont le corps calleux a été chirurgicalement sectionné. La majorité de ces patients sont atteints d'épilepsie sévère et

très handicapante. Dans le cas où les foyers épileptogènes sont majoritairement localisés dans un hémisphère cérébral, une section du corps calleux empêche la diffusion de l'hyperactivité neuronale lors des crises vers l'hémisphère présentant le moins de foyers, réduisant ainsi l'intensité des crises. L'observation de ces patients offre une possibilité d'évaluer les capacités propres de chaque hémisphère en employant le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Sergent (1991a, 1991b) a testé trois patients commissurés afin d'estimer les capacités de traitement spatial catégoriel et coordonné propre de chaque hémisphère. Ses observations neuropsychologiques sont justifiées par la volonté de caractériser les compétences de chaque hémisphère sans que les deux hémisphères interagissent (nous parlerons plus en avant de ce point dans le chapitre II). Cette approche empirique est d'autant plus intéressante qu'elle permet d'inférer si les capacités hémisphériques sont absolues ou relatives. Dans ses études, Sergent n'a pas observé de différences significatives entre les hémisphères des patients commissurés. De plus, elle a mis en évidence que chaque hémisphère était capable de réaliser les deux types de jugements (catégoriel et coordonné). La conclusion de Sergent (1991a, 1991b) est la suivante : dans le cadre du traitement des relations spatiales, les deux hémisphères ont la capacité de se représenter les relations catégorielles et coordonnées. *A priori*, ce fait neuropsychologique invalide l'hypothèse de Kosslyn (1987) sur la dichotomisation des traitements des relations spatiales. Toutefois, comme le rappellent Jager et Postma (2003), les inférences à partir d'observations de patients commissurés nécessitent certaines précautions. Manifestement, des facteurs confondus dans ce genre de données nuisent aux interprétations que l'on peut en déduire. La plasticité neuronale est un facteur important à prendre en considération ; ce mécanisme rend difficilement comparable le cerveau « normal » d'un cerveau « coupé en deux ». Conjointement, ces patients ont des foyers épileptiques, il n'est pas impossible que ces derniers mettent du bruit dans les observations. De plus, la section des connexions interhémisphériques n'est pas, la plupart du temps, totale. Elle est restreinte au corps calleux, d'autres commissures (par exemple, la commissure antérieure ou la commissure grise du thalamus) permettent la communication entre les hémisphères. Les conclusions de Sergent (1991a, 1991b) sont donc portées à caution.

Études de patients cérébro-lésés

Les études de patients cérébro-lésés apportent des informations importantes pour la compréhension des processus cognitifs. Partant du principe d'un parallélisme psycho-

neurologique, l'absence d'une zone du cerveau engendre une perte des fonctions cognitives que cette zone sous-tendait. Le principe de transparence mentionne que le fonctionnement d'un cerveau lésé est équivalent au fonctionnement d'un cerveau non lésé moins les fonctions sous-tendues par la zone lésée. Ainsi, l'observation de doubles dissociations entre des déficits et des zones lésées permet d'aboutir à des conclusions, soit-disant fiables, sur la dichotomisation de certaines fonctions. Ainsi, et en accord avec l'hypothèse de Kosslyn (1987), Laeng (Laeng, 1994 ; Laeng, Chabris, & Kosslyn, 2003) prédit que des lésions localisées dans l'hémisphère gauche devraient engendrer des déficits du traitement des relations spatiales catégorielles, alors que des lésions de l'hémisphère localisées dans l'hémisphère droit devraient engendrer des difficultés du traitement des relations coordonnées. Dit autrement et plus précisément, des lésions droites devraient causer de plus grandes difficultés dans la réalisation de jugements coordonnés que des lésions gauches et *vice versa* pour les jugements catégoriels. Laeng (1994) a testé trente-deux patients dont la moitié présentait des atteintes corticales droites et l'autre moitié des atteintes gauches. Notons que ces groupes de patients ont été comparés à un groupe de participants n'ayant aucune lésion corticale (*i.e.*, groupe contrôle). Laeng (1994) a utilisé une tâche de comparaison de paires de dessins d'objets. Les paires d'objets à comparer variaient soit sur la base de leurs relations catégorielles (par exemple, un chat de grande taille à droite d'un chat de petite taille était comparé à un chat de grande taille à gauche d'un chat de petite taille), soit sur la base de leurs relations coordonnées (par exemple, les deux chats de la première paire étaient éloignés, les deux chats de la seconde paire étaient proches l'un de l'autre). En accord avec son hypothèse, les patients ayant des lésions gauches commettaient plus d'erreurs si les variations étaient catégorielles que les patients ayant des lésions droites. Inversement, les patients ayant des lésions droites commettaient davantage d'erreurs si les variations étaient coordonnées. Ces deux effets étaient plus saillants chez les patients ayant des lésions focalisées sur le lobe pariétal.

L'étude de Kessels, Jaap Kappelle, de Haan et Postma (2002) sur les performances mnésiques de localisation d'objets de cinquante patients cérébro-lésés corrobore la double dissociation observée par Laeng (1994). La thèse de Ginchereau (2000, expérience 4-6) présente une série d'expérimentations sur les capacités de représentation catégorielle spatiale de trois patients présentant des lésions du lobe pariétal gauche au niveau du gyrus angulaire. Les trois patients étaient atteints du syndrome de Gerstmann dont l'un des symptômes est une difficulté à différencier la droite de la gauche, validant l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique gauche pour le traitement des relations catégorielles.

Des variations de résultats observés par différents types de stimuli utilisant le même label verbal (gauche-droite) poussent à croire que les représentations des relations spatiales sont bien de nature perceptive et non verbale. Les résultats de Ginchereau (2000, expérience 4-6) confirment d'une part les observations de Laeng (1994) et, d'autre part, valident en partie l'hypothèse de Kosslyn (1987), c'est-à-dire un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel.

Une étude neuropsychologique plus récente sur les compétences visuo-spatiales consécutives à des lésions cérébrales a été menée chez des enfants. Les enfants ayant des lésions cérébrales ont le plus souvent des problèmes résiduels de leurs habiletés visuo-spatiales que de leurs habiletés langagières. Schatz, Craft, Koby et Debaum (2004) ont présenté deux hypothèses explicatives de ce phénomène de plasticité neuronale. La première serait que l'hémisphère droit, qui serait plus compétent pour le domaine visuo-spatial soit moins résistant aux lésions cérébrales que l'hémisphère gauche, qui serait plus compétent pour le domaine langagier. La deuxième hypothèse est que les fonctions visuo-spatiales sont, de manière générale, moins flexibles en terme de plasticité neuronale que les fonctions langagières, ce qui engendrerait davantage de résiliences de problèmes visuo-spatiaux que de problèmes langagiers. Afin de tester cette hypothèse, Schatz et al. (2004) ont testé trente-trois enfants cérébro-lésés en leur faisant réaliser la tâche de Koenig et al. (1990). Nous nous attarderons ici uniquement à la présentation des résultats de cette tâche afin de discuter de notre problématique et non celle de Schatz et al. (2004) sur la plasticité neuronale. Les enfants lésés à gauche étaient plus lents et commettaient plus d'erreurs, toutes conditions confondues. Les enfants lésés à droite étaient relativement plus lents pour répondre au champ visuel gauche (par rapport au champ visuel droit) dans la tâche coordonnée. De plus, ils faisaient en moyenne significativement plus d'erreurs dans cette tâche que dans la tâche catégorielle comparativement au groupe contrôle. Les perturbations du traitement des relations spatiales chez les enfants atteints de lésion de l'hémisphère droit sont donc comparables à celles des adultes cérébro-lésés droit (Laeng, 1994). En revanche, les enfants atteints de lésion de l'hémisphère gauche ne présentaient pas d'asymétries fonctionnelles, tout comme enfants non cérébro-lésés, bien que leurs performances générales soient moins bonnes. Schatz et al. (2004) ont interprété cette observation comme suivant : l'hémisphère droit serait plus apte à subsumer les processus de traitement des relations spatiales (catégoriels et coordonnés) que l'hémisphère gauche, ce qui expliquerait que les enfants ayant un hémisphère droit intact arriveraient mieux à réaliser les deux types de jugements.

Cette étude met donc en évidence une simple dissociation qui est insuffisante pour valider ou invalider l'hypothèse de Kosslyn (1987).

L'apraxie de construction (*i.e.*, *constructional apraxia*) est une perturbation de la manipulation des objets. Il existe deux hypothèses sur l'origine de ce trouble : soit, ce déficit est engendré par une défaillance perceptive du traitement spatial, soit par une défaillance motrice. Des lésions pariétales gauches seraient à l'origine de ce trouble. Selon Laeng (2006), si la première hypothèse est juste, alors il devrait exister deux formes d'apraxies, différenciables par rapport au type de traitement des relations spatiales (catégoriel ou coordonné). Laeng (2006) a fait passer deux tâches de construction à trente patients, la moitié ayant des lésions du lobe pariétal droit, l'autre moitié du gauche. Les tâches ne testaient pas les capacités grapho-manuelles, très déficientes chez ce type de patients, mais leurs habilités à reproduire des topographies d'objets en les manipulant directement. Laeng (2006) a mesuré les déviations catégorielles et coordonnées entre le pattern de référence et celui reproduit par les patients. Il a observé une double dissociation entre le lobe pariétal lésé (droit *versus* gauche) et la qualité des déviations (catégorielles *versus* coordonnées). Les lésions pariétales gauches engendraient de plus grandes déviations catégorielles que coordonnées et inversement pour les lésions pariétales droites. Cette étude est intéressante, puisqu'elle confirme les travaux en neuropsychologie sur la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. De surcroît, cette dichotomie est mise en évidence dans une tâche plus « motrice » que perceptuelle. À notre connaissance, c'est la seule étude dont la finalité des traitements des relations spatiales soit une interaction naturelle avec l'environnement. Par cette étude, Laeng (2006) a précisé que l'apraxie de construction n'est pas un syndrome unique, mais se divise en deux troubles distincts.

Pour revenir à notre problématique principale, dans l'étude de Laeng (2006), nous remarquons que les performances dans le jugement présumé sous-tendu par l'hémisphère intact des patients ne sont pas équivalentes à celle du groupe contrôle. Ceci est étonnant. Prenons par exemple un patient ayant une lésion du lobe pariétal droit, si nous partons du principe que l'hémisphère gauche est spécialisé dans le traitement catégoriel (comme semble l'attester la double dissociation neuropsychologique observée), ce patient devrait présenter des capacités de traitement catégoriel normales. Or, nous observons que ce patient a des performances catégorielles nettement moindres que celle du groupe contrôle. En regardant plus en détail les résultats de Laeng (1994), nous observons le même phénomène. Sur le plan descriptif, les performances des patients ayant une lésion controlatérale à

l'hémisphère spécialisé dans une tâche sont moins bonnes que celles du groupe contrôle dans cette même tâche. Cette différence était significative pour les erreurs catégorielles des patients ayant une lésion droite. Ce point porte à caution la double dissociation neuropsychologique des traitements des relations spatiales. De plus, les autres études neuropsychologiques que nous avons présentées (Ginchereau, 2000 ; Schatz et al., 2004) ne nous permettent pas de valider complètement l'hypothèse d'une dichotomisation des traitements des relations spatiales. Les études neuropsychologiques réunies ici sont donc des preuves intéressantes, mais qui doivent être prises avec précaution. Le phénomène de plasticité neuronale, la récupération de fonction par l'hémisphère non lésé sont des variables qui parasitent les conclusions que nous pouvons tirer de ces observations. De plus, et sur le plan méthodologique, il nous semble important que les doubles dissociations mises en évidence soient relativisées dans une triple interaction incluant les groupes contrôles.

Études de patients atteints du syndrome de Williams

Le syndrome de Williams est causé par une délétion génétique du bras long du chromosome 7. Les personnes atteintes de ce trouble présentent des difficultés dans les tâches visuo-spatiales. Plus spécifiquement, ces patients focalisent leur traitement d'une scène visuelle sur les détails (*i.e.*, niveau local). Ce fait a été empiriquement observé au travers le paradigme de Navon (1977), montrant une déficience du traitement du niveau global chez ce type de patient (Bihrlé, Bellugi, Delis, & Marks, 1989). Le syndrome de Williams présente aussi des symptômes langagiers relatifs à la description de relations spatiales (Philips, Jarrold, Badddeley, Grant, & Karmiloff-Smith, 2004). Farran et Jarrold (2005) ont émis l'hypothèse que le syndrome Williams s'expliquerait par une déficience du traitement des relations spatiales catégorielles. Dans leur étude, vingt et un patients atteints du syndrome de Williams (*i.e.*, patients SW) ont réalisé la tâche de Koenig et al. (1990). Afin de déterminer si les déficiences de ce type de patients étaient dues à des incapacités langagières ou visuo-spatiales, les patients ont été appariés sur le plan développemental à un groupe d'enfants ayant le même niveau de performances visuo-spatiales, à un autre groupe d'enfants ayant un niveau de performances visuo-spatiales moindre et à un groupe apparié selon l'âge chronologique. Farran et Jarrold (2005) ont observé que les patients SW avaient des performances, comparables à celles des enfants ayant des performances visuo-spatiales faibles, moins bonnes pour le traitement des relations spatiales que les adultes. Cependant, les patients SW présentaient autant de difficultés pour le jugement catégoriel que coordonné comparativement aux autres groupes. En revanche, l'analyse des positions relatives des

points par rapport à la barre a permis à ces auteurs de mettre en évidence que les patients SW ne présentaient pas les mêmes stratégies de réponses que les autres groupes. Quel que soit le jugement, les patients SW présentaient une déviation de la catégorisation de l'espace visuel différente de celle des groupes contrôles. Cette étude neuropsychologique du syndrome de Williams n'apporte donc pas de preuve de l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales.

Lésions réversibles

La comparaison entre le fonctionnement d'un cerveau lésé et d'un cerveau non lésé est délicate. Les patients observés dans des épreuves expérimentales peuvent présenter des troubles associés ou peuvent avoir recouvré certaines fonctions perdues par le phénomène de plasticité neuronale. Observer l'effet de lésions temporaires chez des sujets sains permet de pallier ce type d'inconvénient. Il existe deux moyens de « léser » temporairement des parties du cerveau : le test de Wada et la stimulation transcrânienne magnétique répétée. Ces techniques sont intéressantes, car elles permettent de comparer les capacités cognitives des participants avant la lésion à leurs performances pendant et après le délai où le système neuronal est temporairement mis « hors-service ». Ces techniques ont été utilisées pour l'étude de la dichotomisation du traitement des relations spatiales, nous les présentons ci-dessous.

Test de Wada

Slotnick, Moo, Teroso et Hart (2001) ont utilisé le test de Wada qui consiste en une injection de barbital de sodium dans l'une des deux carotides engendrant une anesthésie d'un hémisphère. Cette technique est pratique, puisqu'elle permet d'observer les compétences d'un hémisphère sans interaction des traitements de son homologue chez un sujet sain. Les résultats de cette technique nous semblent plus fiables que les observations neuropsychologiques, puisque nous pouvons supposer qu'avec cette technique les effets de plasticité neuronale n'ont pas le temps de se mettre en place. Par contre, nous pouvons supposer que l'anesthésie d'un hémisphère engendre une modification des communications de cet hémisphère sur son homologue, engendrant *ipso facto* une activation différente de ce dernier. Slotnick et al. (2001) ont testé deux types de tâches catégorielles qui consistaient à : (a) dire si un point se situait sur le pourtour d'une figure géométrique et (b) dire si un point se situait à gauche ou à droite de cette figure. Ils ont effectué aussi trois types de tâches coordonnées qui consistaient à : (c) comparer la distance entre deux paires de stimuli, (d) évaluer la distance entre un signe moins et un signe plus et (e) dire si l'écart entre un point

et une figure géométrique était inférieur ou supérieur à une certaine distance. Leurs résultats ont montré que la désactivation de l'hémisphère gauche engendrait davantage d'erreurs dans les tâches catégorielles. Pour les tâches coordonnées, la désactivation de l'hémisphère droit engendrait davantage d'erreurs uniquement si les essais étaient difficiles dans la tâche (c). En revanche, les désactivations hémisphériques engendraient les mêmes taux d'erreurs pour les essais difficiles des deux autres tâches (d-e). Quand ces trois tâches étaient faciles, la désactivation de l'hémisphère gauche engendrait davantage d'erreurs quelle que soit la tâche. Ces observations semblent donc valider l'hypothèse d'une double dissociation Tâche * Hémisphère. Cependant, l'avantage de l'hémisphère gauche s'explique pour ses bonnes capacités à traiter des stimuli faciles et non pas spécifiquement à la réalisation de jugements catégoriels (les tâches catégorielles étant généralement plus simples que les tâches coordonnées). De plus, l'avantage de l'hémisphère droit restreint à la tâche (c) peut s'expliquer par le fait que l'hémisphère droit est plus compétent pour comparer des stimuli ou pour intégrer un nombre plus important de stimuli ; effectivement, cette tâche est la seule reposant sur une comparaison de stimuli. Remarquons que ces auteurs soupçonnent que l'absence de différences hémisphériques dans les tâches (d) et (e) serait due à l'effet de pratique de l'hémisphère gauche. Premièrement, leur protocole expérimental ne permet pas de le savoir. Ils n'ont effectivement pas d'analyses bloc par bloc et n'ont pas contrebalancé l'ordre des tâches. Deuxièmement, la tâche (e) et (d) engendraient de forts taux d'erreurs, 50% pour la tâche (d) et 35% pour la tâche (e). La tâche (c), quand l'hémisphère gauche était désactivé, engendrait moins de 10% d'erreurs. Si l'effet de pratique était à l'origine de l'absence de différences hémisphériques dans les tâches (d) et (e) (et non-pas à une différence de difficulté entre les tâches), alors l'hémisphère gauche devrait être aussi performant que l'hémisphère droit (et non-pas aussi peu performant) dans ces tâches. En d'autres termes, les performances, quel que soit l'hémisphère désactivé dans les tâches (d) et (e), devraient être aussi bonnes que les performances de l'hémisphère droit (*i.e.*, la condition hémisphère gauche désactivé) dans la tâche (c). Or ce n'est pas le cas. Nous ne pensons donc pas que l'effet de pratique puisse expliquer cette absence d'asymétrie dans les tâches (d) et (e). Nous pensons que ces tâches nécessitent que les deux hémisphères soient activés pour être réalisées correctement. Dans ce sens, les résultats de Slotnick et al. (2001) montrent l'importance des interactions hémisphériques dans le traitement des relations coordonnées difficiles (voir Chapitre II). Comme nous l'avons dit, l'asymétrie observée dans la tâche (c) peut s'expliquer par un effet confondu. Malgré l'originalité de leur paradigme, qui consiste en une logique « miroir » par rapport à la logique expérimentale

classique, nous ne pensons pas que cette étude apporte des preuves suffisantes pour la validation de l'hypothèse de Kosslyn (1987). Et la conclusion de leur étude tient plus de l'interpolation que de l'interprétation hypothético-déductible.

Stimulation transcrânienne magnétique répétée

La stimulation transcrânienne magnétique répétée (*i.e.*, *repetitive transcranial magnetic stimulation*, rTMS) focalise un fort champ magnétique sur des aires cérébrales, empêchant la synchronisation des neurones, engendrant ainsi des perturbations locales et temporaires. On parle alors de lésions fonctionnelles. Trojano, Conson, Maffei et Grossi (2006) ont appliqué cette technique sur le lobe pariétal droit d'un échantillon de volontaires, et sur le lobe pariétal gauche à un autre échantillon. Un troisième échantillon n'avait pas de stimulations (*i.e.*, groupe placebo). Chaque participant a été testé à plusieurs reprises (*i.e.*, protocole pré-/post), une fois avant la stimulation et deux fois après. Les tests étaient les tâches de jugements catégoriels et coordonnés de Laeng en condition d'imagerie mentale (voir paragraphe sur l'imagerie mentale visuelle pour une description du paradigme p. 75). Le groupe contrôle (*i.e.*, réalisant la condition placebo) a amélioré ses performances dans les deux tâches. Les stimulations magnétiques n'ont pas empêché l'amélioration des performances entre le pré-test et le post-test, quelles que soient les conditions et les échantillons. Par contre, la stimulation du lobe pariétal gauche a empêché l'amélioration des performances entre les deux mesures post-tests dans la tâche catégorielle (comparativement aux deux autres groupes). La stimulation du lobe pariétal droit engendrait les mêmes améliorations que le groupe placebo. Le lobe pariétal gauche serait donc particulièrement impliqué dans les apprentissages catégoriels. Lors du premier post-test de la tâche coordonnée, la stimulation du lobe pariétal droit engendrait des performances moins bonnes qu'une stimulation gauche ou qu'aucune stimulation. L'hémisphère droit serait donc particulièrement impliqué dans le traitement coordonné. Par contre, lors du deuxième post-test coordonné, la stimulation du lobe pariétal droit a engendré des performances moins bonnes que celles du groupe placebo, mais identiques au groupe ayant reçu des stimulations gauches. En d'autres termes, perturber l'hémisphère droit empêche tout apprentissage de la tâche coordonnée. En revanche, perturber l'hémisphère gauche empêche les apprentissages catégoriels et coordonnés sur le long terme. En guise de conclusion, les hypothèses attribuant uniquement un rôle de l'hémisphère gauche dans l'effet de pratique ne semblent pas raisonnables. L'hémisphère droit semblerait jouer un rôle important dans l'amélioration générale des compétences. Contrairement à l'étude de Slotnick et al. (2001), celle de

Trojano et al. (2006) montre l'influence de lésions fonctionnelles sur l'effet de pratique. Toutefois, nous regrettons que des comparaisons inférentielles n'aient pas été réalisées entre chacune des phases (pré-test et post-test); ces analyses nous auraient donné des informations supplémentaires sur l'effet de pratique.

Synthèse

Les pathologies, naturelles ou simulées en laboratoire, nous apportent des éléments neuropsychologiques sur la dichotomisation du traitement des relations spatiales. À première vue, leur étude met en lumière le fait que les processus catégoriels et coordonnés sont sous-tendus différemment par des tissus physiologiques distincts. Précisément, l'observation de doubles dissociations neuropsychologiques, reposant ici sur des données fidèles, est un argument empirique en faveur de l'existence de deux types de processus distincts dévolus au traitement des relations spatiales. Toutefois, nous devons modérer ce propos. Comme nous l'avons mentionné, ces observations neuropsychologiques doivent être considérées avec précaution. En effet et dans une vue d'ensemble, nous tirons la conclusion que les deux hémisphères sont capables de réaliser les deux types de computations (en particulier dans les études de Sergent, 1991a, 1991b). Dans une conception des spécialisations hémisphériques relatives, ceci n'infirme pas l'hypothèse de Kosslyn (1987). De plus, la comparaison du cerveau sain par rapport au cerveau lésé ne doit pas être faite trop hâtivement. Les processus d'adaptation et de plasticité neuronale sont à considérer avec le plus grand soin. Remarquons que rien dans les données issues de ces études ne nous empêche de supposer que le cerveau sain fonctionne sur la base de spécialisations hémisphériques absolues. La double dissociation croisée est-elle un argument suffisant comparativement à une double dissociation croisée relativisée aux performances des groupes contrôles ? Il est important de noter que la lésion d'un hémisphère, quelle que soit sa spécialisation, impacte négativement sur les deux types de traitements. Il nous semble donc important de ne pas concevoir les performances d'un cerveau unilatéralement lésé comme la résultante des performances d'un cerveau sain moins l'activité propre de l'hémisphère lésé. Comme nous le défendrons dans le chapitre II, nous suspectons que la lésion d'un hémisphère a un impact sur les traitements de l'hémisphère non lésé, comme le montre une lecture approfondie des résultats de Laeng (1994, 2006), Slotnick et al. (2001), et Trojano et al. (2006).

Ces études neuropsychologiques confirment la participation prépondérante des lobes pariétaux dans le traitement des relations spatiales, confirmant ainsi le modèle de Kosslyn et Koenig (1992) sur la fonction spatiale de la voie dorsale.

Données d'imagerie cérébrale

Une bonne méthode pour différencier des fonctions cognitives est d'observer que des régions cérébrales différentes sont impliquées dans la réalisation de tâches différentes. Aujourd'hui, plusieurs techniques sont offertes aux chercheurs à cette fin : la tomographie par émission de positrons, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et l'électro-encéphalographie. Nous présentons dans cette partie les études qui ont employé ces outils dans le but de différencier deux réseaux cérébraux sous-tendant respectivement le traitement des représentations catégorielles et coordonnées. Comme à notre habitude, nous ne nous arrêtons pas à décrire les interprétations des auteurs, mais nous décrivons les principaux résultats leur permettant d'aboutir à telle ou telle conclusion et nous analyserons si ceux-ci sont suffisants pour parvenir à de telles validations d'hypothèse.

Tomographie par émission de positrons (TEP)

Kosslyn, Thompson, Gitelman et Alpert (1998) ont utilisé la tomographie par émission de positrons (TEP). Ils ont adapté la tâche d'Hellige et Michimata (1989a) et ont demandé aux participants de réaliser trois types de tâche : un jugement catégoriel, un jugement coordonné et une tâche contrôle (*i.e.*, condition de base) qui consistait en une détection de stimuli. En employant la méthode soustractive, ces auteurs ont trouvé des activations spécifiques lors du jugement catégoriel comparativement à la condition de base. Des structures activées dans l'hémisphère gauche ont été observées : le lobe pariétal inférieur, l'aire 19 (selon la classification de Brodman) et l'aire frontale supérieure. D'autres structures étaient aussi impliquées : les lobes pariétaux droits supérieur et inférieur, l'aire cingulaire antérieure droite, la région temporale inférieure droite, le gyrus précentral droit et les colliculi supérieurs. Selon ces auteurs, ce vaste réseau serait dévolu aux processus attentionnels. Nous remarquons cependant qu'un nombre plus important de régions de l'hémisphère droit sont activées lors du jugement catégoriel que de régions de l'hémisphère gauche (comparativement à la condition de base). Le jugement coordonné, comparé à la condition de base, a mis en évidence plusieurs aires spécifiquement activées dans l'hémisphère droit : le lobe pariétal supérieur, l'aire préfrontale dorsolatérale, le précuneus et le cortex frontal supérieur. Des activations bilatérales ont aussi été notées : le thalamus, l'aire 8, le cortex

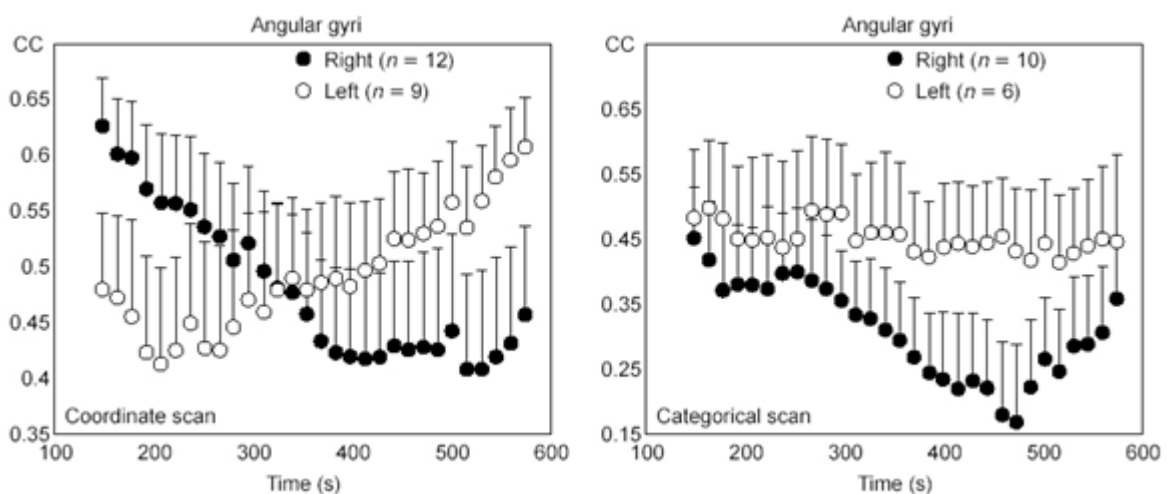
pariétal supérieur, les colliculi supérieurs. Ces structures joueraient un rôle prépondérant dans les processus attentionnels. Ces chercheurs ont aussi observé une activation du putamen droit et du noyau caudé gauche. À première vue, nous notons que les deux types de jugements activent deux larges réseaux d'aires corticales, ces deux réseaux étant différents. Afin d'estimer la spécificité de chaque jugement, Kosslyn et al. (1998) ont soustrait les deux conditions expérimentales. Les régions plus activées lors du jugement catégoriel étaient : l'aire préfrontale dorsolatérale gauche et l'aire temporale supérieure gauche. Les structures plus activées lors du jugement coordonné étaient dans l'hémisphère gauche: l'aire pariétale inférieure gauche, l'aire 19 gauche ; et dans l'hémisphère droit : le précuneus, le lobe pariétal droit, le lobe frontal inférieur et l'aire dorsolatérale préfrontale. Il est important de noter que les structures que nous avons mentionnées sont plus activées lors d'un jugement que d'un autre; les processus catégoriels et coordonnés sont donc sous-tendus par un large réseau d'aires corticales commun. La différence d'activations entre les deux tâches valide l'hypothèse d'une différence qualitative entre les représentations catégorielles et coordonnées. En contrepartie, l'hypothèse opérationnelle sur les asymétries de ces processus n'est pas validée, puisque, par exemple, les processus coordonnés activent spécifiquement des structures de l'hémisphère gauche. En revanche, la région temporale inférieure ne serait impliquée que dans les jugements catégoriels, alors que des structures aux fonctions motrices (noyaux caudés et putamens) ne seraient impliquées que dans les jugements coordonnés. Cette observation nous permet de valider l'hypothèse de deux sous-systèmes distincts pour le traitement des relations spatiales. La forte implication des aires attentionnelles lors de cette première observation est expliquée par Kosslyn et al. (1998) par le fait que les stimuli variaient de position d'un essai à un autre. Ils ont reconduit cette expérimentation en gardant constante la position des stimuli (Kosslyn et al., 1998, expérience 2). Leur observation est semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus ; nous ne présentons ici que la comparaison des deux conditions tests. La seule aire plus activée lors du jugement catégoriel est le lobe frontal gauche. Les aires pariétales inférieures gauches et supérieures droites étaient plus activées lors de jugements coordonnés que lors de jugements catégoriels. Ces observations apportent des arguments supplémentaires en faveur de l'hypothèse de Kosslyn (1987). Toutefois, nous pourrions conclure que les processus catégoriels sont plus latéralisés que les processus coordonnés. Ceci est étonnant au regard des résultats comportementaux sur les asymétries du traitement des relations spatiales. Rappelons que des asymétries fonctionnelles sont rarement ou marginalement mises en évidence dans les tâches catégorielles comparativement à celles observées dans les tâches

coordonnées. De plus, l'emploi d'un protocole de type « bloc » n'a pas permis à cette équipe d'étudier l'effet de pratique. Nous pouvons poser l'hypothèse que les moyennes d'activations des lobes pariétaux droits et gauches lors de jugements coordonnés ont écrasé la dynamique temporelle de ces activations. Plus précisément, nous pouvons penser que le lobe pariétal droit soit davantage activé au début de l'expérimentation et que le lobe pariétal gauche soit davantage activé à la fin. Afin de préciser ce point, Baciú et al. (1999) ont utilisé une procédure différente pour enregistrer les activations cérébrales lors du traitement des relations spatiales.

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

Baciú et al. (1999) ont utilisé la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle afin de comparer les asymétries d'activations cérébrales entre des jugements de type catégoriel et de type coordonné. Cette équipe a utilisé le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) et a focalisé ses mesures sur les gyri angulaires. Comme nous l'avons mentionné dans la partie précédente en présentant les travaux de Ginchereau (2000), des lésions du gyrus angulaire gauche engendrent le syndrome de Gerstmann, syndrome qui cause des déficits du traitement des relations spatiales. L'objectif de Baciú et al. (1999) était d'observer la dynamique des activations cérébrales lors des traitements ; dit autrement, d'étudier l'effet de pratique. À cette fin, ils ont procédé à deux types d'analyse. La première a été la comparaison du nombre de pixels activés dans la première et la deuxième partie de l'expérience entre les gyri angulaires droit et gauche. Dans la tâche catégorielle, cette analyse n'a révélé aucune différence entre l'activation des gyri angulaires. Dans la tâche coordonnée, cette analyse a montré que le gyri angulaire droit était plus activé que le gauche dans la première partie de l'expérience. De plus, l'activation du gyrus angulaire gauche augmentait significativement entre le début et la fin de la tâche coordonnée. Aucune différence d'activations du gyrus droit n'a été notée entre les deux parties de l'expérimentation. Une deuxième analyse des données a été conduite par cette équipe : le coefficient de corrélation (*i.e.*, *cross-correlation coefficient*) a été calculé pour chaque gyrus. La figure 3 présente leurs résultats. Baciú et al. (1999) ont observé, lors de la tâche coordonnée, une diminution progressive de l'activation du gyrus angulaire droit concomitante à une augmentation progressive de l'activation du gyrus angulaire gauche. En revanche, lors de la tâche catégorielle, ces auteurs n'ont pas observé d'effet de pratique. Le gyri angulaire gauche était plus activé que le gyrus angulaire droit tout le long de l'expérience.

Figure 4 Résultats de Baciú et al. (1999). Les deux figures représentent la variation temporelle du coefficient de corrélation des pixels activés du gyrus angulaire droit et du gyrus angulaire gauche lors d'un jugement coordonné (figure de gauche) et lors d'un jugement catégoriel (figure de droite). [Figures tirés de Baciú, M., Koenig, O., Vernier, M-P., Bedoin, N., Rubin, C., & Segebarth C. (1999). Categorical and coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *Neuroreport*, 10(6):1373-1378.]



Les résultats de Baciú et al. (1999) sont de première importance pour notre problématique. D'une part, ils apportent des faits précis sur l'effet de pratique. D'autre part, ces résultats portent à réflexion sur la spécialisation hémisphérique du traitement des relations spatiales (voir partie sur l'effet de pratique, p. 37). L'augmentation de l'activation du gyrus angulaire gauche lors de jugements coordonnés remet-elle en cause la supériorité des traitements du gyrus angulaire droit ? La distinction fonctionnelle entre les processus coordonnés et catégoriels n'est-elle vraie que pour le court laps de temps du début de l'expérimentation ? Si une structure, spécialisée dans un type de fonction, peut par apprentissage sous-tendre une autre fonction, ces deux fonctions sont-elles computationnellement distinctes ? Les résultats de Baciú et al. (1999) sont aussi particulièrement intéressants, car ils nous invitent à une réflexion sur l'interprétation des données issues des techniques d'imageries. Nous pouvons, effectivement, nous questionner sur ce que représentent les variations d'activités cérébrales. Nous pouvons supposer que plus un système est performant pour réaliser une tâche, moins il a besoin de temps et d'énergie pour la faire. Inversement, moins un système est compétent pour une fonction donnée, plus il a besoin d'énergie. Rappelons que les

techniques d'imagerie cérébrale sont des méthodes d'enregistrement de la consommation d'énergie (oxygène ou sucre). Une augmentation d'activité cérébrale d'une structure indique-t-elle une prise en charge plus grande, une participation accrue de cette structure ou une plus grande difficulté pour réaliser la tâche ? Une diminution d'activité cérébrale indique-t-elle une participation réduite ou une facilité de réalisation des traitements ? Dans cette perspective, les résultats de Baciú et al. (1999) offrent une multitude d'interprétations possibles. Celle qui est couramment admise est celle proposée par les auteurs, selon laquelle l'activité du gyrus angulaire gauche s'expliquerait par le fait que la fonction préalablement sous-tendue par cette structure (*i.e.*, traitement catégoriel des relations spatiales) s'adapterait afin de permettre une catégorisation plus fine de l'espace, cette dernière permettant de répondre de manière opérationnelle à une tâche coordonnée. Nous précisons que rien ne permet de déduire une telle interprétation des faits qui ont été réunis dans cette étude. Une expérience menée par Buron (2004) nous donne quelques indications complémentaires.

Buron (2004) a répliqué l'expérience de Baciú et al. (1999) en employant un paradigme de type évènementiel. Ce type de paradigme permet de faire varier les conditions expérimentales d'un essai à un autre, contrairement au paradigme de type bloc qui contraint de faire varier les conditions expérimentales d'un bloc à l'autre (pour une comparaison plus détaillée, voir la thèse de Buron, 2004). En adoptant une telle technique, Buron (2004) a pu conduire des analyses distinctes entre les essais faciles et difficiles de la tâche coordonnée. Dans la tâche d'Hellige et Michimata (1989a), les stimuli faciles sont ceux qui sont éloignés de la distance critique ; les difficiles sont ceux qui sont proches de la distance critique. Si une stratégie de catégorisation des informations coordonnées s'opère, alors, selon Buron (2004), cette catégorisation devrait en premier lieu s'opérer sur les stimuli faciles, puis sur les stimuli difficiles. Ses résultats ont montré une activation spécifique du gyrus angulaire droit lors de la première partie de la tâche coordonnée, quel que soit le niveau de difficulté des essais. Aucune activation du gyrus angulaire droit n'a été observée lors de la deuxième partie. Lors du jugement catégoriel, une activation spécifique du putamen gauche a été enregistrée. Buron (2004) a donc répliqué partiellement les résultats de Baciú et al. (1999). L'activation initiale du gyrus angulaire droit a été répliquée, mais aucune augmentation de l'activation du gyrus angulaire gauche n'a été observée. De plus, Buron (2004) n'a pas observé d'activations différentes entre les essais faciles et difficiles, que ce soit pour le gyrus angulaire droit ou gauche, dans la première ou deuxième partie de l'expérimentation. De deux choses l'une, soit l'hypothèse opérationnelle de Buron (2004) est fautive, soit l'interprétation proposée par Baciú et al. (1999) sur l'augmentation de l'activation du gyrus

angulaire gauche concomitante à la diminution de celle du gyrus angulaire droit est non valide. En l'absence de fait, nous ne pouvons conclure. Il est, toutefois, important de noter que l'augmentation de l'activation du gyrus angulaire gauche n'a pas été répliquée.

L'étude de Kosslyn et al. (1998) a montré une implication des aires préfrontales dans le traitement des relations spatiales et plus particulièrement le traitement de type catégoriel. Afin d'évaluer plus précisément l'asymétrie de ces structures, Slotnick et Moo (2006) ont utilisé l'IRMf pour comparer la mémoire visuo-spatiale catégorielle et coordonnée. Leur tâche se divisait en deux phases. La première consistait à présenter une série de formes géométriques et un point. Plusieurs formes étaient présentées et, pour chacune de ces formes, le point prenait différentes positions catégorielles et coordonnées. Dans une deuxième phase, les formes étaient représentées sans les points. Les participants devaient alors rappeler la position soit catégorielle soit coordonnée du point. Dans cette tâche, n'est pas seulement testée la capacité de traitement des relations spatiales, mais aussi la capacité de rétention de ces informations. Slotnick et Moo (2006) ont observé que l'aire préfrontale gauche était davantage activée lors de la rétention d'informations catégorielles, alors que l'aire préfrontale droite était davantage activée lors de la rétention d'informations coordonnées. Cette asymétrie d'activité préfrontale valide la distinction de processus de rétention des informations catégorielles et coordonnées. Cette étude ne nous permet pas de savoir si les étapes d'encodage des relations spatiales sont différentes pour les processus catégoriels et coordonnés, s'il nous est permis de distinguer les processus d'encodage et les processus de maintien de l'information. Dans cette étude, nous regrettons que Slotnick et Moo (2006) n'aient pas contrôlé l'effet de pratique et n'aient pas cherché des corrélations entre les activités des lobes pariétaux et des lobes préfrontaux.

Electro-encéphalographie : méthode des potentiels évoqués

Afin de pouvoir étudier les processus du traitement des relations spatiales en fonction des différentes phases d'encodage, de traitement perceptif supérieur et de maintien de l'information, van der Lubbe et al. (2006) ont utilisé la technique d'enregistrement électro-encéphalique et ont demandé aux participants de comparer deux stimuli (du type du paradigme d'Hellige et Michimata, 1989a) en faisant varier le délai entre eux. Ils ont employé le paradigme de présentation en champ visuel divisé couplé à la méthode des potentiels évoqués. Leurs résultats comportementaux ont montré un avantage de l'hémisphère droit lors de jugements coordonnés et aucune asymétrie hémichampique lors du jugement catégoriel. Ils ont observé un effet de pratique, mais qui était identique pour les

deux hémisphères, c'est-à-dire que l'avantage de l'hémisphère droit était constant. Les résultats électrophysiologiques ont montré une différence significative entre les deux tâches entre 160 et 320 ms après la présentation des stimuli ; les processus d'encodage seraient donc différents entre les deux types de jugements. De plus, van der Lubbe et al. (2006) ont enregistré une plus grande activité lors de la tâche coordonnée que lors de la tâche catégorielle à un délai entre 1000 et 2000 ms. Selon ces auteurs, un jugement coordonné demanderait davantage de mémoire de travail qu'un jugement catégoriel. Les processus catégoriels et coordonnés sont donc distincts au niveau de l'encodage et de la mémoire de travail. Van der Lubbe et al. (2006) ont observé que les deux tâches activaient bilatéralement les lobes pariétaux. La seule asymétrie électrophysiologique trouvée était un accroissement de la positivité de l'hémisphère droit lors de la tâche catégorielle (comparativement à la tâche coordonnée) au moment où la différence entre les deux tâches était la plus grande. Une explication, avancée par les auteurs, est que pendant la tâche coordonnée, une source ayant une orientation opposée à l'hémisphère droit ait été plus active lors du traitement coordonné, ce qui expliquerait que la positivité de l'hémisphère droit soit plus faible lors de la tâche coordonnée que lors de la tâche catégorielle. Si telle est le cas, alors l'hémisphère gauche serait plus activé dans la tâche coordonnée que dans la tâche catégorielle. Une autre interprétation proposée est celle d'une inhibition de l'hémisphère droit pendant la tâche catégorielle. Mis à part l'avantage de l'hémisphère droit observé dans les données comportementales, aucun indice électrophysiologique de cette étude ne valide l'hypothèse de deux sous-systèmes fonctionnellement et biologiquement distincts pour le traitement des relations spatiales. Une différence d'activations a été enregistrée entre les deux types de tâches, mais qui serait causée par le fait que la tâche coordonnée est plus difficile que la tâche catégorielle. Toutefois, cette étude est très importante sur le plan méthodologique, puisqu'elle nous permet de coupler des données comportementales et des données électrophysiologiques. Plus précisément, elle permet de mesurer l'implication de chaque hémisphère à différentes étapes de traitements de l'information. Les données recueillies remettent en question l'hypothèse de Kosslyn (1987) et nous interrogent, d'une part sur ce que reflètent les données issues du paradigme de présentation en champ visuel divisé, et, d'autre part, sur le rapport d'activité entre les deux hémisphères.

Synthèse

Les travaux d'imageries cérébrales montrent que les jugements coordonnés et catégoriels impliquent deux réseaux cérébraux différents, mais activent principalement les mêmes zones cérébrales. Les analyses en TEP et IRMf montrent que les rôles des lobes pariétaux et des lobes préfrontaux sont au premier rang pour la prise en charge du traitement des relations spatiales. Ce fait a été confirmé dans deux autres études (Kosslyn, Thompson, & Alpert, 1997 ; Trojano et al., 2002) que nous décrivons dans la partie sur l'imagerie mentale visuelle (voir p. 75). Toutefois, la participation différente des voies dorsales droite et gauche lors de ces deux processus n'est pas très claire (Kosslyn et al., 1998 ; Slotnick & Moo, 2006 ; van der Lubbe et al., 2006). En revanche, des structures pariétales sembleraient jouer un rôle particulier dans le traitement des relations spatiales : les gyri angulaires (Baciu et al., 1999 ; Buron, 2004), dont les activités sont asymétriques lors du traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées (Baciu et al., 1999). Seulement, des difficultés d'interprétation des données recueillies nous empêchent de connaître avec précision le fonctionnement de ces structures. Il semblerait que l'effet de pratique et l'interrelation des processus latéraux soient au cœur de la compréhension de la dichotomisation du traitement des relations spatiales. À défaut de connaissances plus avancées, les données d'imagerie cérébrale nous donnent des arguments qui vont dans le sens de l'existence de sous-systèmes fonctionnels distincts. Par exemple, l'implication asymétrique du lobe préfrontal dans la mémorisation des informations catégorielles et coordonnées. Nous n'avons cependant pas un nombre suffisant de preuves et le nombre de controverses des interprétations est trop important pour récuser objectivement et complètement l'existence d'un processus unique.

Études des asymétries des traitements des relations spatiales chez les animaux

Dépy, Fagot et Vauclair (1998, expériences 1 et 2) ont réalisé une comparaison entre les performances des babouins et des hommes dans la tâche d'Hellige et Michimata (1989a). À cette fin, ils ont utilisé une phase d'apprentissage de règles de correspondance entre les positions coordonnées ou catégorielles et les touches de réponses. Ni les humains, ni les primates ne connaissaient les règles, ils devaient les deviner par conditionnement opérant renforçateur positif. Ensuite, primates et humains réalisaient une phase test pendant laquelle les stimuli étaient présentés unilatéralement. Afin de s'assurer que les babouins fixaient bien le centre de l'écran, Dépy et al. (1998) ont eu recours à la stratégie suivante : avec une manette, les participants manipulaient la position d'un curseur sur l'écran. Dès que ce

curseur juxtaposait le point de fixation, les stimuli étaient présentés unilatéralement, de part et d'autre du point de fixation. Leurs résultats n'ont pas montré de grandes différences entre les primates et les humains. Tous présentaient un avantage de la présentation hémichampique droite (*cvd-HG*), quelle que soit la tâche. Dépy et al. (1998) ont supposé que ce résultat était dû à l'effet de pratique de l'hémisphère gauche. Deux expériences contrôlées leur ont permis de confirmer cette hypothèse en répliquant, d'une part, l'effet de pratique chez un nouvel échantillon d'humains, et, d'autre part, en montrant que les singes opéraient un transfert d'apprentissage immédiat sur des nouvelles distances. Selon Dépy et al. (1998), primates et humains présenteraient des capacités et des asymétries similaires dans le traitement des relations spatiales. Vauclair, Yamazaki et Güntürkün (2006) ont dressé une revue de la littérature sur les capacités des animaux à reconnaître les relations spatiales. Chez les singes et les oiseaux, il semblerait qu'il existe de maigres preuves empiriques sur la dominance de l'hémisphère gauche pour les processus de catégorisation (Dépy et al., 1998 ; Jason, Cowey, & Weiskrantz, 1984 ; Vogels, Saunders, & Orban, 1994 ; Yamazaki, Aust, Huber, & Güntürkün, 2006), par contre aucune étude « animale » n'a montré d'avantage de l'hémisphère droit pour les traitements coordonnés. D'après Vauclair et al. (2006), le fait que singes comme oiseaux présentent un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement des relations catégorielles est un argument en faveur d'une indépendance entre les facultés langagières et les processus catégoriels dans la gestion des informations spatiales. Si nous supposons que ces espèces n'ont pas de compétences langagières, cette constatation réfute le principe d'effet boule de neige défendu par Kosslyn (1987) selon lequel les asymétries des processus catégoriels émergeraient à partir de la dominance de l'hémisphère gauche pour les fonctions langagières. Il est, toutefois, difficile de considérer la synthèse de Vauclair et al. (2006) comme un argument fort, en ce sens que celle-ci repose plutôt sur des interprétations que sur des faits. À défaut, l'étude de Dépy et al. (1998) apporte des arguments convaincants.

Études des asymétries des traitements des relations spatiales lors de l'identification des objets

Selon le modèle de Kosslyn et Koenig (1992), les processus de reconnaissance et de localisation interagiraient pour aboutir à l'identification visuelle. Plusieurs études empiriques ont été effectuées sur le sujet. Nous les décrirons ici afin d'introduire certaines études qui, au travers de l'étude de l'identification visuelle, ont mis en évidence des rôles

dissociés des processus catégoriels et coordonnés. Nous avons choisi de décrire ces études dans une partie spécifique, puisque le principal but de ces recherches n'est pas de répondre à la problématique de Kosslyn (1987), contrairement aux études que nous avons décrites ci-avant.

La relation entre la voie dorsale et ventrale

La voie dorsale et la voie ventrale interagissent au niveau de la mémoire associative pour identifier les objets (voir p. 17). Le traitement des relations spatiales aiderait à l'identification des objets. Laeng, Shah et Kosslyn (1999) ont montré que les relations catégorielles étaient nécessaires à l'identification d'objets vus dans des positions non conventionnelles. Pour information, ils ont trouvé une participation plus importante de l'hémisphère gauche pour ce type de fonction. Parrot et al. (1999) ont testé l'hypothèse selon laquelle les représentations coordonnées et catégorielles participeraient aussi bien à la localisation des objets que pour leur reconnaissance. Pour les jugements catégoriels, ils ont réalisé une tâche en-dessous/au-dessus pour la localisation et une tâche de discrimination de formes (entre un cercle et un carré) pour la reconnaissance des objets. Dans ces deux tâches, Parrot et al. (1999) ont trouvé un avantage de l'hémisphère gauche. Pour les jugements coordonnés, Parrot et al. (1999) ont répliqué la tâche d'Hellige et Michimata (1989a) pour la localisation et une tâche de comparaisons de luminances pour la reconnaissance d'objet (ici les propriétés chromatiques d'un objet). Dans la tâche de comparaisons de luminances, les auteurs ont distingué des niveaux de difficultés : la comparaison entre deux stimuli ayant des niveaux de luminances très différents était qualifiée de facile ; la comparaison entre deux stimuli ayant des niveaux de luminances proches, mais différents était qualifiée de difficile. Les différences hémisphériques de la condition localisation étaient similaires à celles de la condition reconnaissance. L'absence d'interaction entre le facteur Tâche (localisation ou reconnaissance) et Champ visuel ont permis aux auteurs d'affirmer que la voie du « what » et la voie du « where » ne sont pas dotées de systèmes différents du traitement des relations spatiales. Le modèle de Kosslyn et Koenig (1992) serait donc valide : un seul sous-système du traitement des relations spatiales (divisé en deux sous-systèmes, catégoriel et coordonné) existerait au sein du système visuel. D'autres études vont dans ce sens. L'étude d'une patiente agnosique conduite par Carey, Dijkerman, Murphy, Goodale et Milner (2006) a montré que l'influence des traitements des relations spatiales sur la reconnaissance des objets dépendait de leur caractéristique allocentrique ou égocentrique. Favelle, Hayward, Burke, & Palmisano (2006) ont montré dans une tâche de reconnaissance

d'objets rigides en 3-D que les relations catégorielles et coordonnées jouent effectivement un rôle clef si les objets subissent des rotations. Christman (2001) a étudié la reconnaissance de mouvements en lien avec le traitement des relations spatiales. Il a testé deux types de tâches catégorielles : l'une des tâches consistait à dire si un point grossissait ou rétrécissait, une autre consistait à dire si un point suivait un mouvement de bas en haut ou de haut en bas. Dans ces deux types de tâches, il a observé un avantage non significatif de la présentation en champ visuel droit (*cvd-HG*). Par contre, il a observé un avantage significatif de la présentation en champ visuel gauche (*cvg-HD*) pour la tâche consistant à dire si les mouvements étaient rapides ou lents. Christman (2002) a donc montré que le traitement des relations spatiales coordonnées et catégorielles n'était pas uniquement utile pour la reconnaissance des objets, la navigation, mais aussi pour la reconnaissance de mouvements. Il existe donc plusieurs faits qui attestent de la participation des traitements des relations spatiales dans les processus de reconnaissance et d'identification.

La position relative des objets

Une autre étude a montré que les relations catégorielles et coordonnées n'étaient pas seulement utiles pour l'identification des objets, plus précisément de l'agencement topographique de leurs parties, mais aussi pour identifier la position des objets entre eux. Laeng et Peters (1995) ont présenté unilatéralement deux dessins d'animaux et ont fait varier la distance entre les animaux ou leur position relative (gauche ou droite). Les participants devaient comparer les couples d'animaux et dire s'ils étaient identiques ou différents. Dans ce type de tâche, le jugement catégoriel était plus difficile que le jugement coordonné. Une double dissociation Tâche * Champ visuel a été obtenue validant l'hypothèse de Koslyn et al. (1987). Laeng et Peters (1995) valident l'hypothèse selon laquelle le traitement des relations spatiales serait utile pour le traitement des relations spatiales entre objets.

L'identification des objets rigides et flexibles

Selon la proposition de Stephen Koslyn, l'une des distinctions entre les représentations catégorielles et coordonnées repose sur le fait que les premières sont utiles pour l'identification d'objets rigides et les secondes pour l'identification d'objets flexibles. Cooper et Brook (2004) ont montré que les relations coordonnées sont impliquées dans l'identification d'animaux et que les relations catégorielles sont impliquées dans l'identification d'objets rigides. Le paradigme qu'ils ont utilisé dans leur première expérience consiste en une identification de stimuli présentés à différents angles de rotation,

issus des modélisations informatiques de Hummel et Biederman (1992). Selon ces auteurs, l'observation d'une courbe en M (*i.e.*, M-shaped function) pour la relation entre la rotation d'un objet de 0 à 360° et le temps de reconnaissance de cet objet est la signature de traitements catégoriels. En effet, les rotations de 0°, 180° et 360° présentent une configuration catégorielle conventionnelle, et donc réduisent les temps de traitement, alors que les rotations de 90° et de 270° présentent une configuration catégorielle complètement différente, augmentant les temps de réponse. Par contre, les processus coordonnés n'engendrent pas une déclivité des temps de réponse entre 90° et 270°. Cooper et Brook (2004) ont observé une courbe en M pour les performances d'identification d'images d'objets, mais pas pour celle d'animaux. Dans leur deuxième expérience, ils ont utilisé le paradigme de présentation en champ visuel divisé et ont observé un avantage de l'hémisphère droit pour l'identification d'animaux, mais aucune asymétrie pour l'identification des objets. Leurs résultats sont donc en faveur de l'influence des traitements des relations spatiales et d'identification d'objet sous différents angles.

D'après Kosslyn, les représentations catégorielles et coordonnées sont nécessaires pour discriminer des objets de même classe (*i.e.*, discrimination intra-classe, par exemple, discriminer deux tasses). En plus de valider le fait que les relations catégorielles sont efficaces dans la reconnaissance de figures géométriques (*i.e.*, objets rigides), Cooper et Wojan (2000) ont supposé que celles-ci seraient plus préposées à la discrimination inter-classes (par exemple, différencier le visage de deux personnes) et les relations coordonnées préposées à la discrimination intra-classes (par exemple, différencier des visages de la même personne) pour la reconnaissance des visages. Cette interprétation a été démentie par McKone, Aitkin et Edwards (2005) dans des expérimentations plus rigoureuses que celles présentées par Cooper et Wojan (2000). La méthodologie de ces derniers était la suivante : deux tâches ont été conduites, une tâche d'identification de personnes célèbres qui reposerait sur un processus de comparaisons inter-classes (différencier des visages de personnes différentes) et une tâche d'identification de visages (identifier si le visage présenté appartient bien à telle personne) qui reposerait sur un processus de comparaisons intra-classes (la comparaison de visages entre eux). Dans une condition (a), l'œil droit d'un visage est translaté verticalement sur le front ; selon les auteurs, cette condition ne respecte pas la configuration catégorielle du visage. Dans une condition (b), les deux yeux sont translatés ; selon les auteurs, cette condition ne respecte pas la configuration coordonnée du visage, mais respecte la configuration catégorielle. Les résultats de cette étude montrent que la condition (b) est plus perçue comme un visage normal que la condition (a), et que la

condition (a) est plus perçue comme se rapprochant du visage original que la (b). Cooper et Wojan (2000) interprètent cette double interaction comme suit : la dimension catégorielle sous-tend la comparaison inter-classes et la dimension coordonnée sous-tend la comparaison intra-classe. McKone et al. (2005) ont critiqué la méthodologie de Cooper et al. (Cooper & Wojan, 2000 ; Cooper & Brook, 2004). Selon eux, la différence entre (a) et (b) est basée sur une condition où un changement coordonné (*i.e.*, la translation d'un œil) perturbe la configuration catégorielle (a) et une condition où deux changements coordonnés (*i.e.*, la translation des deux yeux) ne perturbent pas la configuration catégorielle (b). McKone et al. (2005) ont présumé que ce facteur confondu, le degré de changement coordonné, était responsable de la double interaction observée par les études de Cooper et ses collaborateurs et non pas l'existence de deux types de représentations. McKone et al. (2007) ont opéré une déviation spatiale de plusieurs degrés (et non-pas deux comme dans les études de Cooper et Wojan (2000). Si la perception de visages repose sur des relations catégorielles, alors les participants devraient percevoir cette variation continue de manière catégorielle (*i.e.*, le jugement des participants et la déviation spatiale ont une relation du tout ou rien ; la configuration spatiale des visages est ou n'est pas préservée). Si la perception de visages repose sur des relations coordonnées, alors la relation entre les jugements des participants et le degré de déviation spatiale devrait suivre une fonction linéaire, logarithmique, ou une forme en U. De plus, McKone et al. (2007) ont ajouté des conditions expérimentales afin que la variable position catégorielle des yeux et la variable la position coordonnée des yeux soient croisées de manière orthogonale. Les résultats ont montré que le jugement de normalité, comme le jugement d'identité, entretenaient une relation avec la variation physique des stimuli qui respectait la loi de Fechner (1966, cité dans Bonnet, 1986). Ainsi, la distinction entre des processus de comparaisons inter-classes et intra-classes, proposée par l'équipe de Cooper et sous-tendue par deux types de relations spatiales différentes, n'est pas valide. La distinction entre des processus catégoriels et coordonnés ne serait donc pas valide pour la perception des visages. McKone et al. (2007) ont précisé dans leur conclusion qu'étant donné que la perception des visages et que la perception des objets sont des processus totalement différents, leurs résultats ne remettent pas en cause l'hypothèse de Kosslyn pour la reconnaissance des objets. En conclusion, les relations coordonnées sont impliquées dans la prosognosie et non les relations catégorielles. La dissociation entre la reconnaissance d'objets rigides/flexibles et la nécessité des relations catégorielles/coordonnées, proposée par Kosslyn (1987) serait donc valide.

La prosognosie

Comme nous venons de le mentionner, il semblerait que l'identification de visages nécessite un traitement coordonné. D'autres études sont en accord avec ce fait (Brooks & Cooper, 2006; White, 2002). La thèse soutenue par Buron (2004) montre que le traitement de relations spatiales coordonnées est nécessaire pour discriminer des émotions faciales. Plus précisément, elle a montré une activation des lobes pariétaux lors de jugements d'intensité émotionnelle de visages dans une étude d'imagerie par résonance magnétique. En revanche, des reconnaissances ne nécessitant pas une discrimination fine n'impliquent pas ces structures.

Études des asymétries des traitements des relations spatiales lors de l'imagerie mentale visuelle

La majorité des investigations sur le traitement des relations spatiales repose sur l'étude des processus perceptifs. Quelques études ont été réalisées sur l'imagerie mentale visuelle. La question est de savoir si la dichotomie catégorielle/coordonnée existe lors de la génération et de la manipulation d'images mentales. À l'aide d'un paradigme astucieux, Kosslyn, Maljkovic, Hamilton et Thompson (1995) ont testé cette hypothèse. Dans une première phase, les participants étaient invités à voir une série de lettres majuscules écrites sous la forme d'une grille dont les cases étaient noircies. Dans une seconde phase, ils leur présentaient, en champ visuel divisé, soit une série de grilles vides (condition catégorielle), soit une série de quatre coins représentant les bords de la grille (condition coordonnée), accompagnées d'une croix et d'une lettre minuscule. Les participants devaient dire si la croix tombait à l'intérieur ou à l'extérieure des lettres majuscules vues dans la première phase. Une série de contrôles a été mise en place pour s'assurer que les participants généraient bien des images mentales des lettres majuscules pour répondre à cette tâche. Par exemple, les participants répondaient plus rapidement si la croix était sur le segment de la lettre que l'on écrit en premier (*i.e.*, la barre verticale de la lettre E) que sur le segment que l'on écrit en second (*i.e.*, les barres horizontales de la lettre E). Les résultats ont montré un avantage de l'hémisphère droit pour la condition coordonnée et un avantage marginal de l'hémisphère gauche pour la condition catégorielle. L'expérience de Kosslyn et al. (1995) a été reconduite par Reese et Stiles (2005). Ces auteurs ont répliqué les résultats de l'étude de 1995, mais ont observé un avantage de l'hémisphère droit pour les deux conditions (catégorielle et coordonnée) dans la condition contrôle où les segments des lettres étaient

imaginés en premier lieu. Pour information, ils ont testé des enfants de 8 ans, 10 ans et des adultes et ont retrouvé le même pattern général de résultats pour les trois groupes. L'avantage significatif de l'hémisphère droit dans ces tâches n'est-il pas lié à une meilleure capacité de cet hémisphère pour la génération et la manipulation d'images mentales ? Pour répondre à cette question, un autre paradigme a été proposé pour l'étude du traitement des relations spatiales lors de la génération d'images mentales visuelles. Michimata (1997) a employé des horloges comme stimuli. Sa tâche catégorielle consistait à dire si les deux aiguilles étaient dans la partie supérieure ou dans la partie inférieure du cadran. Sa tâche coordonnée consistait à dire si l'angle entre les deux aiguilles était inférieur ou supérieur à 60 degrés. Michimata (1997) présentait unilatéralement des dessins d'horloges, cette condition testait les capacités perceptives des participants. Il présentait également des horloges digitales. Cette condition, demandant aux participants de se représenter l'horloge analogique pour réaliser la tâche, testait les capacités d'imagerie mentale visuelle des participants. Dans la condition de perception, Michimata (1997) a observé un avantage initial de l'hémisphère droit lors du jugement coordonné et un avantage marginal de l'hémisphère gauche pour le jugement catégoriel. Dans la condition d'imagerie mentale, il a observé un avantage de l'hémisphère droit uniquement pour le troisième bloc de la tâche coordonnée. Michimata (1997) a conclu à une absence de dominance hémisphérique pour le traitement des relations spatiales lors de tâches d'imageries mentales visuelles. Le paradigme de Michimata (1997) a été reconduit en utilisant la technique IRMf par Trojano et al. (2002). Leurs données comportementales n'ont pas montré de différences entre les deux types de tâches, ce qui est intéressant dans la mesure où nous pouvons les considérer comme ayant un niveau de difficulté identique. Les lobes pariétaux droit et gauche sont activés lors des deux tâches. Aucune différence notable n'a été notée, hormis le fait que le lobe pariétal droit était davantage activé lors de la tâche coordonnée que lors de la tâche catégorielle. Quatre participants sur sept présentaient une plus grande activation pariétale gauche dans la tâche catégorielle et cinq sujets sur sept présentaient une plus grande activation pariétale droite dans la tâche coordonnée. Une activation bilatérale des gyri angulaires a été enregistrée lors des deux tâches avec une légère activation supérieure du gyrus angulaire gauche lors de la tâche catégorielle. De plus, une activation du lobe préfrontal droit a été obtenue dans la tâche coordonnée et serait, selon Trojano et al. (2002), dévolue à une demande de mémoire de travail accrue pour cette tâche. Cette interprétation va dans le sens de l'étude de Slotnick et Moo (2006), mais semble contradictoire avec le fait que les deux tâches aient engendré les mêmes performances des participants. En résumé, les

auteurs ont conclu sur le partage d'un réseau cérébral commun entre les processus catégoriels et coordonnés lors de la génération d'images mentales visuelles, ces deux processus se distinguant par leur complexité.

Synthèse

Des indices empiriques sur l'existence d'une dissociation entre les processus catégoriels et coordonnés, lors de la génération d'image mentale visuelle, ont été réunis dans plusieurs études (Kosslyn et al., 1995 ; Reese & Stiles, 2005). Cependant, ce constat n'a pas été répliqué en ayant recours à un autre paradigme (Michimita, 1997 ; Trojano et al., 2002). Il nous est donc difficile de conclure de manière précise sur la dichotomie des processus du traitement des relations spatiales au regard de ces divergences.

Problématique

La revue de la littérature que nous avons menée nous suggère qu'il existe plusieurs arguments pour défendre la thèse de Kosslyn (1987) sur la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. Toutefois, l'analyse plus approfondie de l'articulation entre les faits et les interprétations nous conduit à penser qu'il existe autant de preuves de l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels, qu'il existe de preuves en faveur d'un processus unique. Les critiques des travaux que nous avons faites réduisent conséquemment les arguments en faveur d'une dichotomie computo-anatomo-fonctionnelle.

La problématique principale que nous déduisons de cette revue de la littérature est la suivante : il semble exister des preuves issues de différentes techniques sur l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales. Bien que ces preuves, individuellement considérées, soient insuffisantes, quels sont les facteurs pertinents pour valider opérationnellement l'hypothèse d'une double dissociation Processus * Hémisphère ? En d'autres termes, cette problématique se décline en deux axes. Premièrement et sur le plan théorique, existe-t-il un ou plusieurs sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales ? Pour répondre, nous chercherons des preuves supplémentaires à celles recueillies auparavant. Deuxièmement et sur le plan méthodologique, l'articulation opérationnelle de Kosslyn (1987) est-elle valide pour infirmer l'existence d'un processus unique ? Si oui, quels sont les facteurs impliqués dans le paradigme de psychologie cognitive choisi, c'est-à-dire le paradigme de présentation en champ visuel divisé ? Nous avons donc cherché à tester la fidélité et la validité des données issues de ce protocole expérimental. De même, nous avons cherché à mettre en évidence des

facteurs qui pourraient parasiter ces paramètres. Dit autrement, nous avons cherché à accumuler des données comportementales répliquables et à décrire au mieux leur contexte d'apparition. Par exemple, nous avons veillé à prendre en considération le plus de facteurs que nous avons décrit dans cette partie théorique, en particulier les facteurs qui peuvent remettre en cause la validation de l'hypothèse opérationnelle de Kosslyn (1987) ; par exemple, la fréquence spatiale, la différence de difficulté entre les tâches et l'effet de pratique.

Etudes des relations spatiales visuelles

-

Partie expérimentale

"The history of divided visual field experiments is somewhat checkered; it is not uncommon to find failures to replicate in the literature". Kosslyn et al. (1989, p. 731).

Objectifs

L'objectif de cette première partie expérimentale est de tester l'hypothèse d'une dichotomie des processus catégoriels et coordonnés. Nous avons utilisé les paradigmes de présentation en champ visuel divisé et d'Hellige et Michimata (1989a) par lesquels bon nombre de recherches ont invalidé l'hypothèse d'un processus unique pour le traitement des relations spatiales. Notre démarche est double : d'un côté, nous cherchons à valider une hypothèse théorique, celle de Kosslyn (1987), et de l'autre nous cherchons à analyser l'efficacité des paradigmes. En cela, nous tenterons de circonscrire tout effet illogiquement observé en fonction de notre protocole opérationnel. Nous avons donc entrepris une procédure de contrôle et de neutralisation de biais éventuels dans les paradigmes classiques employés dans le champ de recherche des traitements des relations spatiales. L'intérêt de ce travail est important, puisque nous pensons que la mise en évidence de certains biais non contrôlés dans plusieurs études remettrait en question la méthodologie employée dans ces études et, par extension, remettrait en question leur validation d'hypothèse et interprétations.

Résumé des expériences

Expérience 1

L'expérience 1 est une adaptation de Kosslyn et al. (1989). Nous observons un avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité quelles que soient les conditions expérimentales. L'hémisphère droit présente un avantage en termes de précision pour le jugement coordonné. Confrontée à une telle contradiction de nos mesures, cette expérience ne nous permet aucune interprétation sur le degré de spécialisation hémisphérique du traitement des relations spatiales coordonnées. Nous avons supposé une incidence de la forte luminosité employée dans cette expérience en rapport avec les hypothèses de Sergent (1991).

Expérience 2

Nous avons répliqué l'expérience 1 en réduisant la luminance des stimulations. Notre hypothèse était que cette réduction de luminance ferait basculer l'avantage de rapidité de l'hémisphère gauche à l'hémisphère droit. Contrairement à nos attentes, nos résultats sont similaires à ceux de l'expérience 1. Nous avons alors mené une revue critique de tous les biais possibles dans le paradigme que nous avons utilisé. Des analyses *a posteriori* nous ont permis de mettre en évidence des nouvelles variables qui pourraient jouer un rôle déterminant dans le paradigme de présentation en champ visuel divisé.

Expérience 3

Dans cette expérience, le but était d'écartier le maximum de biais langagiers et spatiaux. Nous avons contrôlé l'effet Simon, réduit les composantes langagières et appliqué un feedback. Pour des raisons théoriques et pratiques, nous avons testé uniquement une tâche coordonnée et ceci sur un nombre d'essais suffisants, mais moins importants que dans les expériences 1 et 2. Nous observons toujours le même pattern de résultats que dans les expériences précédentes.

Expérience 4

Dans cette expérience nous avons répliqué le protocole de l'expérience 3, mais en présentant aux participants une distance de référence qui ne favorise pas la catégorisation de l'espace préalablement à la réalisation de l'expérience. Nos observations, certes moins

prégnantes, ont montré un faible avantage de l'hémisphère droit pour le jugement métrique. Une logique opérationnelle nous a permis de suspecter une forte implication nécessaire et automatique des processus catégoriels dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a).

Expérience 5

Dans cette dernière expérience, nous avons contrôlé l'ordre de présentation des stimuli dans le but de vérifier qu'aucun effet d'amorçages inter-essais ne perturbait nos observations. Pour cela, nous avons testé aussi bien le jugement catégoriel que coordonné. Nos analyses montrent une dominance de l'hémisphère droit pour le jugement coordonné que ce soit en termes de rapidité ou de précision. Cette expérience met en avant l'importance de considérer le travail des hémisphères comme non indépendant et dynamique. Nous validons partiellement l'hypothèse de Kosslyn (1987) sur une différenciation fonctionnelle entre les hémisphères et les traitements des relations spatiales catégorielles et coordonnées.

Expérience 1.

Objectifs

Cette expérience avait deux objectifs : le premier était de répliquer les résultats de Kosslyn et al. (1989, expérience 3). Notre deuxième objectif était de fixer les paramètres expérimentaux pour l'observation de l'effet de pratique. Nonobstant la volonté de répliquer les résultats de la littérature, cette expérience nous servira de « baseline » pour la comparaison d'autres approches méthodologiques concrétisées dans la deuxième partie expérimentale. Nous nous efforcerons donc de maintenir d'une expérience à une autre le plus de paramètres constants par rapport à cette expérience. Dans ce but, nous porterons notre attention sur le délai de la disparition de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée. De même, l'importance de l'effet de la variable Sexe sera déterminante pour l'échantillonnage de nos participants pour les autres expériences ; à savoir si celle-ci est relative et qu'aucun effet n'est dépendant de ce facteur, alors nous testerons par la suite, dans des proportions équivalentes, des participants masculins et féminins. Dans le cas contraire, ne seront testés dans nos autres expériences que des hommes.

Méthode

Participants

Quarante participants volontaires (19 hommes et 21 femmes), étudiants de l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats de huit d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens ou les taux d'erreurs trop élevés (supérieurs à la somme de la moyenne et de deux écart-types des quarante participants), le coefficient de latéralité trop bas et la non-compréhension de la consigne.

La procédure de sélection de ces participants était la suivante. Dans un premier temps, nous testions le nombre de participants prévu (ici 32). Nous excluons directement les participants qui n'avaient pas compris la consigne et ceux dont la latéralité était trop faible. Ensuite, la moyenne des scores des participants restants était calculée. Certains participants étaient rejetés par rapport aux critères relatifs au nombre d'erreurs et au temps de réponse. Dans un deuxième temps, nous testions de nouveaux participants dans les mêmes modalités des facteurs inter-sujets que celles des participants préalablement exclus. Nous procédions à une nouvelle exclusion et réitérions cette procédure jusqu'à respecter, d'une part, nos critères de sélection et, d'autre part, notre plan expérimental des variables inter-sujets. Nous avons procédé ainsi pour toutes nos expériences. Remarquons qu'aucun participant n'a participé à plusieurs expériences au sein de ce travail doctoral.

Les trente-deux participants (16 femmes et 16 hommes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 21.25 ans (Ecart-type : 3.2). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.86 et écart-type de 0.1 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

L'expérience était composée de deux sessions expérimentales, durant lesquelles les participants étaient testés individuellement. Les sessions se différençaient uniquement sur la consigne donnée aux participants : dans la première session, nous demandions aux participants de réaliser un jugement métrique (tâche coordonnée) ; dans la deuxième session, nous leur demandions de réaliser un jugement catégoriel (tâche catégorielle). Tous les participants effectuaient les sessions dans cet ordre en raison de nos hypothèses sur l'effet de pratique.

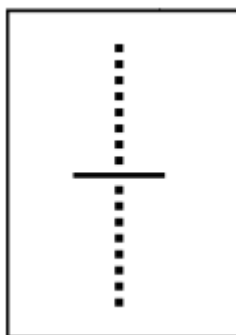
Dispositif expérimental

Les stimuli, en noirs sur un fond blanc, étaient présentés sur un écran pronitron 17/500 relié à un ordinateur Power Macintosh 7300/200. L'écran était réglé en milliers de couleurs, sa résolution était de 1024 x 768, sa luminance de 98.33 cd/m² pour le fond blanc et 2.78 cd/m² pour les stimuli (contraste de 0.94), et sa fréquence de balayage de 75Hz. Les réponses et les temps de réponse ont été enregistrés par le logiciel Psyscope 1.2.5. (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993) à partir des touches du clavier.

Stimuli

Nous avons repris et adapté les stimuli utilisés par Kosslyn et al. (1989, expérience 3). Les stimuli étaient constitués d'une barre horizontale (longue de dix millimètres, large d'un millimètre, un degré d'angle visuel) et d'un point (carré d'un millimètre de côté, un dixième de degré d'angle visuel) pouvant avoir seize positions différentes par rapport à la barre (0). Huit de ces positions étaient au-dessus de la barre, les huit autres étaient en-dessous. Nous avons codé ces positions respectivement « up » et « down ». Parmi ces huit, quatre étaient à moins de huit millimètres (0.8° angle visuel) de la barre et ont été nommées « in ». Les quatre autres étaient à plus de huit millimètres (0.8° angle visuel) de la barre et ont été nommées « out ». Nous pouvons donc en déduire une distance de référence séparant les stimuli « in » des stimuli « out », égale à huit millimètres de la barre horizontale. Les stimuli se situant près de cette frontière étaient des stimuli difficiles à traiter dans la tâche coordonnée. Nous avons donc codé les huit stimuli les plus proches de cette frontière comme étant des stimuli « difficiles » (*dif*) ; les huit autres furent nommés « faciles » (*fac*). Les stimuli étaient présentés à une excentricité de trois degrés d'angle visuel du point de fixation, ce qui correspondait à trente millimètres de l'axe vertical médian de l'écran. Nous avons choisi cette excentricité car la plupart des auteurs utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé pour l'étude des traitements des relations spatiales présentaient leurs stimuli à cette excentricité (Bruyer et al., 1997 ; Cowin & Hellige, 1994 ; Ginchereau, 2000 ; Hellige & Cumberland, 2000 ; Horner & Freides, 1996 ; Koenig et al., 1990 ; Kosslyn et al., 1989 ; Roth & Hellige, 1998 ; Rybash & Hoyer, 1992 ; Vernier, 2000 ; Wilkinson & Donnelly, 1999).

Figure 5 Stimulus prototype présentant les seize positions que pouvait prendre un point par rapport à la barre.



Procédure

Les participants, installés dans une salle insonorisée, étaient testés individuellement. L'expérimentateur ne restait dans la salle que pendant les phases d'entraînement et de familiarisation. En premier lieu, les participants remplissaient une feuille de consentement et le test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971). Puis, ils s'installaient face à l'écran de l'ordinateur de manière à ce que leur visage repose de façon stable sur une mentonnière et que leurs yeux soient situés à 570 millimètres de l'écran. Rappelons qu'à cette distance, une variation d'un centimètre sur l'écran correspond à un degré d'angle visuel. Nos hypothèses ont été testées avec un paradigme de présentation en champ visuel divisé. Nous avons codé la présentation dans le champ visuel droit « *cvd-HG* » et la présentation dans le champ visuel gauche « *cvg-HD* ».

Entraînement à la réponse

Chaque session expérimentale commençait par un entraînement à la réponse qui consistait à familiariser les participants avec les touches de réponses du clavier et à associer à chaque touche à la réponse correspondante. L'entraînement comportait trente-six essais durant lesquels des mots apparaissaient au centre de l'écran dans un ordre aléatoire contrôlé : pendant la première session expérimentale, il s'agissait des mots « plus » et « moins », tandis que dans la deuxième session expérimentale, il s'agissait des mots « dessus » et « dessous ». Nous nous sommes assurés que le même mot ne soit pas présenté plus de trois fois consécutivement. Chaque essai était composé des étapes suivantes : un signal visuel d'attention au centre de l'écran apparaissait pendant 100 ms, suivi d'un écran blanc durant 200 ms, suivi du mot « plus » (respectivement « dessus ») ou du mot « moins » (respectivement « dessous »). Les mots restaient à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Enfin, un écran blanc de 500 ms terminait l'essai. Les participants devaient d'appuyer le plus rapidement possible sur la touche correspondant au mot. Les touches B et N d'un clavier AZERTY ont été utilisées et recouvertes de gommettes rouge ou verte. Tous les

participants répondaient « plus » ou « dessus » en appuyant sur la touche rouge avec leur index, et « moins » ou « dessous » en appuyant sur la touche verte avec leur majeur. La moitié des participants répondaient avec leur main droite, l'autre moitié avec leur main gauche.

Familiarisation aux tâches

Une fois la phase d'entraînement terminée, les participants étaient invités à lire les instructions de la phase expérimentale présentées à l'écran et simultanément lues par l'expérimentateur. Dans la tâche coordonnée, la distance de référence était présentée aux participants à deux reprises (cf. 0). À la suite de la lecture de la consigne, huit essais types leur étaient présentés auxquels ils devaient répondre le plus vite et le plus justement possible. De manière aléatoire, dans la moitié de ces essais, les stimuli étaient présentés dans le champ visuel droit ; dans l'autre moitié, les stimuli étaient présentés dans le champ visuel gauche. Un feedback sonore leur indiquait s'ils avaient commis une erreur. A la suite de ce court entraînement, un récapitulatif des instructions était présenté. Nous avons particulièrement insisté sur les faits suivants : les participants devaient répondre le plus vite et le plus justement possible, ils ne devaient regarder que le centre de l'écran et devaient s'efforcer de rester concentrés pendant toute la durée de l'expérience.

Figure 6 Présentation de la distance de référence.



Phase expérimentale

Pendant la première session expérimentale, les participants devaient juger si le point présenté était à plus ou moins huit millimètres de la barre. Pendant la deuxième session expérimentale, les sujets devaient juger si le point présenté était au-dessus ou au-dessous de la barre. Chaque session comportait 136 essais répartis selon les facteurs expérimentaux de manière équivalente dans quatre blocs. Ainsi, chaque bloc comportait 2 premiers essais qui étaient systématiquement non pris en compte dans les analyses et 32 essais pour lesquels les 16 positions du point étaient présentées deux fois ; une fois dans le champ visuel droit, une fois dans le champ visuel gauche. Pour plus de détails, le tableau 4 présente la répartition des stimuli pour chaque session expérimentale et nous donne un aperçu des variables

indépendantes intra-sujets importantes pour notre étude. Les essais étaient répartis de manière pseudo-aléatoire au sein de chaque bloc avec la contrainte qu'il n'y ait jamais trois réponses attendues identiques à la suite ou trois présentations dans le même champ visuel consécutives.

Tableau 4. Répartition des stimuli dans une session expérimentale. La deuxième ligne indique les quatre modalités du facteur Bloc. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel (cvd-HG : champ visuel droit-hémisphère gauche, cvg-HD : champ visuel gauche-hémisphère droit). La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Difficulté relatif à la tâche coordonnée. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Session expérimentale	Essais (128)							
Bloc	bloc 1 (32)		bloc 2 (32)		bloc 3 (32)		bloc 4 (32)	
Champ visuel	cvg-HD (16)		cvd-HG (16)		cvg-HD (16)		cvd-HG (16)	
Difficulté	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)

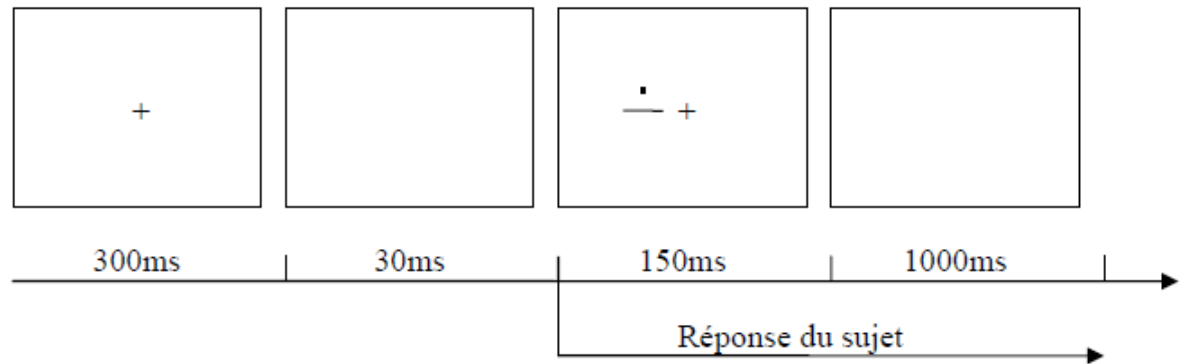
Chaque participant effectuait chacune des phases expérimentales ; chacune étant séparée d'une pause de plusieurs minutes de l'autre. Le tableau 5 expose la répartition des participants, nous précisant l'ensemble des variables indépendantes inter-sujets prises en compte dans nos analyses statistiques. La moitié des participants répondait de la main droite, l'autre moitié de la main gauche. Les participants répondaient « plus » ou « dessus » de leur index en appuyant sur la touche rouge du clavier, et répondaient « moins » ou « dessous » de leur majeur en appuyant sur la touche verte. L'ordre de présentation des blocs était contrebalancé selon la méthode du carré latin.

Tableau 5. Présentation de la répartition des participants. La deuxième colonne indique les deux modalités du facteur Sexe. La troisième colonne indique les deux modalités du facteur Main. La dernière colonne indique les quatre modalités de la variable Ordre des blocs. Est indiqué entre parenthèses le nombre de participants pour chaque condition.

VARIABLES INDEPENDANTES INTER-SUJETS			
	Sexe	Main	Ordre des blocs
Participants (32)	Homme (16)	Droite (8)	b1-b2-b3-b4 (2)
			b3-b4-b1-b2 (2)
			b2-b1-b4-b3 (2)
			b4-b3-b2-b1 (2)
		Gauche (8)	b1-b2-b3-b4 (2)
			b3-b4-b1-b2 (2)
			b2-b1-b4-b3 (2)
			b4-b3-b2-b1 (2)
	Femme (16)	Droite (8)	b1-b2-b3-b4 (2)
			b3-b4-b1-b2 (2)
			b2-b1-b4-b3 (2)
			b4-b3-b2-b1 (2)
		Gauche (8)	b1-b2-b3-b4 (2)
			b3-b4-b1-b2 (2)
			b2-b1-b4-b3 (2)
			b4-b3-b2-b1 (2)

Le design temporel d'un essai est présenté dans la figure 7. Chaque essai était composé d'un point de fixation présenté au centre de l'écran pendant 300 ms et symbolisé par une croix (de largeur de deux millimètres, 0.2 angle visuel). Le point de fixation était suivi d'un écran blanc pendant 30 ms, lui-même suivi d'un des stimuli présenté dans le champ visuel droit ou présenté dans le champ visuel gauche pendant 150 ms. Pendant l'apparition des stimuli, le point de fixation restait à l'écran. Le couple point de fixation-stimulus était suivi d'un écran blanc dont le temps d'apparition était déterminé par le temps de réponse des participants. Un dernier écran blanc de 1000 ms permettait de faire la transition entre deux essais. N'étant pas sûr de l'implication d'un feedback lors du traitement des relations spatiales (voir partie théorique), aucun feedback ne donnait d'indication sur la justesse de la réponse des participants. L'expérience durait approximativement 30 minutes.

Figure 7 Design temporel d'un essai type (les stimuli ne sont pas représentés à l'échelle).



Hypothèses

Nos hypothèses opérationnelles étaient les suivantes :

HO-1 : L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative.

HO-1-1 : Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.

HO-1-2 : Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.

HO-2 : L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.

HO-3 : Les performances des participants sont significativement meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.

HO-4 : Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs sur les facteurs expérimentaux et sur les facteurs contrôles. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. De plus, un élagage (*i.e.*, *trimming*) a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été

remplacés par la moyenne de cette même cellule (4% des temps a été remplacé pour la tâche catégorielle, 1.8% pour la tâche coordonnée ; la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Nous avons choisi de conserver ce seuil pour l'ensemble des analyses de variance effectuées dans cette expérience et pour l'ensemble des expériences. Dans la tâche coordonnée, l'analyse des temps de réponse portait sur 85.35% des réponses, tandis que dans la tâche catégorielle l'analyse des temps de réponse portait sur 93.67% des réponses. Les temps de réponses moyens pour la tâche catégorielle étaient de 413 ms et 515 ms pour la tâche coordonnée.

Analyses des tâches catégorielle et coordonnée

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreur, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche), et
- Tâche à deux modalités (tâche catégorielle, CAT ; tâche coordonnée, COO), et
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, b1; bloc 2, b2, bloc 3, b3; bloc 4, b4).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche), et
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1).

Analyse des temps de réponse

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,16)}=5.277, p<.04$] ; les participants ont répondu en moyenne plus rapidement pour les stimuli présentés à droite (459 ms) que pour les stimuli présentés à gauche (465 ms), et
- Tâche [$F_{(1,16)}=183.158, p<.0001$] ; les participants ont réalisé la tâche catégorielle (414 ms) plus rapidement que la tâche coordonnée (516 ms).

Comme nous avons fait l'hypothèse d'une interaction Champ visuel * Tâche et que celle-ci n'était pas significative, nous avons réalisé des analyses de contraste comparant les champs visuels pour chacune des tâches (Figure 8) : dans la tâche coordonnée, nous avons observé

un avantage de la présentation en hémichamp visuel droit [$F_{(1,16)}=6.283, p<.02$]. Dans la tâche catégorielle, nous avons observé un avantage marginal de la présentation en hémichamp droit [$F_{(1,16)}=3.516, p=.07$]. L'analyse de variance a montré aussi que l'interaction Tâche * Bloc était significative [$F_{(1,16)}=2.283, p<.05$].

Analyse des taux d'erreurs

L'ANOVA menée sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs :

- Tâche [$F_{(1,16)}=51.459, p<.0001$] ; les participants ont fait moins d'erreur dans la tâche catégorielle (6.3% d'erreurs) que dans la tâche coordonnée (14.6% d'erreurs), et
- Bloc [$F_{(3,48)}=3.761, p<.02$] ; les participants ont fait de moins d'erreur de bloc en bloc.

L'interaction Champ visuel * Tâche s'est révélée significative [$F_{(1,16)}=4.636, p<.05$, cf. Figure 8]. La différence entre les champs visuels était plus grande dans la tâche coordonnée que dans la tâche catégorielle. De plus, le sens de cette différence était asymétrique; sur le plan de l'analyse descriptive, un avantage de la présentation en champ visuel droit (5.8% d'erreurs) sur la présentation en champ visuel gauche (6.4% d'erreurs) a été noté pour la tâche catégorielle. Pour la tâche coordonnée, par contre, nous avons observé un avantage de la présentation en champ visuel gauche (13% d'erreurs) sur la présentation en champ visuel droit (15% d'erreurs). Conformément à nos hypothèses, nous avons procédé à un calcul de contrastes sur cette interaction : pour la tâche catégorielle, la différence entre les modalités du facteur Champ visuel n'était pas significative [$F_{(1,16)}=0.033, p=.8$]. Par contre, pour la tâche coordonnée, la présentation en champ visuel gauche (*cvg-HD*) a engendré moins d'erreurs que la présentation en champ visuel droit [*cvd-HG* : $F_{(1,16)}=8.333, p=.007$].

[Figure 8]

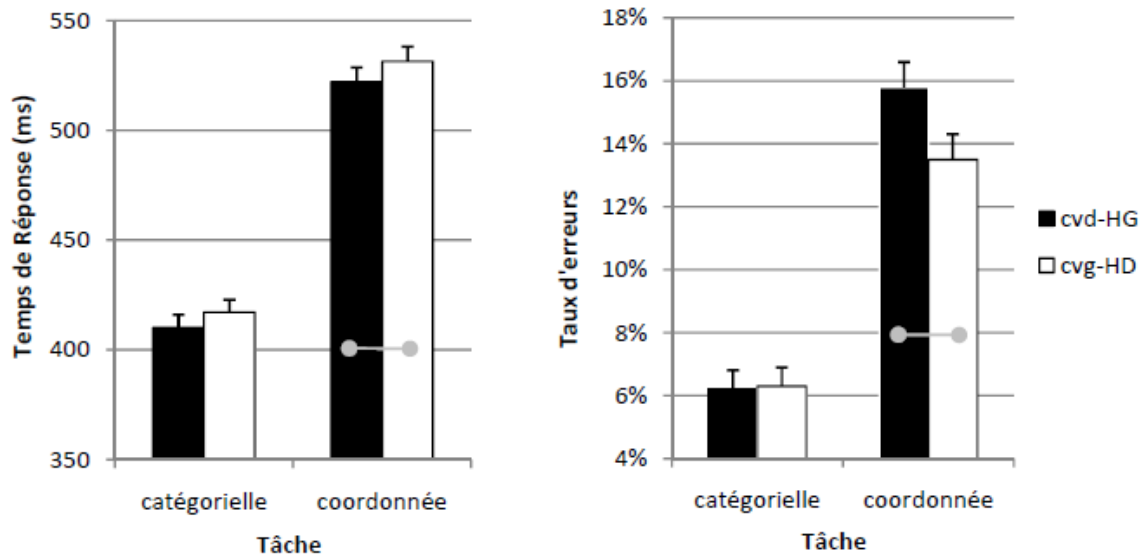


Figure 8 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Tâche (catégorielle versus coordonnée) et Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) (●—● $p < .01$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse de la tâche coordonnée

Nous avons conduit des analyses statistiques spécifiques pour la tâche coordonnée dans la mesure où nous avons des hypothèses spécifiques sur celle-ci et que le facteur Difficulté n'était relatif qu'à cette tâche-là. Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreur, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile), et
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1).

Analyse des temps de réponse

L'analyse a montré que le facteur Champ visuel est marginalement significatif, $F_{(1,16)}=4.403$, $p=.052$, en faveur d'un avantage de l'hémichamp droit (*cvd-HG*). L'analyse a révélé un effet de la difficulté, $F_{(1,16)}=78.666$, $p<.0001$, selon lequel les participants étaient plus lents pour les stimuli difficiles (534 ms) que pour les stimuli faciles (500 ms).

L'interaction Champ visuel * Difficulté s'est révélée significative [$F_{(1,16)}=33.022$, $p<.0001$, cf. Figure 9]. Des analyses de contrastes sur cette interaction ont mis en évidence un avantage de la présentation en champ visuel droit (524 ms) sur la présentation en champ visuel gauche (501 ms) pour les stimuli difficiles [$F_{(1,16)}=43.658$, $p=.0001$]. Par contre, aucune différence significative du côté de la présentation pour les stimuli faciles n'a été reportée [$F_{(1,16)}=2.013$, $p=.16$].

[Figure 9]

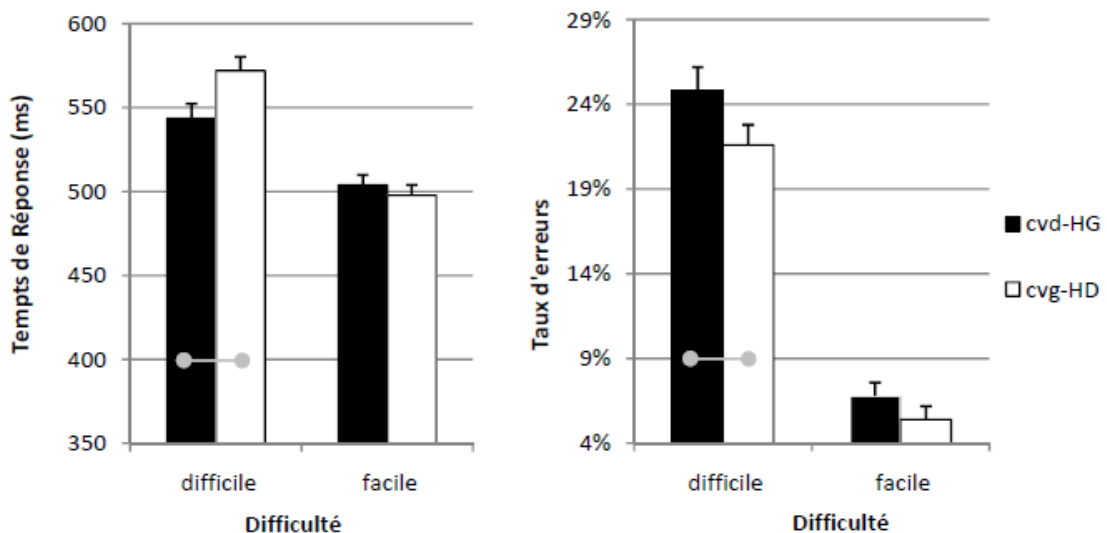


Figure 9 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Difficulté (difficile et facile) dans la tâche coordonnée. (●● $p<.01$). Les barres représentent les erreurs standards.

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a montré que l'interaction Champ visuel * Bloc n'était pas significative ($p>.4$). En respect de nos hypothèses, nous avons conduit des analyses de contrastes sur cette interaction qui ont montré que les temps de réponses moyens des participants étaient significativement plus courts dans la condition *cvg-HD* (511ms) que dans la condition *cvd-HG* (532ms) pour le dernier bloc [$F_{(3,16)}=6.62$, $p<.02$, cf. Figure 10]. Aucune différence des temps de réponse entre les champs visuels n'a été observée pour les autres blocs.

[Figure 10]

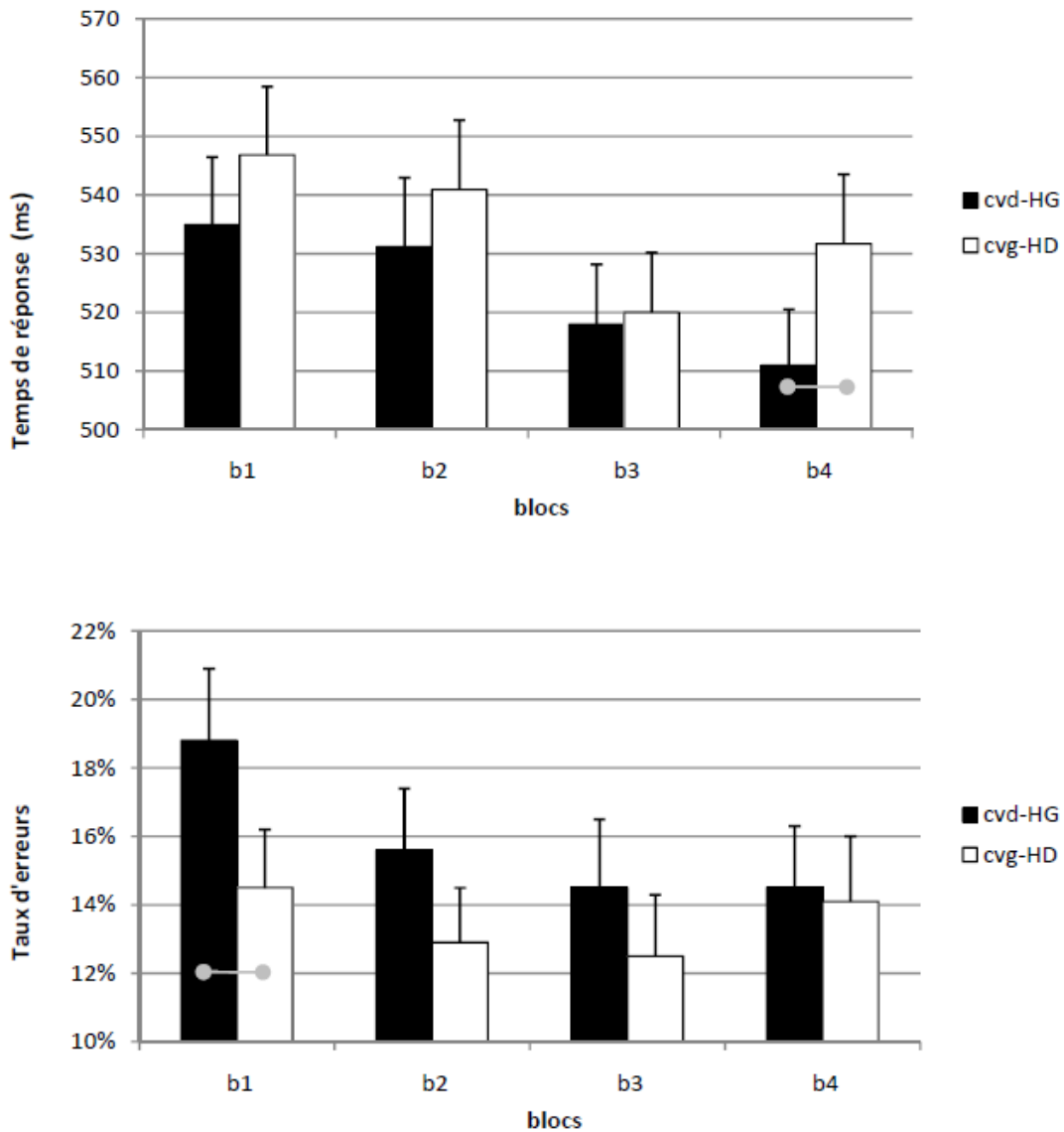


Figure 10 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (b1, b2, b3 et b4) dans la tâche coordonnée. (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

L'interaction Champ visuel * Bloc * Difficulté s'est révélée significative [$F_{(3,48)}=3.064$, $p < .04$]. Des analyses de contrastes ont montré que l'avantage de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* pour les essais difficiles n'était significatif que pour le premier et le dernier bloc.

Analyse des taux d'erreurs

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,16)}=7.732$, $p<.02$] ; selon lequel les participants ont fait davantage d'erreurs quand les stimuli étaient présentés à droite (*cvd-HG* : 15.82% d'erreurs) que quand les stimuli étaient présentés à gauche (*cvg-HD* : 13.48% d'erreurs), et
- Difficulté [$F_{(1,16)}=142.111$, $p<.0001$] ; les stimuli difficiles engendraient plus d'erreurs (23.19% d'erreurs) que les stimuli faciles (6.10% d'erreurs).

Bien que l'interaction Champ visuel * Difficulté ne se soit pas révélée significative ($p>.4$), nous avons conduit des analyses de contrastes et celles-ci ont révélées une différence significative du facteur Champ visuel pour les essais difficiles [$F_{(1,16)}=4.71$, $p<.04$] en faveur du champ visuel gauche (*cvg-HD*). Aucune différence significative entre les champs visuels n'a été obtenue pour les essais faciles (cf. Figure 9).

L'interaction Champ visuel * Bloc n'était pas significative ($p>.45$). Cependant, en respect de nos hypothèses, nous avons conduit des analyses de contrastes qui ont mis en évidence un avantage significatif de la condition *cvg-HD* (14.5% d'erreurs) sur la condition *cvd-HG* (18.8% d'erreurs) pour le premier bloc [$F_{(3,48)}=5.62$, $p<.02$, cf. Figure 10]. Les autres blocs ne présentaient pas de différence significative entre les modalités du facteur Champ visuel.

Résumé des résultats

Les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6. Résumé des résultats de l'expérience 1. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonnes présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse
	Temps de réponse	Taux d'erreur	
H1: L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative	Interaction Champ visuel * Tâche non significative	Interaction Champ visuel * Tâche significative	partiellement validée <input type="checkbox"/>
H1-1: Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants répondent sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.	Avantage marginal de la condition <i>cvd-HG</i>	Avantage non significatif de la condition <i>cvd-HG</i>	partiellement validée <input type="checkbox"/>
H1-2: Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants répondent sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.	Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i>	Avantage significatif de la condition <i>cvg-HD</i>	non validée <input checked="" type="checkbox"/>
H2: L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.	Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i> uniquement pour les essais difficiles	Avantage significatif de la condition <i>cvg-HD</i> uniquement pour les essais difficiles	non validée <input checked="" type="checkbox"/>
H3: Les performances des participants seront significativement meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.	Avantage <i>cvd-HG</i> pour le dernier bloc	Avantage <i>cvg-HD</i> pour le premier bloc	validée <input checked="" type="checkbox"/>
H4: Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.	facteur Tâche significatif	facteur Tâche significatif	validée <input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations

Les participants ont mieux réussi la tâche catégorielle que coordonnée (HO-4 validée). Nous observons une interaction des facteurs Champ visuel et Tâche significative pour les taux d'erreur. L'hypothèse sur l'asymétrie fonctionnelle du traitement des relations spatiales semble être validée (HO-1) en ce sens que nous observons un avantage de l'hémisphère droit (*cvg-HD*) pour la tâche coordonnée en termes de précision et un avantage de l'hémisphère gauche (*cvd-HG*) pour la tâche catégorielle en termes de rapidité. Cependant, nous n'obtenons pas d'interaction du facteur Champ visuel sur le facteur Tâche pour les temps de réponse. En effet, nous observons un avantage général de l'hémisphère gauche (*cvd-HG*) en termes de vitesse de traitement. Cet avantage de temps de traitement de l'hémisphère gauche (*cvd-HG*) est présent quelle que soit la tâche et est accentué dans la tâche coordonnée pour les essais difficiles (rejet de HO-1-2).

Nous sommes face à des effets contradictoires entre les variables dépendantes (*i.e.*, compromis vitesse-précision) pour définir une spécialisation hémisphérique pour le jugement coordonné ; d'autant plus que cette contradiction est accentuée dans le cas où les jugements métriques sont difficiles (HO-2 rejetée). L'analyse de la précision va dans le sens de nos hypothèses. Toutefois, l'analyse des temps de réponse va dans le sens contraire. Si l'on écarte la possibilité que l'hémisphère gauche soit spécialisé dans le traitement des relations spatiales coordonnées, la rapidité des réponses de l'hémisphère gauche peut

s'expliquer par : (1) un avantage temporel en aval des traitements spécifiques aux relations spatiales, cependant, aucune différence temporelle significative entre les mains de réponses n'a été observée, cette alternative n'est donc pas à retenir, (2) un avantage temporel sur l'hémisphère droit en amont des traitements spécifiques aux relations spatiales. Cette alternative peut reposer sur des différences qualitatives entre les *inputs* des hémisphères en termes de luminance (Sergent, 1991), en termes de taille des champs récepteurs (Kosslyn et al., 1992), ou en termes de différences qualitatives des informations ascendantes (Cowin & Hellige, 1994, Roth & Hellige, 1998).

Nous remarquons que l'avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel n'est que marginal. Ce faible avantage de l'hémisphère gauche pour le jugement catégoriel est souvent observé dans d'autres études (voir partie théorique p. 33) et pourrait être dû à un effet plancher des performances des participants dans cette tâche en opposition à la tâche coordonnée qui est nettement moins réussie par les participants (H4 acceptée).

Nous observons un effet de pratique qui se traduit par un avantage de l'hémisphère droit en termes de précision au début de l'expérience et un avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité à la fin de l'expérience (HO-3 validée). Nous remarquons cependant que l'hémisphère gauche est plus rapide pour les essais difficiles et ceci dès le début de l'expérience. Ce fait est en opposition avec l'effet de pratique classiquement observé.

Nonobstant une erreur de type II, il est important de mentionner qu'aucune différence d'asymétrie fonctionnelle ne semblerait exister entre les hommes et les femmes. Dans la suite de nos expériences, nous ne bornerons donc pas à tester uniquement des hommes, mais également et à nombre égal des femmes.

Conclusion

La concordance partielle des résultats obtenus avec ceux de la littérature nous a amené à envisager une réplique de cette expérience. Nous souhaitons donc reproduire cette expérience, mais en utilisant un filtre polaroïd sur l'écran et une réduction de la luminance de l'écran pour favoriser l'émergence d'un avantage de l'hémisphère droit en termes de rapidité de traitement. En effet, la luminance semble jouer un rôle déterminant dans le traitement des relations spatiales et l'observation des asymétries fonctionnelles (Sergent, 1991). Dans cette expérience, nous avons employé une luminance (98.33 cd/m²) approximativement équivalente à celle employée dans l'expérience 3 de Kosslyn et al. (1989) (106.4 cd/m²). Pourtant, nous n'obtenons pas le même pattern de résultats. Selon les

données de la littérature (Christman, 1990 ; Sergent, 1982), une forte luminance favorise l'hémisphère gauche en termes de rapidité de traitement. De plus, contrairement à nos paramètres expérimentaux, Kosslyn et al. (1989) employaient un filtre CP50 dont la fonction est de polariser les rayons lumineux de l'écran. Il est donc probable comme le mentionne Christman (1989), dans une revue des biais du paradigme de présentation en champ visuel divisé, que la luminance ait pu jouer un biais et que l'avantage temporel de l'hémisphère gauche soit dévolu à ce facteur confondu et non spécifique aux traitements des relations spatiales.

Expérience 2.

Introduction

L'un des biais du paradigme de présentation en champ visuel divisé est la luminance (Christman, 1989). Ce biais s'exprime par un avantage de l'hémisphère droit à traiter des stimuli de faible luminance et un avantage de l'hémisphère gauche à traiter des stimuli de forte luminance (Christman, 1990 ; Sergent, 1982). Ce biais influence particulièrement les temps de réponse en respect de la loi de Piéron (Piéron, 1913, 1920). Cette loi stipule une corrélation entre temps de réponse et intensité lumineuse des stimulations. Nos résultats de l'expérience 1 convergent vers ceux de la littérature pour les taux d'erreurs, mais sont contraires à ceux de la littérature pour les temps de réponse étant donné que nous observons un avantage de l'hémisphère quelle que soit la tâche en termes de rapidité. Nous avons supposé que cet avantage pourrait être dévolu à l'effet confondu de la luminance. Le fort niveau de luminance de l'expérience aurait avantagé la vitesse de traitement de l'hémisphère gauche.

Certains auteurs proposent que le traitement des relations spatiales coordonnées serait mieux pris en charge par des réseaux ayant de larges champs récepteurs avec recouvrement. Quant au traitement des relations spatiales catégorielles, il serait mieux pris en charge par des réseaux ayant de petits champs récepteurs. Les preuves sont de deux types. D'une part, un réseau entraîné à une tâche métrique développerait des champs récepteurs de grande taille et un réseau entraîné à une tâche catégorielle développerait des champs récepteurs de petite taille (Kosslyn et al., 1992, expérience 3(1) ; Magué & Paugam-Moisy, 2001, expérience 1). D'autre part, un réseau ayant de grands champs récepteurs aurait de meilleures performances dans une tâche coordonnée que dans une tâche catégorielle. Inversement, un

réseau ayant de petits champs récepteurs aurait de meilleures performances dans une tâche catégorielle que dans une tâche coordonnée (Baker et al., 1999 ; Kosslyn et al., 1992, expérience 3.1 ; Magué & Paugam-Moisy, 2001, expérience 1).

Les hautes fréquences spatiales seraient mieux encodées par de petits champs récepteurs, tandis que les basses fréquences spatiales seraient mieux encodées par de larges champs récepteurs (De Valois & De Valois, 1988, cités dans Kosslyn et al., 1995). De même, une grande résolution demande des champs récepteurs larges et une faible résolution demande des champs récepteurs petits (Hinton, 1981, cité dans Kosslyn et al., 1995).

Les prédictions sur la taille des champs récepteurs ont été confirmées par des études en champ visuel divisé manipulant les fréquences spatiales des stimuli. Cowin et Hellige (1994), en supprimant les hautes fréquences spatiales des stimuli, ont montré une détérioration des performances catégorielles, mais pas des performances coordonnées. En contrepartie, Roth et Hellige (1998), en détériorant l'efficacité de la voie magnocellulaire qui sous-tend principalement les basses fréquences spatiales, ont observé un ralentissement du traitement des relations coordonnées, mais aucun effet sur celui des relations catégorielles.

L'hémisphère gauche encode mieux les hautes fréquences spatiales que l'hémisphère droit. Inversement, l'hémisphère droit encode mieux les basses fréquences spatiales que l'hémisphère gauche (Delis, Robertson, & Efron, 1986 ; Van Kleeck, 1989 ; pour une revue Graboswka & Nowicka, 1996). De surcroît, il semblerait que la voie magnocellulaire se projette plus dans l'hémisphère droit (Livingstone & Hubel, 1988).

Dans le cadre du traitement des relations spatiales, des études en champ visuel divisé montrent une double dissociation entre traitements des fréquences spatiales et les hémisphères. Plusieurs études montrent l'impact de cette variable sur le traitement des relations spatiales. Sergent (1991) n'a observé d'interaction Champ visuel * Tâche dans le sens des prédictions de Kosslyn (1987) que dans un environnement de faible luminance. Si la luminance est trop forte, alors les résultats de Sergent (1991) ont montré un avantage de l'hémisphère gauche. D'après ses résultats, il semblerait que la luminance influence plus la tâche coordonnée que la tâche catégorielle. Wilkinson & Donnely (1999) n'ont pas répliqué les résultats de Sergent (1991) ; ils n'ont trouvé aucun effet de la luminance sur l'interaction Champ visuel * Tâche. Toutefois, ils ont montré lors de présentations fortement contrastées un avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée. Leurs résultats sont en opposition avec les nôtres. Les résultats de Wilkinson & Donnely (1999) sont d'autant plus

étonnants qu'Okubo et Michimata (2002), en atténuant les basses fréquences et en accentuant les hautes fréquences spatiales, ont observé une disparition de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée, mais un maintien de l'avantage de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle. De plus, Okubo et Michimata (2004), en filtrant les hautes fréquences spatiales, ont observé une disparition de l'avantage de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle, mais un maintien de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche métrique.

En résumé, tout porte donc à croire que l'hémisphère gauche est dominant pour le traitement de type catégoriel, puisqu'il serait doté de petits champs récepteurs experts dans l'analyse des hautes fréquences spatiales et que ce type d'appareillage est particulièrement efficace pour l'extraction des relations catégorielles. D'autre part, l'hémisphère droit serait dominant pour le traitement de type coordonné, puisqu'il serait doté de larges champs récepteurs experts dans l'analyse des basses fréquences spatiales et que ce type d'appareillage est particulièrement efficace pour l'extraction des relations coordonnées.

La contradiction de nos mesures entre les temps de réponse et les taux d'erreurs pourrait s'expliquer par le fait que la forte luminance utilisée dans l'expérience 1 favorise les traitements de l'hémisphère gauche. En réduisant la luminance et le contraste, nous nous attendons, d'une part, à détériorer les performances des participants dans la tâche catégorielle comparativement à l'expérience 1, et d'autre part, nous nous attendons à réduire l'avantage de l'hémisphère gauche relatif aux temps de traitement.

Objectifs

Les objectifs principaux de l'expérience 2 étaient les mêmes que ceux de l'expérience 1. Les seules différences avec celle-ci résident sur deux points. Le premier est le caractère aléatoire des essais. Nous avons opéré un nouvel ordre pseudo-aléatoire à nos essais dans le but d'équilibrer nos conditions pour nous permettre une analyse des premiers essais de l'expérience. Le deuxième est que nous avons réduit la luminance et le contraste des stimuli dans le but de mettre plus en évidence nos effets attendus et plus spécifiquement de favoriser l'observation d'un avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné.

Méthode

Participants

Trente-sept participants volontaires (19 hommes et 18 femmes), étudiants de l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats de cinq d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens ou les taux d'erreurs trop élevés (supérieurs à la somme de la moyenne et de deux écart-types des trente-sept participants), le coefficient de latéralité trop bas et la non-compréhension de la consigne. Les trente-deux participants (16 hommes et 16 femmes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 21.65 ans (Ecart-type : 4.4). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.91 et écart-type de 0.08 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

L'expérience était en tout point semblable à l'expérience 1 hormis le dispositif expérimental et l'ordre de présentation des essais.

Dispositif expérimental

Les stimuli étaient présentés sur fond blanc, avec le logiciel Psycopy 1.2.5. sur un écran pronitron 17/500 relié à un ordinateur Power Macintosh 7300/200. L'écran était réglé en milliers de couleurs, sa résolution était de 1024 x 768, sa luminance de 3.23 cd/m² pour le fond blanc et 2.29 cd/m² pour les stimuli (contraste de 0.17), et sa fréquence de balayage de 75Hz. Un filtre polaroid a été ajouté à l'écran pour cette expérience. De plus, les conditions d'éclairage de la salle d'expérimentation étaient différentes que celles de l'expérience 1. Dans la première expérience les néons de la salle étaient allumés alors que dans celle-ci les néons étaient éteints, la seule source lumineuse étant l'écran de l'ordinateur. Les réponses et les temps de réponse ont été enregistrés par le logiciel Psycopy 1.2.5. à partir des touches du clavier.

Stimuli

Les stimuli étaient semblables à ceux de l'expérience 1. En revanche, un ordre aléatoire différent a été utilisé. Nous avons fait en sorte d'avoir le même nombre de stimuli présentés à droite et présentés à gauche ainsi que le même nombre de stimuli difficiles et faciles pour chaque tranche de 16 essais. Nous nous sommes fixés cette contrainte pour pouvoir mener une analyse plus fine des asymétries fonctionnelles, surtout en ce qui concerne le début de l'expérience où il semblerait qu'il soit possible d'observer un avantage de la présentation en champ visuel gauche (*cvg-HD*) pour la tâche coordonnée.

Procédure

La procédure était la même que dans l'expérience précédente.

Hypothèses

Nos hypothèses opérationnelles relatives à l'expérience 2 étaient les suivantes :

HO-1 : L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative.

HO-1-1 : Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.

HO-1-2 : Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.

HO-2 : L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.

HO-3 : Les performances des participants sont significativement meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.

HO-4 : Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.

Nos hypothèses opérationnelles relatives à la comparaison des expériences 1 et 2 étaient les suivantes :

HO-5 : La réduction de luminance améliore les performances des participants dans la condition *cvg-HD*.

HO-6 : La réduction de la luminance détériore plus les performances de jugements catégoriels que les performances de jugements coordonnés.

Analyses *a priori*

Dans un premier temps, nous avons réalisé des analyses incluant les deux tâches ; ensuite, nous avons mené des analyses spécifiques sur la tâche coordonnée. Pour terminer, nous avons conduit une analyse comparative entre la première et la deuxième expérience. Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs et respectivement sur les facteurs expérimentaux et sur les facteurs

expérimentaux et contrôles. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (3.8% des temps ont été remplacés pour la tâche catégorielle, 1.6% pour la tâche coordonnée ; la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Ainsi, dans la tâche coordonnée et dans la tâche catégorielle, l'analyse des temps de réponse portait respectivement sur 85.8% et 94.5% des réponses. Les temps de réponses moyens pour la tâche catégorielle étaient de 436 ms et 578 ms pour la tâche coordonnée.

Analyse des tâches catégorielle et coordonnée

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Tâche à deux modalités (tâche catégorielle, tâche coordonnée), et
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1).

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a mis en évidence trois effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,31)}=9.08$, $p=.05$] ; les participants étaient plus rapides pour répondre à des stimulations du champ visuel droit (502 ms) qu'à des stimulations du champ visuel gauche (512 ms),
- Tâche [$F_{(1,31)}=108.6$, $p<.0001$] ; les participants étaient plus rapides pour réaliser la tâche catégorielle (436 ms) que la tâche coordonnée (578 ms), et

- Bloc [$F_{(3,93)}=11.37, p<.0001$] ; les temps de réponse étaient plus courts de bloc en bloc.

Malgré l'absence de significativité de l'interaction Champ visuel * Tâche, en accord avec nos hypothèses, nous avons réalisé des analyses de contrastes par rapport à chacune des tâches (cf. Figure 11) : nous avons observé un avantage de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* significatif dans la tâche coordonnée [$F_{(1,31)}=6.98, p<.02$] et marginal dans la tâche catégorielle [$F_{(1,31)}=3.76, p=.06$].

[Figure 11]

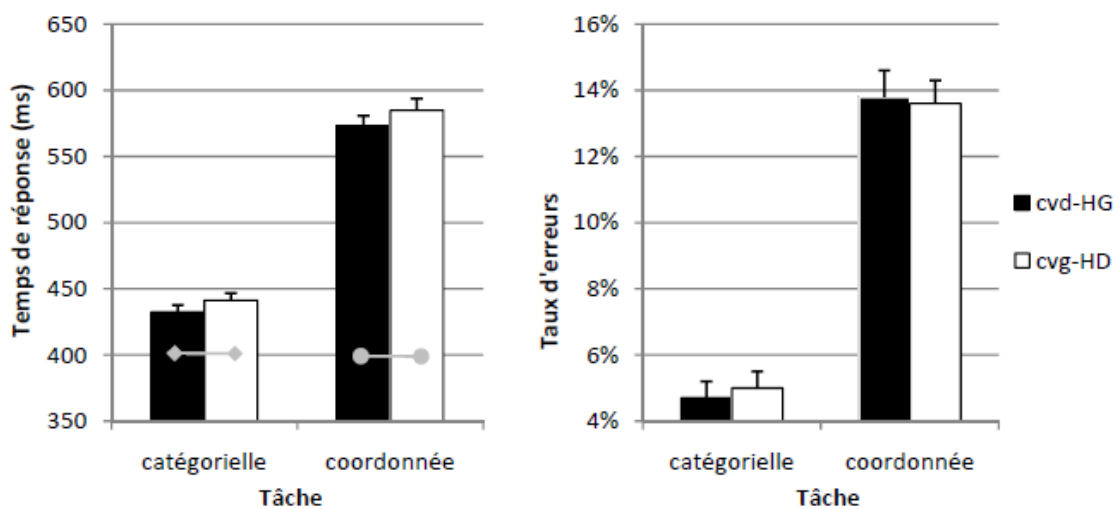


Figure 11 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de gauche) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Tâche (catégorielle versus coordonnée) (●—● $p<.05$ ◆—◆ $p<.07$). Les barres représentent les erreurs standards.

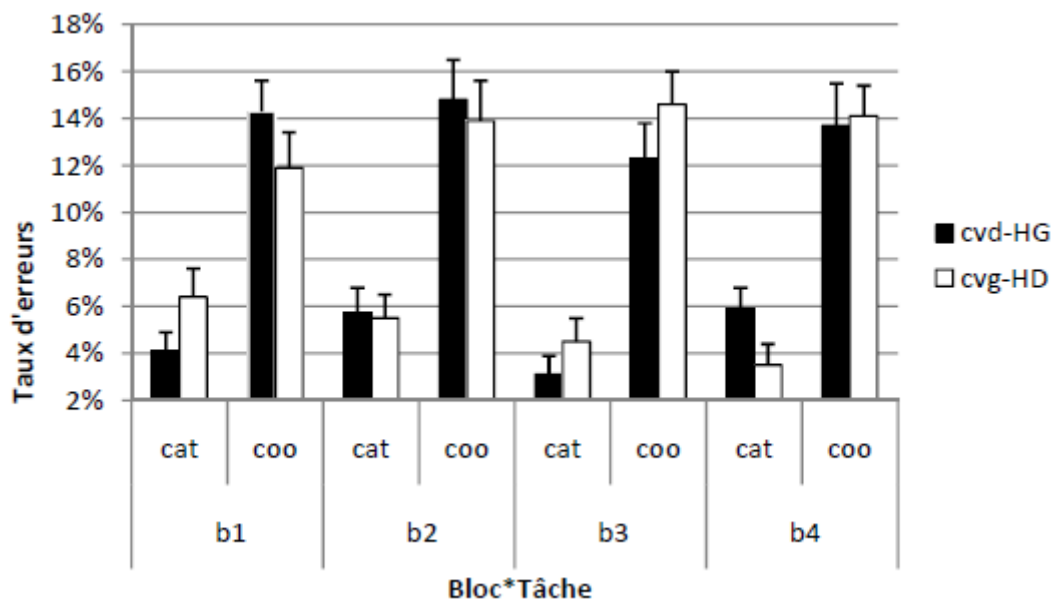
Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a montré que les participants ont fait moins d'erreurs dans la tâche catégorielle (4.8% d'erreurs) que dans la tâche coordonnée (13.7% d'erreurs) [$F_{(1,26)}=68.96, p=.0001$].

En dépit de l'absence de significativité de l'interaction Champ visuel * Tâche, en respect de nos hypothèses, nous avons réalisé des analyses de contrastes par rapport à chacune des tâches (cf. Figure 11) : aucun effet du facteur Champ visuel n'a été significatif pour chacune des tâches.

L'ANOVA a montré aussi un effet significatif de l'interaction Tâche * Champ visuel * Bloc, $F_{(3,93)}=3.097$, $p<.04$. Des analyses de contrastes ont montré que l'interaction Tâche * Champ visuel était significative pour le premier bloc [$F_{(1,31)}=75.007$, $p=.0001$, cf. 0].

Figure 12 Représentation des taux d'erreurs moyens en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Tâche (cat : catégorielle versus coo : coordonnée) et Bloc. Les barres représentent les erreurs standards.



Analyse de la tâche coordonnée

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile), et
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1).

Deux analyses complémentaires, l'une sur les temps de réponse l'autre sur les taux d'erreurs, ont été réalisées sur les 16 premiers essais de la tâche coordonnée.

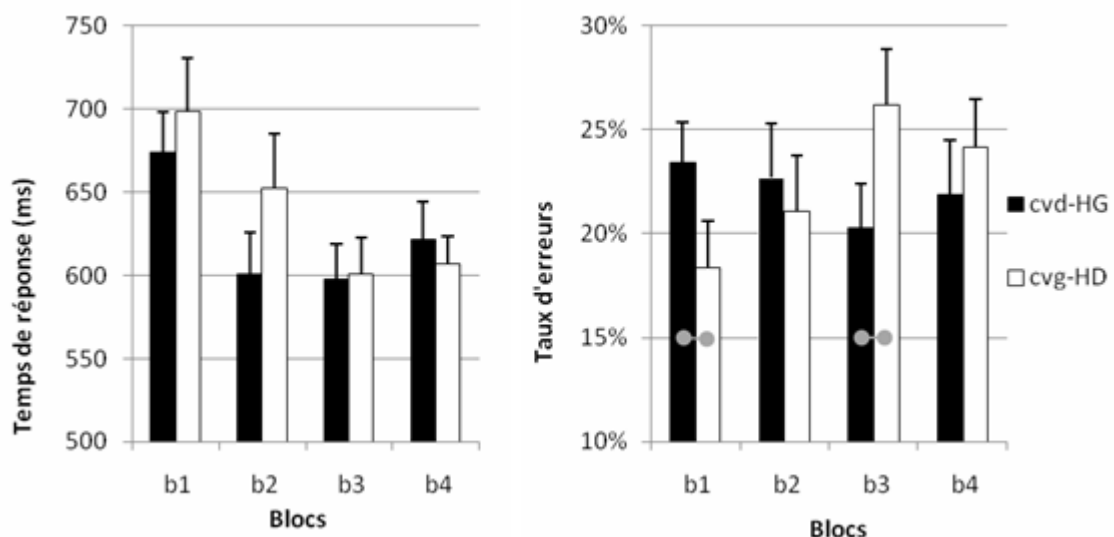
Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a révélé trois effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,31)}=4.19, p<.05$] ; les participants ont été plus rapides lorsque les stimuli étaient présentés dans l'hémichamp visuel droit (577 ms) comparativement aux présentations dans l'hémichamp gauche (589 ms),
- Difficulté [$F_{(1,31)}=41.75, p<.0001$] ; les stimuli faciles sont traités plus rapidement que les stimuli difficiles, et
- Bloc [$F_{(3,93)}=19.72, p<.0001$] ; les participants étaient de plus en plus rapides de bloc en bloc.

L'interaction Champ visuel * Bloc était non significative, mais interagissait significativement avec le facteur Difficulté [$F_{(3,93)}=3.08, p<.031$]. En accord avec nos hypothèses H2 et H3, nous avons conduit des analyses de contrastes qui ont révélé uniquement un avantage de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* pour le deuxième bloc et ceci uniquement pour les essais difficiles (cf. Figure 13).

[Figure 13]



Analyse des taux d'erreur

Les participants ont commis plus d'erreurs pour les essais difficiles que pour les essais faciles [$F_{(1,31)}=187.373, p=.0001$]. Ni le facteur Champ visuel ni l'interaction Champ

visuel*Bloc ne se sont révélés significatifs. L'ANOVA sur les taux d'erreurs a mis cependant en évidence la significativité de l'interaction Champ visuel * Difficulté * Bloc [$F_{(3,93)}=2.822, p<.05$] (cf. Figure 13). Selon nos hypothèses H2 et H3, nous avons calculé les contrastes de cette double interaction : nous avons observé pour les essais difficiles un avantage de la condition *cvg-HD* pour le premier bloc [$F_{(3,93)}=4.78, p<.04$] et de la condition *cvd-HG* pour le troisième bloc [$F_{(3,93)}=6.36, p<.02$].

Analyse de la tâche coordonnée sur les seize premiers essais

Nous avons réalisé deux analyses de variance à mesures répétées, l'une sur les temps de réponse et l'autre sur le taux d'erreurs, sur la tâche coordonnée et uniquement sur les seize premiers essais. Nous avons restreint ces analyses uniquement sur la tâche coordonnée étant donné qu'aucune hypothèse relative à l'effet de pratique n'avait été formulée sur la tâche catégorielle. Les seuls effets significatifs observés étaient relatifs au facteur Difficulté [respectivement, $F_{(1,31)}=44.364, p=.0001, F_{(1,31)}=35.208, p=.0001$]. Rappelons que ces analyses n'avaient pas pu être menées dans l'expérience 1, puisque l'aléatorisation des essais ne nous offrait pas un nombre équivalent d'essais pour chaque modalité des facteurs pour chaque cellule des analyses. Nous présentons ces analyses qu'à titre indicatif, puisque nous pensons que le faible nombre d'essais (16, c'est-à-dire 4 par conditions croisées) réduit fortement la sensibilité de nos mesures.

Comparaison des expériences 1 et 2

Nous avons mené une analyse de variance sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs en incluant les facteurs intra-sujets suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Tâche à deux modalités (tâche catégorielle, tâche coordonnée),
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4),

et le facteur inter-sujet Luminance à deux modalités (forte ; faible), ce facteur était confondu avec le facteur expérience (expérience 1, *exp1* ; expérience 2, *exp2*).

Nous ne mentionnerons que les effets relatifs à notre hypothèse (H5). Bien que nous observions une augmentation générale des temps de réponse des participants de l'expérience 2 (507 ms) comparativement à ceux de l'expérience 1 (470 ms) [$F_{(1,62)}=7.09, p=.009$], aucune différence relative aux facteurs Tâche et/ou Champ visuel entre les performances des participants de l'expérience 1 et 2 n'était significative.

D'un point de vue descriptif, nous remarquons que l'avantage en temps de traitement de la condition *cvd-HG* pour les essais difficiles était présent dès le premier bloc dans l'expérience 1, alors que cet avantage n'était présent qu'à partir du deuxième bloc dans l'expérience 2. Dans les deux expériences, nous avons observé un avantage de précision de la condition *cvg-HD* pour le premier bloc. L'effet de pratique était donc plus clairement observé dans l'expérience 2 que dans l'expérience 1.

Résumé des résultats

Les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à des hypothèses (expérience 2 et comparaison des expériences 1 et 2) et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7. Résumé des résultats de l'expérience 2. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonnes présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
H1: L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative	Champ visuel * Tâche non significative	Champ visuel * Tâche significative que pour le premier bloc	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H1-1: Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.	Avantage marginal de la condition <i>cvd-HG</i>	Pas d'effet significatif	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H1-2: Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.	Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i>	Pas d'effet significatif	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H2: L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.	Essais difficiles : avantage de la condition <i>cvd-HG</i> pour le deuxième bloc	Essais difficiles : avantage de la condition <i>cvg-HD</i> pour le premier bloc et avantage de la condition <i>cvd-HG</i> pour le troisième bloc.	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H3: Les performances des participants seront significativement meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.			partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H4: Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.	facteur Tâche significatif	facteur Tâche significatif	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H5 : La réduction de luminance améliore les performances des participants dans la condition <i>cvg-HD</i> .	Réduction générale des temps de réponse quel que soit le champ visuel	Pas d'effet significatif	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H6 : La réduction de la luminance détériore plus les performances de jugement catégoriel que les performances de jugement coordonné.	Pas d'effet significatif	Pas d'effet significatif	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations et discussions

Les participants ont mieux réussi la tâche catégorielle que coordonnée (H4 validée). Nous n'avons observé une interaction Champ visuel * Tâche significative que pour le premier bloc et pour le taux d'erreurs. Cette interaction n'étant pas significative pour les temps de réponse quel que soit le bloc, nous avons observé un avantage général de l'hémisphère gauche pour les temps de réponse quelle que soit la tâche. Nous sommes donc confronté à un compromis vitesse-précision ; nous ne validons donc pas l'hypothèse de traitement distinct des relations spatiales et sous-tendu asymétriquement par les hémisphères (HO-1 non validée). Les analyses spécifiques sur la tâche coordonnée ont mis en évidence un effet de pratique de l'hémisphère gauche pour les essais difficiles : nous avons observé un avantage en termes de précision de l'hémisphère droit pour le premier bloc, puis un avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité pour le second bloc et en termes de précision pour le troisième bloc (HO-2 et HO-3 partiellement validées). Le compromis vitesse-précision est difficilement interprétable en fonction de nos hypothèses. Les patterns de résultats de cette expérience ne diffèrent que très peu des patterns obtenus dans

l'expérience 1. Nous relevons deux différences : premièrement, les temps de réponse étaient plus longs dans cette expérience que dans l'expérience 1. Cette diminution de luminance a entraîné une augmentation générale des temps de réponse, en respect de la loi de Piéron (pour une revue voir, Piéron, 1913, 1920) selon laquelle le temps de réaction diminue comme une fonction de puissance de l'intensité de la stimulation. Deuxièmement, l'avantage de temps de réponse de l'hémisphère gauche pour le premier bloc de la tâche coordonnée était significatif dans l'expérience 1, mais n'est que descriptif dans l'expérience 2 (*cvd-HG* : 673 ms contre *cvg-HD* : 698 ms). Bien que cette différence ne soit pas significative, une différence d'environ 25 ms entre ces deux conditions remet en cause l'évidence de l'effet de pratique susdécrit. La réduction de luminance n'aurait-elle qu'augmenté l'erreur expérimentale et/ou les différences inter-individuelles ? En dépit de cette supposition, les résultats des deux premières expériences sont différents de ceux de Sergent (1991) ou de Wilkinson et Donnelly (1999) sur la relation entre la luminance et les asymétries hémisphériques. La diminution de la luminance n'a pas entraîné une baisse de l'avantage de temps de traitement de l'hémisphère gauche pour le jugement coordonné comme nous l'avons prédit (HO-5 non validée). Toutefois, si la luminosité ne joue pas un rôle dans les asymétries fonctionnelles observées entre l'expérience 1 et 2, alors comment expliquer la contradiction de nos résultats avec ceux de la littérature ? En particulier, quelles peuvent être les variables qui influencent la rapidité de l'hémisphère gauche ou la lenteur de l'hémisphère droit ? Nous pouvons envisager plusieurs explications.

Une première explication possible repose sur la latéralité des réponses. Bien que nos participants soient droitiers et que nous n'ayons observé ni d'effet simple ni d'interaction significatif impliquant le facteur Main, nous avons observé sur le plan descriptif un avantage en termes de temps de réponse pour les réponses de la main gauche (577 ms) sur les réponses de la main droite (585 ms) dans la tâche coordonnée. Nous avons observé le pattern inverse pour la tâche catégorielle ; les réponses de la main droite (433 ms) étaient plus rapides que celles de la main gauche (441 ms). Le mode de réponses serait-il un facteur confondu à nos facteurs expérimentaux ? Un biais possible en relation avec le mode de réponses est l'effet de compatibilité S-R (Fitts & Deininger, 1954) décrit comme une tendance à répondre à l'endroit qui correspond à la position spatiale de la stimulation indépendamment de la tâche à accomplir. Nous avons mené des analyses *a posteriori* pour savoir si ce facteur a joué un rôle dans notre expérience. Une revue de la littérature sera menée dans l'expérience 3.

Une deuxième explication possible est que l'avantage de l'hémisphère gauche soit engendré par le fait que nous avons utilisé un matériel verbal pour l'entraînement à la réponse manuelle. L'hémisphère gauche étant dominant pour les traitements de type langagier (Hellige, 1993) et l'éventuelle « verbalisation » de la réponse lors de la réalisation de la tâche par les participants pourrait expliquer l'avantage de rapidité de la condition champ visuel droit. Nous avons mené une revue de la littérature qui est présentée dans l'expérience 3.

Une troisième explication repose sur le fait que nous avons présenté la distance de référence d'une manière telle qu'elle puisse favoriser un traitement catégoriel de la tâche coordonnée. Une présentation verticale des distances de référence aurait évité une éventuelle segmentation de l'espace en différentes catégories (Banich & Federmeier, 1999) et par extension l'éventuelle implication de processus catégoriels dans la tâche coordonnée. Une revue de la littérature sera menée et ce biais sera testé dans l'expérience 4.

Une dernière explication peut être envisagée : des asymétries de processus attentionnels ont pu biaiser nos observations. Il est probable que la stimulation consécutive d'un champ visuel ou la stimulation consécutive de champs visuels différents favorise préférentiellement le traitement d'un hémisphère par rapport à l'autre. En effet, nous n'avons pas contrôlé ce facteur dans les deux premières expériences. Le biais d'indication spatial présenté dans le paradigme de Posner (Posner, Snyder, & Davidson, 1980) peut être à l'origine de l'avantage temporel de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD*. Nous avons mené des analyses *a posteriori* pour nous donner des indices de ce biais éventuel. Une revue de la littérature sera menée et ce biais sera testé dans l'expérience 5.

Analyses a posteriori

Deux séries de calculs post-hoc ont été réalisées, l'une sur le biais de compatibilité stimulus-réponse (S-R), l'autre sur le biais d'indication spatial.

Analyses a posteriori sur le biais de compatibilité stimulus-réponse

Nous avons mené des analyses de variance à mesures répétées sur les performances en fonction du facteur Champ visuel en prenant en considération la compatibilité S-R. Dans nos expériences, les réponses sont monomanuelles et sont enregistrées par l'appui de l'index ou du majeur sur les touches « b » et « n ». Ces touches ont une position relative

gauche/droite. La compatibilité S-R dans nos expériences correspond aux réponses des participants quand ils appuient sur la touche correspondant à l'hémichamp stimulé indépendamment de la réponse de jugement que le participant doit faire. Cette compatibilité réduit les temps de réponse. Par exemple, le participant appuie sur la touche située à droite (c'est-à-dire la touche « n ») quand on lui présente les stimulus dans le champ visuel droit et inversement il appuie sur la touche située à gauche (c'est-à-dire la touche « b ») quand on lui présente les stimulus dans le champ visuel gauche indépendamment des traitements de relation spatiale qu'il doit effectuer spécifiquement sur les stimuli. On parle de compatibilité S-R quand la tâche consiste explicitement à appuyer sur la touche correspondant spatialement au côté du champ visuel stimulé (Fitts & Deininger, 1954). On parle d'effet Simon, considéré comme un biais, quand la compatibilité S-R a lieu dans une tâche dont la consigne ne porte pas sur la correspondance visuo-motrice (Simon & Rudell, 1967). L'effet Simon a-t-il eu une influence sur nos résultats ? La correspondance stimulus-réponse a lieu dans 50% de nos essais expérimentaux, celle-ci a-t-elle influencé le sens des asymétries hémisphériques observées ?

Nous avons mené deux analyses de variance sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs. Les facteurs pris en compte dans ces analyses de variance étaient les suivants :

- Tâche à deux modalités (tâche catégorielle, tâche coordonnée),
- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche), et
- Compatibilité S-R à deux modalités (Compatibilité S-R, compatible ; Incompatibilité S-R, incompatible).

Nous n'avons pas d'hypothèses relatives à l'effet ou aux interactions impliquant la compatibilité S-R, les analyses de variance à mesures répétées décrites ci-dessous ne seront pas prises en compte dans nos interprétations. Nous ne considérons comme valides que les résultats des tests post-hoc. Nous avons regardé spécifiquement l'influence du facteur Compatibilité sur les autres facteurs.

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a révélé trois effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,31)}=10.31$, $p=.003$], les participants étaient plus rapides pour répondre au champ visuel droit (502 ms) que pour le champ visuel gauche (512 ms),
- Tâche [$F_{(1,31)}=108.2$, $p<.0001$], les participants étaient plus rapides pour répondre à la tâche catégorielle (436 ms) qu'à la tâche coordonnée (578 ms), et

- Compatibilité S-R [$F_{(1,31)}=42.1$, $p<.0001$], les participants étaient plus rapides dans le cas de compatibilité S-R (496 ms) que dans le cas d'incompatibilité S-R (522 ms).

L'interaction Tâche * Compatibilité S-R s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=17.15$, $p=.0002$], selon laquelle l'effet Simon était plus important dans la tâche catégorielle (gain de 40 ms de la condition *compatible* sur la condition *incompatible*) que dans la tâche coordonnée (gain de 15 ms de la condition *compatible* sur la condition *incompatible*). Ni l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R, ni l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R * Tâche n'ont été significatives. Les tests de Différence Significative Minimale (*i.e.*, Fisher-LSD) menés sur l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R * Tâche révèlent que l'avantage de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* n'était présent que pour la tâche coordonnée et uniquement dans le cas d'incompatibilité S-R (Fisher-LSD : $p<.02$) (cf. Figure 14). Les tests Fisher-LSD n'ont pas montré de différence hémichampique dans les autres conditions. Les tests Fisher-LSD ont révélé aussi que l'effet de compatibilité était significatif pour chaque hémichamp visuel dans la tâche catégorielle (Fisher-LSD : *cvd-HG* : $p<.0001$, *cvg-HD* : $p=.0002$). Cependant, dans la tâche coordonnée, l'effet de compatibilité était présent dans la condition *cvg-HD* (Fisher-LSD : $p<.015$), mais n'était pas significatif dans la condition *cvd-HG* (Fisher-LSD : $p=.88$).

[Figure 14]

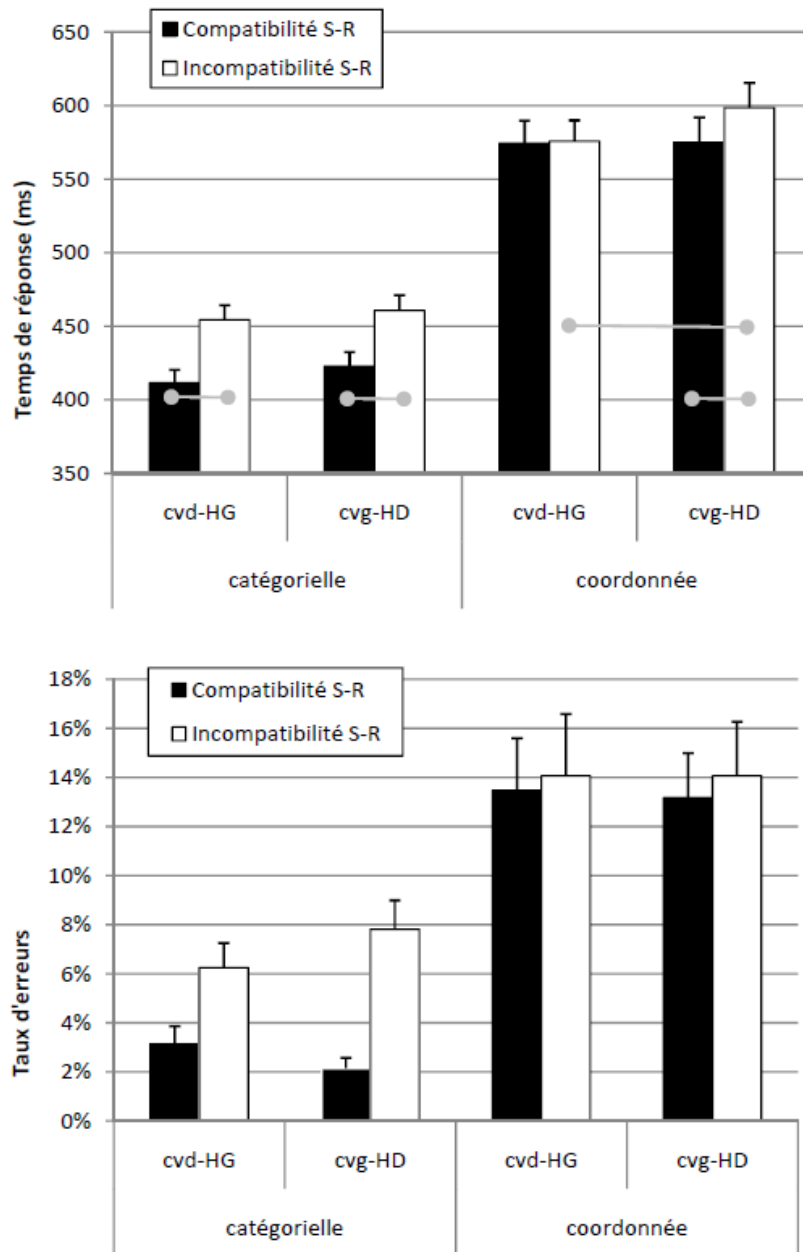


Figure 14 Représentation des temps de réponses moyens (figure de dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure de dessous) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Tâche (Catégorielle versus coordonnée) et Compatibilité S-R (compatible versus non compatible). (●—● $p < .02$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a révélé deux effets simples significatifs :

- Tâche [$F_{(1,31)}=68.9, p < .0001$], les participants étaient plus précis pour répondre à la tâche catégorielle (4.8% d'erreurs) qu'à la tâche coordonnée (13.7% d'erreurs), et

- Compatibilité S-R [$F_{(1,31)}=6.79$, $p<.02$], les participants étaient plus précis dans le cas de compatibilité S-R (7.9% d'erreurs) que dans le cas d'incompatibilité S-R (10.5% d'erreurs).

L'interaction Tâche * Compatibilité S-R était significative [$F_{(1,31)}=7.95$, $p=.008$], selon laquelle l'effet Simon était plus important dans la tâche catégorielle (gain de 5% de la condition *compatible* sur la condition *incompatible*) que dans la tâche coordonnée (gain de 0.7% de la condition *compatible* sur la condition *incompatible*). Ni l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R, ni l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R * Tâche n'étaient significatives. Les tests Fisher-LSD menés sur l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R * Tâche n'ont révélé ni d'effet du facteur Champ visuel, ni d'effet du facteur Compatibilité S-R probables (cf. Figure 14).

Interprétations

Les analyses *a posteriori* ont révélé la présence de l'effet Simon dans notre expérience. L'effet Simon s'exprimerait autant sur les temps de réponse que sur le taux d'erreurs. Ce biais interférerait plus avec les performances des jugements catégoriels qu'avec ceux coordonnés. Dans la tâche coordonnée, il semblerait que l'avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité ne soit présent que dans le cas d'incompatibilité S-R. Ceci s'expliquerait par l'absence d'effet Simon pour l'hémisphère gauche dans cette tâche. En effet, la condition incompatible augmente les temps de réponse de l'hémisphère droit, mais pas ceux de l'hémisphère gauche. L'indiçage visuo-moteur pourrait donc influencer nos observations, présentons à présent l'indiçage spatial inter-essai.

Analyses *a posteriori* sur le biais d'indiçage spatial

Nous avons mené des analyses de variance à mesures répétées sur les performances en fonction du facteur Champ visuel en prenant en considération l'hémichamp visuel qui était stimulé à l'essai antérieur. Nous avons nommé ce facteur Indiçage hémichampique (IH) à deux modalités ; soit les stimuli apparaissaient dans le même champ visuel que l'essai précédent (condition *valide*), soit dans le champ visuel opposé (condition *non-valide*).

Préalablement aux analyses que nous présentons ci-dessous, nous avons mené deux analyses de variance incluant les facteurs Tâche, Champ visuel et Indiçage hémichampique sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs. Les résultats de ces analyses ont montré un impact du facteur Indiçage hémichampique principalement sur les performances de la tâche

coordonnée. Pour cette raison, nous ne présenterons ici que les analyses spécifiques sur cette tâche.

Les facteurs pris en compte dans ces analyses de variance étaient les suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche), et
- Indication hémichampique à deux modalités (valide ; non-valide).

Nous n'avons pas d'hypothèses relatives à l'effet ou aux interactions impliquant l'Indication hémichampique. Les analyses de variance à mesures répétées décrites ci-dessous ne seront pas prises en compte dans nos interprétations. Nous les présentons uniquement pour justifier, dans le cas d'effet significatif, le calcul des tests *a posteriori*. Nous ne considérons comme valides que les résultats des tests post-hoc.

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a révélé un effet simple significatif :

- Indication hémichampique [$F_{(1,31)}=10.1$, $p<.004$], les participants étaient plus rapides quand les stimuli à l'essai d'avant étaient présentés dans l'hémichamp visuel opposé à celui de l'essai (*non-valide* : 571 ms) que quand les stimuli étaient présentés dans le même hémichamp d'un essai à l'autre (*valide* : 587 ms).

Cette analyse a mis en évidence une tendance de l'interaction Champ visuel * Indication hémichampique, $F_{(1,31)}=3.63$, $p=.065$ (Figure 15). Des tests post-hoc Fisher-LSD ont été conduits pour préciser les facteurs responsables de l'interaction :

- la condition champ visuel droit (*cvd-HG*) engendrait des réponses plus rapides quand les stimuli de l'essai d'avant étaient présentés dans le champ visuel opposé (*non-valide*) que dans le même champ visuel (*valide*) (Fisher-LSD : $p=.002$) ; cet effet n'étant pas significatif pour la condition champ visuel gauche (*cvg-HD*) (Fisher-LSD : $p=.57$), et
- quand le stimulus de l'essai d'avant était présenté dans des champs visuels différents (*non valide*), les performances des participants étaient plus rapides en réponse au champ visuel droit (*cvd-HG*) qu'en réponse au champ visuel gauche (*cvg-HD*) (Fisher-LSD : $p=.012$). La différence hémichampique n'est pas significative dans la condition valide (Fisher-LSD : $p=.97$).

[Figure 15]

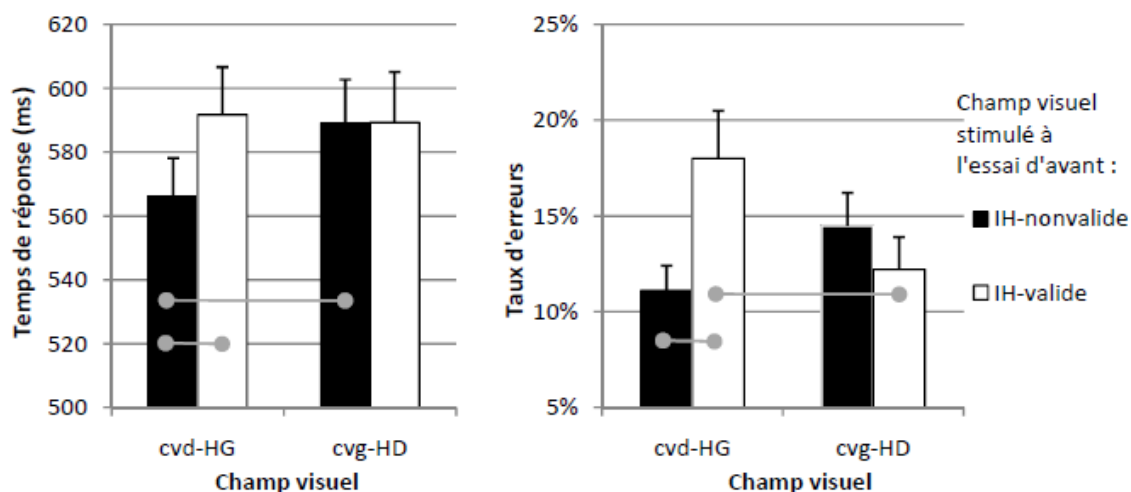


Figure 15 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Indicage hémichampique (valide versus non-valide) dans la tâche coordonnée. (●● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a mis en évidence le même effet simple que l'analyse sur les temps de réponse :

- Indicage hémichampique [$F_{(1,31)}=6, p=.02$], les participants ont fait plus d'erreurs quand deux essais consécutifs présentaient les stimuli dans le même hémichamp (*valide* : 14% d'erreurs) que quand deux essais consécutifs présentaient les stimuli dans des champs visuels différents (*non-valide* : 11% d'erreurs).

L'interaction Indicage hémichampique * Champ visuel s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=10.21, p<.004$, cf. Figure 15]. Des tests post-hocs Fisher-LSD ont été conduits pour préciser les facteurs responsables de l'interaction :

- la condition champ visuel droit (*cvd-HG*) engendrait des réponses plus précises quand les stimuli de l'essai d'avant étaient présentés dans le champ visuel opposé (*non-valide*) que dans le même champ visuel (*valide*) (Fisher-LSD : $p=.0009$) ; l'effet d'indicage hémichampique n'étant pas significatif pour la condition champ visuel gauche (*cvg-HD*) (Fisher-LSD : $p=.39$), et
- quand le stimulus de l'essai d'avant était présenté dans le même champ visuel (*valide*), les performances des participants étaient plus précises en réponse au champ visuel gauche (*cvg-HD*) qu'en réponse au champ visuel gauche (*cvd-HG*) (Fisher-

LSD : $p=.007$). La différence hémichampique n'est pas significative dans la condition *non-valide* (Fisher-LSD : $p=.1$).

Interprétations

Bien que ces analyses ne se placent pas dans une perspective hypothético-déductive au sens strict, elles amènent des éléments nouveaux dans l'appréciation de nos résultats. Il semblerait que les performances des participants soient influencées par la stimulation hémichampique précédant un essai donné, c'est-à-dire l'indigage hémichampique inter-essai. L'effet d'indigage hémichampique aurait une influence uniquement sur l'hémisphère gauche qui se traduit par un gain de la condition *non-valide* dans la tâche coordonnée. De plus, l'hémisphère gauche a répondu significativement plus vite que l'hémisphère droit dans la condition *non-valide* et a fait plus d'erreurs que l'hémisphère droit dans la condition *valide*. En d'autres termes, l'hémisphère gauche a présenté des temps de traitement rapides uniquement quand l'hémisphère droit était préalablement stimulé (selon la logique du protocole de présentation en champ visuel divisé). Ce fait nous semble particulièrement important au regard des hypothèses que nous testons. Néanmoins, nous n'avons émis aucune interprétation de ces résultats, puisqu'aucune hypothèse n'a été formulée à leurs égards, nous nous sommes tenus au fait suivant : l'amorçage inter-essai peut être une variable confondue qui influence le sens des asymétries fonctionnelles observées. L'expérience 5 a été conçue spécifiquement pour contrôler ce facteur.

Conclusion

Nous avons obtenu des résultats similaires à ceux de l'expérience 1. En particulier, nous avons été confrontés au même compromis vitesse-précision. Ce biais ne nous permet pas de valider l'hypothèse de Kosslyn (1987) sur l'existence de processus distincts pour le traitement des relations spatiales. Nous observons un effet de pratique qui est sujet à caution, dans la mesure où il semblerait que l'hémisphère gauche soit plus rapide que l'hémisphère droit pour le traitement coordonné et ceci dès le début de l'expérience. Nous avons émis plusieurs hypothèses sur les biais pouvant être à l'origine de cet avantage temporel de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée :

- le biais de l'effet Simon et le biais de l'entraînement à la réponse utilisant du matériel verbal seront contrôlés dans l'expérience 3,

- le biais de regroupement spatial lors de la présentation de la distance de référence sera contrôlé dans l'expérience 4, et
- le biais d'indication spatial inter-essai sera contrôlé dans l'expérience 5.
- Nos intuitions sur l'effet Simon et sur l'indication spatial ont été appuyées par nos analyses *a posteriori* confirmant l'influence éventuelle de ces biais.

Expérience 3.

Introduction

Naissance et construction d'une hypothèse fructueuse

En 1987, Kosslyn publia son hypothèse sur l'existence de représentations de relations spatiales distinctes. Il a supposé que ces deux types de représentations sont sous-tendus par des sous-systèmes différents. Il a précisé dans cet article (p.159) qu'un sous-système est une description fonctionnelle d'un réseau de neurones. S'il existe une dichotomisation représentationnelle des relations spatiales catégorielles et coordonnées, alors il devrait exister deux réseaux de neurones différents dévolus à leur élaboration. L'hypothèse de Kosslyn (1987) spécifie que ces deux réseaux de neurones peuvent être les hémisphères cérébraux. Nonobstant le fait qu'une double dissociation ne soit pas un argument suffisant pour rejeter l'hypothèse d'un processus unique (Dunn & Kirsner, 1988 ; pour une revue de la question lire le volume 39(1) de *Cortex*, 2003), la mise en évidence d'une asymétrie fonctionnelle est un argument en faveur de la contribution différente et opposée de deux réseaux de neurones à deux tâches différentes. Ainsi, une spécialisation hémisphérique rencontrée lors de deux tâches différentes permet d'avoir un argument, certes non suffisant, mais néanmoins une déduction en faveur de l'existence de deux processus mentaux distincts (Baddeley, 2003). Dans son article de 1987, Kosslyn oriente son hypothèse d'asymétrie : l'hémisphère gauche serait spécialisé dans le traitement catégoriel et l'hémisphère droit dans le traitement coordonné. Il justifie cette orientation d'asymétrie par la différenciation de l'utilité des deux types de représentations. En effet, la naissance de l'hypothèse de dichotomisation représentationnelle des traitements de relations spatiales prend source dans la distinction entre deux usages des relations spatiales :

- les représentations catégorielles serviraient plutôt à reconnaître les topographies d'objets ou de parties d'objets. "These sorts of representations (*i.e.*, categorical

representation) are particularly useful for specifying the relations among adjacent parts, with each relation being relative to a specific pair of parts.” (Kosslyn, 1987, p. 153), et

- les représentations coordonnées serviraient aussi à reconnaître les topographies des parties d’objets, mais surtout à naviguer dans l’espace. “This representation provides information needed to compute second-order metric relations, such as ratios of distances among pairs of parts, which may be useful for recognizing faces and the like (e.g., see Diamond & Carey, 1986). [...]In addition, a coordinate representation of this kind is especially useful for navigation, in which one needs to know where an obstacle is actually located, not just that it is against a wall or next to some object.” (Kosslyn, 1987, p. 153).

Faisant appel à la propriété de contrôle central bilatéral et au principe « d’effet boule de neige », Kosslyn (1987) part de l’idée selon laquelle l’hémisphère gauche est spécialisé dans les processus langagiers. D’une part, les processus langagiers sont impliqués dans les processus de catégorisation (p. 155) et, d’autre part, les relations spatiales catégorielles sont plus verbalisables que les relations spatiales coordonnées (p. 162) ; le sous-système de traitements des relations spatiales catégorielles serait donc sous-tendu par l’hémisphère gauche.

Inversement, l’hémisphère droit est spécialisé dans les processus de navigation spatiale, en particulier dans la recherche spatiale. Si d’une part, les relations spatiales coordonnées participent à la recherche spatiale (p. 163) et, d’autre part, les représentations coordonnées sont plus utiles à la navigation que les représentations catégorielles (p. 163), alors le sous-système de traitements des relations spatiales coordonnées serait sous-tendu par l’hémisphère droit. En regardant précisément la construction de l’hypothèse fructueuse de Kosslyn, il nous semble important de prendre en considération les deux systèmes incluant ou influençant les sous-systèmes que nous étudions : le langage et la navigation. Nous pourrions dans un sens dire que la dichotomisation catégorielle/coordonnée se confond avec la dissociation langage/espace. Il nous semble donc important de porter notre vigilance sur les facteurs langagiers et spatiaux.

Le biais de traitement langagier

Bien que le statut, pourrions-nous dire, souverain de l’hémisphère gauche pour les traitements de type langagier ait été remis en question (Gernsbacher & Kaschak, 2007 ;

Hutsler & Galuske, 2003 ; Jung-Beeman, 2005) depuis la publication des hypothèses de Kosslyn (1987), la probabilité d'un biais hémisphérique gauche pour le traitement langagier est grande. Dans cette expérience, nous avons cherché à neutraliser au mieux les facteurs langagiers. En particulier lors de l'entraînement aux réponses manuelles, le matériel utilisé dans les expériences 1 et 2 était des mots présentés à l'écran (PLUS/MOINS ou DESSUS/DESSOUS). Il est probable que cet entraînement ait privilégié un recours à des processus langagiers lors de nos expériences. Afin d'éviter un tel recours, nous avons utilisé dans cette expérience un matériel non langagier lors de l'entraînement aux réponses motrices.

Le biais de traitement spatial

Comme nous l'avons mentionné, les relations spatiales joueraient un rôle dans la navigation spatiale. La navigation spatiale fait appel à une coordination entre l'action de perception et l'activité motrice pour une adaptation du sujet à son environnement. Sans rentrer dans le débat de l'enactivisme (voir discussion générale), il est probable qu'un biais de compatibilité S-R soit présent dans les expériences précédentes. La compatibilité S-R est un gain de performances quand il existe une correspondance spatiale entre l'input et l'output (Fitts & Deininger, 1954). Cet effet peut survenir même dans une tâche ne portant pas sur l'aspect spatial des stimulations. Ce biais a été mis en évidence par l'étude de Simon et Rudell (1967) et porte le nom de l'effet Simon (Hedge & Marsh, 1975). Ce processus aurait lieu au niveau de l'identification de la cible (Hasbroucq & Possamaï, 1995) et non au niveau décisionnel comme l'avaient supposé Umiltà et Nicoletti (1990 cités dans Hasbroucq & Possamaï, 1995). La question est de savoir si la compatibilité S-R est l'objet de processus asymétriquement répartis sur les hémisphères cérébraux. Dans le cas de compatibilité S-R, l'étude de Iacoboni, Woods et Mazziotta (1996) montre une activation bilatérale des lobes pariétaux supérieurs ; lobes pariétaux qui participent aussi aux traitements des relations spatiales (Kosslyn et al., 1998). De plus, Iacoboni et al. (1996) ont observé une participation accrue de l'hémisphère gauche dans le processus de compatibilité S-R, en particulier des structures dorso-préfrontales prémotrices et motrices. Dans la tâche coordonnée de l'expérience 2, nous n'avons observé d'effet de compatibilité S-R que pour l'hémisphère droit, et non pour l'hémisphère gauche. Pourtant, dans cette même tâche, nous avons observé un avantage de l'hémisphère gauche uniquement dans le cas d'incompatibilité S-R. Autant il nous semble difficile de mettre en correspondance nos résultats avec ceux d'Iacoboni et al. (1996), autant nous considérons l'effet Simon comme susceptible

d'intervenir dans nos observations, puisque, d'une part, nous cherchons à mettre en évidence des asymétries fonctionnelles et, d'autre part, nos tâches sont d'ordre spatial.

Dans une tâche de correspondance visuo-motrice utilisant un mode de réponses bimanuel, Stins et Michaels (2000) ont montré que la correspondance catégorielle entre stimulus-réponse joue un rôle au même titre que la correspondance quantitative (selon leur terminologie), c'est-à-dire, la correspondance coordonnée entre le pattern de réponse et le pattern de stimulation. Ils n'ont pas retrouvé d'influence de la composante coordonnée en utilisant un mode de réponses monomanuel. En parallèle, nos analyses *a posteriori* de l'expérience 2 ont montré que la correspondance S-R est plus influente dans la tâche catégorielle.

Que la correspondance S-R interfère avec le processus de relations spatiales catégorielles ou interfère avec les asymétries fonctionnelles, il nous semble rigoureux de contrôler son effet. L'article de Heister et Schroeder-Heister (1987) nous met en garde sur l'incidence de l'effet Simon dans l'observation de différences hémisphériques dans l'utilisation du paradigme de présentation en champ visuel divisé. Pour palier à ce biais, ils ont proposé d'avoir recours à un mode de réponses « monomanuel vertical médian », c'est-à-dire un positionnement vertical des touches de réponse les unes par rapport aux autres et alignées avec l'axe vertical médian de l'écran de présentation. Leurs études montrent qu'en utilisant ce pattern de réponse l'effet Simon influence moins les résultats, contrairement à un mode de réponses utilisant des touches horizontalement côte à côte avec un alignement désaxé des touches par rapport à l'écran. Notre clavier de réponse n'étant pas fixé, nous avons remarqué une tendance chez certains participants à décaler celui-ci du côté de leur main de réponse, désaxant ainsi les touches de réponse par rapport à l'écran. Cependant, l'alternative proposée par Heister et Schroeder-Heister (1987) ne nous semble que peu raisonnable, puisque nous supposons que le mode de réponses vertical médian biaise ou facilite le traitement catégoriel (mesuré par les réponses « dessus » ou « dessous ») et ceci même dans la tâche coordonnée. L'une des solutions pour éviter l'influence de l'effet Simon consisterait à utiliser un mode de réponses vocal. Bien que Bruyer et al. (1997) et Kosslyn et al. (1989) montrent que ce mode de réponses n'interfère pas avec les différences hémisphériques du traitement des relations spatiales, nous souhaitons éviter d'avoir recours à de telles mesures pour des raisons techniques et pour éviter les biais langagiers mentionnés dans le paragraphe précédent. Nous souhaitons aussi conserver un mode de réponses manuel pour la simple raison que la majorité des études sur le traitement des relations spatiales utilise ce mode de

réponses. À ce propos, dans leur revue de 2003, Jagger et Postman soumettent l'idée selon laquelle presser deux boutons avec chacune des mains permet de mieux équilibrer l'engagement des deux hémisphères. Bien qu'aucune différence de l'influence de l'effet Simon n'ait été notée entre le mode de réponses monomanuel et bimanuel (Hasbroucq & Possamaï, 1995), nous décidons d'opter pour ce dernier. À défaut et au regard des résultats de Heister et Schroeder-Heister (1987), ce mode de réponses évitera de désaxer le clavier de réponse et donc d'accentuer l'effet Simon.

Objectifs

Notre objectif principal est de répliquer l'avantage de l'hémisphère droit au début d'une tâche de jugements métriques, avantage observé dans la littérature. Dans les expériences précédentes, nous avons observé pour la tâche coordonnée un avantage en termes de rapidité de l'hémisphère gauche dès le début de l'expérience. En contrepartie, l'hémisphère droit était plus précis pour ce même jugement que l'hémisphère gauche. Nous avons donc, dans cette expérience, souhaité éliminer le maximum de variables parasites qui pourrait donner un avantage temporel à l'hémisphère gauche.

Nous avons mené une expérience, dite contrôle, pour nous assurer que l'absence d'avantage de l'hémisphère droit en termes de temps de traitement au début de l'expérience ne soit pas due à divers biais. Nous avons donc répliqué l'expérience 2 en apportant quelques modifications :

- L'avantage de l'hémisphère gauche étant problématique uniquement pour la validation d'hypothèses relatives à la tâche coordonnée, les participants ne réalisaient que cette tâche.
- Des changements d'asymétries étant observés dans l'expérience précédente dès la première moitié de la tâche coordonnée (c'est-à-dire pour les deux premiers blocs) et ayant une hypothèse spécifique sur les effets de pratique, nous avons raccourci la tâche coordonnée ; les participants ne réalisaient que deux blocs de l'expérience 2.
- Compte tenu de la dominance gauche observée dans l'expérience précédente, dans le but de diminuer la dimension langagière dans notre expérience, nous avons construit un matériel non verbal pour l'entraînement à la réponse.
- Les réponses étaient bimanuelles dans cette expérience, contrairement aux réponses monomanuelles des deux expériences précédentes.

- Supposant une disparition rapide de l'avantage temporel de l'hémisphère droit et souhaitant équilibrer nos conditions expérimentales, nous avons supprimé l'entraînement à la tâche, pendant laquelle les réponses des participants n'étaient pas enregistrées dans les expériences précédentes.
- Dans les tâches coordonnées des expériences précédentes, les taux d'erreurs observés dans certaines conditions étaient très élevés. En particulier, de grands écarts du taux d'erreurs entre le champ visuel droit et gauche dans certaines conditions engendraient des calculs de moyennes des temps de réponses basées sur des effectifs non équivalents pour les champs visuels droit et gauche. Il est probable donc que la mesure de la rapidité basée sur les bonnes réponses ne soit pas une mesure pertinente. Afin de réduire les taux d'erreurs, nous avons employé dans cette expérience un feedback auditif. La majorité des études sur les relations catégorielles et coordonnées n'utilisent pas de feedback. Toutefois, le recours à un tel moyen est d'autant plus justifié que Bruyer et al. (1997) ont remarqué une disparition d'asymétrie des traitements catégoriels/coordonnés préalablement observée quand ils n'utilisaient pas de feedback.

Méthode

Participants

Vingt-cinq sujets volontaires (11 hommes et 14 femmes), étudiants à l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats de neuf d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens ou les taux d'erreurs trop élevés (supérieurs à la somme de la moyenne et de deux écart-types des vingt-cinq participants), le coefficient de latéralité trop bas, la non-compréhension de la consigne. Les seize participants (8 hommes et 8 femmes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 22.25 ans (Ecart-type : 4.97). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.77 et écart-type de 0.18 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

Les participants ne réalisaient que la tâche coordonnée.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était le même que celui de l'expérience 3.

Stimuli

Les stimuli étaient les mêmes que ceux qui sont utilisés dans les expériences précédentes.

Procédure

Entraînement à la réponse

Chaque session expérimentale commençait par un entraînement à la réponse qui consistait à familiariser les participants avec les touches de réponses du clavier et à associer à chaque touche à la réponse correspondante. L'entraînement comportait soixante-douze essais durant lesquels des signes apparaissaient au centre de l'écran dans un ordre aléatoire contrôlé : pendant la première session expérimentale, il s'agissait des signes « plus » et « moins », tandis que dans la deuxième session expérimentale, il s'agissait de flèches orientées vers le haut ou vers le bas. Un contrôle consistait à s'assurer que le même signe ne soit pas présenté plus de trois fois consécutivement. Chaque essai était composé des étapes suivantes : un signal visuel d'attention au centre de l'écran apparaissait pendant 100 ms, suivi d'un écran blanc durant 200 ms, suivi du signe « plus » ou « moins ». Les signes restaient à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Enfin, un écran blanc de 500 ms terminait l'essai. Les participants avaient pour tâche d'appuyer le plus rapidement possible sur la touche correspondant au signe. Tous les participants répondaient avec leurs deux index. La moitié des participants répondait avec l'index droit pour répondre « plus », l'autre moitié avec l'index gauche (inversement pour répondre « moins »).

Pourquoi avons-nous choisi un tel mode de réponse bimanuel ? Pour un type de réponse (« plus » ou « moins »), les participants répondaient d'une main (i.e., un index), pour la réponse opposée les participants répondaient de l'autre main. Tant et si bien que pour un hémichamp donné, en principe et en cas de bonne réponse, les participants répondaient dans 50% des essais de la main droite et dans 50% des essais de la main gauche. Ce plan équilibre théoriquement les facteurs Main de réponse et Champ visuel. Si nous avions utilisé une réponse bimanuelle du type les deux index pour « plus » et les deux majeurs pour « moins », alors nous aurions enregistré deux réponses par essais et nous aurions sélectionné pour nos analyses la réponse la plus rapide. Hors, les participants testés étaient droitiers ; tant et si bien que nous aurions, en principe, éventuellement pris en considération dans nos analyses statistiques des réponses de la main droite dans 100% des essais. Ce mode de

réponse bimanuelle n'a donc pas été choisi, nous avons opté pour le mode de réponse bimanuel avec seulement les index.

Familiarisation à la tâche

Contrairement aux expériences précédentes, il n'y avait pas d'entraînement à la tâche.

Phase expérimentale

Pendant la session expérimentale, les sujets devaient juger si le point présenté était à plus ou moins huit millimètres de la barre. La session comportait 64 essais répartis selon les facteurs expérimentaux de manière équivalente dans deux blocs. Au début du premier bloc, deux essais étaient ajoutés et étaient systématiquement non pris en compte dans les analyses. Pour un bloc donné, les 16 positions du point étaient présentées deux fois, une fois dans le champ visuel droit, une fois dans le champ visuel gauche. Pour plus de détails, le tableau 8 présente la répartition des stimuli pour chaque session expérimentale et nous donne un aperçu des variables indépendantes intra-sujets importantes pour notre étude. Les essais étaient répartis de manière pseudo-aléatoire au sein de chaque bloc, de telle sorte que trois mêmes bonnes réponses et trois mêmes latéralités de présentations ne soient pas consécutives.

Tableau 8. Répartition des stimuli dans une session expérimentale. La deuxième ligne indique les deux modalités du facteur Bloc. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel (cvd-HG : champ visuel droit-hémisphère gauche, cvg-HD : champ visuel gauche-hémisphère droit). La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Difficulté relatif à la tâche coordonnée. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Session expérimentale	Stimuli (64)							
Bloc	bloc 1 (32)				bloc 2 (32)			
Champ visuel	cvd-HG (16)		cvg-HD (16)		cvd-HG (16)		cvg-HD (16)	
Difficulté	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)

Chaque participant effectuait la phase expérimentale d'un seul trait, sans pause entre les blocs. Le tableau 9 expose la répartition des participants, précisant l'ensemble des variables indépendantes inter-sujets. Tous les participants répondaient avec leurs deux index. La

moitié des participants répondait avec l'index droit pour répondre « plus », l'autre moitié avec l'index gauche (inversement pour répondre « moins »). L'ordre de présentation des blocs était contrebalancé selon la méthode du carré latin.

Tableau 9. Présentation de la répartition des participants. La deuxième colonne indique les deux modalités du facteur Sexe. La troisième colonne indique les deux modalités du facteur Touche de réponse. La dernière colonne indique les deux modalités de la variable Ordre des blocs. Est indiqué entre parenthèses le nombre de participants pour chaque condition.

VARIABLES INDEPENDANTES INTER-SUJETS			
	Sexe	Touche de réponse	Ordre des blocs
Participants (16)	Hommes (8)	Main droite pour répondre « plus » et main gauche pour répondre « moins » (4)	bloc 1 - bloc 2 (2)
			bloc 2 - bloc 1 (2)
		Main droite pour répondre « moins » et main gauche pour répondre « plus » (4)	bloc 1 - bloc 2 (2)
			bloc 2 - bloc 1 (2)
	Femmes (8)	Main droite pour répondre « plus » et main gauche pour répondre « moins » (4)	bloc 1 - bloc 2 (2)
			bloc 2 - bloc 1 (2)
		Main droite pour répondre « moins » et main gauche pour répondre « plus » (4)	bloc 1 - bloc 2 (2)
			bloc 2 - bloc 1 (2)

Chaque essai était composé d'un point de fixation présenté au centre de l'écran pendant 300 ms et symbolisé par une croix (de largeur de deux millimètres, 0.2 degré d'angle visuel). Le point de fixation était suivi d'un écran blanc pendant 30 ms, lui-même suivi d'un des stimuli présenté dans le champ visuel droit ou présenté dans le champ visuel gauche pendant 150 ms. Pendant l'apparition des stimuli, le point de fixation restait à l'écran. Le couple point de fixation-stimuli était suivi d'un écran blanc dont le temps d'apparition était déterminé par le temps de réponse des participants. Un dernier écran blanc de 1000 ms permettait de faire la transition entre deux essais. Un feedback sonore retentissait dès la réponse du participant si celui-ci commettait une erreur. L'expérience durait approximativement 15 minutes.

Hypothèses

Nos hypothèses opérationnelles étaient les suivantes :

HO-1 : Les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.

HO-2 : L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.

HO-3 : Les performances des participants sont significativement meilleures en présentation hémichampique gauche seulement au début de l'expérience.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (1.6% des temps ont été remplacés, la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Ainsi, l'analyse des temps de réponse portait sur 85.25% des réponses. Les temps de réponses moyens étaient de 635 ms. Nous décrirons dans un premier temps des analyses qui ont été menées uniquement sur les facteurs expérimentaux. Elles incluaient les facteurs suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Bloc à deux modalités (bloc 1, bloc 2), et
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Touche de réponse à deux modalités (main droite pour répondre « plus » et main gauche pour répondre « moins », main droite pour répondre « moins » et main gauche pour répondre « plus »), et
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à deux modalités (bloc 1 puis bloc 2, bloc 2 puis bloc 1).

Deux analyses complémentaires, l'une sur les temps de réponse et l'autre sur les taux d'erreurs, ont été réalisées sur les seize premiers essais. Enfin, nous exposerons des analyses sur la compatibilité S-R.

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a mis en évidence deux effets simples significatifs :

- Difficulté [$F_{(1,15)}=34.073, p<.0001$] ; les participants étaient plus rapides pour traiter les essais faciles (596 ms) que les essais difficiles (686 ms), et
- Bloc [$F_{(1,15)}=11.241, p<.005$] ; les participants ont été plus rapides pour le deuxième bloc (611 ms) que pour le premier (671 ms).

Bien que la différence ne soit pas significative, $F_{(1,15)}=3.057, p>.1$, la présentation des stimuli dans le champ visuel droit a engendré des réponses plus rapides (628 ms) que la présentation des stimuli dans le champ visuel gauche (642 ms). Par contre, l'interaction Champ visuel * Bloc s'est montrée significative, $F_{(1,15)}=6.221, p<.03$. Nous avons mené quatre analyses de contrastes pour détailler cette interaction (cf. Figure 16): (1) Les participants ont été plus rapides quand les stimuli étaient présentés à droite (*cvd-HG*) que quand ils étaient présentés à gauche (*cvg-HD*) pour le premier bloc, $F_{(1,15)}=10.277, p<.006$. (2) Cette différence n'était plus significative pour le deuxième bloc, $F_{(1,15)}=0.1, p>.1$. (3) Les participants ont été plus rapides pour le deuxième bloc que pour le premier quel que soit le côté où étaient présentés les stimuli. Mais ce gain de vitesse était plus grand quand les essais étaient présentés à gauche [*cvg-HD*, $F_{(1,15)}=35.45, p<.0001$] que lorsqu'ils étaient présentés à droite [*cvd-HG*, $F_{(1,15)}=5.89, p<.03$].

[Figure 16]

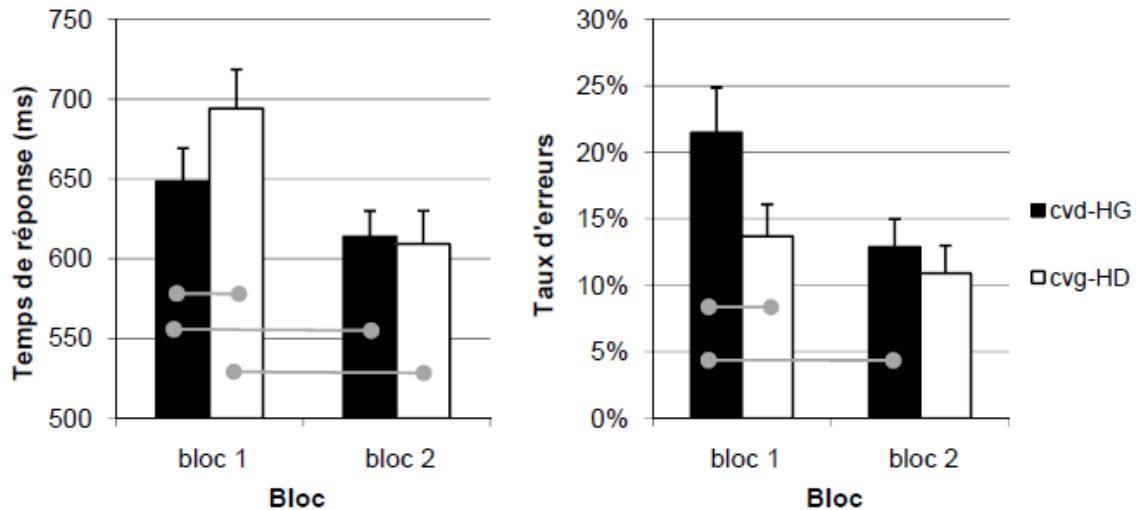


Figure 16 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (bloc 1 et bloc 2). (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

L'interaction Champ visuel * Difficulté s'est révélée significative, $F_{(1,15)}=9.32$, $p < .01$. Si les essais étaient difficiles, les participants étaient significativement plus rapides pour les stimuli présentés à droite (*cvd-HG*) que pour les stimuli présentés à gauche (*cvg-HD*), $F_{(1,15)}=15.85$, $p < .002$. Par contre, si les essais étaient faciles, les participants étaient aussi rapides que les stimuli soient présentés à droite ou à gauche, $F_{(1,15)}=0.11$, $p > .1$.

L'interaction Champ visuel * Difficulté * Bloc était significative, $F_{(1,15)}=6.08$, $p < .03$. L'avantage de la condition champ visuel droit (*cvd-HG*) pour les essais difficiles n'était présent que pour le premier bloc (Fisher-LSD, $p < .0003$, cf. Figure 17).

[Figure 17]

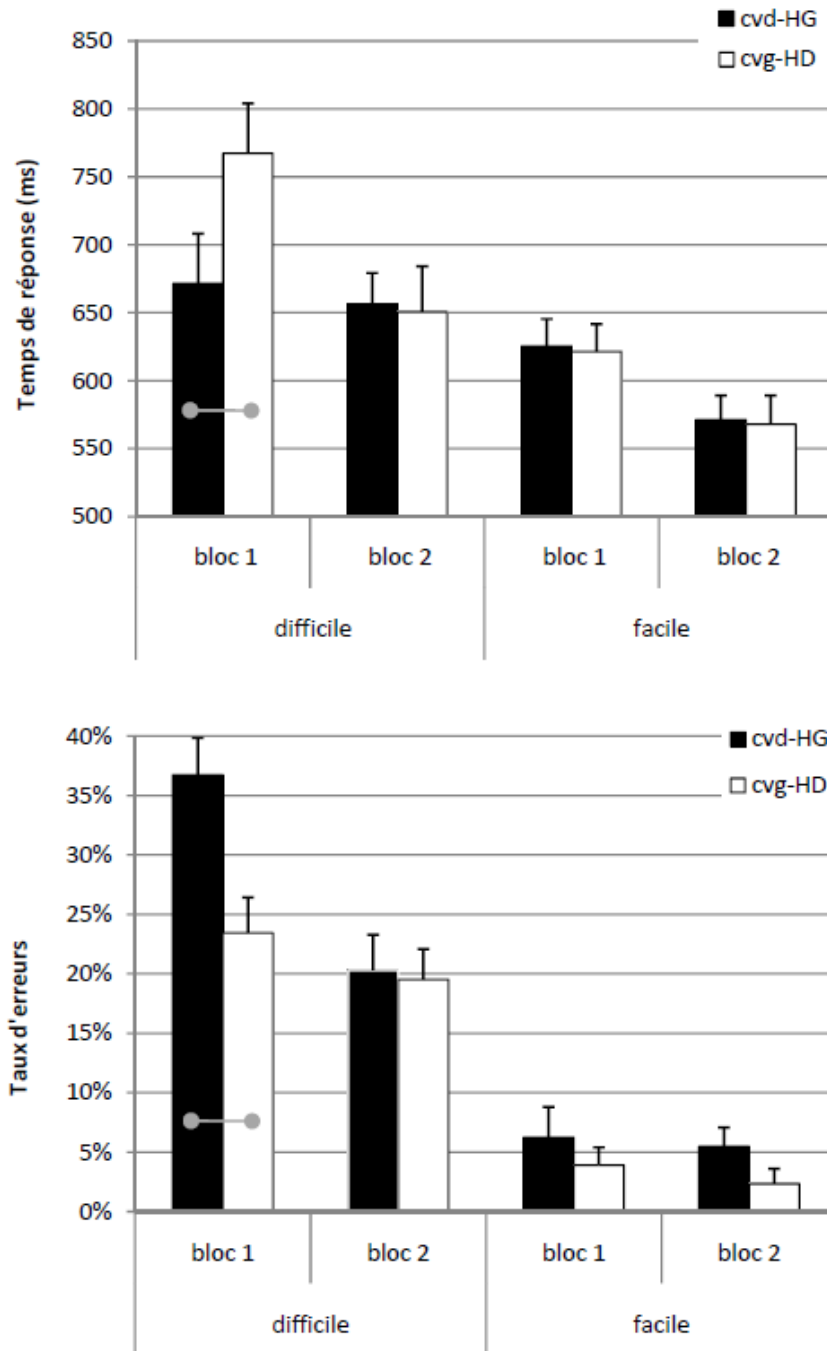


Figure 17 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Bloc (bloc 1 et bloc 2) et Difficulté (difficile et facile) ($p > .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a mis en évidence trois effets simples significatifs :

- Champ visuel [$F_{(1,15)}=6.51, p<.03$] ; la présentation des stimuli dans le champ visuel droit a engendré plus d'erreurs (17.2% d'erreurs) que la présentation des stimuli dans le champ visuel gauche (12.3% d'erreurs),
- Difficulté [$F_{(1,15)}=107.7, p<.0001$] ; les participants étaient significativement plus précis pour traiter les essais faciles (4.5% d'erreurs) que les essais difficiles (25% d'erreurs), et
- Bloc [$F_{(1,15)}=19.49, p=.0005$] ; Les participants étaient plus précis dans le bloc 2 (11.9% d'erreurs) que dans le bloc 1 (17.6% d'erreurs).

Bien que l'interaction Champ visuel * Bloc ne fût pas significative, $F_{(1,15)}=2.81, p>.1$, nous avons mené des analyses de contrastes pour tester nos hypothèses (cf. Figure 16): (1) Les participants étaient plus précis quand les stimuli étaient présentés à gauche (*cvg-HD*) que quand ils étaient présentés à droite (*cvd-HG*) pour le premier bloc, $F_{(1,15)}=10.08, p<.007$. (2) Cette différence n'était plus significative pour le deuxième bloc, $F_{(1,15)}=0.62, p>.1$. (3) Quand les essais étaient présentés à droite (*cvd-HG*), les participants étaient significativement plus précis pour le bloc 2 que pour le bloc 1, $F_{(1,15)}=12.11, p<.01$. Par contre, quand les stimuli étaient présentés dans le champ visuel gauche (*cvg-HD*), les participants n'étaient pas significativement plus précis dans le bloc 2 par rapport au bloc 1, $F_{(1,15)}=1.22, p>.1$.

La double interaction Champ visuel * Bloc * Difficulté n'était pas significative, $F_{(1,15)}=2.35, p>.1$. Nous avons remarqué cependant un taux d'erreurs de 37% dans la condition *cvd-HG* contre 23% dans la condition *cvg-HD* pour le premier bloc et pour les essais difficiles (Fisher-LSD, $p<.007$, cf. Figure 17). Pour le deuxième bloc, les taux d'erreurs étaient équivalents pour les essais difficiles entre les modalités du facteur Champ visuel. Cet effet met donc en évidence un effet de pratique de la condition *cvd-HG*.

Analyses sur les 16 premiers essais

Nous avons mené deux analyses de variance à mesures répétées sur les temps de réponse et sur le taux d'erreurs sur les 16 premiers essais. Les facteurs intrasujets qui ont été pris en compte étaient les suivants : Difficulté et Champ visuel. Les deux analyses ont montré un effet significatif du facteur Difficulté, respectivement, $F_{(1,15)}=10.33, p<.01$ et $F_{(1,15)}=43.59, p<.0001$. Les performances étaient meilleures pour les essais faciles. L'analyse sur les temps de réponse a mis en évidence un avantage de la condition *cvd-HG*, $F_{(1,15)}=4.45, p=.05$. L'analyse sur les taux d'erreurs a révélé un avantage de la condition *cvg-HD*, $F_{(1,15)}=21.27,$

$p < .0003$. Aucune des deux analyses n'a montré d'effet significatif de l'interaction Difficulté * Champ visuel. Nous présentons ces analyses qu'à titre indicatif, puisque nous pensons que le faible nombre d'essais (16, c'est-à-dire 4 par conditions croisées) réduit fortement la sensibilité de nos mesures.

Analyses de la compatibilité stimulus-réponse

Nous avons mené deux analyses de variance sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs. Les facteurs pris en compte dans ces analyses de variance étaient les suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche), et
- Compatibilité S-R à deux modalités (Compatibilité S-R, *compatible* ; Incompatibilité S-R, *incompatible*).

L'analyse de variance sur les temps de réponse n'a révélé aucun effet significatif. Des analyses de contrastes effectuées sur l'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R n'ont montré aucun effet de compatibilité S-R sur aucune condition du facteur Champ visuel. De même, aucune différence hémichampique n'a été observée en fonction de la compatibilité S-R.

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a montré deux effets simples :

- Champ visuel [$F_{(1,15)}=6.51$, $p < .03$], la condition *cvd-HG* a engendré plus d'erreurs (17.2% d'erreurs) que la condition *cvg-HD* (12.3% d'erreurs), et
- Compatibilité S-R [$F_{(1,15)}=8.57$, $p = .01$], les participants étaient plus précis dans le cas de compatibilité S-R (11.9% d'erreurs) que dans le cas d'incompatibilité S-R (17.5% d'erreurs).

L'interaction Champ visuel * Compatibilité S-R n'était pas significative, [$F_{(1,15)}=0.38$, $p > .1$] ; les analyses de contrastes n'ont pas montré l'effet probable du facteur Champ visuel sur les modalités du facteur Compatibilité S-R et inversement.

Résumé des résultats

Le tableau 10 présente les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses.

Tableau 10. Résumé des résultats de l'expérience 3. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonnes présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des

hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
H1: Les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.	Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i>	Pas d'effet significatif	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H2: L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.	Essais difficiles : avantage de la condition <i>cvd-HG</i> pour le premier bloc	Essais difficiles : avantage de la condition <i>cvg-HD</i> pour le premier bloc	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H3: Les performances des participants seront significativement meilleures en présentation hémichampique gauche seulement au début de l'expérience.			partiellement validée	<input type="checkbox"/>

Interprétations

Sur le plan descriptif, nous avons observé que les taux d'erreurs étaient équivalents entre cette expérience et les deux premières. Par contre, les temps de réponses moyens étaient plus élevés dans cette expérience (635 ms) comparativement aux expériences 1 (515 ms) et 2 (578 ms). Rappelons que dans l'expérience 3 les participants ne réalisaient que les deux premiers blocs de la tâche coordonnée. En comparant la moyenne des temps de réponse pour les deux premiers blocs de l'expérience 1 (538 ms) ou de l'expérience 2 (600 ms) avec celle de l'expérience 3, la différence est toujours présente, mais est moindre. Les expériences 2 et 3 avaient les mêmes conditions de luminance, pourtant nous notons une différence moyenne de 35 ms. Nous interprétons cette différence par le fait de la présence de feedback sonore dans l'expérience 3 qui, nous supposons, a pu forcer les participants à faire moins d'erreurs et par extension être moins rapides. En effet, la moyenne des taux d'erreurs de l'expérience 2 pour les 2 premiers blocs de la tâche coordonnée est de 21%, contre 14.75% dans l'expérience 3.

Nous observons un compromis vitesse-précision entre les modalités du facteur champ visuel. L'hémisphère gauche (*cvd-HG*) est plus rapide pour réaliser la tâche coordonnée, alors que l'hémisphère droit (*cvg-HD*) est plus précis (HO-1 non validée). Nous ne validons donc pas l'hypothèse de Kosslyn (1987). Quand bien même l'hémisphère gauche n'est pas significativement plus rapide de manière globale, cette asymétrie contradictoire est présente dès le début de l'expérience et uniquement pour les stimuli difficiles (HO-2 et HO-3 non validées). L'avantage de rapidité de l'hémisphère gauche est d'autant plus important qu'il semblerait être présent dès le début de l'expérience, alors que nous n'avons pas entraîné les participants à la tâche avant la réalisation des blocs expérimentaux et que l'entraînement à la

réponse employait un matériel non verbal. Toutefois, comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe précédent et au vu du nombre élevé d'erreurs dans certaines conditions (jusqu'à 35% pour les essais difficiles, cf. Figure 17), nous sommes en droit de nous interroger sur la fiabilité des temps de réponse dans cette expérience. Si nous optons pour un tel point de vue et si nous nous focalisons sur les taux d'erreurs, nous validons donc l'hypothèse de Kosslyn (1987) et nous répliquons l'effet de pratique classiquement observé. Si nous n'adoptons pas un tel point de vue et si nous nous tenons rigoureusement aux faits, ces résultats sont insatisfaisants et insuffisants pour rejeter l'hypothèse d'un processus unique pour le traitement des relations spatiales.

Contrairement à l'expérience 2 où les réponses étaient monomanuelles, nous avons obtenu un effet Simon sur les taux d'erreurs, mais pas sur les temps de réponse. Selon cette observation, nous pensons que l'emploi d'un mode de réponses bimanuel a changé l'influence de l'effet Simon sur les performances générales des sujets. Contrairement à l'expérience précédente, dans laquelle nous avons observé une lenteur des traitements de l'hémisphère droit uniquement dans le cas d'incompatibilité S-R, nous n'avons pas observé dans cette expérience d'interaction de la compatibilité S-R sur les asymétries fonctionnelles. Le sens général de nos asymétries fonctionnelles est resté le même entre nos trois expérimentations, en particulier à propos du compromis vitesse-précision. Le mode de réponses n'influencerait donc pas nos effets d'interaction comme nous l'avions supposé. L'effet Simon ne serait donc pas responsable du compromis vitesse-précision.

Conclusion

Les modifications que nous avons apportées à notre paradigme, c'est-à-dire l'emploi d'un entraînement non verbal, le mode de réponses bimanuel, et la présence de feedback ne semblent pas jouer un rôle pertinent dans l'observation des asymétries fonctionnelles relatives aux traitements de relations coordonnées, en ce sens que nous observons le même pattern de résultats que dans les deux premières expériences.

Expérience 4.

Introduction

Banich et Federmeier (1999) ont validé les prédictions relatives aux asymétries des relations spatiales de Kosslyn (1987) en utilisant le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a)

uniquement dans le cas où la position de la barre variait. Leur hypothèse était la suivante : les participants lors de la tâche coordonnée peuvent prendre l'écran de l'ordinateur comme cadre de référence et ainsi mettre en place une stratégie de traitement catégoriel. Dans leur expérience, varier la position de la barre a empêché de mettre en place une telle stratégie. En faisant varier la position de la barre, ils ont observé les différences hémisphériques prédites uniquement en fin d'expérience. Ils n'ont pas observé de différences hémisphériques dans le premier bloc (sur quatre) et ont mis en évidence des différences hémisphériques contraires aux prédictions dans le deuxième bloc (c'est-à-dire un avantage significatif de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée et un avantage non significatif de l'hémisphère droit dans la tâche catégorielle). Ils ont aussi observé que la manipulation du cadre de référence affectait davantage l'hémisphère gauche que l'hémisphère droit ; ce fait étant fidèle aux observations neuropsychologiques d'Humphreys et Riddoch (1984). Il est donc probable que l'avantage temporel de l'hémisphère gauche dans nos tâches coordonnées soit dû à une stratégie de division de l'écran en différentes catégories. Pour éviter d'obtenir des résultats aussi fluctuants d'un bloc à l'autre que dans l'expérience de Banich et Federmeier (1999), nous pouvons au lieu de varier la position de la barre d'un essai à l'autre, faire varier la configuration spatiale de la distance de référence que nous présentons lors de la consigne. Si nous opérons une rotation de celle-ci, alors l'éventuel *matching* (*i.e.*, correspondance) entre la catégorisation de l'écran opéré par les participants lors de la présentation de la distance de référence et les stimuli expérimentaux n'est pas possible.

L'hypothèse d'un cadre de référence favorisant une catégorisation de l'écran, proposée par Banich et Federmeier (1999), est d'autant plus vraisemblable que nous pouvons considérer la tâche coordonnée comme une tâche mnésique en ce sens que les participants doivent mémoriser un pattern (*i.e.*, la distance de référence) et doivent ensuite comparer ce pattern en mémoire avec les stimuli expérimentaux. Plusieurs auteurs considèrent la tâche coordonnée du paradigme d'Hellige et Michimata comme une tâche de mémoire de travail. Notons à ce propos que l'hémisphère droit présente une mémoire spatiale de travail supérieure à celle de l'hémisphère gauche (Smith & Jonides, 1997). L'étude de Kessels, Alfonso, Postma et de Haan (2000), à l'aide d'une tâche de mémoire de travail spatiale et coordonnée, montre qu'une stimulation transcrânienne magnétique (*i.e.*, TMS) sur le lobe pariétal droit perturbe davantage les performances des participants qu'une stimulation sur le lobe pariétal gauche. Van der Lubbe et al. (2006) souhaitaient tester spécifiquement le maintien en mémoire des informations catégorielles et coordonnées. Ils ont montré une activation bilatérale des lobes pariétaux lors de l'encodage des relations spatiales plus

importante dans la tâche coordonnée que dans la tâche catégorielle. Leur interprétation a été la suivante : la tâche coordonnée serait davantage une tâche de mémoire de travail que la tâche catégorielle. Une question se pose alors : devrions-nous considérer la dichotomie de traitements catégoriels/coordonnés comme émanant d'une dichotomie représentationnelle entre deux types de représentations spatiales ou d'une dichotomie de processus mnésiques ?

En plus de tester l'influence des processus catégoriels dans la tâche coordonnée, la rotation de la distance de référence apporte un autre avantage : celui de tester la nature de la représentation coordonnée et donc de préciser la dichotomie de traitement catégoriels/coordonnés. Pour rapprocher la tâche coordonnée du paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) d'une tâche de mémoire de travail, considérons un exemple concret par lequel nous verrons deux manières de se représenter des informations coordonnées. Imaginons que vous vouliez savoir si un meuble passe entre deux murs et que ce meuble soit trop lourd à porter. Première solution : vous prenez un mètre et vous comparez votre mesure de la largeur du meuble à celle de l'espace séparant les deux murs. Ici vous avez extrait à l'aide d'une norme (*i.e.*, le mètre) la relation coordonnée de deux objets et vous avez comparé numériquement vos deux mesures, que l'on pourrait qualifier d'abstraites. On parlerait de contenu numérique de l'information coordonnée. Deuxième solution : vous n'avez pas de mètre, mais une corde. Vous prenez la longueur de corde du meuble et comparez cette longueur de corde à l'espace entre les deux murs. Dans ce cas, vous n'avez pas recours à une norme, mais à une comparaison spatiale de deux extrémités de la corde. Cette mesure est plus concrète que celle utilisée dans la première solution. On parlerait de contenu analogique de l'information coordonnée. Dans les deux cas, vous avez besoin d'une mémoire que l'on pourrait qualifier de travail (soit le mètre, soit la corde) pour stocker une information et pour pouvoir comparer deux distances. Ces deux types de mesure se différencient en un autre point : la première est spatialement indépendante, en ce sens que la norme est numérique ; c'est une distance absolue. Par contre, la seconde est spatialement dépendante ; c'est une distance relative. Vous ne pouvez pas imaginer la longueur de la corde sans ses deux extrémités peu importe l'orientation de celle-ci. Si la corde est verticale, alors la relation catégorielle bas/haut est intrinsèque à votre mesure ; si la corde est horizontale, alors la relation catégorielle droite/gauche est intrinsèque à votre mesure. En résumé, le second mode de mesure coordonnée (*i.e.*, la corde) est intrinsèquement lié à un traitement catégoriel ; par contre, le premier mode de mesure coordonné (*i.e.*, le mètre) en est affranchi. Pour en revenir au paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), la présentation de la distance de référence engendre un encodage de la distance soit numérique soit spatial.

Si l'encodage est numérique, c'est-à-dire que notre système cognitif extrait une information métrique absolue de position relative de deux objets, alors une rotation de la distance de référence n'entraînerait de changement ni des performances ni des asymétries fonctionnelles. Le processus coordonné serait indépendant du processus catégoriel. A supposer que l'hémisphère droit est supérieur à l'hémisphère gauche pour le traitement des relations coordonnées, il devrait être moins perturbé par cette rotation. En contrepartie, si l'encodage est spatial, c'est-à-dire que notre système cognitif extrait une information métrique relative, alors la rotation de la distance de référence entraînerait (1) soit une plus forte implication de l'hémisphère droit dévolue à un processus de rotation mentale (Corballis, 1997), c'est-à-dire une augmentation des temps de réponse dans la condition *cvg-HD*, (2) soit une implication différente de l'hémisphère gauche entre la présentation de la distance horizontale ou verticale due à un changement qualitatif du traitement des relations catégorielles.

Bien que cette différence ne soit pas complètement validée (Hugdahl, Thomsen, & Ersland, 2006), les hommes seraient plus performants que les femmes dans une tâche de rotation mentale. Une étude EEG publiée récemment (Gootjes, Bruggeling, Magne, & Van Strien, 2008) montre un gain de 100 ms corrélé à une latence précoce de potentiels évoqués chez les hommes comparativement aux femmes. Cette étude précise que cette différence entre les hommes et les femmes serait due à une augmentation de l'activation de l'hémisphère droit plus importante chez les hommes. Si des processus de rotation mentale ont lieu, alors d'une part, ceci dénoterait un mode de traitement coordonné plus relatif qu'absolu, et d'autre part, nous devrions nous attendre des effets différents entre les hommes et les femmes. Cette hypothèse est d'autant plus vraisemblable qu'Hugdahl et al. (2006) ont postulé qu'une tâche de rotation mentale, comme celle de Shepard et Metzler (1971), implique des processus coordonnés et catégoriels. Dans leur étude en IRMf, ils ont observé une activation bilatérale des lobes pariétaux quel que soit le sexe des participants. En soustrayant le pattern d'activations des femmes à celui des hommes, ils ont observé une activation du lobe pariétal droit ; résultats répliqués par Gootjes et al. (2008). En soustrayant le pattern d'activations des hommes à celui des femmes, ils observent une activation des aires frontales. Hugdahl et al. (2006) ont interprété ces différences par le fait que les hommes auraient recours à des processus de traitements spatiaux coordonnés, alors que les femmes auraient recours à des processus de traitements spatiaux catégoriels. Il n'existerait donc pas de processus de rotation en tant que tel sur le plan cognitif, mais uniquement des processus de traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées. Il est important de noter que ceci est une

interprétation, l'étude d'Hugdahl et al. (2006) ne manipulait pas de variables expérimentales relatives aux relations spatiales catégorielles et coordonnées. Si leur formulation est vraie et que la présentation de la distance de référence n'implique pas de processus de catégorisation de l'écran, mais un processus de rotation mentale, alors nous ne devrions observer des effets de la rotation de la distance de référence sur les différences hémisphériques différents entre les femmes et les hommes.

Objectifs

Le but de cette expérience est de contrôler si l'avantage de l'hémisphère gauche présent dans nos expériences précédentes n'est pas associé à une stratégie de catégorisation du cadre de référence lors de la tâche coordonnée. À cette fin, nous avons répliqué l'expérience 4 et opéré une rotation de 90 degrés de la distance de référence présentée lors de la consigne. Nous supposons un avantage de l'hémisphère droit, que ce soit en termes de temps de réponse ou de taux d'erreurs. Cet avantage serait plus saillant pour les essais difficiles et au début de l'expérience.

Nous souhaitons comparer les résultats de cette expérience à celle de l'expérience 3 dont la seule différence est la rotation de la distance de référence, afin d'une part, de s'assurer que des stratégies catégorielles n'aient été mises en place par les participants dans l'expérience 3 et, d'autre part, de tester la nature du traitement des relations coordonnées. Plus précisément, nous souhaiterions savoir si les processus coordonnés reposent sur un calcul de distances spatialement indépendant ou sur un calcul de distances spatialement dépendant. Dans ce dernier cas, nous concluons à une forte probabilité que la représentation catégorielle des relations spatiales est intrinsèque à la représentation coordonnée, ou, pour le moins, qu'un jugement coordonné nécessite un traitement catégoriel.

Méthode

Participants

27 participants volontaires (13 hommes et 14 femmes), étudiants à l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats d'onze d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens ou les taux d'erreurs trop élevés (supérieurs à la somme de la moyenne et de deux écart-types des vingt-sept participants), le coefficient de latéralité trop bas et la non-compréhension de la consigne. Les 16 participants (8 hommes

et 8 femmes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 25 ans (Ecart-type : 8.2). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.89 et écart-type de 0.08 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

Les participants ne réalisaient que la tâche coordonnée.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était le même que celui de l'expérience 3.

Stimuli

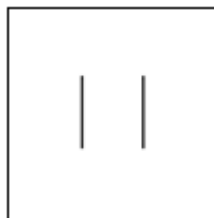
Les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés dans les expériences précédentes.

Procédure

L'entraînement à la réponse était strictement identique à celui de l'expérience 3, c'est-à-dire que les participants s'entraînaient avec soixante-douze essais non verbaux. Similairement à l'expérience 3, il n'y avait pas d'entraînement à la tâche. La phase expérimentale était identique à l'expérience 3 en ce sens que les participants réalisaient deux blocs expérimentaux de trente-deux essais chacun. Les facteurs intra-individuels et inter-individuels étaient les mêmes que ceux de l'expérience 3.

L'expérience 3 et celle-ci ne différaient que sur un point : la présentation de la distance de référence lors de la phase de consigne. Au lieu de présenter aux participants une distance horizontalement (qui pourrait favoriser la catégorisation de l'écran), nous avons présenté deux segments verticaux espacés de la distance que doivent juger les participants (cf. 0).

Figure 18 Présentation de la distance de référence lors de la consigne de l'expérience 4.



Hypothèses

Nos hypothèses théoriques (notées H) et opérationnelles (notées HO) relatives à l'expérience 4 étaient les suivantes. L'hémisphère gauche engendre de meilleures performances dans les processus catégoriels et l'hémisphère droit engendre de meilleures performances dans les processus coordonnés (Kosslyn, 1987) (H1). Cette hypothèse a été opérationnalisée selon :

- **HO-1** : Les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.
- **HO-2** : L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.
- **HO-3** : Les performances des participants sont significativement meilleures en présentation hémichampique gauche seulement au début de l'expérience.

Nos hypothèses théoriques (notées H) et opérationnelles (notées HO) relatives à la comparaison de l'expérience 3 et de l'expérience 4 se déroulent selon une certaine logique que nous présentons ici.

Si nous partons du principe qu'une rotation mentale est automatiquement réalisée dans l'expérience 4, nous pouvons émettre l'hypothèse que le système de relations spatiales effectue ce traitement (Hugdahl et al, 2006) (H2). Si tel est le cas, alors nous pouvons conclure que les représentations coordonnées sont plus d'ordre spatial que numérique. En contrepartie, si nous n'observons pas de différence dans les patterns de résultats entre l'expérience 3 et l'expérience 4, alors nous rejeterons cette hypothèse. Donc, (H2) est valide si nous observons une différence qualitative des performances des participants de l'expérience 3 et de l'expérience 4 (HO-4). Selon cette hypothèse et selon les observations de Hugdahl et al. (2006), le système des relations spatiales devrait être mis à disposition aussi bien pour le jugement métrique que pour la rotation, en particulier le sous-système catégoriel pour les femmes et le sous-système coordonné pour les hommes. En partant du principe que l'hémisphère gauche sous-tend le sous-système catégoriel et que l'hémisphère droit sous-tend le sous-système coordonné, nous pouvons émettre les hypothèses opérationnelles suivantes : puisque le sous-système catégoriel (l'hémisphère gauche) serait davantage mis à contribution pour réaliser la rotation chez les femmes, alors les femmes devraient présenter des différences hémisphériques plus marquées dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3 (HO-5). Manifestement, chez les femmes, l'hémisphère gauche serait

« occupé » dans l'expérience 4 à réaliser la rotation, engendrant un avantage de l'hémisphère droit plus net pour la réalisation de la tâche. Inversement, puisque le sous-système coordonné (l'hémisphère droit) serait davantage mis à contribution pour réaliser la rotation chez les hommes, alors les hommes devraient présenter des différences hémisphériques moins marquées dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3 (HO-6). Effectivement, chez les hommes, l'hémisphère droit serait « occupé » dans l'expérience 4 à réaliser la rotation engendrant un avantage de l'hémisphère droit moins net pour la réalisation du jugement métrique dans cette expérience comparativement à l'expérience 3. En outre, nous supposons que les effets attendus ne sont peut-être observables que dans le cas d'essais difficiles et/ou au début de l'expérience, c'est-à-dire pour le premier bloc.

Résultats de l'expérience 4

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écart-types de la cellule et ceux inférieur à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (1.73% des temps ont été remplacés, la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Ainsi, l'analyse des temps de réponse portait sur 82.71% des réponses. Les temps de réponses moyens étaient de 575 ms. Nous décrirons dans un premier temps les analyses qui ont été menées uniquement sur les facteurs expérimentaux. Nous exposerons dans un deuxième temps les analyses qui ont été menées sur les facteurs expérimentaux et sur les facteurs contrôles. Nous avons aussi mené deux analyses de variance sur les temps de réponse et le taux d'erreurs sur les seize premiers essais.

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreur, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Bloc à deux modalités (bloc 1, bloc 2),
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Touche de réponse à deux modalités (main droite pour répondre « plus » et main gauche pour répondre « moins », main droite pour répondre « moins » et main gauche pour répondre « plus »),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à deux modalités (bloc 1 puis bloc 2, bloc 2 puis bloc 1)

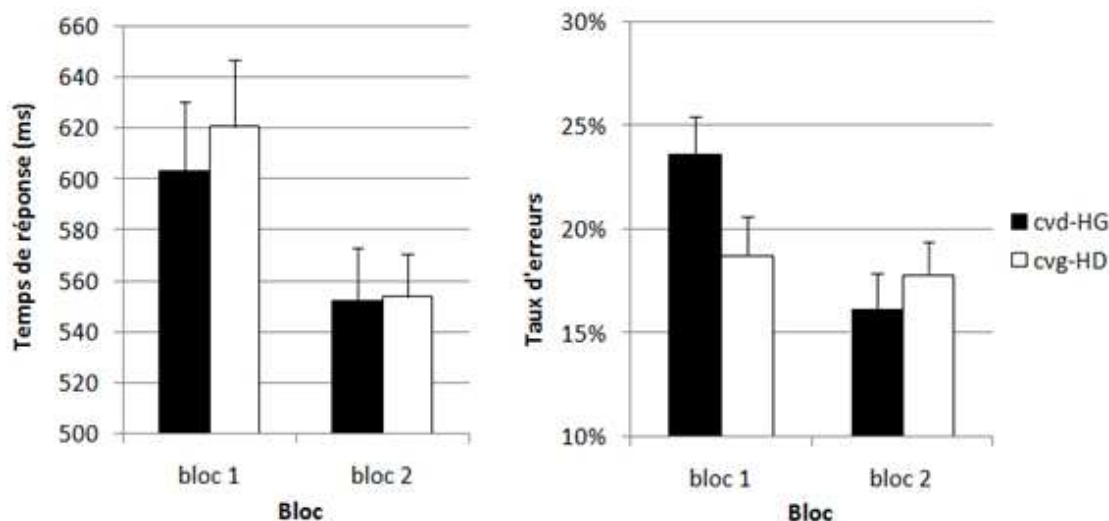
Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a mis en évidence deux effets simples significatifs :

- Difficulté [$F_{(1,15)}=45.99, p<.0001$] ; les participants étaient plus rapides pour traiter les essais faciles (538 ms) que les essais difficiles (613 ms), et
- Bloc [$F_{(1,15)}=5.94, p<.03$] ; les participants ont été plus rapides pour le deuxième bloc (548 ms) que pour le premier (602 ms).

L'effet simple du facteur Champ visuel et son interaction avec le facteur Bloc n'étaient pas significatifs [respectivement, $F_{(1,15)}=1.79, p>.1$ et $F_{(1,15)}=1.21, p>.1$. Cette interaction est présentée dans la 0. A titre indicatif, les participants répondaient en moyenne en 580 ms dans la condition *cvg-HD* et en moyenne en 570 ms dans la condition *cvd-HG*. En respect de nos hypothèses, nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Champ visuel sur chacun des blocs : aucun effet significatif du facteur Champ visuel n'a été observé.

Figure 19 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (bloc 1 et bloc 2). Les barres représentent les erreurs standards.



L'interaction Champ visuel * Difficulté n'était pas significative ; des analyses de contrastes établies en respect de nos hypothèses n'ont montré aucun effet du facteur Champ visuel ni sur les essais difficiles ni sur les essais faciles.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a montré deux effets simples significatifs :

- Difficulté [$F_{(1,15)}=91.48, p<.0001$] ; les participants étaient plus précis pour traiter les essais faciles (7.6% d'erreurs) que les essais difficiles (27% d'erreurs), et
- Bloc [$F_{(1,15)}=7.52, p<.02$] ; Les participants étaient plus précis dans le bloc 2 (14.8% d'erreurs) que dans le bloc 1 (19.7% d'erreurs).

Ni le facteur Champ visuel, ni l'interaction Champ visuel * Bloc n'étaient significatifs [respectivement, $F_{(1,15)}=1.79, p>.1$ et $F_{(1,15)}=1.21, p>.1$] (cf. 0). Les participants faisaient 18.5% d'erreurs en réponse au champ visuel droit (*cvd-HG*) contre 16% en réponse au champ visuel gauche (*cvg-HD*). En respect de nos hypothèses, des analyses de contrastes établies n'ont montré aucun effet significatif du facteur Champ visuel quel que soit le bloc.

L'interaction Champ visuel * Difficulté n'était pas significative ; des analyses de contrastes établies en respect de nos hypothèses n'ont révélé aucun effet significatif du facteur Champ visuel ni pour les essais faciles ni pour les essais difficiles.

L'analyse de variance incluant les facteurs expérimentaux et contrôles a révélé que l'interaction Champ visuel * Bloc * Sexe était significative [$F_{(1,8)}=6.69, p<.04$]. Des tests Fisher-LSD ont montré que les femmes ont présenté un avantage de la condition *cvg-HD* sur

la condition *cvd-HG* pour le premier bloc (Fisher-LSD : $p < .02$), cette différence n'étant pas significative ni pour le deuxième bloc, ni pour les hommes quel que soit le bloc.

Analyses sur les seize premiers essais

Nous avons mené deux analyses de variance à mesures répétées sur les temps de réponse et sur le taux d'erreurs sur les seize premiers essais. Les facteurs intra-sujets qui ont été pris en compte étaient les suivants : Champ visuel et Difficulté. Nous présentons ces analyses qu'à titre indicatif, puisque nous pensons que le faible nombre d'essais (16, c'est-à-dire 4 par conditions croisées) réduit fortement la sensibilité de nos mesures.

L'ANOVA sur les temps de réponse a montré un effet significatif du facteur Difficulté [$F_{(1,15)}=11.18, p < .005$]. Les participants répondaient aussi rapidement aux stimuli présentés à droite (*cvd-HG*) qu'à ceux présentés à gauche (*cvg-HD*), $F_{(1,15)}=1.2, p > .1$.

L'ANOVA sur les taux d'erreurs a montré un effet significatif du facteur Difficulté [$F_{(1,15)}=30, p < .0001$]. De plus, les participants commettaient marginalement moins d'erreurs pour répondre au champ visuel gauche (*cvg-HD*) qu'au champ visuel droit (*cvd-HG*), $F_{(1,15)}=4.31, p = .055$.

Résumé des résultats

Le tableau 11 présente les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses pour les résultats de l'expérience 4.

Tableau 11. Résumé des résultats de l'expérience 4. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonne présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
HO-1: Les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.	Pas d'effet significatif	Pas d'effet significatif	Nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-2: L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.	Pas d'effet significatif	Pas d'effet significatif	Nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-3: Les performances des participants seront significativement meilleures en présentation hémichampique gauche seulement au début de l'expérience.	Pas d'effet significatif	Avantage significatif du cvg- <i>HD</i> pour le bloc 1 uniquement chez les femmes. Avantage marginal du cvg- <i>HD</i> pour les 16 premiers essais.	Validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations

Nous n'avons pas observé d'effet simple du facteur Champ visuel (HO-1 non validée). Nous n'observons aucune interaction significative entre les facteurs Difficulté et Champ visuel (HO-2 non validée). Un avantage significatif de l'hémisphère droit a été observé pour le premier bloc, mais uniquement chez les femmes, ou sur les 16 premiers essais chez l'ensemble des participants (HO-3 validée).

Nous validons l'hypothèse d'un avantage de l'hémisphère droit pour le jugement métrique. Nous n'observons pas de compromis vitesse-précision, toutefois l'avantage de l'hémisphère droit est restreint au début de l'expérience et chez les femmes. Nous pensons que la rotation de la distance de référence aurait engendré une plus grande variabilité interindividuelle, ou à défaut, plus d'erreur expérimentale. Nous remarquons aussi une différence du comportement des hommes et des femmes entre cette expérience et l'expérience 3. Pour nous en assurer, la comparaison des expériences 3 et 4 nous semble indispensable pour pouvoir les assoir.

Comparaison des expériences 3 et 4

Nous avons mené deux analyses de variance à mesures répétées sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, en regroupant les résultats de l'expérience 3 et 4. Rappelons que ce qui différencie les expériences 3 et 4 est l'orientation de la distance de référence lors de la consigne. Nous avons nommé ce facteur Expérience (échantillon de l'expérience 3 où la distance de référence était présentée horizontalement; échantillon de l'expérience 4 où la distance de référence était présentée verticalement) qui est une variable inter-sujet. Nous

avons aussi inclus le facteur Sexe dans ces analyses. Les facteurs intra-sujets pris en compte dans ces analyses étaient les suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Bloc à deux modalités (bloc 1, bloc 2), et
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile).

Le facteur inter-sujet Expérience a été pris en compte dans ces analyses.

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance sur les temps de réponse a mis en évidence plusieurs effets simples significatifs :

- Expérience [$F_{(1,28)}=5.59$, $p=.025$] ; les participants de l'expérience 4 étaient plus rapides (575 ms) que les participants de l'expérience 3 (640 ms),
- Champ visuel [$F_{(1,28)}=4.51$, $p<.05$] ; les participants étaient plus rapides pour répondre à la condition *cvd-HG* (600 ms) qu'à la condition *cvg-HD* (615 ms),
- Difficulté [$F_{(1,28)}=74.51$, $p<.0001$] ; les participants étaient significativement plus rapides pour traiter les essais faciles (566 ms) que les essais difficiles (650 ms), et
- Bloc [$F_{(1,28)}=14.99$, $p=.0006$] ; les participants étaient plus rapides pour le deuxième bloc (579 ms) que pour le premier (636 ms).

L'interaction Champ visuel * Difficulté était significative [$F_{(1,28)}=5.69$, $p<.03$] ; l'effet du facteur Champ visuel n'était significatif que pour les essais difficiles [$F_{(1,28)}=7.65$, $p<.01$]. Cette interaction était influencée significativement par le facteur Expérience [$F_{(1,28)}=5.74$, $p<.025$]. Nous présentons dans la Figure 20 l'interaction Champ visuel * Expérience pour les essais difficiles. Des analyses de contrastes ont montré que l'avantage de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* pour les essais difficiles n'était significatif que pour l'expérience 3 [$F_{(1,28)}=10.49$, $p=.03$]. Pour les essais difficiles, les performances des participants de l'expérience 3 et de ceux de l'expérience 4 étaient significativement différentes pour la condition *cvg-HD* (*expérience 3* : 709 ms ; *expérience 4* : 617 ms, $F_{(1,28)}=5.87$, $p=.02$) et non significativement différentes pour la condition *cvd-HG* (*expérience 3* : 664 ms ; *expérience 4* : 608 ms ; différence non significative). Ces effets sont présentés dans la Figure 20.

[Figure 20]

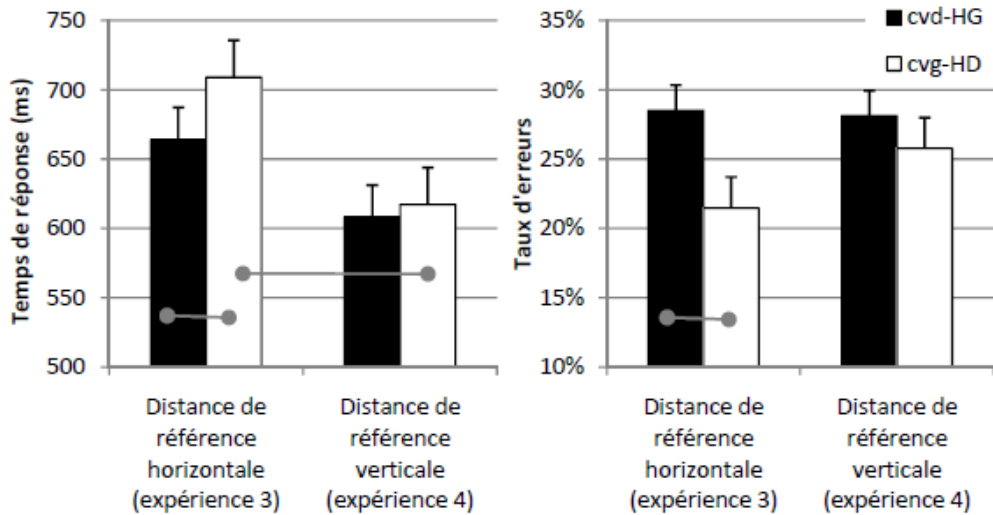


Figure 20 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et du facteur inter-sujet Expérience (Expérience 3 ou 4, c'est-à-dire distance de référence verticale ou horizontale) pour les essais difficiles. (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Les interactions Champ visuel * Bloc et Champ visuel * Bloc * Difficulté étaient marginalement significatives [respectivement, $F_{(1,28)}=3.87$, $p=.058$; $F_{(1,28)}=3.58$, $p=.068$]. Les effets relatifs au facteur champ visuel que nous venons de décrire seraient prépondérants dans le premier bloc de chaque expérience [respectivement $F_{(1,28)}=9.19$, $p=.005$ et $F_{(1,28)}=12.95$, $p<.002$]. Nous ne remarquons ni d'effet simple du facteur Sexe ni d'interaction de ce facteur avec nos autres facteurs expérimentaux.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a mis en évidence deux effets simples significatifs identiques à ceux observés dans l'analyse sur les temps de réponse :

- Difficulté [$F_{(1,28)}=199.8$, $p<.0001$] ; les participants étaient plus précis pour répondre aux essais faciles (6% d'erreurs) qu'aux essais difficiles (26% d'erreurs), et
- Bloc [$F_{(1,28)}=21.94$, $p=.0001$] ; les participants étaient plus précis pour le deuxième bloc (13% d'erreurs) que pour le premier (18% d'erreurs).

Cette analyse a mis en évidence deux effets simples significatifs identiques à ceux observés dans l'analyse sur les temps de réponse, mais dont les effets sont opposés :

- Expérience [$F_{(1,28)}=4.24$, $p<.05$]; les participants étaient moins précis dans l'expérience 4 (17% d'erreurs) que les participants de l'expérience 3 (14% d'erreurs), et
- Champ visuel [$F_{(1,28)}=7.04$, $p=.01$]; les participants faisaient plus d'erreurs pour répondre à la condition *cvd-HG* (17.8% d'erreurs) qu'à la condition *cvg-HD* (14% d'erreurs).

L'interaction du facteur Champ visuel et du facteur Bloc étant significative [$F_{(1,28)}=4.3$, $p<.05$], des analyses de contrastes ont montré que le facteur Champ visuel n'était significatif que pour le premier bloc [$F_{(1,28)}=11.81$, $p=.001$]. Ni l'interaction Champ visuel * Difficulté, ni l'interaction Champ visuel * Bloc * Difficulté n'étaient significatives.

L'interaction Champ visuel * Bloc * Expérience * Sexe était significative, [$F_{(1,28)}=5.62$, $p<.03$, Figure 21]. Dans l'expérience 3, les hommes ont présenté un avantage significatif de la condition *cvg-HD* pour le premier bloc [$F_{(1,28)}=7.33$, $p=.01$], mais pas les femmes. Nous avons obtenu le pattern inverse dans l'expérience 4 ; les femmes ont présenté un avantage significatif de la condition *cvg-HD* pour le premier bloc [$F_{(1,28)}=7.33$, $p=.01$], mais pas les hommes. Cette interaction, présentée dans la Figure 21, variait en fonction du facteur Difficulté [$F_{(1,28)}=6.74$, $p=.015$]. Nous avons mené des tests *a posteriori* pour préciser cette interaction. Pour les essais difficiles en condition *cvd-HG*, les hommes de l'expérience 4 ont de meilleures performances que ceux de l'expérience 3 (Fisher-LSD : $p<.004$). Inversement, pour les essais difficiles en condition *cvg-HD*, les hommes de l'expérience 4 ont de moins bonnes performances que ceux de l'expérience 3 (Fisher-LSD : $p<.02$).

[Figure 21]

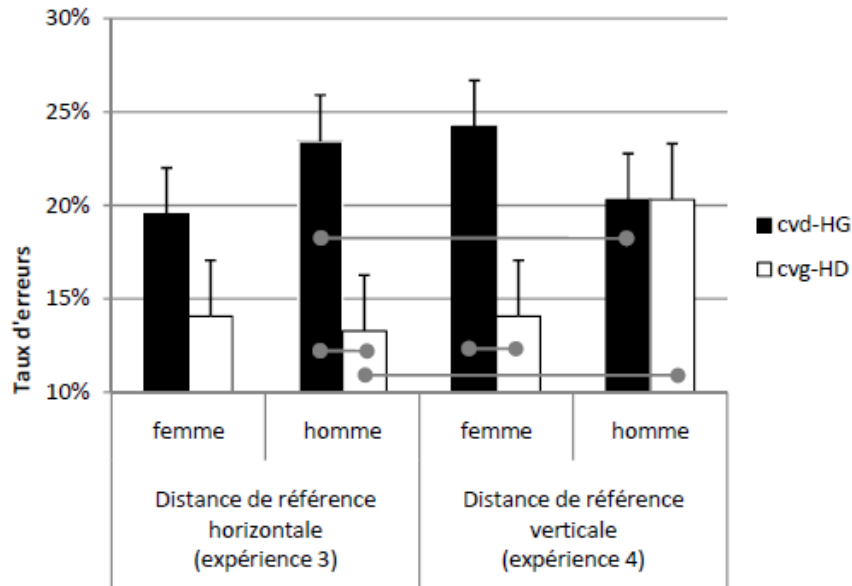


Figure 21 Représentation des taux d'erreurs moyens en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et des facteurs inter-sujet Sexe (femme versus homme) et Expérience (Expérience 3 ou 4, c'est-à-dire distance de référence verticale ou horizontale) pour le premier bloc. (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Résumé de la comparaison des expériences 3 et 4

Le tableau 12 présente les hypothèses opérationnelles relatives à la comparaison des expériences 3 et 4, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses.

Tableau 12. Résumé de la comparaison des expériences 3 et 4. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonne présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
HO-4 : Les performances des participants de l'expérience 3 et 4 sont différentes.	L'interaction Champ visuel * Difficulté * Expérience a été significative.	L'interaction Champ visuel * Bloc * Expérience * Sexe a été significative	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-5 : Les femmes devraient présenter des différences hémichampiques plus importantes dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3. Elles devraient présenter un avantage plus important de la condition cvg-HD dans l'expérience 4 comparativement à l'expérience 3.	Que se soit pour les femmes que pour les hommes, dans l'expérience 3, avantage significatif de cvd-HG pour <i>essai difficile</i> . Pas d'effet du facteur Champ visuel dans l'expérience 4.	Femme: Dans l'expérience 3, pas d'effet du facteur Champ visuel pour le <i>bloc 1</i> . Dans l'expérience 4, avantage significatif de cvg-HD pour le <i>bloc 1</i> .	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-6 : Les hommes devraient présenter des différences hémichampiques moins importantes dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3. Ils devraient présenter un avantage moins important de la condition cvg-HD dans l'expérience 4 comparativement à l'expérience 3.		Homme: Dans l'expérience 3, avantage significatif de cvg-HD pour le <i>bloc 1</i> . Dans l'expérience 4, pas d'effet du facteur Champ visuel pour le <i>bloc 1</i> .	validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations

Nous observons que les performances des participants des expériences 3 et 4 étaient qualitativement différentes, en ce sens que les participants de l'expérience 3 étaient lents, mais précis, alors que les participants de l'expérience 4 étaient rapides, mais moins précis. Nous pouvons interpréter ce résultat sous deux angles : soit nous sommes confrontés à une erreur due à l'échantillonnage, bien que la sélection des participants fût équivalente dans les deux expériences ; soit des processus ont été différemment mis à contribution entre les deux expériences. Un fait important est, qu'à défaut d'observer des effets simples du Champ visuel dans l'expérience 4, nous ne sommes pas face à un compromis vitesse-précision dans cette expérience contrairement à l'expérience 3 (cf. Figure 20). Ceci est peut-être dû au fait que les participants de l'expérience 4 répondaient plus rapidement pour les essais difficiles en *cvg-HD* que ceux de l'expérience 3. Ces différences qualitatives entre les expériences 3 et 4 nous permettent de rejeter l'hypothèse que les mêmes processus ont eu lieu lors des deux expériences ou que des processus ont été mis identiquement réalisés dans les deux expériences (validation de HO-4).

Notre principal résultat est le suivant : en termes de précisions et pour le premier bloc, les femmes ont présenté une plus grande différence hémichampique dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3. Inversement, les hommes ont présenté une différence hémichampique moins importante dans l'expérience 4 que dans l'expérience 3 (cf. Figure 21). Nous validons donc HO-5 et HO-6. Chez les femmes de l'expérience 4, les processus catégoriels auraient été mis à contribution pour la rotation, ce qui aurait engendré une meilleure observation de l'avantage de l'hémisphère droit pour le jugement métrique. Chez les hommes de l'expérience 4, les processus coordonnés auraient été mis à contribution pour la rotation, ce

qui aurait engendré une moins bonne observation de l'avantage de l'hémisphère droit pour le jugement coordonné.

Etant donné que HO-4, HO-5 et HO-6 sont validées, nous validons le fait que des processus de rotation ont eu lieu lors de la réalisation de l'expérience 4 (H2 validée). Plus précisément, la rotation et le jugement métrique seraient des traitements réalisés par le système des relations spatiales. Nous répliquons les observations d'Hugdahl et al. (2006) en montrant que les traitements seraient différemment réalisés chez les hommes et chez les femmes. Les femmes auraient recours à un traitement catégoriel, les hommes auraient recours à un traitement coordonné pour réaliser des rotations. Lors de l'expérience 4, les processus de traitements des relations spatiales mis à contribution pour la rotation mentale auraient interféré avec ceux mis à contribution pour la réalisation de la tâche coordonnée en tant que telle. Si des rotations ont eu lieu lors de l'expérience 4, alors nous pouvons émettre l'interprétation suivante : la rotation a été indispensable pour réaliser le jugement métrique et, par extension, le jugement métrique reposerait sur des représentations spatiales et relatives (en opposition à des représentations numériques).

Conclusion

Selon nos résultats, l'hémisphère droit serait plus performant pour la réalisation de jugements métriques. La rotation de la distance de référence opérée entre les expériences 3 et 4 nous a permis de neutraliser le biais de stratégie de catégorisation de l'écran (Banich & Federmeier, 1999) et de tester des hypothèses novatrices. En faisant appel à un éventuel processus de rotation mentale, nous avons pu conclure, d'une part, à une faible probabilité qu'un jugement coordonné fasse appel à des processus métriques absolus et spatialement indépendants (*i.e.*, la métaphore du mètre) et, d'autre part, à une forte probabilité qu'un jugement coordonné active stratégiquement (expérience 3) ou nécessairement (expérience 4) des processus de traitements catégoriels (*i.e.*, la métaphore de la corde). Nos conclusions ne sont donc pas en faveur de l'hypothèse de computations identiques pour le traitement des relations coordonnées et catégorielles, cependant, nous ne pouvons pas exclure que les processus catégoriels et coordonnés soient fortement interconnectés.

Bien que ce ne fût pas notre but premier, cette expérience, couplée à l'expérience 3, nous a permis *a posteriori* de valider les interprétations d'Hugdahl et al. (2006) sur l'implication des processus de traitements des relations spatiales dans le processus de rotation mentale.

Toutefois, nos interprétations de l'expérience 3 et 4 sont à prendre avec prudence. À l'évidence, nous pouvons considérer que les résultats de l'expérience 4 répliquent les résultats de l'expérience 3, mais uniquement à un niveau descriptif. Ceci pourrait être dû à une plus grande variabilité dans l'expérience 4. Si tel est le cas, alors le compromis vitesse-précision (cf. Figure 19) nous empêcherait de conclure sur les hypothèses des deux expériences. De plus, il nous a semblé étonnant que les participants de l'expérience 4 soient plus rapides que ceux de l'expérience 3. De plus, afin d'asseoir nos observations, il aurait été judicieux de faire réaliser aux participants un test de rotation mentale indépendant de la tâche coordonnée. Ceci aurait permis de nous assurer des différences de performances entre les hommes et les femmes.

En guise d'ouverture, il serait intéressant de répliquer nos expériences 3 et 4, mais avec l'orientation de la distance de référence en variable intra-sujet. Ceci nous permettrait d'éviter d'éventuels effets d'échantillonnage. Nous remarquons aussi que les analyses sur les seize premiers essais, aussi bien pour l'expérience 3 que 4, ne sont pas aussi fructueuses que nous l'espérions et ne nous apportent pas d'éléments supplémentaires pour la validation de nos hypothèses. De plus, celles-ci présentent une trop faible sensibilité de mesure pour assurer nos observations. Pour ces raisons, nous ne considérons pas nécessaire de supprimer l'entraînement à la tâche sur quelques essais lors de la consigne.

Expérience 5.

Introduction

Traitements des relations spatiales et processus attentionnels

Dans les trois premières expériences, nous avons observé dans la tâche coordonnée un avantage de la présentation hémichampique droite (*cvd-HG*) pour les temps de réponse et un avantage de la présentation hémichampique gauche (*cvg-HD*) pour la précision. Dans l'expérience 4, nous n'avons pas observé ce compromis vitesse-précision ; toutefois, une absence d'effet ne nous permet pas de rejeter l'existence d'un avantage en temps de traitement de l'hémisphère gauche. Ce compromis vitesse-précision ne nous permet pas de valider les hypothèses que nous avons formulées sur les asymétries du traitement des relations coordonnées. Si l'on admet que la précision reflète bien une dominance de

l'hémisphère droit pour le jugement coordonné, comment pouvons-nous expliquer l'avantage temporel de l'hémisphère gauche (expérience 1-3) ou l'absence de différence temporelle entre les hémisphères (expérience 4) ? Nous pouvons supposer que l'hémisphère droit est plus lent ou aussi rapide que l'hémisphère gauche parce qu'il est mobilisé par d'autres processus que celui ou ceux du traitement des relations spatiales. Ces autres processus n'interféreraient pas avec les processus du traitement des relations spatiales, mais prendraient plus de ressources à l'hémisphère droit qu'à l'hémisphère gauche. Kosslyn (1987) décrit l'*input* du système de traitements des relations spatiales comme « une carte spatiotopique qui combine la localisation de la fenêtre attentionnelle de la carte rétinotopique de bas niveau avec les informations de la position des yeux, de la tête et du corps » (p. 154). Dans nos expériences, la position des yeux, de la tête et du corps est constante. Toutefois, il est probable que la localisation de la fenêtre attentionnelle ne le soit pas, comme semble l'indiquer les analyses *a posteriori* de l'expérience 2. Les processus attentionnels auraient-ils biaisé nos observations, en particulier ceux de la tâche coordonnée ? Cette hypothèse semble vraisemblable dans la mesure où le réseau impliqué dans le traitement des relations spatiales coordonnées est aussi impliqué dans des processus attentionnels. Le lobe pariétal, le lobe frontal, les colliculi supérieurs et le pulvinar sont fortement impliqués dans le jugement coordonné (Kosslyn, Thompson et al., 1998). Les lobes pariétaux et frontaux (Corbetta, Miezin, Shulman, & Petersen, 1993) ainsi que les colliculi supérieurs (Safir, Rafal, & Henick, 2002) sont engagés dans les processus attentionnels. Le pulvinar participerait au processus de saillance visuelle (Laberge & Buchsbaum, 1990). De quelle façon les processus attentionnels auraient-ils pu biaiser le traitement des relations spatiales ?

Taille des Champs récepteurs et processus attentionnels

Chabris et Kosslyn (1998) ont développé l'idée selon laquelle la taille des champs récepteurs n'est pas le seul biais d'asymétrie possible : les processus attentionnels peuvent influencer le sens des différences hémisphériques. Dans la première expérience de Kosslyn, Anderson, Hillger et Hamilton (1994), les participants voyaient des paires de segments présentés successivement et jugeaient s'ils avaient la même orientation. Quand les segments étaient proches l'un de l'autre dans le même champ visuel, alors les performances de l'hémisphère gauche étaient supérieures à celles de l'hémisphère droit. Par contre, quand les

segments étaient éloignés, les performances de l'hémisphère droit étaient meilleures. Cette observation valide la théorie de spécialisation hémisphérique relative à la taille de champs récepteurs selon laquelle l'hémisphère gauche serait doté de petits champs récepteurs et l'hémisphère droit de grands champs récepteurs. Seulement, une réplique de cette expérience (Kosslyn, et al., 1994, expérience 2) a montré que les différences hémisphériques ne peuvent s'expliquer purement en termes de taille de champ récepteur. Quand les stimuli étaient présentés davantage en périphérie visuelle, condition dans laquelle les auteurs s'attendaient à une amélioration des performances de l'hémisphère droit, et que cette position spatiale n'était pas attendue par les participants, l'hémisphère gauche était en fait meilleur pour traiter des segments éloignés l'un de l'autre. Aucune différence hémisphérique ne fut observée quand les segments étaient proches. Les auteurs ont interprété ces résultats par le fait que l'hémisphère gauche allouerait préférentiellement de l'attention à de petites régions spatiales, mais serait plus flexible que l'hémisphère droit pour moduler la fenêtre attentionnelle. Leur interprétation est argumentée par des observations empiriques allant dans le même sens (Tsal & Shalev, 1996 ; Van Kleeck & Kosslyn, 1989). Les auteurs ont tiré ces conclusions quand bien même leur interprétation ne reposait que sur les temps de réponse, alors qu'ils observaient un avantage général de l'hémisphère droit en termes de précision (de manière similaire à nos observations).

Si la taille des champs récepteurs peut être influencée par des processus attentionnels et que la taille des champs récepteurs joue un rôle important dans le traitement des relations spatiales, alors il est probable que les différences hémisphériques que nous avons observées aient été biaisées par une composante attentionnelle. En particulier, l'avantage temporel de l'hémisphère gauche observé dans nos expériences précédentes pourrait s'expliquer par un biais d'allocation attentionnelle. La question est de savoir en quoi le paradigme de présentation en champ visuel divisé engendre un tel biais ; et si un tel biais existe, alors ce processus fait-il l'objet d'asymétries fonctionnelles ?

Paradigme de présentation en champ visuel divisé et paradigme d'indiçage spatial

Dans le paradigme de présentation en champ visuel divisé, nous pouvons poser l'hypothèse que les processus d'attention jouent un rôle d'un essai à un autre. Ces processus sont spontanés et dirigés soit par des processus *bottom-up* (i.e., attention exogène) soit par des effets de stratégies ou processus *top-down* (i.e., attention endogène). En effet, le

déroulement du paradigme de présentation en champ visuel divisé peut être envisagé comme un paradigme d'indication spatiale : un stimulus A présenté à l'essai t peut être vu comme une cible et le stimulus B présenté à l'essai $t-1$ comme l'indice (*i.e.*, l'alerte) de la position spatiale de A. Si A et B sont présentés dans le même champ visuel, pour reprendre la terminologie posnerienne (Posner et al., 1980 ; Posner, Cohen, & Rafal, 1982), nous parlerons d'indication hémichampique valide (*IH-valide*). Si A et B sont présentés dans des hémichamps visuels différents nous parlerons d'indication hémichampique non valide (*IH-nonvalide*). Ces effets inter-essais sont d'autant plus vraisemblables que des études montrent des effets d'amorçages inter-essais (Fecteau & Munoz, 2003 ; Iacoboni, Rayman, & Zaidel, 1997).

Attention exogène et différence hémisphérique

Dans des conditions d'attention exogène, il est classiquement observé un gain de la condition valide sur la condition non-valide. La condition non-valide, faisant appel à un désengagement de l'attention, engendre des temps de réponse plus élevés. Le gain de la condition valide ne serait présent que pour un SOA (*i.e.*, *stimulus onset asynchrony*) court (inférieur à 300 ms). En revanche, si le SOA dépasse 300 ms, la condition non-valide engendre de meilleures performances que la condition valide ; on appelle ce phénomène l'inhibition de retour (Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985). Le SOA de l'expérience 2 était fluctuant en fonction des réponses des participants et nous l'estimons à 1,9 secondes en moyenne pour le jugement coordonné. Il est donc probable que cette inhibition de retour ait pu influencer nos résultats. Le processus d'inhibition de retour serait sous-tendu par un réseau sous-cortical, en particulier par les colliculi supérieurs (Sapir, Rafal, & Henik, 2002). À notre connaissance, aucune étude ne met en évidence des asymétries fonctionnelles à ce niveau de traitement. Cependant, plusieurs études neuropsychologiques convergent sur l'existence de différences hémisphériques du processus de désengagement de l'attention. Des lésions du lobe pariétal droit causeraient un déficit du processus de désengagement de l'attention (pour une revue voir, Losier & Klein, 2001). Le lobe pariétal droit serait fortement impliqué dans ce processus. Donc, dans la condition d'indication hémichampique non-valide (*IH-nonvalide*), le lobe pariétal droit serait davantage mis à contribution que le lobe pariétal gauche.

Nous avons donc évalué la répartition du facteur d'indication hémichampique (IH) sur le facteur champ visuel. L'ordre de présentation des essais de cette expérience était pseudo-

aléatoire, mais nous n'avions pas contrôlé ce paramètre. A posteriori, nous notons que la répartition des modalités du facteur Champ visuel est équivalente pour chacune des conditions du facteur IH (cf. tableau 13).

Tableau 13. Présentation de la répartition des essais en fonction des facteurs Indiçage hémichampique (IH), Champ visuel (CV) et Tâche des expériences 1 et 2.

répartition des essais de l'expérience 1		Indiçage hémichampique * Champ visuel			
		non valide		valide	
		cvd-HG	cvg-HD	cvd-HG	cvg-HD
Tâche	catégorielle	36%	36%	14%	13%
	coordonnée	33%	33%	17%	17%
<i>Moyenne CV</i>		35%	35%	15%	15%
<i>Moyenne IH</i>		69%		31%	

répartition des essais de l'expérience 2		Indiçage hémichampique * Champ visuel			
		non valide		valide	
		cvd-HG	cvg-HD	cvd-HG	cvg-HD
Tâche	catégorielle	35%	36%	15%	14%
	coordonnée	30%	32%	19%	19%
<i>Moyenne CV</i>		33%	34%	17%	17%
<i>Moyenne IH</i>		66%		34%	

Au demeurant, nous remarquons que le nombre de présentations consécutives dans le même champ visuel (*IH-valide*) représentait un tiers des essais contre deux tiers de présentations consécutives de stimuli dans des champs visuels différents (*IH-nonvalide*) dans la tâche coordonnée. Nous pouvons donc supposer que si le processus de désengagement est impliqué dans notre paradigme, le lobe pariétal droit serait davantage mis à contribution que le lobe pariétal gauche dans deux tiers des essais. Ceci pourrait expliquer le fait que plus de processus sont activés dans l'hémisphère droit que dans l'hémisphère gauche, et donc que les temps de réponse au champ visuel droit (*cvg-HD*) soient plus longs que les temps de réponse au champ visuel gauche (*cvd-HG*).

Attention endogène et différence hémisphérique

Les processus d'attention endogène ont une incidence sur les processus attentionnels exogènes. Premièrement, des travaux ont montré que les réseaux sous-tendant ces deux types de processus attentionnels sont fortement chevauchés (Peelen, Dirk, Heslenfeld, & Theeuwes, 2004). Deuxièmement, le désengagement de l'attention est d'autant plus impliqué que la proportion de condition *non-valide* est élevée selon les résultats de l'étude

de Bartolomeo, Shiéoff, Decaix et Chokron (2001). C'est-à-dire que le désengagement est influencé par des effets de stratégies. Ces auteurs ont manipulé le ratio des conditions valides et non-valides dans le paradigme de Posner chez des sujets sains et des sujets unilatéralement lésés. Pour un ratio de 20%valide/80%non-valide (i.e., indiçage informatif), les sujets sains présentaient de meilleures performances pour la condition *non-valide* que *valide* comparativement à un ratio de 50%valide/50%non-valide (i.e., indiçage non informatif). L'indiçage informatif accentue donc le processus de désengagement. Dans les expériences 1 et 2, nous avons un ratio de 30%valide/70%non-valide ; l'indiçage informatif a donc pu intervenir dans nos tâches. Par extension, cet indiçage informatif aurait pu accentuer la mobilisation du lobe pariétal droit en respect des analyses de Loiser et Klein (2001). Bartolomeo et ses collaborateurs ont montré cependant que ce processus d'attention endogène est présent même dans le cas de lésion du lobe pariétal droit. Si cet indiçage informatif n'est pas sous-tendu par le lobe pariétal droit, il n'en est pas moins possible que l'indice informatif influence l'activité de celui-ci. Les études de Vossel, Thiel et Fink (2006) mettent effectivement en évidence que les processus d'attention endogène modulent principalement l'activation fronto-pariétale droite. Ils ont montré que plus la proportion de conditions *valide* est grande, moins le réseau fronto-pariétal droit est mis à contribution. Il existe donc des arguments en faveur d'un éventuel biais d'attention endogène dans le paradigme que nous avons utilisé. Au même titre que les présomptions que nous avons émises sur les processus exogènes, ce biais pourrait expliquer l'absence de l'avantage de l'hémisphère droit en termes de rapidité que nous avons observé dans les précédentes expériences.

Hypothèse attentionnelle selon Kinsbourne

Kinsbourne (1970) modélise la spécialisation hémisphérique par un mécanisme d'inhibition réciproque et parle d'un biais attentionnel. Ce modèle pourrait-il rendre compte de notre biais attentionnel ? Dans ce modèle, l'hémisphère spécialisé dans une tâche serait pré-activé pour la réalisation de cette tâche et inhiberait son homologue non spécialisé. Si ce modèle d'interaction hémisphérique est vrai et si le processus de désengagement de l'attention a joué un rôle dans nos tâches, alors, pour la tâche coordonnée, l'hémisphère droit serait plus pré-activé que l'hémisphère gauche, et l'hémisphère gauche serait d'autant plus inhibé dans le cas d'indiçage hémichampique non-valide. Or, nous n'observons pas ce pattern de résultats dans nos analyses *a posteriori*, puisque nous n'observons un avantage temporel de la présentation hémichampique droit (*cvd-HG*) que dans la condition *IH-nonvalide*. Il

s'avère que l'hypothèse de Kinsbourne (1970) semble être remise en question comme le montrent les travaux de l'équipe de Corbetta. Les travaux en imagerie cérébrale de Corbetta, Miezin, Shulman et Petersen (1993) montrent à l'aide du paradigme d'indication de Posner que l'attention portée à l'hémichamp visuel gauche active le lobe pariétal droit, alors que l'attention portée à l'hémichamp visuel droit active les lobes pariétaux droit et gauche. Cette activation bilatérale des lobes pariétaux invalide l'hypothèse de Kinsbourne (1970).

Résumé

Dans le paradigme de présentation en champ visuel divisé, il y a 50% de chance que les stimuli soient présentés dans le champ visuel droit ou gauche. Pour un essai donné, le niveau d'attention exogène et endogène est équivalent pour chaque modalité du facteur champ visuel. Or, il est probable que des effets d'indication spatiale aient pu avoir lieu d'un essai à l'autre. Nous pouvons avoir deux interprétations différentes. Soit le ratio de *30%valide/70% non-valide* dans les expériences 1 et 2 a engendré un biais d'allocation attentionnelle favorisant les traitements de l'hémisphère gauche (Chabris & Kosslyn, 1998). Soit ce ratio a pu engendrer une influence accrue des processus d'attention endogène. Ces processus d'attention endogène modulent l'activité fronto-pariétale droite et/ou accentuent les processus d'attention exogène en favorisant le processus de désengagement sous-tendu par le lobe pariétal droit. Selon cette alternative, l'hémisphère droit aurait à sa charge davantage de processus que l'hémisphère gauche ce qui expliquerait ses longues latences de réponse. En dépit de ce fait, ce ratio est la source probable de perturbations de nos observations des traitements des relations spatiales. Nous supposons donc qu'en utilisant un ratio de *50%valide/50%non-valide*, les influences des processus attentionnels soient moins importantes. En particulier, les processus d'attention endogène et exogène devraient moins mobiliser les ressources de l'hémisphère droit ou défavoriser la flexibilité attentionnelle de l'hémisphère gauche. *In extenso*, équilibrer les conditions du facteur d'Indication hémichampique devrait rendre plus observable les processus sur lesquels porte notre problématique, c'est-à-dire le ou les traitements des relations spatiales.

Objectifs

Nos objectifs et hypothèses pour cette expérience étaient les mêmes que dans les expériences précédentes : tester l'hypothèse de Kosslyn (1987) selon laquelle il existe un avantage de l'hémisphère droit pour les traitements de type coordonné et un avantage de

l'hémisphère gauche pour les traitements de type catégoriel. Nous supposons un effet de pratique de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée; l'avantage de l'hémisphère droit ne sera présent qu'au début de la tâche coordonnée. L'expérience 5 est similaire aux expériences précédentes ; nous avons employé le paradigme de présentation en champ visuel divisé dans deux tâches spatiales : un jugement catégoriel et un jugement coordonné. Contrairement aux expériences précédentes, une attention supplémentaire a été portée sur l'ordre pseudo-aléatoire des essais. En particulier, nous avons équilibré les conditions du facteur Indiçage hémichampique, le ratio étant de 50%valide/50% non-valide. Pour rappel, la condition valide correspond à la présentation consécutive de stimuli dans le même champ visuel ; la condition non-valide correspond à la présentation consécutive de stimuli dans des champs visuels différents. Nous avons aussi pris soin de contrôler et d'équilibrer la correspondance des réponses attendues entre deux essais. Nous avons nommé ce facteur Correspondance de réponses attendues (CRA) ; il présente deux modalités : *identique*, les réponses attendues d'un essai à l'autre sont identiques et *différent*, les réponses attendues d'un essai à l'autre sont différentes. Précisons que les réponses attendues ne sont pas les réponses données par le participant. Par exemple, dans la tâche catégorielle, si les points de deux essais consécutifs étaient au-dessus de la barre, alors la correspondance de réponses attendues était *identique*. Si les points de deux essais consécutifs étaient à des positions catégorielles différentes, alors la correspondance de réponses attendues était *différente*. Nous pouvons supposer que des réponses attendues identiques engendreront un gain de performances comparativement à des réponses attendues différentes.

Méthode

Participants

Trente-neuf sujets volontaires (19 hommes et 20 femmes), étudiants à l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats de sept d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens ou les taux d'erreurs trop élevés (supérieurs à la somme de la moyenne et de deux écart-types des trente-neuf participants), le coefficient de latéralité et la non-compréhension de la consigne. Les trente-deux participants (16 hommes et 16 femmes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 22.56 ans (Ecart-type : 3.47). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.89 et écart-type de 0.09 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

L'expérience était composée de deux sessions expérimentales, durant lesquelles les participants étaient testés individuellement. Les sessions se différenciaient uniquement sur la consigne donnée aux participants : dans la première session, nous demandions aux participants de réaliser un jugement métrique (tâche coordonnée) ; dans la deuxième session, nous leur demandions de réaliser un jugement de position catégorielle (tâche catégorielle). Tous les participants effectuaient les sessions dans cet ordre en raison de nos hypothèses sur l'effet de pratique.

Dispositif expérimental

Les stimuli étaient présentés sur fond blanc, avec le logiciel Psycope 1.2.5. sur un écran pronitron 17/500 relié à un ordinateur Power Macintosh 7300/200. L'écran était réglé en milliers de couleurs, sa résolution était de 1024 x 768, sa luminance de 3.23 cd/m² pour le fond blanc et 2.29cd/m² pour les stimuli, et sa fréquence de balayage de 75Hz. Les réponses et les temps de réponse ont été enregistrés par le logiciel Psycoscope 1.2.5. à partir des touches du clavier. Les participants répondaient en appuyant sur les touches « b » ou « n » d'un clavier AZERTY. Les participants répondaient avec l'index de chaque main (*i.e.*, mode de réponses bimanuel).

Stimuli

Les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés dans les expériences précédentes.

Procédure

Entraînement à la réponse

L'entraînement à la tâche était identique à celui de l'expérience 3, c'est-à-dire qu'il comprenait soixante-douze essais dont le matériel était non verbal.

Familiarisation aux tâches

La familiarisation avec la tâche était la même que celle des expériences 1 et 2.

Phase expérimentale

Pendant la première session expérimentale, les sujets devaient juger si le point présenté était à plus ou moins huit millimètres de la barre. Pendant la deuxième session expérimentale, les sujets devaient juger si le point présenté était au-dessus ou au-dessous de la barre. Chaque

session comportait 136 essais répartis selon les facteurs expérimentaux de manière équivalente dans quatre blocs. De cette façon, chaque bloc comportait 2 premiers essais qui étaient systématiquement non pris en compte dans les analyses et 32 essais pour lesquels les 16 positions du point étaient présentées deux fois, une fois dans le champ visuel droit, une fois dans le champ visuel gauche. Pour plus de détails, le tableau 14 présente la répartition des stimuli pour chaque session expérimentale et nous donne un aperçu des variables indépendantes intra-sujets importantes pour notre étude. Les essais étaient répartis de manière pseudo-aléatoire au sein de chaque bloc de telle sorte que trois mêmes réponses attendues et trois mêmes latéralités de présentation ne soient pas consécutives.

Tableau 14. Répartition des stimuli dans une session expérimentale. La deuxième ligne indique les quatre modalités du facteur Bloc. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel (cvd : champ visuel droit, cvg : champ visuel gauche). La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Difficulté relatif à la tâche coordonnée. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Session expérimentale	Stimuli (128)															
Bloc	bloc 1 (32)				bloc 2 (32)				bloc 3 (32)				bloc 4 (32)			
Champ visuel	cvg (16)		cvd (16)		cvg (16)		cvd (16)		cvg (16)		cvd (16)		cvg (16)		cvd (16)	
Difficulté	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)	difficile (8)	facile (8)

De plus, nous avons fait en sorte qu'autant d'essais soient précédés d'une réponse attendue identique que d'une réponse attendue différente (*i.e.*, facteur CRA). De même, nous avons organisé l'ordre des essais de telle manière que pour chaque modalité de la variable Champ visuel, la moitié des essais soit précédée de stimuli apparaissant dans le même champ visuel et l'autre moitié des essais soit précédée de stimuli apparaissant dans le champ visuel opposé (*i.e.*, facteur IH). Le tableau 15 présente la répartition des essais pour ces facteurs contrôles.

Tableau 15. Répartition des stimuli dans la session expérimentale. La deuxième ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel pour l'essai T. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Indigage hémichampique. La dernière ligne indique les deux modalités

du facteur Congruence de réponse attendue. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Sessions	Tâche coordonnée et tâche catégorielle (128*2)															
Champ visuel à l'essai t	Champ visuel droit (64)								Champ visuel gauche (64)							
Indiçage hémichampique	valide (32)		non valide (32)		valide (32)		non valide (32)		valide (32)		non valide (32)		valide (32)		non valide (32)	
Congruence de réponse attendue	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)	même (8)	différent (8)

Chaque participant effectuait chacune des phases expérimentales, bloc après bloc ; chacun étant séparé d'une pause de 2-3 minutes. Le tableau ci-après expose la répartition des participants, précisant l'ensemble des variables indépendantes inter-sujets prises en compte dans nos analyses statistiques. Tous les participants répondaient avec leur deux index. La moitié des participants répondait avec l'index droit pour répondre « plus » (ou « dessus »), l'autre moitié avec l'index gauche. Nous nommerons ce facteur Touches de réponse pour le distinguer du facteur Main qui, lui, correspond à la main avec laquelle le participant a répondu. L'ordre de présentation des blocs était contrebalancé selon la méthode du carré latin.

Tableau 16. Présentation de la répartition des participants. La deuxième colonne indique les deux modalités du facteur Sexe. La troisième colonne indique les deux modalités du facteur Touche de réponse. La dernière colonne indique les quatre modalités de la variable Ordre des blocs. Est indiqué entre parenthèses le nombre de participants pour chaque condition.

VARIABLES INDEPENDANTES INTER-SUJETS			
	Sexe	Touches de réponses	Ordre des blocs
Participants (32)	Homme (16)	Main droite pour répondre « plus » ou « dessus » et main gauche pour répondre « moins » ou « dessous » (8)	b1-b2-b3-b4 (2) b3-b4-b1-b2 (2) b2-b1-b4-b3 (2) b4-b3-b2-b1 (2)
		Main gauche pour répondre « plus » ou « dessus » et main droite pour répondre « moins » ou « dessous » (8)	b1-b2-b3-b4 (2) b3-b4-b1-b2 (2) b2-b1-b4-b3 (2) b4-b3-b2-b1 (2)
	Femme (16)	Main droite pour répondre « plus » ou « dessus » et main gauche pour répondre « moins » ou « dessous » (8)	b1-b2-b3-b4 (2) b3-b4-b1-b2 (2) b2-b1-b4-b3 (2) b4-b3-b2-b1 (2)
		Main gauche pour répondre « plus » ou « dessus » et main droite pour répondre « moins » ou « dessous » (8)	b1-b2-b3-b4 (2) b3-b4-b1-b2 (2) b2-b1-b4-b3 (2) b4-b3-b2-b1 (2)

Chaque essai était composé d'un point de fixation présenté au centre de l'écran pendant 300 ms et symbolisé par une croix (de largeur de deux millimètres, 0.2 degré d'angle visuel). Le point de fixation était suivi d'un écran blanc pendant 30 ms, lui-même suivi d'un des stimuli présenté dans le champ visuel droit ou gauche pendant 150 ms. Pendant l'apparition des stimuli, le point de fixation restait à l'écran. Le couple point de fixation-stimulus était suivi d'un écran blanc dont le temps d'apparition correspondait au temps de réponse des participants. Un dernier écran blanc de 1000 ms permettait de faire la transition entre deux essais. Un feedback sonore retentissait dès la réponse du participant si celui-ci commettait une erreur. L'expérience durait approximativement 30 minutes.

Hypothèses

Nos hypothèses opérationnelles étaient les suivantes :

HO-1 : L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative.

HO-1-1 : Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.

HO-1-2 : Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants répondent plus rapidement si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.

HO-2 : L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.

HO-3 : Les performances des participants sont meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.

HO-4 : Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (7.3% des temps ont été remplacés pour la tâche catégorielle, 3.8% pour la tâche coordonnée ; la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Ainsi, dans la tâche coordonnée, l'analyse des temps de réponse portait sur 87.1% des réponses, et dans la tâche catégorielle, l'analyse des temps de réponse portait sur 93.6% des réponses. Les participants répondaient en moyenne en 532 ms pour la tâche coordonnée et en 412 ms pour la tâche catégorielle. Nous décrirons dans un premier temps les analyses qui ont été menées sur les facteurs expérimentaux et les facteurs contrôles. Nous exposerons dans un deuxième temps les analyses *a posteriori* des amorçages intéressants sur le facteur Champ visuel pour chacune des tâches.

Analyse des facteurs expérimentaux

Analyses de la tâche catégorielle et de la tâche coordonnée

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreur, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Tâche à deux modalités (tâche catégorielle, tâche coordonnée), et
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Touches de réponse à deux modalités (main droite pour répondre « plus » ou « dessus », main gauche pour répondre « plus » ou « dessus »),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1)

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance des temps de réponse sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs :

- Tâche [$F_{(1,31)}=218.16, p<.0001$] ; les participants ont réalisé la tâche catégorielle (412 ms) plus rapidement que la tâche coordonnée (532 ms), et
- Bloc [$F_{(3,93)}=7.86, p=.0004$] ; les participants ont été de plus en plus rapides au fur et à mesure de la passation.

La présentation des stimuli dans le champ visuel droit a provoqué des réponses aussi rapides (*cvd-HG* : 471ms) que la présentation des stimuli dans le champ visuel gauche (*cvg-HD* : 473ms), $F_{(1,31)}=0.531, p>.1$. De même, l'interaction Champ visuel * Tâche n'était pas significative [$F_{(1,31)}=0.13, p>.1$, cf. Figure 22]. Conformément à nos hypothèses et malgré la non-significativité de cette interaction, nous avons mené des analyses de contrastes orientées sur chacune des tâches. Pour la tâche coordonnée, aucune différence de temps de réponse n'a été observée entre une présentation hémichampique droite et gauche [$F_{(1,31)}=0.086, p>.1$]. Par contre, une tendance est apparue pour la tâche catégorielle [$F_{(1,31)}=3.571, p=.0682$], en faveur du champ visuel droit (*cvd-HG*).

[Figure 22]

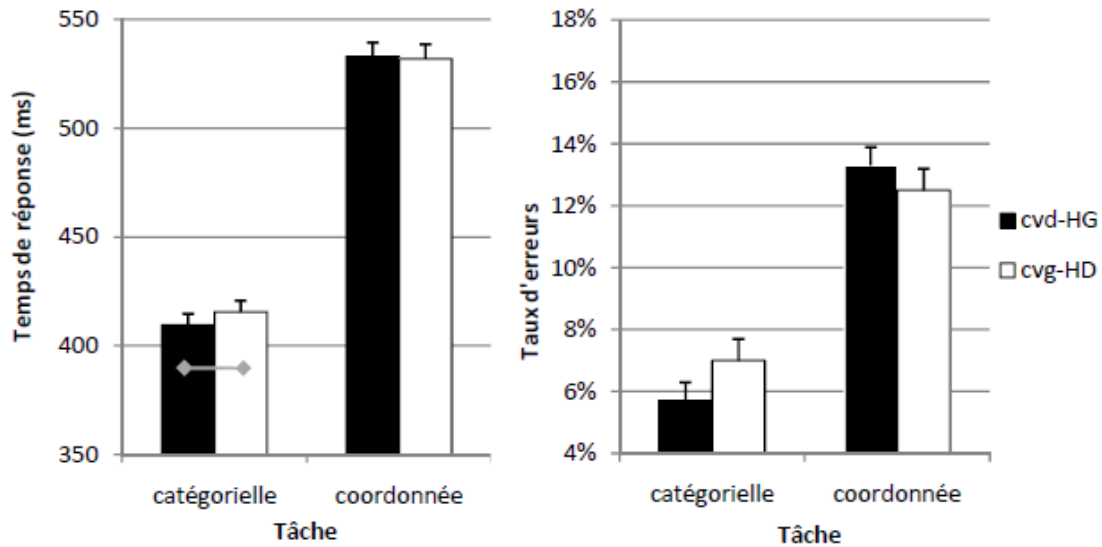


Figure 22 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Tâche (catégorielle versus coordonnée) et Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) (\blacklozenge $p < .07$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance des taux d'erreurs sur les facteurs expérimentaux a révélé un effet simple significatif :

- Tâche [$F_{(1,31)}=49.099$, $p < .0001$] ; les participants ont fait moins d'erreurs de jugements catégoriels (6.3% d'erreurs) que d'erreurs de jugements coordonnés (12.9% d'erreurs).

La présentation des stimuli dans le champ visuel droit a engendré autant d'erreurs que la présentation des stimuli dans le champ visuel gauche [$F_{(1,31)}=0.531$, $p > .1$]. De même, l'interaction Champ visuel * Tâche n'était pas significative, [$F_{(1,31)}=3.115$, $p = .086$, cf. Figure 22]. Conformément à nos hypothèses et malgré la non-significativité de cette interaction, nous avons mené des analyses de contrastes sur chacune des tâches. Quelle que soit la tâche, aucune différence du taux d'erreurs entre les champs visuels n'était significative.

Analyse de la tâche coordonnée

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreur, incluant les facteurs :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),

- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4), et
- Difficulté à deux modalités (facile, difficile).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Touches de réponse à deux modalités (main droite pour répondre « plus » ou « dessus », main gauche pour répondre « plus » ou « dessus »),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1)

Analyse des temps de réponse

L'analyse de variance des taux d'erreurs sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs :

- Difficulté [$F_{(1,31)}=61.774, p<.0001$] ; les participants étaient plus lents pour répondre à des essais difficiles (568 ms) qu'à des essais faciles (503 ms), et
- Bloc [$F_{(1,31)}=12.128, p<.0001$] ; les participants étaient de plus en plus rapides au fur et à mesure de la passation de l'expérience.

La présentation gauche des stimuli a occasionné des réponses aussi rapides (*cvg-HD* : 532 ms) que la présentation à droite (*cvd-HG* : 537 ms), $F_{(1,31)}=1.114, p>.1$. En contrepartie, cette différence variait significativement en fonction de la difficulté des essais [$F_{(1,31)}=5.504, p<.03$]. Des analyses de contrastes sur cette interaction ont montré que la différence entre l'hémichamp visuel droit et l'hémichamp visuel gauche n'était significative que pour les stimuli difficiles [$F_{(1,31)}=5.87, p<.03$], en faveur de l'hémichamp visuel gauche (*cvg-HD*).

Ni l'interaction Champ visuel * Bloc ni l'interaction Champ visuel * Bloc * Difficulté n'était significative [respectivement, $F_{(3,93)}=0.66, p>.1$; $F_{(3,93)}=0.81, p>.1$]. Nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Champ visuel sur chacun des blocs pour les essais difficiles. Nous avons noté un avantage de la condition *cvg-HD* pour le troisième bloc [$F_{(3,93)}=6.47, p<.02$, cf. Figure 23].

[Figure 23]

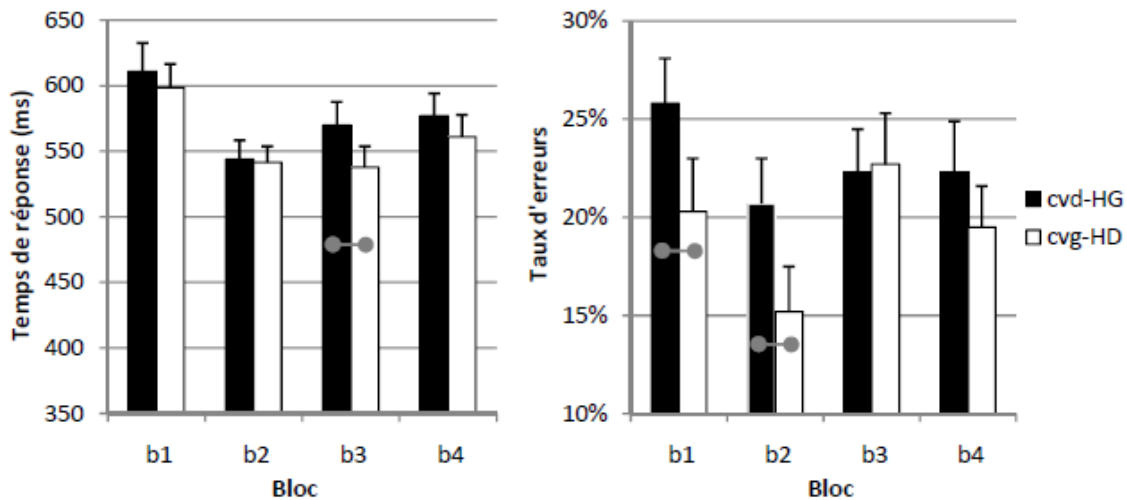


Figure 23 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Bloc dans la tâche coordonnée pour les essais difficiles. (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'analyse de variance des taux d'erreurs sur les facteurs expérimentaux a révélé un effet simple significatif :

- Difficulté [$F_{(1,31)}=231.712$, $p < .0001$] ; les participants étaient moins précis pour répondre à des essais difficiles (21% d'erreurs) qu'à des essais faciles (4.7% d'erreurs).

La présentation droite des stimuli a engendré autant d'erreurs (13.3% d'erreurs) que la présentation à gauche (12.5% d'erreurs), $F_{(1,31)}=0.723$, $p > .1$. En contrepartie, cette différence variait significativement en fonction de la difficulté des essais [$F_{(1,31)}=5.026$, $p < .04$]. Des analyses de contrastes sur cette interaction ont montré que la différence entre l'hémichamp visuel droit et l'hémichamp visuel gauche n'était significative que pour les stimuli difficiles [$F_{(1,31)}=4.648$, $p < .04$], en faveur de l'hémichamp visuel gauche (cvg-HD).

Ni l'interaction Champ visuel * Bloc ni l'interaction Champ visuel * Bloc * Difficulté n'était significative [respectivement, $F_{(3,93)}=0.33$, $p > .1$; $F_{(3,93)}=1.07$, $p > .1$]. Nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Champ visuel sur chacun des blocs pour les essais difficiles. Nous avons noté un avantage de la condition cvg-HD pour les deux premiers blocs, [b1 : $F_{(3,93)}=5.17$, $p = .025$; b2 : $F_{(3,93)}=5.17$, $p = .025$, cf. Figure 23].

Résumé des résultats

Le tableau 17 présente les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses.

Tableau 17. Résumé des résultats de l'expérience 5. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonne présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
H1: L'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel est significative	Interaction non significative	Interaction non significative	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H1-1: Dans une tâche engendrant un traitement de type catégoriel, les participants répondent sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche.	Avantage marginal de la condition cvd-HG	Pas d'effet significatif	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H1-2: Dans une tâche engendrant un traitement de type coordonné, les participants répondent sont plus performants si les stimuli sont présentés dans le champ visuel gauche que si les stimuli sont présentés dans le champ visuel droit.	Pas d'effet significatif	Pas d'effet significatif	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H2: L'avantage de la présentation dans le champ visuel gauche pour la tâche coordonnée est d'autant plus grand pour les essais difficiles que pour les essais faciles.	Avantage significatif de la condition cvg-HD uniquement pour les essais difficiles	Avantage significatif de la condition cvg-HD uniquement pour les essais difficiles	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H3: Les performances des participants seront significativement meilleures en présentation hémichampique gauche dans la tâche coordonnée seulement au début de l'expérience.	Avantage significatif de la condition cvg-HD uniquement pour les essais difficiles du troisième bloc	Avantage significatif de la condition cvg-HD uniquement pour les essais difficiles des deux premiers blocs	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H4: Les performances des participants sont meilleures pour la tâche catégorielle que pour la tâche coordonnée.	facteur Tâche significatif	facteur Tâche significatif	validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations

Les participants ont mieux réussi la tâche catégorielle que coordonnée (HO-4 validée). Malgré l'absence d'interaction significative entre les variables Champ visuel et Tâche, nous avons observé un avantage de l'hémisphère droit pour le jugement coordonné uniquement pour les essais difficiles et un avantage marginal de l'hémisphère gauche pour le jugement catégoriel. L'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné des essais difficiles s'est maintenu pour les trois premiers blocs. Au début de l'expérience, cet avantage se reflétait par une supériorité en précision pour faire place à une supériorité en vitesse de traitement. Nous validons donc l'hypothèse d'un avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné (HO-1-2 et HO-2 validée) et validons partiellement l'hypothèse d'un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement catégoriel (HO-1-1

partiellement validée). Cependant, nous infirmons la validité de l'hypothèse de l'effet de pratique de l'hémisphère gauche (HO-3 non validée).

Analyses supplémentaires

Nous avons mené deux analyses de variance à mesures répétées sur les performances pour la tâche coordonnée en fonction des temps de réponse et des taux d'erreur. Les facteurs pris en compte dans ces analyses de variance étaient les suivants :

- Champ visuel à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Indication hémichampique à deux modalités (valide, IH-valide ; non-valide, IH-nonvalide), et
- Correspondance de réponses attendues à deux modalités (identique, différent).

Analyse des temps de réponse

Les participants ont été aussi rapides pour les essais valides (528 ms) que pour les essais non-valides (536 ms), $F_{(1,31)}=3.28$, $p=.08$. De même, les participants étaient aussi rapides quand les réponses attendues entre essais étaient différentes (528 ms) que quand elles étaient identiques (536 ms), $F_{(1,31)}=2.69$, $p>.1$.

Nous avons observé une tendance de l'interaction Champ visuel * Indication hémichampique [$F_{(1,31)}=3.49$, $p=.07$, cf. Figure 24]. Les analyses de contrastes ont montré un gain significatif pour les essais valides (IH-valide : 523 ms) sur les essais non-valides (IH-nonvalide : 539 ms) pour les réponses au champ visuel gauche (cvg-HD) [$F_{(1,31)}=16.63$, $p=.0003$]. Le facteur Indication hémichampique n'était pas significatif pour les réponses au champ visuel droit (cvd-HG).

[Figure 24]

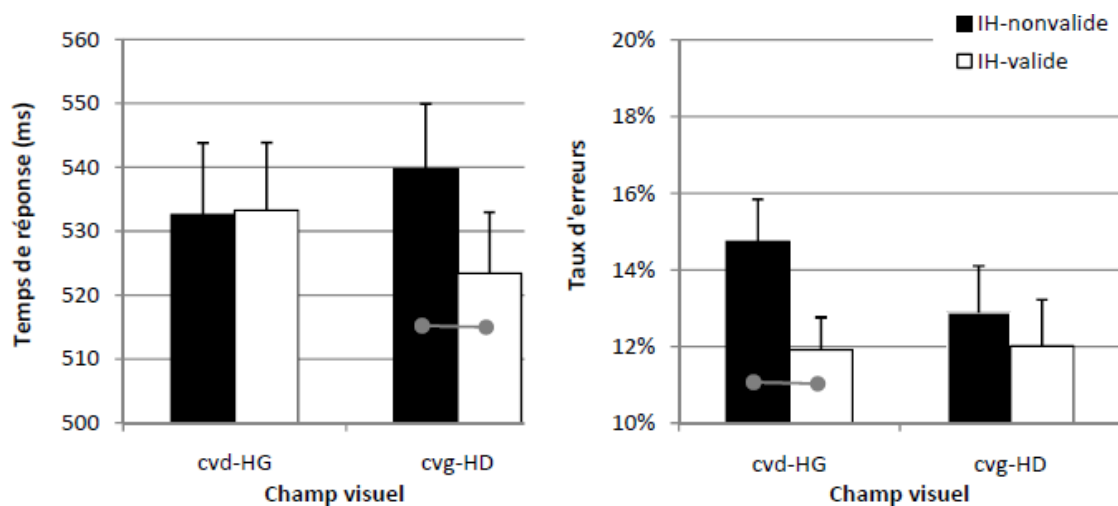


Figure 24 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Indiçage hémichampique (valide versus non-valide) dans la tâche coordonnée (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreur

Nous avons observé un effet marginal du facteur Indiçage hémichampique selon lequel les participants ont fait plus d'erreurs dans la condition *IH-nonvalide* (14% d'erreurs) que dans la condition *IH-valide* (12% d'erreurs) [$F_{(1,31)}=3.61, p=.066$].

Bien que l'interaction Champ visuel * Indiçage hémichampique ne fût pas significative [$F_{(1,31)}=1.37, p>.1$, cf. Figure 24], nous avons mené des analyses de contrastes de l'effet d'indiçage hémichampique sur chaque condition du facteur Champ visuel. Ces analyses ont montré un gain significatif de la condition *IH-valide* (12% d'erreurs) sur la condition *IH-nonvalide* (15% d'erreurs) pour les réponses au champ visuel droit (*cvd-HG*) [$F_{(1,31)}=5.7, p=.02$].

Interprétations

Contrairement aux résultats *a posteriori* de l'expérience 2 (cf. Figure 15), nous avons observé un gain de la condition d'indiçage hémichampique valide sur la condition d'indiçage hémichampique non-valide. Ce gain était en faveur de l'hémisphère droit pour les temps de réponse et en faveur de l'hémisphère gauche pour la précision. Nous notons que les performances des participants étaient meilleures dans cette expérience que dans l'expérience 2. Nous interprétons la non-réplication des résultats relatifs à l'indiçage spatial de l'expérience 2 par le fait que le ratio 50%valide/50%non-valide a neutralisé les effets attentionnels endogènes. En effet, comparativement aux quatre expériences précédentes, nous observons un avantage constant de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée. Nous

pensons que cette meilleure lisibilité de nos observations tient au fait des contrôles que nous avons établis. Le gain de la condition valide, c'est-à-dire de la présentation consécutive de stimuli dans le même champ visuel, s'explique par la perturbation engendrée par la présentation consécutive de stimuli ayant la même réponse attendue dans des champs visuels différents.

Conclusion

Nous validons l'hypothèse de Kosslyn. Malgré l'absence d'interaction Tâche * Champ visuel, nous observons un avantage marginal de l'hémisphère gauche pour les jugements catégoriels et un avantage de l'hémisphère droit pour les jugements coordonnés difficiles. Cet avantage est constant tout au long de l'expérience. Nous ne répliquons donc pas l'effet de pratique de l'hémisphère gauche pour le traitement coordonné observé dans la littérature. Nous pouvons supposer que des interférences inter-essais influençaient les résultats des expériences 1-4. Quand ces biais étaient correctement contrôlés (expérience 5), nous n'avons pas observé de contradiction entre nos variables dépendantes. Compte tenu de nos analyses complémentaires, il semblerait que ces effets peuvent orienter les asymétries fonctionnelles dans un sens ou dans l'autre. L'influence des biais attentionnels et des effets d'amorçages inter-essais nous incite à considérer les hémisphères comme deux processeurs dynamiques et interactifs. La question est de savoir si le paradigme de présentation en champ visuel divisé permet de conclure à l'existence de processus cognitifs différents.

Etudes des relations spatiales visuelles

-

Synthèse

"The existence of an artifact is established only when the positive effect is eliminated by controlling a variable which was inadequately controlled in the original investigation" Harcum (1967, p.67)

À l'origine, l'objectif de cette première partie expérimentale était de fonder une *base-line* méthodologique pour l'étude spécifique de l'effet de pratique. Or, nous n'avons pas d'emblée répliqué les effets prédits et décrits dans la littérature. Un compromis vitesse-

précision dans la tâche coordonnée ne nous a pas permis de conclure sur l'hypothèse de Kosslyn. Nous avons donc mené un travail méthodologique pour circonscrire et neutraliser les biais des paradigmes que nous avons utilisés. Cette démarche nous a permis de mettre en évidence des facteurs importants dans le traitement des relations spatiales et nous a ouvert des perspectives novatrices.

Au premier abord et en considération de nos observations, nous ne validons pas l'hypothèse de Kosslyn (1987). Dans un premier temps, nous justifierons cette prise de position. Dans un second temps, nous tempérerons notre point de vue en élaborant une critique des paradigmes utilisés et de leur insuffisance, ou de leur faiblesse, à discriminer des processus cognitifs.

L'hypothèse de processus distincts pour le traitement des relations spatiales

Notre hypothèse théorique principale de cette partie expérimentale était la suivante : il existe deux types de représentations des relations spatiales, des représentations catégorielles et des représentations coordonnées.

Arguments en défaveur de l'hypothèse théorique

Au total 168 participants différents ont été testés, les performances de 128 d'entre eux furent retenues dans nos analyses statistiques. Quels sont les inférences générales que nous tirons de ces données ?

- [Argument 1.] Nous n'avons pas systématiquement observé d'interaction des facteurs Tâche et Champ visuel. Au demeurant, une double dissociation est un argument fort pour rejeter l'hypothèse d'un processus unique ; l'absence de double dissociation dans nos données ne nous permet pas de conclure sur une dichotomie de processus du traitement des relations spatiales.
- [Argument 2.] L'avantage de la présentation hémichampique droite (*cvd-HG*) pour le traitement des relations spatiales catégorielles n'a été observé que de manière marginale. Nous répliquons donc un nombre conséquent d'études (voir partie théorique p. 33). L'hémisphère droit est donc similairement compétent pour réaliser ce traitement. Nous rejetons donc l'hypothèse d'une différence hémisphérique dans des jugements catégoriels.

- [Argument 3.] L'avantage de l'hémisphère droit n'a généralement pas été observé. Trois expériences sur cinq ont montré un avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité. Nous obtenons uniquement un avantage franc de l'hémisphère droit dans l'expérience 5, consécutivement au changement de processus attentionnels favorisant ses performances.
- [Argument 4.] L'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée n'a été observé que pour les essais difficiles. En d'autres termes, si la tâche est facile, alors les deux hémisphères seraient tous deux compétents pour répondre à une consigne de jugements coordonnés.
- [Argument 5.] Nous n'observons pas d'effet de pratique de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée. D'une part, l'avantage de rapidité de l'hémisphère gauche dans les trois premières expériences était présent dès le début des sessions expérimentales. D'autre part, dans l'expérience 5 nous avons observé un avantage de l'hémisphère droit constant. Nous ne validons donc pas les hypothèses relatives à l'apprentissage de l'hémisphère gauche dans la réalisation de traitements coordonnés. Bien que ceci exclut le fait que l'hémisphère gauche améliore ses processus coordonnés, ceci exclu derechef qu'il développe de nouvelles catégories pour les besoins du jugement coordonné et donc qu'il soit spécialisé dans ce type de traitement.
- [Argument 6.] Aux regards de nos interprétations des expériences 3 et 4, nous ne pouvons exclure que des processus catégoriels soient stratégiquement ou nécessairement activés dans un jugement coordonné. Nous en avons conclu que la représentation des relations spatiales coordonnées n'était pas indépendante d'une représentation catégorielle. *In extenso*, l'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné ne reposerait pas sur un calcul métrique, mais sur un calcul faisant appel à des catégories.
- [Argument 7.] Nous avons suspecté des dichotomies d'autres niveaux qui pourraient expliquer les différences hémisphériques obtenues lors de la réalisation des tâches catégorielles et coordonnées :

a. Niveau computationnel, la taille des champs récepteurs : L'hémisphère gauche serait doté de petits champs récepteurs qui ne se chevaucheraient pas. Cette composante faciliterait les traitements catégoriels. En revanche, l'hémisphère droit serait doté de grands champs récepteurs qui se chevaucheraient. Cette composante faciliterait les traitements coordonnés.

Cependant, cette asymétrie ne s'oppose pas à l'existence de processus distincts pour le traitement des relations spatiales si nous considérons l'approche computo-fonctionnelle de Kosslyn et Koenig (1992). Selon eux, une fonction ou un processus est ce que fait le cerveau. S'il existe donc des différences computationnelles, alors il existe des différences de processus et, par extension, de représentations. En raison des résultats de l'expérience 2 par laquelle nous n'avons obtenu aucun effet de la luminance, il nous semble délicat de valider cette hypothèse.

b. Niveau cognitif, dichotomie langage versus espace : Les compétences langagières de l'hémisphère gauche par effet boule de neige, en respect de la terminologie de Kosslyn, procurent à cet hémisphère un avantage dans le traitement des relations spatiales catégorielles. Par analogie, les compétences spatiales de l'hémisphère droit lui donnent un avantage pour le traitement des relations spatiales coordonnées. Les asymétries fonctionnelles observées lors de tâches portant sur les relations spatiales ne seraient donc pas dévolues spécifiquement à des processus catégoriels ou coordonnés.

c. Coordination visuo-motrice : Le réseau activé dans une tâche de correspondance S-R recouvre le réseau activé lors du traitement des relations spatiales. Ceci est un argument neuro-anatomo-fonctionnel fort pour exclure l'existence de représentations ou de processus spécifiques pour le traitement des relations spatiales. Les résultats *a posteriori* de l'expérience 2 attestent que les hémisphères ne sont pas identiquement impliqués dans les processus de correspondance visuo-motrice.

d. Capacités de mémoire de travail : L'hémisphère gauche aurait une capacité de mémoire de travail langagière qui lui donnerait un avantage de traitement pour des jugements catégoriels. L'hémisphère droit aurait une capacité de mémoire spatiale qui lui donnerait un avantage de traitement pour des jugements coordonnés. Ces compétences mnésiques ne seraient pas propres aux traitements des relations spatiales. La comparaison des expériences 3 et 4 a mis en évidence l'existence de processus de mémoire de travail confondus avec la tâche coordonnée (soit une stratégie de matching catégoriel soit une stratégie de rotation mentale faisant appel à des processus catégoriels).

e. Niveau de ressources, les processus attentionnels : Le réseau impliqué dans les processus attentionnels recouvre le réseau activé lors du traitement des relations spatiales. Ceci est un argument neuro-anatomo-fonctionnel supplémentaire pour exclure l'existence d'asymétrie fonctionnelle *sui generis* aux processus de traitements des relations spatiales. De plus, les asymétries fonctionnelles rencontrées lors de tâches de traitements des relations spatiales

seraient dévolues à une différence de capacité des hémisphères à moduler la fenêtre attentionnelle (Kosslyn et al., 1994). Les résultats *post-hoc* de l'expérience 2 et ceux de l'expérience 5 confirment que l'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné est dépendant de processus attentionnel.

Arguments en faveur de l'hypothèse théorique et/ou contre-arguments à l'invalidation précédente

- [Contre-argument de 2.] Observer uniquement des effets tendanciels de l'avantage de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle ne remet pas en doute la spécialisation hémisphérique gauche pour le processus catégoriel. Indubitablement, dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), la tâche catégorielle est plus simple que la tâche coordonnée. Toutes nos données et celles de la littérature l'attestent. *Ipsa facto*, la faible complexité de cette tâche engendre des effets planchers occultant l'observation de différences hémisphériques. Nous ne pouvons donc pas exclure la présence d'une simple dissociation hémisphérique pour les traitements catégoriels.
- [Contre-argument de 3.] L'avantage de l'hémisphère gauche en termes de rapidité pour la tâche coordonnée observé dans trois expériences ne remet pas en cause la spécialisation de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné pour deux raisons : premièrement, nous pouvons considérer que les trois premières expériences présentaient non seulement des effets confondus, mais des effets parasites occasionnant le fait que nos protocoles ne ciblaient pas les processus étudiés ici. De ce fait, la neutralisation de ces variables parasites a donné lieu à l'observation non controversée de l'avantage de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée dans notre dernière expérience. Deuxièmement, au regard du nombre élevé d'erreurs dans certaines conditions de la tâche coordonnée, en particulier pour le bloc 1 et les essais difficiles, les interprétations reposant sur les temps de réponse sont moins assises que celles reposant sur les taux d'erreurs. Rappelons que seuls les temps de réponse des bonnes réponses ont été analysés. De ce fait, plus grandes sont les différences des taux d'erreurs entre deux conditions, plus les moyennes des temps de réponse de ces deux conditions sont calculées sur des nombres d'essais différents (ce qui peut porter atteinte à la validité des comparaisons de moyennes que nous effectuons dans nos analyses de variance). Selon cette logique, les interprétations sur les temps de

réponse reposaient sur un nombre d'essais moins important que celles sur les taux d'erreurs. Par conséquent, la valeur du facteur Taux d'erreurs est plus grande que celle du facteur Temps de réponse. L'avantage de précision de l'hémisphère droit est donc plus fiable que l'avantage de l'hémisphère gauche. Ainsi, nous ne pouvons pas exclure la présence d'une dissociation hémisphérique simple pour les traitements coordonnés.

- [Contre-argument de 4.] L'observation de différences hémisphériques restreintes aux essais difficiles ne remet pas en cause la spécialisation de l'hémisphère droit pour les processus coordonnés. Il semblerait nécessaire d'avoir recours à des tâches suffisamment complexes, *de facto* difficilement réalisables, pour pouvoir discriminer des processus cognitifs distincts. Conclure à une absence d'asymétrie fonctionnelle au vu de performances hémisphériques équivalentes pour les essais faciles serait donc une erreur de type II.
- [Contre-argument de 5.] Nous observons des effets de pratique dans les quatre premières expériences. Néanmoins ceux-ci sont difficilement interprétables dû à la contradiction de nos variables dépendantes. En contrepartie, dans l'expérience 5, nous n'observons pas d'effet de pratique de l'hémisphère gauche. L'avantage de l'hémisphère droit est régulier durant la session expérimentale coordonnée. Par conséquence, nous validons la spécialisation de l'hémisphère droit pour le traitement coordonné.

Critique des paradigmes

Rappelons que le moyen employé par la majorité des études pour opérationnaliser l'hypothèse théorique de la dichotomisation des représentations des relations spatiales est l'hypothèse d'une dissociation entre deux tâches et deux réseaux de neurones. La variable Tâche fait appel au paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), nommé aussi paradigme de la barre et du point. La variable Réseau de neurones fait appel, dans la majorité des études, à l'exception de quelques protocoles d'imagerie cérébrale, au paradigme de présentation en champ visuel divisé. Nous allons dans un premier temps présenter quelques remarques méthodologiques relatives à nos études comportementales. Ensuite, nous mènerons une critique du paradigme d'Hellige et Michimata (1989a), puis du paradigme de présentation en champ visuel divisé dans l'étude du/des traitements des relations spatiales.

Remarques générales sur la mesure comportementale

Nous avons mentionné la valeur et la fiabilité différentes des temps de réponse et des taux d'erreurs. Ce point est un problème fondamental dans les interprétations de données dans le champ de la psychologie cognitive. Dans nos expériences, la relation entre nos deux variables dépendantes était négative. Ce fait rend tendancieuses toutes interprétations, c'est en partie pour cela que nous avons persévéré à trouver des résultats non controversés dans cette partie expérimentale. Nous sommes partis du principe que les résultats que nous obtenons doivent s'articuler de manière cohérente et si un fait n'est pas logique par rapport à l'ensemble des faits, alors il remet en cause toutes interprétations. Nous portons donc peu de crédits au contre-argument de 3. Il aurait été préférable soit d'avoir recours à un calcul du d' et du β qui aurait pu nous apporter des éléments plus précis, soit d'utiliser un protocole de modification des temps de présentation pour garder constant l'un des deux facteurs dépendant (Bonnet, 1986). La contrainte de faire des présentations inférieures à 180 ms réduit cette dernière possibilité.

Si la distinction de processus s'effectue sur la base de la difficulté de la tâche, alors nous ne pouvons pas rejeter l'existence d'un processus unique qui présenterait différents niveaux de performances (Dunn & Kirsner, 1988). Nous aurions du avoir recours au moins à une modalité supplémentaire du facteur Tâche pour nous permettre d'appliquer le principe de l'association inversée. Le contre-argument de 4 prête à confusion. De même, si nous utilisons une tâche trop difficile, alors les probabilités de biaiser les analyses sur les temps de réponse et de favoriser les réponses hasardeuses des participants augmentent. Ceci peut avoir pour conséquence d'exclure beaucoup de participants dans nos analyses. En retour, utiliser une tâche trop simple augmente la probabilité d'erreur de type II. De fait, avoir recours à plusieurs niveaux de difficultés des tâches et à différentes tâches est important puisqu'il permet, en plus d'appliquer le principe de l'association inversée, d'appréhender un juste milieu de performances.

Remarques sur le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a)

Ce paradigme présente l'avantage de la simplicité et d'une distance faible entre les modalités des tâches (*i.e.*, jugement coordonné et jugement catégoriel). Ceci est certainement la raison pour laquelle il est très utilisé. En contrepartie, l'utilisation de ce paradigme nécessite certaines précautions en l'absence desquelles toutes interprétations de

résultats, en particulier ceux sur les différences hémisphériques, sont remises en cause. Une attention particulière doit donc être portée sur :

- les stratégies de catégorisation induites par un cadre de référence dans le cas d'une correspondance de l'orientation de la présentation de la distance de référence et des positions catégorielles utilisées,
- les stratégies de rotation mentale dans le cas d'une non-correspondance de l'orientation de la présentation de la distance de référence et des positions catégorielles utilisées, et
- les stratégies de répétitions verbales de la réponse.

En résumé, l'emploi du paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) doit nécessairement faire appel à un contrôle de tout facteur favorisant la mise en place de stratégies catégorielles dans la tâche coordonnée. À plus forte raison, il semblerait que le processus de traitement coordonné fasse appel à des représentations catégorielles, démontré par la comparaison de l'expérience 3 et 4, et/ou que les processus catégoriels soient automatiquement activés dans la tâche coordonnée (Niebauer, 2001).

Remarques sur le paradigme de présentation en champ visuel divisé dans l'étude de processus de traitement spatial

Avoir recours au paradigme de présentation en champ visuel divisé pour l'étude de processus spatiaux représente un certain risque en ce sens que les variables intrinsèques au paradigme, c'est-à-dire les champs visuels, sont d'ordre spatial. Nous nous permettons d'affirmer cela puisque nous suspectons la présence de deux facteurs confondus :

- pour un essai donné, l'effet Simon consiste à appuyer sur la touche correspondant spatialement au côté du champ visuel stimulé dans une tâche dont la consigne ne porte pas sur la correspondance visuo-motrice (Simon & Rudell, 1967). La correspondance S-R est un processus automatique et spatial ; l'effet Simon représente donc un biais non négligeable dans le cas de réponses manuelles, et
- d'un essai à l'autre, des processus attentionnels peuvent biaiser les asymétries fonctionnelles par un processus d'indigage spatial. Ces processus attentionnels engageant des réseaux cérébraux communs à ceux impliqués dans les processus spatiaux, ils peuvent donner lieu à des artefacts dans nos résultats.

In fine, le paradigme de présentation en champ visuel divisé classique ne nous donne aucune indication de la communication des hémisphères. Ce paradigme présume qu'elle est négligeable, mais c'est un postulat. De plus, l'interprétation de données issues de ce paradigme nécessite de se positionner dans un modèle d'interaction inter-hémisphérique. Or, comme nous le verrons dans la partie 2, il n'existe pas aujourd'hui, à notre connaissance, de consensus sur ces modèles et aucun auteur travaillant sur notre domaine n'explique sa position sur le sujet.

Conclusion

Nous n'avons pas suffisamment d'arguments pour valider l'hypothèse de l'existence de processus distincts pour le traitement des relations spatiales. Nous avons mis en évidence plusieurs biais éventuels qui nous ont permis d'élaborer en parallèle une réflexion méthodologique sur les outils que nous avons utilisés. Notre premier objectif étant la réplication des résultats de la littérature sur l'effet de pratique, nous regrettons de n'avoir pas spécifiquement élaboré nos expériences dans le but premier d'analyser les biais des paradigmes. Concernant les autres aspects, nos expériences présentent deux principaux résultats : (1) les processus catégoriels et coordonnés, si tant est qu'ils soient distincts, sont fortement imbriqués ; (2) mobiliser davantage un hémisphère sur certains processus provoque des changements d'asymétries hémisphériques. Nous suspectons donc une large communication entre les hémisphères ; il s'agit là d'un biais éventuel que nous n'avons pas contrôlé dans cette partie expérimentale. Le chapitre 2 sera donc consacré aux liens entre les processus catégoriels et coordonnés et aux liens entre les hémisphères.

Chapitre II

-

La dynamique hémisphérique lors du traitement des relations spatiales

-

Partie théorique

Figure 25 Taijitu de Lai Zhide (1525-1604). Dépourvus de leurs symboliques mystiques, le ying et le yang peuvent être considérés comme une modélisation des relations inter- et intra-hémisphériques.



Objectifs

Dans la première partie expérimentale, nous n'avons pas réuni d'arguments empiriques suffisamment solides pour valider l'hypothèse d'une dichotomisation des traitements des

relations spatiales catégorielles et coordonnées. Toutefois, en optimisant les paradigmes employés, nous avons observé un avantage hémisphérique droit dans la tâche de jugements coordonnés. La neutralisation de variables parasites nous a permis de conclure sur différents points : premièrement, l'avantage d'un hémisphère peut dépendre de l'activité de son homologue dans le paradigme de présentation en champ visuel divisé (voir expériences 4-5). Deuxièmement, nous avons suspecté que les processus coordonnés étaient liés aux processus catégoriels (voir expérience 4). Troisièmement, le niveau de complexité de la tâche catégorielle et de la tâche coordonnée n'est pas équivalent dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) ; ce fait rend difficile l'observation de doubles dissociations hémisphériques.

Les objectifs de cette deuxième partie expérimentale sont : d'une part, tester le lien entre les processus catégoriels et coordonnés ; d'autre part, tester l'interrelation des processus de chaque hémisphère dans le traitement des relations spatiales. Dans un premier temps, nous présenterons des arguments conceptuels marquant l'intérêt d'étudier les connexions entre sous-systèmes fonctionnels. Ensuite, nous étudierons les indices théoriques et expérimentaux en faveur d'une connexion entre les processus catégoriels et coordonnés. Dans un troisième temps, nous présenterons des arguments en faveur d'une interrelation hémisphérique. Nous dresserons une revue des différents modèles des interactions interhémisphériques. *In fine*, nous présenterons trois expériences testant spécifiquement ces différents points.

Arguments conceptuels

L'hypothèse fructueuse de Kosslyn (1987) sur le traitement des relations spatiales a été formulée dans une conception représentationnaliste du système cognitif (Putois, 2009). Le titre de l'article publié par son équipe en 1989 en témoigne : « *Evidence for Two Types of Spatial Representations: Hemispheric Specialization for Categorical and Coordinate Relations* ». Aucune publication sur les relations spatiales ne présente une définition du concept de *représentation*. Cette absence de précaution a engendré des divergences entre les différents chercheurs vis-à-vis des interprétations de leurs résultats, *in extenso*, vis-à-vis de la validation de l'hypothèse de travail. La notion de représentation est large et peu claire en ce sens qu'elle encourage la conceptualisation d'un problème plutôt sous un angle mentaliste que sous un angle concret. L'emploi du terme représentation sans explications précises de ses attributs est, selon nous, l'une des causes principales de la multiplication

d'études des relations spatiales visuelles. Par exemple, Hellige et Michimata (1989a) ont supposé qu'il était « possible que les deux hémisphères accèdent à la même représentation et que les différentes asymétries hémisphériques, dans une tâche catégorielle ou coordonnée, émergent d'autres facteurs, par exemple les hémisphères n'encoderaient pas les stimuli de manière équivalente ». Pour ces auteurs, encoder différemment des stimuli n'est pas constitutif de représentations différentes. De même, Sergent (1991) assumait que « les deux types de relations spatiales peuvent être dérivés de la même représentation [...], un type de relation spatiale peut être contenu dans l'autre type de relation spatiale ». Selon cette auteure, une représentation peut être un emboîtement (*i.e.*, encapsulage) de différents niveaux d'informations. Dans une conception plus algorithmique, Niebauer (2001) suggérait que « les relations coordonnées dépendent des relations catégorielles, mais pas l'inverse, les informations catégorielles seraient une première étape de traitement ». Il supposait différentes étapes de traitement de l'information pour aboutir à une représentation. Nous voyons bien que les interprétations de ces auteurs se retrouvent divergentes vis-à-vis de la question posée : existe-t-il différentes représentations pour le traitement des relations spatiales ? Il semble difficile de différencier des représentations sans se poser la question de leur interaction. Kosslyn et Koenig (1992) ont développé le concept de faible modularité (*i.e.*, *weak modularity*). Nous entendons « modularité » dans le sens défini par Fodor (1983), comme étant le système cognitif composé de modules indépendants, c'est-à-dire que leurs fonctionnements ne peuvent être affectés par le fonctionnement des autres. Par opposition à cette conception, les sous-systèmes fonctionnels décrits par Kosslyn et Koenig (1992) sont fortement interconnectés. « *we should expect "leakage" between the systems* » selon Kosslyn (2006). L'isolement cognitif (*i.e.*, la spécialisation fonctionnelle) serait alors soutenu par la connectivité entre les sous-systèmes fonctionnels ; ce qui, dans notre cas, rend majeure la contribution du corps calleux dans l'émergence des différences hémisphériques. Kosslyn (1987) a fait appel au principe de dégradation transhémisphérique pour opérationnaliser son hypothèse. Il a donc postulé que les spécialisations hémisphériques étaient engendrées, en partie, par des connexions qui isoleraient les processus. Dans le cas de tâches complexes, Kosslyn parle d'un processus de contrôle bilatéral qui permettrait de coordonner l'activité des deux hémisphères. Si nous considérons les traitements coordonnés comme plus complexes que les traitements catégoriels, alors nous pouvons supposer que ce processus de contrôle soit plus efficient dans une tâche métrique. Si tel est le cas, il nous semble donc important de mieux définir ce processus. En d'autres termes, il nous semble pertinent d'évaluer la nature des communications entre les hémisphères. Nous posons donc

l'hypothèse selon laquelle les asymétries fonctionnelles dépendent des communications interhémisphériques.

En résumé, sur le plan des concepts, il nous semble important de concevoir les processus catégoriels et coordonnés comme étant fortement interconnectés, voire fortement articulés et que cette articulation peut se faire au travers des communications interhémisphériques.

Liens entre processus catégoriels et coordonnés

Arguments issus des études comportementales

Les travaux de Sergent (1991) ont montré que la position catégorielle influence de manière automatique un jugement coordonné dans le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a). Elle conclut ses expérimentations de la façon suivante: *“The two hemispheres use qualitatively similar processes in each type of judgment, and although the efficiency of the two hemispheres was found to vary as a function of the distance and of the relative position of objects in the visual field, these variations were essentially symmetrical and did not reflect drastically different representations or operations in the two hemispheres.”*

Niebauer (2001), employant le paradigme Hellige et Michimata (1989a) couplé à un paradigme d'amorçage, a montré que l'amorçage de la position catégorielle facilitait le traitement coordonné, mais que l'inverse était faux. Niebauer (2001) a interprété ce résultat par le fait que le traitement des relations spatiales est sériel et non parallèle. Autrement dit, le traitement coordonné nécessite un traitement catégoriel préalable.

L'effet de pratique de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée mis en évidence dans plusieurs études (voir Chapitre I, p. 37) est interprété selon certains auteurs comme la mise en place d'une stratégie de catégorisation qui deviendrait aussi effective qu'un traitement coordonné authentique. Si un processus catégoriel peut effectuer le jugement coordonné, alors il est probable que le jugement coordonné ne soit pas totalement indépendant de processus catégoriels et que l'authenticité d'un traitement coordonné soit remise en cause.

Dans notre première partie expérimentale, nous avons réfuté le fait que les processus coordonnés soient indépendants et reposent sur un calcul métrique absolu (voir expérience

4). En résumé, nous postulons qu'à un niveau comportemental, il existe des preuves pour attester d'un lien entre les processus catégoriels et coordonnés.

Arguments issus des techniques d'imagerie cérébrale

Les études TEP de Kosslyn et al. (1998) mettent en évidence que les tâches catégorielles et coordonnées activent un réseau d'aires corticales communes. Leurs résultats montrent une plus grande participation des aires pariétales droites dans la tâche coordonnée soustractivement à la tâche catégorielle. Les résultats en faveur d'activations corticales spécifiques lors de la tâche catégorielle ne sont pas évidents. La seule résultante de la soustraction de la condition coordonnée à la condition catégorielle révèle une activation spécifique des aires frontales gauches. Les auteurs expliquent cette différence par un biais langagier, qui, nous semble-t-il, est fondé. Dans leurs observations, l'absence d'asymétrie fonctionnelle (en particulier celle des lobes pariétaux) est justifiée par ces auteurs par deux explications : soit la puissance statistique de leur expérience est faible (bien qu'en réduisant leur seuil Z, ils n'ont toujours pas trouvé de différences claires), soit les processus étudiés sont tellement rapides et automatiques qu'ils ne changent pas les patterns d'activations. Nous pensons que cet argument est faible, en ce sens que des activations spécifiques sont trouvées par leur méthode dans la tâche coordonnée et que la soustraction des conditions tests donne des résultats dans un sens comme dans l'autre. En contre-pied de leur interprétation, nous pensons que leurs résultats montrent l'existence d'un réseau spécifique pour la tâche coordonnée et d'un réseau non spécifique pour la tâche catégorielle ; c'est-à-dire que la tâche coordonnée mettrait à contribution davantage d'aires corticales que la tâche catégorielle avec laquelle elle partage le même réseau d'activations.

Baciu et al. (1999) ont publié les résultats de leur étude IRMf ; contrairement à Kosslyn et al. (1998), ils n'ont pas eu recours à une tâche contrôle ou à une soustraction des patterns d'activations des deux tâches. Baciu et al. (1999) ont focalisé leurs observations sur quelques structures, en particulier les gyri angulaires, et ont utilisé une analyse de variance incluant le nombre de pixels d'activations de chaque hémisphère. Avec cette technique, Baciu et al. (1999) ont mis en évidence des différences hémisphériques générales. Ils ont observé une activation hémisphérique droite plus importante dans la tâche coordonnée et une activation hémisphérique gauche plus importante dans la tâche catégorielle (bien que

non significative en considérant les blocs expérimentaux séparément). Cependant, leur étude a mis en évidence une activation concomitante et inversée des activations des gyri angulaires dans la tâche coordonnée : l'activation du gyrus droit diminuait simultanément avec l'augmentation de l'activation du gyrus gauche. Aucune différence n'a été notée dans la tâche catégorielle. Les auteurs ont conclu que l'hémisphère gauche affine ses catégories progressivement dans la tâche coordonnée. S'ils n'avaient observé qu'une diminution de l'activation du gyrus angulaire droit dans la tâche coordonnée en absence d'augmentation d'activité du gyrus angulaire gauche, alors les auteurs auraient conclu à une diminution de la demande de ressources de la part de l'hémisphère droit, prouvant ainsi l'automatisation, ou, pour le moins, l'amélioration des processus coordonnés de l'hémisphère droit. Nous pouvons interpréter ces résultats sous d'autres angles. En premier lieu, les données de Baciú et al. (1999) ne mettent pas en évidence d'avantage hémisphérique gauche pour le traitement catégoriel ; plus précisément, les gyri angulaires sont identiquement activés dans un jugement catégoriel. En second lieu, l'asymétrie hémisphérique était significative pour la première partie de la tâche coordonnée, non pour la seconde partie. La significativité de la diminution de l'activation du gyrus angulaire droit et celle de l'augmentation du gauche ne prouve pas qu'il existe d'asymétries de ces structures en seconde partie de la tâche coordonnée. En d'autres termes, les hémisphères sont identiquement activés dans la tâche coordonnée en fin d'expérimentation. Enfin, l'activation croissante de l'hémisphère gauche, si tant est qu'il soit spécialisé dans les traitements catégoriels, montre que le jugement coordonné est catégorisable. En résumé, on peut considérer que les résultats de Baciú et al. (1999) ne valident pas la dissociation de traitements des relations spatiales et montrent que catégoriel comme coordonné partage un réseau commun. Cette étude précise les résultats de Kosslyn et al. (1998), mais ne contredit pas l'idée selon laquelle le processus catégoriel peut être inclus dans le processus coordonné.

Trojano et al. (2002) ont étudié les processus catégoriels et coordonnés dans la tâche d'imagerie mentale de Michimata (1997). Le lobe pariétal supérieur, les gyri angulaires et le lobe préfrontal sont bilatéralement activés dans chacune des tâches ; c'est-à-dire que le même réseau cortical est activé dans chacune des tâches. Néanmoins, en employant la technique des cartes de contributions relatives, ils observent des asymétries dans l'activation de ce réseau. Le jugement coordonné engendre une plus grande activation du lobe pariétal droit et préfrontal droit. Le jugement catégoriel engendre une plus grande activation du lobe pariétal gauche et du gyrus angulaire gauche. Comme le précisent ces auteurs, ces activations latéralisées ne sont pas exclusives. Dans leurs analyses d'activations

individuelles, Trojano et al. (2002) n'ont pas observé de patterns d'activations asymétriques chez la totalité de leurs participants. De plus, dans ces mêmes analyses, ils ont observé que le nombre de voxels d'activations des lobes pariétaux était identique entre les tâches et entre les hémisphères. La seule différence significative qu'ils aient trouvée était une différence d'activations entre les tâches pour le lobe pariétal droit. Cette étude montre la forte implication du lobe pariétal dans le traitement des relations spatiales et la congruence des patterns d'activations entre perception et imagerie visuelle. Une fois de plus, cette étude montre un réseau commun entre processus catégoriels et coordonnés, bien que quelques différences soient notées, mais pas de manière univoque.

En résumé, les travaux ayant recours aux techniques d'imagerie cérébrale montrent que les jugements catégoriels et coordonnés activent deux réseaux diffus et fortement chevauchés. Quelques spécificités propres à chaque tâche existent, mais qui iraient principalement dans le sens d'une activation différente d'un même réseau ou d'une mobilisation d'aires supplémentaires pour la tâche coordonnée. La probabilité d'un système unique à différents niveaux d'activations est donc non nulle ; tout comme la probabilité que le système catégoriel soit encapsulé dans le système coordonné.

Liens entre les hémisphères dans le traitement des relations spatiales

Indices à partir des données de l'imagerie cérébrale

En nous appuyant sur les résultats de Baciú et al. (1999) sur l'effet de pratique du gyrus angulaire gauche dans la tâche coordonnée, nous pouvons considérer que l'activation des gyri angulaires fonctionne comme un vase communicant ; c'est-à-dire, quand l'un se vide, l'autre se remplit. A l'évidence, l'activation croissante du gyrus angulaire gauche est concomitante à une activation décroissante du gyrus angulaire droit lors d'un jugement coordonné (voir figure 3, p. 64). À partir de cette figure, nous pouvons élaborer plusieurs scénarii. Par exemple, le gyrus droit pourrait exciter le gyrus gauche et en parallèle le gyrus gauche inhiberait le gyrus droit. Ces structures sont des structures corticales paires et sont donc interconnectées via le corps calleux. Nous pouvons aussi imaginer que l'antagonisme

de ces structures repose sur une inhibition plus forte de l'hémisphère gauche sur l'hémisphère droit que de l'hémisphère droit sur le gauche. Il existe des résultats expérimentaux allant dans le sens de communications interhémisphériques non réciproques entre les hémisphères (voir après).

Van der Lubbe et al. (2006) ont utilisé la méthode de potentiels évoqués à mesures répétées pour tester les processus de traitements des relations spatiales. Leurs résultats comportementaux valident l'hypothèse de Kosslyn (1987), mais pas leurs données électrophysiologiques. Ils n'ont observé ni une plus grande activité de l'hémisphère droit pour la tâche coordonnée, ni une plus grande activité de l'hémisphère gauche pour la tâche catégorielle. En contrepartie, Van der Lubbe et al. (2006) ont trouvé une plus grande positivité de l'hémisphère droit dans la tâche catégorielle que dans la tâche coordonnée. Ce fait semble être contradictoire avec l'hypothèse de Kosslyn (1987). Selon ces auteurs, la diminution de la positivité de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée n'est pas contradictoire avec l'hypothèse d'un traitement séparé des relations catégorielles et coordonnées. Cet effet peut être dû à une activation additionnelle de l'hémisphère gauche dans le jugement coordonné ou à une inhibition de l'hémisphère droit durant le jugement catégoriel. Selon ces auteurs, ces interprétations ont été cherchées un peu loin (*dixit* Van der Lubbe et al., 2006). À notre avis, les deux interprétations sont plausibles et, à défaut, si ce n'était pas le cas, alors l'hypothèse de Kosslyn (1987) serait rejetée. Ces résultats sont donc une preuve soit d'une implication de l'hémisphère gauche dans le traitement coordonné qui pourrait s'expliquer par un prétraitement catégoriel nécessaire à la réalisation d'un jugement coordonné, soit ces données montrent l'importance de la communication interhémisphérique lors du jugement de relations spatiales.

Indices à partir des données des modélisations informatiques

Les simulations de Kosslyn, Chabris, Marsolek et Koenig (1992) ont montré que deux tâches sont mieux réalisées par deux réseaux différents que par un même réseau. Ceci a été considéré comme un argument théorique en faveur de la dichotomisation des traitements catégoriels et coordonnés. Nous pensons que cet argument théorique est plus en faveur d'une conception modulaire du système cognitif qu'une conception computo-fonctionnelle qui préconise des connexions entre les réseaux. Remarquons que les réseaux testés aussi

bien dans la tâche coordonnée que catégorielle étaient des perceptrons multi-couches dont l'unique fonction est de catégoriser l'espace d'entrée. Les réseaux ne se différençaient pas sur le traitement qu'ils réalisaient, mais sur leur architecture, la taille des champs récepteurs ; cette dernière est un paramètre important, mais non suffisant pour décrire les asymétries hémisphériques (Kosslyn et al., 1994).

Les travaux de Magué et Paugam-Moisy (2001) répliquent l'effet de pratique de l'hémisphère gauche en employant une mixture d'expert. Ils ont optimisé la taille des champs récepteurs d'un réseau pour réaliser une tâche catégorielle (*i.e.*, réseau catégoriel) et ont fait de même pour un réseau réalisant une tâche coordonnée (*i.e.*, réseau coordonné). Ils ont ensuite connecté ces deux réseaux avec un module aiguilleur, qui, en fonction de la sortie de chacun des deux réseaux et de la réponse attendue, octroyait une plus grande probabilité de réponse à l'un des deux réseaux. Ainsi, la probabilité de réponse du réseau coordonné diminuait, alors que la probabilité de réponse du réseau catégoriel augmentait au fur et à mesure de la réalisation de la tâche coordonnée. L'étude de Magué et Paugam-Moisy (2001) réplique donc les résultats de Baciú et al. (1999). Il est important de dire que le module aiguilleur aurait la même fonction qu'une inhibition latérale entre les deux réseaux (Regia, Goodal, & Shkuro, 1998 ; Jacobs, 1999 ; Shevtsova & Reggia, 1999). En d'autres termes, la modélisation de l'effet de pratique de l'hémisphère gauche dans un jugement métrique nécessite de connecter les deux types de réseaux.

Shevtsova et Reggia (1999) ont modélisé la latéralisation dans une tâche d'identification de lettres. Leur objectif principal était de tester quel type d'asymétrie était à l'origine de la latéralisation de fonctions. Dans une de leurs simulations, ils ont comparé deux réseaux symétriques (*i.e.*, modèle contrôle) à deux réseaux asymétriques (*i.e.*, modèle test) en manipulant la force d'inhibition de leurs connexions mutuelles (*i.e.*, corps calleux). Le modèle symétrique était doté de deux réseaux qui avaient les mêmes paramètres ; en revanche, le modèle asymétrique était doté de deux réseaux qui se différençaient par un seul paramètre. La force de l'inhibition du corps calleux variait selon le poids de la connexion et du radius du corps calleux. La latéralisation était mesurée en faisant la différence entre le taux d'erreurs des deux réseaux interconnectés. Cette modélisation a montré que, quel que soit le type d'asymétrie, plus l'inhibition interhémisphérique était forte, plus la latéralisation était importante. D'une manière générale, les travaux sur les relations spatiales ont relaté d'une plus grande asymétrie hémisphérique dans la tâche coordonnée que dans la tâche catégorielle. Nous pouvons donc supposer que les

communications interhémisphériques sont plus importantes dans la tâche coordonnée que dans la tâche catégorielle indépendamment de la spécialisation de chaque hémisphère.

En résumé, les principaux travaux de modélisations informatiques des processus catégoriels et coordonnés (Baker, Chabris, & Kosslyn, 1999 ; Cook et al. 1995; Kosslyn, Chabris, Marsolek, Jacobs, & Koenig, 1995; Kosslyn et al., 1992) ne vont pas dans le sens de l'existence de connexions entre les réseaux impliqués dans le traitement coordonné et catégoriel, à plus forte raison que ces études n'ont pas été menées à cette fin. Seule l'étude de Magué et Paugam-Moisy (2001) suggère une influence importante des connexions interhémisphériques. De plus, en comparant les modélisations de Shevtsova et Reggia (1999) avec les données sur les asymétries hémisphériques du traitement des relations spatiales, nous concluons à une forte influence des connexions interhémisphériques dans le jugement coordonné.

Indices à partir des données de la neuropsychologie

Un moyen efficace de connaître l'influence des connexions interhémisphériques est d'étudier leurs absences. Deux études sur les patients commissurotomisés menées par Sergent (1991a, 1991b) ont montré que les hémisphères isolés compilent les deux types de représentations, catégorielles et coordonnées. Ces observations étaient en contradiction avec l'hypothèse de Kosslyn (1987). Cependant, Sergent précisait que la spécialisation hémisphérique n'était pas absolue, mais relative ; il est donc logique que chaque hémisphère puisse traiter chaque type de relations spatiales. L'hypothèse de Kosslyn (1987) ne semblerait pas remise en cause, pourtant Sergent n'observait pas d'avantage ni de l'hémisphère gauche pour les jugements de type catégoriel, ni de l'hémisphère droit pour les jugements de type coordonné. À partir de ce fait, nous pouvons concevoir trois interprétations possibles. Premièrement, la plasticité neuronale faisant, chaque hémisphère de ces patients recouvrait une capacité égale dans le traitement de chaque type de représentations des relations spatiales. Néanmoins, nous pouvons supposer que le processus de plasticité cérébrale ne soit pas structurellement équivalent d'un patient à l'autre, ce qui laisserait entendre une disparité des asymétries hémisphériques entre chaque patient, ce qui n'était pas le cas dans les observations de Sergent (1991a, 1991b). Deuxièmement, bien que la spécialisation hémisphérique soit relative, l'hypothèse de Kosslyn (1987) est fausse.

Troisièmement, l'hypothèse de Kosslyn (1987) est valide, mais il est nécessaire qu'il y ait des connexions entre les hémisphères pour observer des différences hémisphériques. Nous ne pouvons conclure sur cette dernière interprétation en ce sens que Sergent n'a pas apparié son groupe de patients à un groupe de sujets normaux. Néanmoins, cette interprétation semble logique, puisqu'elle valide les modélisations de Shevtsova et Reggia (1999) selon lesquelles plus l'intensité des connexions interhémisphériques est forte, plus le contraste entre les performances de chaque hémisphère est grand. De plus, comme nous l'avons vu dans le chapitre I (p. 53) sur les études des patients cérébrolésés, l'hémisphère non-lésé des patients présente des performances moins bonnes que celui des sujets contrôles ; ce qui laisse entendre que l'interaction des deux hémisphères est une condition nécessaire à un bon niveau de performances.

Indices à partir de la méthodologie comportementale

Andresen et Marsolek (2005) ont calculé la corrélation entre les différences hémisphériques et le type de processus dans le traitement des relations spatiales en utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Selon eux, une corrélation négative entre les performances de chaque hémichamp visuel en fonction de chaque processus validerait les modèles de complémentarité des traitements hémisphériques (par exemple, le modèle de Cook, 1984 ou l'effet boule de neige de Kosslyn, 1987, voir ci-après). En effet, si l'hémisphère droit est dominant pour un processus A (processus A qui est complémentaire à un processus B), alors l'hémisphère gauche devrait être dominant pour le processus B. De même, une corrélation positive entre deux processus en fonction de chaque hémisphère validerait les modèles reposant sur des différences de bas niveau de traitement entre les hémisphères (voir p. 41). En effet, si l'hémisphère droit est dominant pour le traitement des relations coordonnées, alors il devrait être aussi dominant pour ces traitements dans deux types de tâches différentes. Enfin, une absence de corrélation entre deux types de processus et les différences hémisphériques signifierait une absence de lien entre les asymétries fonctionnelles et la complémentarité des processus. Andresen et Marsolek (2005) ont observé une corrélation positive entre les hémisphères et les types de jugements ; c'est-à-dire que plus un hémisphère mettrait du temps pour répondre à un type de jugement (par exemple catégoriel), plus son homologue mettrait du temps pour répondre à ce même type

de jugement. Nous pensons que ce résultat est une preuve que les deux hémisphères dans une tâche de présentation en champ visuel divisé agissent comme un seul système et que les performances observées sont les résultats de l'intégration de l'interaction des deux hémisphères et non d'un seul. Toutefois, nous sommes sceptiques sur la démarche d'Andresen et Marsolek (2005). En effet, ils ont utilisé des corrélations pour tester des hypothèses opérationnalisées et décrites par des fonctions de causalité. Les corrélations n'ont jamais permis d'établir de telles fonctions. Enfin, Andresen et Marsolek (2005) n'ont pas utilisé un paradigme qui manipule directement les interactions hémisphériques (ils ont comparé des présentations unilatérales droites à des présentations unilatérales gauches) ; ce qui expliquerait certainement l'absence de significativité des corrélations obtenues. Les résultats d'Andresen et Marsolek (2005) suggèrent une corrélation positive entre les hémisphères. Ce résultat demande à être confirmé par d'autres techniques, étant donné que la présentation en champ visuel divisé classique présente certains désavantages. À ce propos, dans l'une de ses publications de 1991, Sergent rappelle une citation d'Ungerleider et Mishkin (1982, p. 560), « *The posterior parietal cortex does not seem to receive a heavy input via the corpus callosum from striate cortex neurons representing the ipsilateral visual field. Thus, each posterior parietal area may be organized largely as a substrate for contralateral spatial function* ». Ce fait justifie la méthode de présentation en champ visuel divisé au niveau des inputs hémisphériques. Malgré tout, les lobes pariétaux sont fortement interconnectés. Nous pourrions reprendre le titre d'un article de Banich (1998) « *Le lien oublié* », pour décrire le fait que la majorité des études sur le traitement des relations spatiales n'a pas tenu compte du paramètre de la communication interhémisphérique (*nonobstant* les recherches de Sergent). Le paradigme de présentation en champ visuel divisé repose effectivement sur le postulat que le transit d'informations via le corps calleux soit dégrade l'information, soit prend du temps. L'emploi de ce paradigme se situe dans le cadre du modèle proposé par Zaidel (1986, voir après). Or, nous savons d'une part que les informations présentées dans un hémichamp visuel sont certes données en premier lieu à un hémisphère, mais que très précocement l'autre hémisphère les reçoit aussi. Les informations présentées en champ visuel divisé ne sont vraisemblablement pas communiquées à l'hémisphère non cible au niveau des aires primaires, mais elles seraient transmises à l'hémisphère ipsilatéral à la stimulation au niveau temporel et cortical (Marzi, 1986). D'autre part, nous savons que les hémisphères ne travaillent pas séparément, le corps calleux permet un travail collaboratif ou compétitif entre eux. Prenant en considération ces deux faits, la comparaison entre les deux hémichamps visuels ne nous permet pas de

contrôler l'importance de la contribution de l'hémisphère ipsilatéral au champ visuel stimulé. Sachant que le temps d'un transfert calleux est estimé au maximum à 20 ms (Braun, Collin, & Mailloux, 1997 ; Braun, Sapin-Leduc, Picard, Bonnenfant, Achim, & Daigneault, 1994) et que le temps de réponses moyen à une tâche coordonnée du paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) est en moyenne de 630 ms, il est donc possible qu'il y ait eu théoriquement au moins 24 $((630\text{ms}-150\text{ms})/20\text{ms})$ échanges hémisphériques. Dans ces conditions, que reflètent les différences latérales de performances ?

Résumé

D'une part, il y a de multiples raisons de croire qu'il existerait un lien entre les processus catégoriels et coordonnés et, d'autre part, il n'y a aucune raison de croire que les hémisphères traiteraient les relations spatiales de manière indépendante. Il nous semble important d'étudier la dynamique des hémisphères. Pour cela, nous avons pris connaissance des travaux portant sur l'optimisation du paradigme de présentation en champ visuel divisé et des modèles d'interaction hémisphérique.

Modèles de la dynamique hémisphérique

Quelle est la *dynamique des hémisphères* ? Nous entendons par dynamique des hémisphères un thème général qui répond aux questions suivantes : (1) comment une tâche est-elle prise en charge par les hémisphères ? (2) le travail de chaque hémisphère est-il indépendant, coopératif ou compétitif ? (3) que reflètent les différences de performances observées entre des stimuli présentés unilatéralement, bilatéralement ou en position centrale ? (4) que signifie la spécialisation hémisphérique ? Une différence de capacité de traitement entre les hémisphères ? Une différence d'activations hémisphérique causée par des allocations de ressources, par un aiguillage des informations, par une régulation du corps calleux ou bien par une inhibition interhémisphérique ? Le nombre de questions est élevé, au même titre qu'il existe de nombreuses hypothèses sur la dynamique des hémisphères. La large palette d'hypothèses proposée dans ce domaine s'explique par plusieurs faits. Certains auteurs ont une réelle volonté de modélisation du traitement des hémisphères, d'autres présentent quelques explications des phénomènes qu'ils observent, d'autres encore ont vocation à

optimiser ou à critiquer les paradigmes utilisés et les conclusions que l'on peut en tirer. Certaines propositions sont construites dans une articulation expérimentale, d'autres sont élaborées à partir de faits computationnels, neuropsychologiques ou neurophysiologiques. Cette diversité des approches fait émerger une grande quantité de modèles explicatifs de la dynamique des hémisphères et explique l'absence de consensus des chercheurs sur ce processus. Nous allons décrire les principaux modèles qui ont été proposés ; certains de ces modèles donnent des prédictions contraires, d'autres peuvent être complémentaires. Nous avons donc choisi de regrouper de manière arbitraire, mais logiquement articulée, les principales propositions qui ont été émises sur la dynamique hémisphérique. Dans cette présentation, nous décrirons chaque proposition en mentionnant sur quelles observations ou paradigme chacune s'appuie. Mentionner ces précisions nous semble important pour concevoir une vue d'ensemble des différents modèles et ainsi comprendre la diversité des conceptions. Remarquons que nous n'analyserons aucun modèle qui repose uniquement sur des constats de différences qualitatives entre les hémisphères (pour de bonnes revues, Tiberghiem & Versace, 1983 ; Versace, 1986). Après cette analyse, nous présenterons des données sur les fonctions du corps calleux pour nous permettre de mieux critiquer les différents modèles. En effet et comme nous allons le voir, rares sont les modèles qui ont défini avec précision le rôle des commissures interhémisphériques. Enfin, nous établirons une synthèse faisant abstraction des faits empiriques. Cette synthèse consistera en un résumé des différentes approches, un résumé des méthodes utilisées pour l'étude de la dynamique hémisphérique et un résumé des effets à prendre en considération pour la modélisation de la dynamique hémisphérique.

Modèle de spécialisation unilatérale

Le principe de ces modèles repose sur le fait qu'un seul hémisphère est capable de réaliser un type de traitement particulier, mais pas son homologue. Cette hypothèse a été la première à avoir été formulée sur la dynamique des hémisphères (Broca, 1865 cité dans Allen 1983; Dax, 1865). *Stricto sensu*, les asymétries hémisphériques seraient donc régies selon un principe du tout ou rien. Cette hypothèse a été modérée par l'avancement des connaissances sur le système cognitif, tant sur le plan neurophysiologique que psychologique. Aujourd'hui, les chercheurs parlent davantage de spécialisations hémisphériques que de dominances totales d'un hémisphère sur l'autre. Toutefois, certains modèles reposent plus sur une conception unilatérale, comme par exemple le modèle de Zaidel (voir ci-après). Les

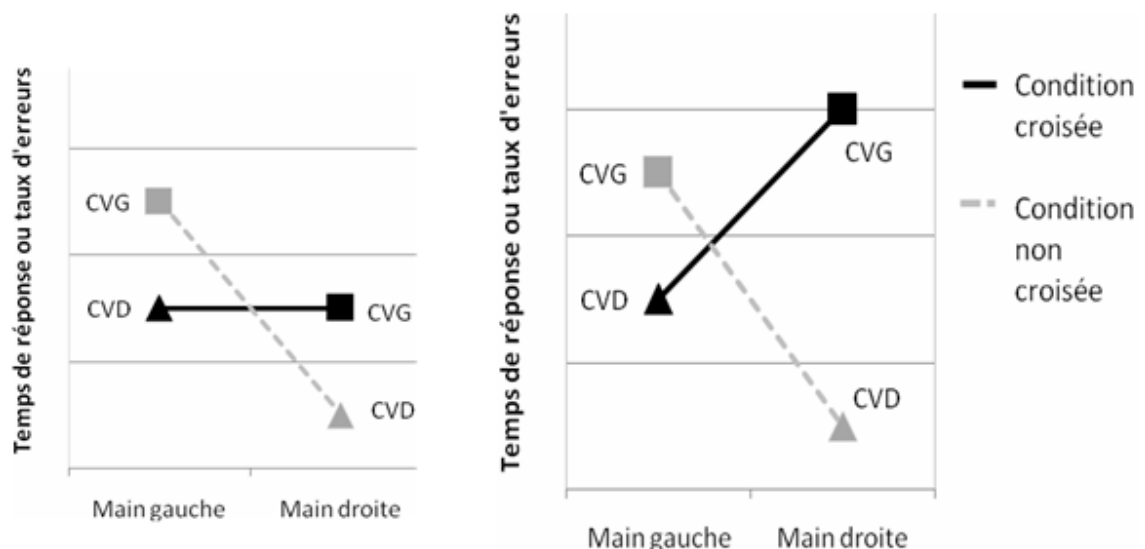
modèles de spécialisation unilatérale s'opposent donc en partie aux modèles d'activations bilatérales qui stipulent que les deux hémisphères sont capables de traiter l'information.

Le modèle d'accès direct et le modèle de relais calleux

Le modèle de Zaidel (1986) a été conçu comme un outil d'interprétation des résultats du paradigme de présentation en champ visuel divisé. Les réponses à un champ visuel refléteraient soit les performances de l'hémisphère controlatéral, dit modèle d'accès direct (*i.e.*, *direct access model*), soit les performances de l'hémisphère spécialisé pour la tâche, dit modèle à relais calleux (*i.e.*, *callosal relay model*). Dans le modèle à relais calleux, si l'information est transmise en premier lieu à l'hémisphère non spécialisé dans la tâche, cette information est communiquée à l'autre hémisphère par un relais calleux. Ce relais calleux, conformément à la théorie de l'information de Shannon et Weaver (1949), prendrait du temps ou détériorait l'information ; ce qui expliquerait des temps de réaction ou des taux d'erreurs plus élevés dans la condition où l'hémichamp visuel est ipsilatéral à l'hémisphère dominant. En fait, Zaidel considère que certaines tâches peuvent être réalisées par les deux hémisphères, mais à des niveaux de performances différents. On parle alors de spécialisation hémisphérique relative ou de mode d'accès direct. D'autres tâches peuvent être réalisées uniquement par un seul hémisphère (on parle alors de spécialisation hémisphérique absolue ou de mode de relais calleux) et, dans ce cas, nécessiterait un relais d'informations entre les hémisphères. Le modèle de Zaidel est intéressant, car il offre une procédure pour déterminer opérationnellement les dominances hémisphériques. Pour cela, Zaidel compare le cas de figure où les facteurs Champ visuel et Main de réponse sont significatifs (mais pas leur interaction) au cas où ces facteurs sont uniquement en interaction (cf. 0). Dans le premier cas, l'absence d'interaction permet de conclure à la nécessité d'un relais calleux et donc permet de valider l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique. Dans le second cas, l'interaction significative des facteurs Champ visuel et Main de réponse permet de conclure à l'existence d'un mode d'accès direct (c'est-à-dire permettant de rejeter l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique absolue). En absence d'effet du facteur Main, Zaidel conclut alors qu'aucun des hémisphères n'est spécialisé pour réaliser la tâche, que le facteur Champ visuel soit significatif ou non. En effet, la condition où l'hémichamp visuel controlatéral à la main de réponse est stimulé (*i.e.*, condition croisée) demande un relais calleux, alors que la condition où l'hémichamp visuel ipsilatéral à la main de réponse est stimulé (*i.e.*, condition non croisée) ne demande pas de relais calleux. La différence entre

ces deux conditions est nommée CUD (*i.e.*, *crossed-uncrossed differential*). Elle représenterait le temps de relais interhémisphérique (Bashore, 1981). Il est important de noter que la majorité des expériences utilisant le paradigme de champ visuel divisé fait implicitement appel au modèle de Zaidel, et à notre connaissance, rares sont les auteurs qui appliquent sa méthode. Manifestement, il est rare que les effets simples du facteur Main ou de ses interactions soient analysés dans cette perspective.

Figure 26 Représentation des modèles de Zaidel à relais calleux (*i.e.*, spécialisation hémisphérique : figure de gauche) et d'accès direct (*i.e.*, non spécialisation hémisphérique : figure de droite) présentés par Braun, Sapin-Leduc, Picard, Bonnenfant, Achim, et Daigneault (1994). Les effets simples de ces deux facteurs sont significatifs dans le modèle relais calleux. (CVD : champ visuel droit; CVG : Champ visuel gauche). L'interaction des facteurs Champ visuel et Main de réponse est significative dans le modèle d'accès direct.



Critique méthodologique de l'approche structurale de Zaidel

Une très bonne présentation et amélioration du modèle de Zaidel a été formulée par Braun et al. (1994). Braun et ses collaborateurs ont proposé une adaptation du modèle de Zaidel selon laquelle les connexions entre les hémisphères seraient excitatrices. Ils ont aussi révisé les principes méthodologiques de Zaidel pour la validation de spécialisations hémisphériques. Dans le cas d'une interaction des facteurs Champ visuel * Main de réponse, le niveau

d'influence du relais calleux est évalué par une mesure du CUD pour inférer le niveau de spécialisation hémisphérique. Leur modèle est donc plus flexible que la rigidité opératoire du modèle de Zaidel qui consiste à exclure toutes conclusions de spécialisation hémisphérique dans le cas où aucun relais calleux n'est suspecté. De même, Moscovitch (1986) a critiqué la démarche méthodologique de Zaidel et a démontré théoriquement que des différences de performances entre les hémichamps visuels ne peuvent pas permettre de savoir lequel des deux hémisphères est efficace pour traiter l'information ou lequel transfère l'information à l'autre. Moscovitch considère le travail cognitif comme une suite d'étapes, ce qui lui permet de concevoir plus clairement les relations entre les hémisphères (cf. 0) : les hémisphères ne sont pas spécialisés pour réaliser l'ensemble des étapes permettant de réaliser une tâche ; les hémisphères sont chacun spécialisés dans des étapes différentes du traitement de l'information. Si tel est le cas, alors des différences entre les champs visuels en présentation unilatérale ne permettent pas de conclure lequel des deux hémisphères est dominant.

Figure 27 Exemple de possibilité de modélisation hémisphérique proposé par Moscovitch. [Figure tirée de Moscovitch, M. (1986). Afferent and efferent models of visual perceptual asymmetries: theoretical and empirical implications. *Neuropsychologia*, 24(1), 91-114].

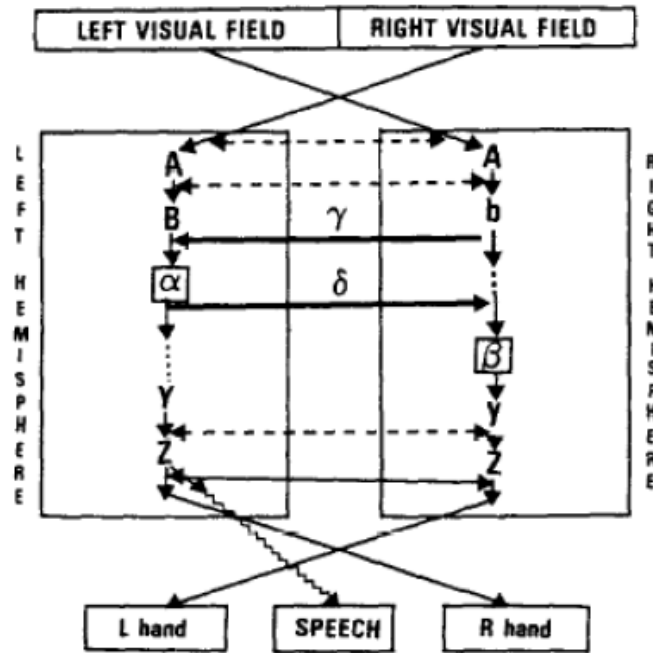


FIG. 4c. Mixed case: left- and right-hemisphere localization. Component process α is functionally localized to the left hemisphere whereas β is functionally localized to the right. For simplicity, all other components are equally efficient on the two sides. In this case, the RVF will be favored by a value determined by γ (see text). This difference between LVF and RVF stimuli is maintained even as information from α is transmitted across pathway δ to component β in the right hemisphere.

La proposition de Zaidel est la base méthodologique du paradigme de présentation en champ visuel. Cependant, ce modèle a été de nombreuses fois remis en question, car il n'explique pas les effets rencontrés dans d'autres paradigmes ; par exemple, le gain de la présentation bilatérale de stimuli identiques sur la présentation unilatérale (voir modèles parallèles), les effets d'amorçages hémisphériques (voir modèles d'allocation de ressources), les plus grandes asymétries observées dans le cas des présentations bilatérales de stimuli différents (voir modèle de Boles). Quand bien même, les deux hémisphères auraient la capacité de réaliser une même tâche, Zaidel n'a pas précisé quels mécanismes détermineraient celui qui serait le plus performant. Ce modèle est un modèle fonctionnel et ne repose aucunement sur une réflexion neurobiologique. Ainsi, le lien fonctionnel entre l'inhibition/excitation du corps calleux et le relais d'informations n'a pas été explicité. Ce modèle a fréquemment été adapté ou pris comme trame de fond (modèle du métacontrôle ou modèle de Moscovitch).

En résumé, le modèle de Zaidel est un modèle plutôt unilatéral des interactions interhémisphériques en ce sens que la communication entre les hémisphères reposerait essentiellement sur un relais d'informations à l'hémisphère dominant. C'est un modèle fonctionnel qui propose une procédure méthodologique et prédictive. Cette procédure a été

critiquée par plusieurs auteurs (Braun et al. 1994 ; Moscovitch, 1986) et semble être non suffisante pour comprendre la dynamique des hémisphères.

Les modèles de contrôle

Le concept de métacontrôle

Sur la base d'observation neuropsychologiques des patients commissurotomisés, Levy et Trevarthen (1976) ont distingué la *capacité hémisphérique* et la *dominance hémisphérique*. La *capacité* reflète la performance d'un hémisphère à réaliser une tâche. La *dominance* représente le degré de la prise en charge d'une tâche par un hémisphère. Dans leur expérience, Levy et Trevarthen (1976) ont observé une corrélation négative entre la capacité et la dominance des hémisphères ; de ce fait, ils ont conceptualisé la notion de *métacontrôle*. L'hémisphère ayant le plus de capacités n'est pas forcément celui qui prend le contrôle de l'information. Levy et Trevarthen (1976) ont défini le *métacontrôle* comme « un mécanisme neutre qui détermine quel hémisphère est apte à contrôler l'opération cognitive ». Afin de valider ce mécanisme chez le sujet sain, Hellige, Jonson et Michimata (1988) ont mis au point un paradigme, dit « paradigme de redondance bilatérale ». Selon Hellige et al. (1988), si un hémisphère prenait le métacontrôle, alors les temps de réponse lors de la présentation bilatérale (*i.e., both visual field, BVF*) devraient être équivalents à ceux lors de la présentation controlatérale à l'hémisphère contrôlant. Or, dans une tâche de comparaisons de visages, les auteurs ont observé que la présentation bilatérale détériorait les performances. Nous pouvons répertorier quatre causes possibles : premièrement, dans leur expérience, la proportion d'essais en BVF était d'un tiers ; cette modalité ayant une fréquence moindre que celle en présentation unilatérale aurait pu engendrer des baisses de performances. La deuxième raison est que selon Liederman, Merola et Martinez (1985) en présentation bilatérale, chaque hémisphère commence à traiter le stimulus par lequel il a été activé jusqu'au moment où les deux hémisphères comparent le résultat de leurs calculs. Ce phénomène serait, selon les auteurs, mis en place uniquement pendant la présentation bilatérale, ce qui engendrerait des latences de réponse supérieures en présentation bilatérale qu'en présentation unilatérale. La troisième explication possible énoncée par Hellige et al. (1988) est que l'accroissement des temps de réponse en présentation bilatérale serait dû à des facteurs attentionnels. Traiter deux stimuli demanderait deux fois plus de « *processing resource* » que d'en traiter un seul (Holtzman & Gazzaniga, 1982, voir la partie sur les

modèles parallèles). La dernière interprétation possible considère que l'augmentation des temps de réaction en présentation bilatérale serait due à l'effet d'inhibition interhémisphérique. D'autres études comparant les performances en présentation bilatérale aux performances en présentation unilatérale n'ont pas montré un désavantage de la présentation bilatérale. À titre d'exemple, une tâche de comparaisons de lettres présentées bilatéralement engendrait le même pattern de résultats que si les lettres étaient présentées dans le champ visuel droit (Hellige & Michimata, 1989b). De même, Hellige, Taylor et Eng (1989), dans une tâche de reconnaissances de trigramme ont répliqué cette observation. Hellige et ses collaborateurs ont donc apporté des faits empiriques en faveur d'un processus de métacontrôle qui serait pour le moins présent dans des tâches employant du matériel verbal. Les études portant sur le traitement des relations spatiales ont montré que la présentation centrale (Kosslyn et al., 1989) ou bilatérale (Hellige & Michimata, 1989a ; Sergent, 1991a) améliorait les performances des participants. Hellige et Michimata (1989a) ont proposé que l'hémisphère gauche prendrait le contrôle des traitements des relations spatiales lors de présentations bilatérales. Des études (Belger & Banich, 1992 ; Weissman & Banich, 2000) ont apporté des précisions au modèle de métacontrôle ; ce processus ne se mettrait en place que dans le cas de tâches complexes. En effet, l'étude d'Hellige et Michimata (1989a) a montré que les performances de la condition champ visuel droit (hémisphère gauche) étaient identiques à celles de la condition bilatérale uniquement pour la tâche coordonnée, tâche qui était plus complexe que la tâche catégorielle.

Banich et Karol (1992) ont montré que le modèle de métacontrôle n'était pas vraisemblable. En manipulant différents niveaux de l'information ainsi que les processus décisionnels, ils ne sont pas arrivés à prédire, à partir de conditions de présentation unilatérale, les résultats obtenus en présentation bilatérale. Leurs données ont suggéré plutôt que les échanges hémisphériques seraient régis selon un modèle en cascade (McClelland, 1979) de telle sorte qu'un processus engendré à un niveau de traitement influencerait successivement les autres niveaux de traitement. Selon leurs termes, l'interaction interhémisphérique serait alors bien plus que la somme des activités de chaque hémisphère ou que la résultante d'un processus de métacontrôle. L'interaction hémisphérique ne serait pas à réduire à un transit d'informations entre les hémisphères ou à la prise en charge de l'information par un seul hémisphère, mais à un système de répartition des traitements lorsque la tâche est trop complexe (pour une revue voir, Banich, 1998).

En résumé, le modèle de métacontrôle a été proposé par Levy et Trevarthen (1976) ; il a été adapté par Hellige et al. (Hellige, Jonsson, & Michimata, 1988 ; Hellige & Michimata, 1989b ; Hellige et al. 1989) et critiqué par Banich et al. (Banich & Karol, 1992 ; Berger & Banich, 1992). Le plus important à retenir est qu'un hémisphère prend le contrôle sur son homologue. Le processus de métacontrôle se mettrait en place dans des tâches complexes, c'est-à-dire dans des tâches requérant une large quantité de traitements. Hellige (1993) a précisé que ce processus serait particulièrement bénéfique dans le cas de présentations bilatérales pour des tâches activant des processus mutuellement inconsistants (par exemple, distribuer de l'attention soit de manière locale, soit de manière globale). Ce concept de métacontrôle est flou et non précis ; Hellige s'est excusé par le fait qu'il n'existerait pas un seul type d'interactions interhémisphériques, mais plusieurs types de coopérations interhémisphériques émergeant lors de différentes occasions (Hellige, 1993, p. 202).

Le modèle de localisation fonctionnelle

Comme le précise Hellige (1993), le mécanisme biologique responsable du mécanisme de métacontrôle reste à déterminer. L'accréditation de ce concept a été difficile en ce sens que le processus de métacontrôle a été au départ décrit chez des patients présentant une absence de corps calleux. Il est donc difficile de croire en la nécessité des fonctions du corps calleux pour expliquer le phénomène de métacontrôle. Or, Moscovitch (1976) a montré une importance cruciale du corps calleux dans l'attribution des dominances hémisphériques. Contrairement aux conclusions de Broca (1865, cité dans Allen, 1983), Sperry (1968) et Gazzaniga (1970) ont observé chez des patients commissurotomisés que l'hémisphère droit avait des capacités langagières. Selon Moscovitch (1976), l'organisation fonctionnelle des hémisphères de personnes saines diffère de celle de patients commissurotomisés. Ses expériences portant sur les capacités langagières de l'hémisphère droit montrent que le comportement langagier de personnes saines reflète seulement les performances de l'hémisphère gauche, alors que les capacités langagières de l'hémisphère droit s'expriment chez les patients commissurotomisés. « *The normal subjects behaved « as if » the minor hemisphere did not possess any linguistic skill* » dicit Moscovitch (1976). Les capacités langagières de l'hémisphère droit, aussi limitées soient-elles, sont présentes dans des proportions équivalentes à celles de personnes saines, aphasiques ou commissurotomisées. Ces compétences sont rendues non fonctionnelles par l'hémisphère dominant seulement si elles peuvent être affaiblies ou dissimulées ; ce qui est le cas chez les personnes saines.

Moscovitch (1973) a proposé un modèle de localisation fonctionnelle (*i.e.*, *model of functional localization*) par lequel l'hémisphère dominant supprime les performances de l'hémisphère non dominant. Moscovitch (1976) a listé une série d'études neurologiques et neuropsychologiques dans lesquelles des lésions de l'hémisphère gauche libèrent les fonctions langagières de l'hémisphère droit. De même, des patients souffrant d'agénésie calleuse, c'est-à-dire d'une absence de corps calleux, montrent une plus grande expression langagière de l'hémisphère droit.

Le modèle de Moscovitch (1973, 1976) n'est pas très explicite. Il distingue clairement une hypothèse de spécialisation hémisphérique basée sur des capacités différentes des hémisphères, d'une hypothèse de spécialisation hémisphérique basée sur l'occultation des performances de l'hémisphère non spécialisé par l'hémisphère dominant. Le modèle de localisation fonctionnelle repose essentiellement sur des constats neuropsychologiques. Contrairement aux modèles de métacontrôle, le modèle de localisation fonctionnelle repose sur le rôle clé du corps calleux comme cause d'observation de dominances hémisphériques. Les deux hémisphères sont capables de réaliser une même tâche bien que de manière différente. Dans des conditions normales, un hémisphère exhibent plus ses compétences que son homologue par le biais du corps calleux.

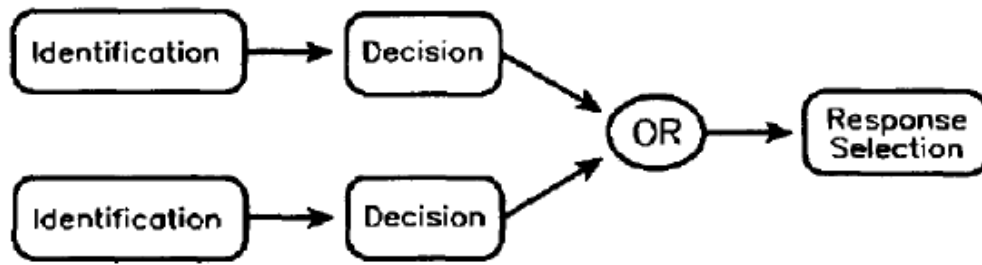
Les modèles de traitements parallèles

Dans cette catégorie de modèles, les hémisphères ne sont pas spécialisés en tant que tels ; les deux hémisphères ont la capacité de prendre en charge une tâche et de la traiter en parallèle et de manière indépendante. L'idée, selon laquelle les processus hémisphériques seraient indépendants et simultanés, provient d'études sur l'effet de redondance de signaux. Cet effet est mis en évidence dans un paradigme de détection de cibles redondantes. La tâche consiste à détecter une cible qui apparaît soit en un endroit, soit en deux endroits. Si la cible apparaît deux fois (*i.e.*, condition de redondance), les réponses sont plus rapides que lorsque la cible est présentée une seule fois. Pour expliquer ce phénomène, trois modèles ont été proposés (cf. 0). Le premier est celui de la course indépendante (*i.e.*, *independent race model*) ou course de chevaux (*i.e.*, *horse race model*) : chaque cible est codée par des canaux parallèles et indépendants. Une réponse serait émise dès qu'un canal a détecté la cible. On parle de relation logique « OU » entre les traitements des deux canaux, ce qui permettrait une facilitation statistique selon Raab (1962). Ce modèle est présenté par plusieurs auteurs comme étant valide, mais seulement à un niveau sensoriel du traitement de

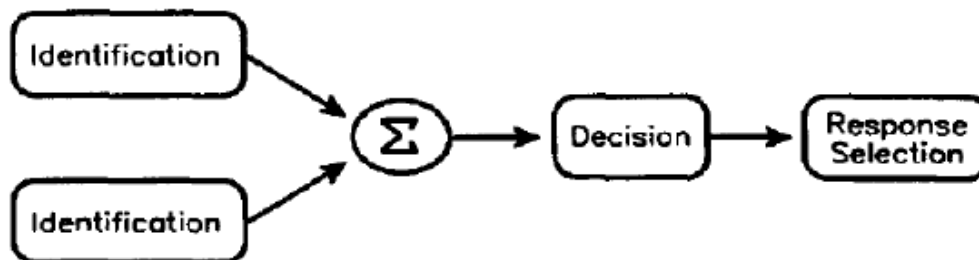
l'information. Le second est celui proposé par Miller (1982), nommé modèle de co-activation (*i.e., coactivation model*). Ce modèle est identique au premier hormis que les traitements de chaque canal sont intégrés ; c'est-à-dire qu'au lieu que les deux canaux soient en compétition, leurs traitements s'additionnent. On parle de relation logique « ET » entre les traitements des deux canaux rendant la détection de la cible plus rapide que la détection par un seul canal. Le troisième modèle a été proposé par Mordkoff et Yantis (1991). Ils ont proposé une alternative supplémentaire au modèle de course de chevaux qui consiste en un échange d'informations entre les canaux renforçant ainsi leurs collaborations.

Figure 28 Trois modèles de mécanisme des traitements hémisphériques : Modèle de courses indépendantes proposé par Raab (1962) (Figure du haut). Modèle de co-activation proposé par Miller (1982) (Figure du centre). Modèle de course intégrative proposé par Mordkoff et Yantis (1991) (Figure du bas). [Ces figures sont tirées de Mordkoff, J.T., & Yantis, S. (1991). An interactive race model of divided attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(2), 520-538].

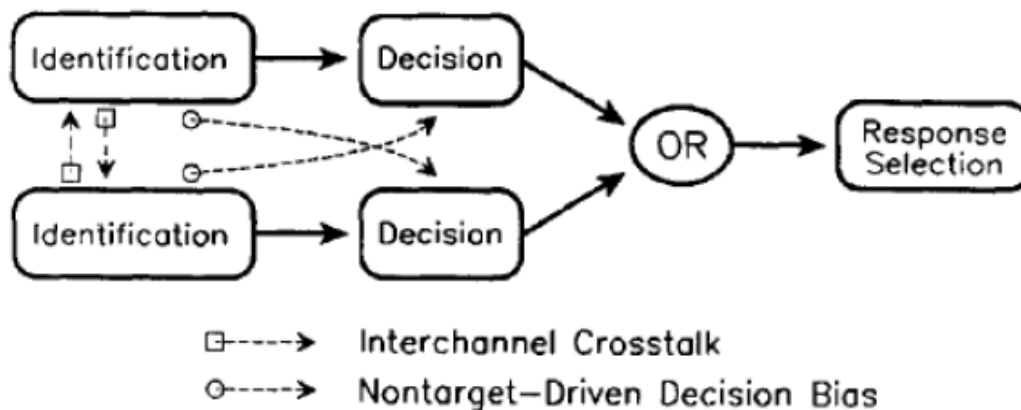
Independent Race Model



Coactivation Model



Interactive Race Model



Ces modèles explicatifs de l'effet de redondance de signaux ont été appliqués aux réflexions sur la prise en charge de l'information par les hémisphères ; chaque hémisphère serait un canal d'informations. À cet égard, Belger et Banich (1998) ont montré à l'aide de tâches de comparaisons d'items, que les performances sont meilleures si les stimuli sont répartis entre les hémisphères que lorsqu'ils sont présentés au même hémisphère. Belger et Banich (1998) ont proposé ce type de modèle en tentant d'inclure le rôle du corps calleux. Ils suggèrent un modèle de course de chevaux du traitement de l'information hémisphérique dans lequel après avoir reçu l'information, chaque hémisphère essaie indépendamment de traiter

l'information le plus rapidement possible. La distribution de la charge de travail entre les hémisphères permettrait un traitement parallèle et plus rapide dans une courte période de temps. Selon ces auteurs, l'interaction hémisphérique jouerait un rôle régulateur. Celui-ci permettrait une augmentation de la capacité totale de travail. L'absence d'un tel régulateur engendrerait une baisse des performances dans des tâches complexes, telle qu'elle est observée chez les patients commissurotomisés (Kreuter, Kinsbourne, & Trevarthen, 1972). Dans ce modèle, dit dynamique, chaque hémisphère serait spécialisé pour traiter l'information d'une manière particulière et posséderait un niveau d'activations de base. Ce niveau d'activations varierait d'un individu à l'autre. Pendant le traitement de l'information, la charge de travail serait distribuée entre les hémisphères de telle sorte qu'un rapport optimal soit déterminé entre la demande de la tâche et le niveau d'activations de chaque hémisphère, afin que les ressources allouées soient minimales. L'interaction hémisphérique fonctionnerait comme un régulateur à l'image d'une balance qui calculerait le rapport entre la charge de travail, la capacité de travail et la consommation d'énergie globale du système. Dans ce modèle, l'interaction entre les hémisphères est un processus dynamique de transfert de l'information. Cette répartition se ferait par l'échange de signaux via le corps calleux (*i.e.*, *callosal channel*) ce qui permettrait de « manœuvrer » (*shunting* dans le texte) l'information vers l'autre hémisphère. La proposition de Belger et Banich (1998) n'explique pas suffisamment les mécanismes neurobiologiques sous-tendants ce processus de régulation. Leur description reste sur le plan fonctionnel sans appui de données de modélisations informatiques ni de données issues de l'imagerie cérébrale et encore moins neurobiologiques.

En résumé, les modèles de traitements parallèles présentent une tentative d'explication statistique en termes de gain de traitement de la prise en charge de tâches par deux systèmes (*i.e.*, deux hémisphères). Ils précisent que les hémisphères fonctionnent parallèlement et simultanément. L'hypothèse de traitements indépendants et parallèles semblerait plus vraisemblable à un bas niveau de traitement. Comme le signale Marzi (1986), les informations présentées en champ visuel divisé ne sont certes pas communiquées à l'hémisphère non cible au niveau des aires primaires, mais elles seraient transmises à l'hémisphère ipsilatéral à la stimulation au niveau temporal et pariétal. La différence entre ces différents modèles réside dans la coordination des traitements. "*If there's a race, where's the finishing line?*" *dixit* Mordkoff et Yantis (1991). La coordination des traitements peut avoir lieu par sommation des activités (dans le cas du modèle de co-activation) ou par une communication entre les systèmes (dans le cas du modèle

d'intégration). Quoi qu'il en soit, ces modèles n'explicitent pas clairement la fonction et la nature de l'interaction des hémisphères, nonobstant l'indépendance hémisphérique dans le cas du modèle de course indépendante qui nous semble peu vraisemblable en considérant l'existence du corps calleux.

Les modèles d'allocation de ressources

Ces modèles reposent sur une répartition bilatérale des compétences, mais ne sont ni interactifs ni parallèles. Les asymétries hémisphériques seraient sous-tendues par une répartition des ressources entre les hémisphères. Nous présentons ici trois modèles principaux.

Le modèle de Kinsbourne

Selon Kinsbourne (1970), le type de tâche amorce l'activation des aires cérébrales sollicitées de l'hémisphère ayant le plus de pré-requis pour répondre aux traitements de la tâche. L'activation d'un hémisphère dépend donc de ses antécédents à plus ou moins long terme. Par exemple, une tâche langagière va pré-allouer des ressources à l'hémisphère gauche et ainsi réduire les ressources de l'hémisphère droit par le biais d'une inhibition transcalleuse. Cet amorçage se diffuse à l'ensemble de l'hémisphère (Kinsbourne & Hicks, 1978, cités dans Allen, 1983) et génère un biais attentionnel vers l'hémichamp controlatéral ; ceci permet une détection plus efficace des stimulations qui y apparaissent. Cet avantage peut alors entraver la mise en jeu de son homologue (Chiarello & Maxfield, 1996), puisque, selon Kinsbourne, la connexion entre les deux hémisphères serait inhibitrice. D'après Kinsbourne (1975), cette inhibition serait mutuelle et constante ; plus précisément, l'activation d'une région d'un hémisphère engendrerait l'inhibition générale de l'autre hémisphère. Tout comme le suggèrent Banich et Karol (1992), le corps calleux servirait à réguler le niveau d'activations asymétrique. Hellige (1993), en décrivant le modèle de Kinsbourne, parle de frontière inhibitrice. Cette notion d'inhibition est une composante importante du principe de distance fonctionnelle cérébrale avancée par Kinsbourne (1982).

Le modèle de Levy

La proposition de Levy (Levy, 1974, p.149 cité par Allen, 1983) précise le mécanisme d'allocation attentionnelle de Kinsbourne (1970) et parle de commutation attentionnelle. Il part de trois principes : (1) un hémisphère est compétent ou non pour réaliser une tâche, (2) un stimulus présenté dans un hémichamp visuel stimule un seul hémisphère, (3) cet hémisphère peut être alerté avant qu'il ne traite l'information lui parvenant. Si le stimulus est adressé à l'hémisphère compétent, alors il prend en charge le traitement. Si le stimulus est adressé à l'hémisphère non compétent, alors un message est transmis à la formation réticulée pour stopper l'envoi d'informations à cet hémisphère. Ce modèle est donc une sorte d'aiguillage des informations par un mécanisme attentionnel. La commutation attentionnelle prendrait du temps ce qui expliquerait des temps de réponse plus lents lorsque l'hémichamp visuel controlatéral à l'hémisphère non compétent serait stimulé.

Boles (1979) a présenté un bon nombre d'études ne répliquant pas les résultats prédits par ces modèles. De même, les études de Moscovitch (1980, 1986) montrent que le modèle d'accès direct est plus probable que le modèle d'allocation de ressources bien que les biais attentionnels soient à prendre en considération. En revanche, la plausibilité de connexions inhibitrices mutuelles entre les hémisphères n'est pas à exclure, mais le concept de pré-activation ou d'amorçage qu'il soit hémichampique ou hémisphérique serait à exclure.

Le modèle de Moscovitch

Moscovitch a appliqué les principes des théories de l'attention au modèle d'accès direct. Moscovitch et Klein (1980) ont réalisé une expérience de double tâche : une tâche était une identification de mots, préférentiellement réalisée par l'hémisphère gauche ; l'autre tâche était une identification de visages, préférentiellement réalisée par l'hémisphère droit. Visages et mots étaient présentés dans un plan expérimental orthogonal en position centrale ou en position périphérique. Le modèle d'allocation de ressources prédit que deux mêmes tâches présentées à un hémisphère devraient engendrer de meilleures performances que deux tâches contraires. En revanche, le modèle d'accès direct prédit que tant qu'il n'y a pas de changement de la position des stimuli, il ne devrait pas y avoir de changement d'asymétrie. Ne trouvant pas d'interaction entre les items présentés en périphérie et ceux présentés en position centrale, Moscovitch et Klein (1980) ont validé le modèle d'accès direct. Remarquons qu'ils ont validé une hypothèse sur l'absence d'effets, ce qui peut être

criticable. De plus, en occultant l'analyse statistique inférentielle, ils ont observé une tendance validant partiellement les prédictions du modèle d'allocation de ressources. Ainsi, ils ont proposé un compromis entre les deux modèles : la dynamique hémisphérique reposerait sur un traitement indépendant des deux hémisphères, mais si un hémisphère travaille en-dessous de ses capacités - c'est-à-dire qu'il ne puise pas toutes les ressources dont il dispose - alors il est à même de réaliser des traitements supplémentaires. Ainsi, si un hémisphère est spécialisé dans une tâche, alors il n'a besoin que de peu de ressources et peut donc aisément réaliser une autre tâche. Le degré de spécialisation d'un hémisphère peut donc être évalué par sa capacité à effectuer des doubles tâches. Le modèle de Moscovitch et Klein (1980) est différent du modèle de Kinsbourne (1974) ou de celui de Levy (1974). Ce modèle repose essentiellement sur des processus *bottom-up* alors que les autres reposent essentiellement sur des processus *top-down*. Pour Moscovitch et Klein (1980), l'allocation de ressources n'est pas la cause des asymétries comportementales observées, mais est une explication de la dynamique des hémisphères en fonction de la charge de travail.

Le modèle de connexions d'aires homologues

Le corps calleux connecterait majoritairement des aires paires, c'est-à-dire des aires symétriques au plan médian sagittal. On parle d'aires homologues (pour une description voir, Hutsler & Galuske, 2003). Deux modèles ont été proposés sur la fonction des connexions entre ces aires homologues. Ces modèles stipulent que les hémisphères fonctionnent en parallèle. Ces connexions serviraient soit à échanger des informations (modèle de Boles, 1980), soit à permettre une complémentarité des traitements entre les hémisphères (modèle de Cook, 1984).

Le modèle de Boles

Des adaptations du paradigme de présentation en champ visuel divisé ont été proposées pour s'assurer que les participants regardaient bien le centre de l'écran. Par exemple, McKeever et Huling (1971) ont présenté, en plus des stimuli expérimentaux, un chiffre à la place du point de fixation et ont demandé aux participants de rappeler le chiffre à la fin de chaque essai. Pour palier au problème de double tâche, Schmuller et Goodman (1979) présentaient des stimuli différents dans chaque champ visuel et indiquaient par une flèche pour quel stimulus les participants devaient répondre. Boles (1983) a repris ce paradigme et l'a utilisé afin de comprendre la dynamique des hémisphères. Dans trois expériences, Boles (1983) a

comparé le paradigme de Schmuller et Goodman (1979) à une présentation unilatérale. Boles a mis en évidence que ce mode de présentation bilatérale mettait en saillance de plus grandes différences hémisphériques. Comme une présentation bilatérale produit de plus grandes asymétries comportementales qu'une présentation unilatérale, alors le modèle structural est invraisemblable. Effectivement, le modèle structural prédit que le temps de transfert calleux dans le cas d'un accès non direct est reflété par la différence des temps de réponse entre les champs visuels. Or, Boles (1983) a observé que la différence des temps de réponse entre les champs visuels est nettement plus grande dans le cas de présentations bilatérales qu'unilatérales. Les modèles structurels ne prédisent pas ce résultat. De plus, si les modèles d'allocation de ressources sont valides, alors une présentation bilatérale devrait réduire les différences hémisphériques, alors que Boles (1983) a observé le contraire. Boles (1979, 1983) n'a validé ni les modèles structurels ni les modèles d'allocation de ressources. En 1990, Boles a répertorié douze hypothèses qui ont été formulées pour expliquer les plus grandes asymétries observées en présentation bilatérale comparativement aux présentations unilatérales. Il les a catégorisés en deux familles : les hypothèses ne faisant pas appel à l'interaction entre les hémisphères et celles reposant sur la communication entre les hémisphères. Il nous semble important de résumer son travail, puisque nous utiliserons dans la partie expérimentale ce type de paradigme.

Les hypothèses explicatives ne faisant pas appel à l'interaction entre les hémisphères

La certitude de la localisation

Si la localisation du stimulus est préalablement devinée, ce qui semble être le cas dans plusieurs paradigmes de présentation bihémichampique, alors une stratégie attentionnelle amplifie les asymétries (Heron, 1957). Cette hypothèse a été invalidée par Boles (1979) en présentant aléatoirement la position des stimuli à traiter.

L'augmentation de la complexité de la tâche

La présentation bilatérale de stimuli différents, demandant l'utilisation d'un indicateur permettant de savoir pour quel hémichamp répondre, augmenterait la complexité de la tâche et amplifierait ainsi les asymétries observées, car cet indicateur présenté en position central serait traité par les deux hémisphères (Witelson, 1974). Boles (1979) a répliqué, quand l'indicateur était présenté dans le même hémichamp que le stimulus cible, le gain d'asymétrie. L'amplification d'asymétrie entre la présentation bilatérale et unilatérale

émergerait donc même quand la charge d'informations entre les hémisphères est équivalente entre ces deux types de présentations.

L'augmentation de la motivation

La présentation de plusieurs stimuli, comme en présentation bilatérale, augmente la motivation ce qui amplifierait les asymétries hémisphériques (Olson, 1973). Dans ses expériences publiées en 1973, Boles a comparé des présentations unilatérales à des présentations bilatérales en utilisant le même nombre de stimuli et a observé de plus grandes asymétries en présentation bilatérale. L'hypothèse d'Olson (1973) est donc rejetée.

L'amélioration du contrôle du point de fixation

Dans la présentation bilatérale, la fixation du regard des participants sur le point central est accentuée ; ce contrôle permet d'observer des différences hémisphériques plus saillantes que dans la présentation unilatérale où il n'y a pas ce contrôle (McKeever, Suberi, & Van Deventer, 1972). Cependant, Boles (1979) a mixé les présentations bi- et unilatérale dans les mêmes blocs expérimentaux et a répliqué l'avantage méthodologique de la présentation bilatérale. De plus, les présentations étaient trop brèves pour permettre une refixation oculaire (Young, 1982).

La lecture directionnelle

L'avantage de la présentation bilatérale serait due au fait que les participants scannent le champ visuel de gauche à droite, comme pour la lecture, à partir du point de fixation (Hines, 1972). Cependant, si cette hypothèse est vraie, alors ne devraient être observés que des avantages du champ visuel gauche, ce qui n'est pas le cas (Boles, 1987).

L'ordre de réponse

En présentation bilatérale, la réponse à un champ visuel peut être donnée avant l'autre produisant une asymétrie artefactuelle non présente en présentation unilatérale. L'ordre de réponse est spontanément de gauche à droite (MacKavey, Curcio, & Rosen, 1975) ce qui laisserait entendre un gain de temps de réponse pour le champ visuel gauche. Or, Boles (1987) a rapporté un avantage du champ visuel droit couplé à un avantage de la présentation bilatérale.

Donc, aucune des hypothèses ne faisant pas appel à l'interaction entre les hémisphères qui ont été proposées dans la littérature, selon Boles (1990), n'est valide.

Les hypothèses explicatives faisant appel à l'interaction entre les hémisphères

La disparité du temps d'arrivée

En respect des modèles structuraux, la présentation bilatérale engendre des transferts d'informations. La manipulation du SOA entre deux stimuli a montré que les plus grandes asymétries surviennent au moins 20 voire 40 ms après le transfert des informations (McKeever, 1971; McKeever & Huling, 1971).

Le stockage des informations ipsilatérales

L'hémisphère dominant traiterait préalablement l'information du champ visuel controlatéral tout en mettant temporairement l'information ipsilatérale en mémoire. Cette mise en mémoire accentuerait les différences hémisphériques (Springer, 1971). En employant la technique de rappel partiel ne nécessitant pas de mise en mémoire de l'information ipsilatérale, Boles (1987) a répliqué l'avantage de la présentation bilatérale.

Le processus sélectif

Les processus latéralisés traiteraient sélectivement les informations les moins dégradées. Or, un transfert calieux dégraderait l'information. Par ce biais, la présentation bilatérale accentuerait le traitement des informations directement adressées aux hémisphères (McKeever & Huling, 1971). Dans une tâche de parité, Boles (1990, expérience 1) a présenté des stimuli dégradés ou intacts. Si l'hypothèse de processus sélectif est vraie, alors des variations des différences hémisphériques devraient avoir systématiquement lieu selon que l'information envoyée soit identiquement ou différemment dégradée. Présenter un stimulus dégradé dans l'hémichamp ipsilatéral à l'hémisphère dominant devrait accentuer les différences hémisphériques comparativement à la présentation d'un stimulus non dégradé. Boles (1990) a observé de plus grandes asymétries quand les stimuli étaient non dégradés ; ce fait invalide donc l'hypothèse de processus sélectif.

L'activation d'homologue

La présentation bilatérale active des aires homologues dans les deux hémisphères ce qui causerait, dans le cas de présentations d'informations différentes, des interférences dans la communication d'informations entre eux et augmenterait ainsi la saillance des différences hémisphériques (Witelson, 1974). L'homologie peut reposer sur la position spatiale des stimuli ou sur le type de stimuli. Boles (1990, expérience 2) a montré que la congruence spatiale entre les stimuli de chaque champ visuel n'engendre pas de plus grandes différences

hémisphériques, contrairement aux attentes. L'homologie d'activations hémisphériques ne reposerait pas sur la position spatiale des stimuli. Dans une tâche de reconnaissance de mots, partant du principe que les mots et les non-mots sont des types de stimuli différents, Boles (1990, expérience 3) a montré que les asymétries hémisphériques étaient plus grandes quand les stimuli bilatéralement présentés étaient tous deux des mots. Ce résultat confirme que la présentation bilatérale engendre l'activation d'aires homologues dans les deux hémisphères. La présentation bilatérale de stimuli de même type, mais différents, induirait une interférence dans le transfert d'informations entre ces aires. Cette interférence permettrait de mieux mettre en lumière des asymétries fonctionnelles.

L'inhibition mutuelle

Les hémisphères s'inhibent mutuellement. La présentation bilatérale active les deux hémisphères, mais active plus l'hémisphère dominant. L'hémisphère dominant étant plus activé, il inhiberait plus son homologue, ce qui expliquerait l'observation de différences hémisphériques plus importantes en présentation bilatérale.

La négligence du côté ipsilatéral

La présentation bilatérale engendre la discordance d'un système d'orientation de l'attention. Cette discordance demanderait un calcul préalable de l'orientation de l'attention sur l'hémichamp contralatéral à l'hémisphère le plus spécialisé. Il en résulterait une négligence de l'hémichamp ipsilatéral à l'hémisphère dominant.

Dans la quatrième expérience présentée dans son article de 1990, Boles a testé les hypothèses de l'inhibition mutuelle et de la négligence du côté ipsilatéral. Pour cela, il a utilisé une double tâche. La première était celle qu'il utilisait classiquement : une présentation bilatérale de stimuli différents, dont le champ visuel cible était indicé par une flèche centrale. La tâche consistait à dire si les stimuli étaient en nombre pair ou impair. Parallèlement, il présentait unilatéralement dans un tiers des essais un point lumineux pendant ou après la présentation des stimuli. Les participants devaient alors interrompre la tâche et détecter la présence de ce point lumineux. Selon Boles, les hypothèses d'inhibition et de négligence du côté ipsilatéral prédisent que ce point lumineux sera moins bien détecté s'il est présenté dans l'hémichamp ipsilatéral à l'hémisphère dominant. Boles a considéré ici que l'hypothèse d'inhibition mutuelle reposait sur une inhibition large et générale des hémisphères et non sur une inhibition d'aires spécifiques. Les résultats de son expérience ont montré que les participants détectaient autant le point lumineux dans le champ visuel droit que dans le champ visuel gauche s'il était présenté simultanément aux stimuli

bilatéraux. Dans cette condition, les asymétries hémisphériques étaient présentes, alors que la détection du point lumineux variait entre les champs visuels si le point lumineux était présenté après un certain délai. Dans ce cas, les asymétries hémisphériques n'étaient pas présentes. L'absence d'asymétrie de détection du point lumineux dans la condition de présentations simultanées est, selon Boles, la preuve d'une absence d'inhibition mutuelle des hémisphères ou de négligence du côté ipsilatéral. Ces hypothèses pourraient s'avérer exactes en considérant que le processus d'inhibition ou de négligence demande un certain délai, mais Boles n'a pas observé de plus franches ou importantes asymétries hémisphériques lors de la tâche principale.

L'argumentation de Boles (1990) est très claire et rigoureuse. Il a présenté treize hypothèses pour expliquer l'amélioration des observations d'asymétries hémisphériques en présentation bilatérale. Il a rejeté les hypothèses qui ne tenaient pas compte des interactions hémisphériques et a mis en place une série d'expériences pour tester les hypothèses d'interaction hémisphérique. Finalement, Boles a proposé un modèle structural de la dynamique hémisphérique. Une présentation bilatérale active des aires homologues. Si ces aires reçoivent des informations identiques, alors il y a un gain de traitement. Si ces aires reçoivent des informations différentes, alors il y a un coût de traitement qui se traduit par une plus grande isolation des traitements hémisphériques et, par conséquent, une observation facilitée des asymétries. Boles compare la communication interhémisphérique à une conversation téléphonique entre deux personnes : si deux personnes parlent de choses différentes au même moment, il y a des chances qu'elles négligent le message de leur interlocuteur. Mais si ces deux personnes parlent des mêmes choses au même moment, alors le message est clair. Boles a présumé de l'importance du corps calleux dans ce processus, mais il n'a pas explicité le mécanisme d'interférence dans le cas où les hémisphères reçoivent des informations différentes mais de même type.

Le modèle de Cook

Cook (1984) a proposé un modèle intégratif et compétitif des interactions interhémisphériques, appelé *homotopic callosal inhibition*. L'idée principale est que les connexions entre les hémisphères sont inhibitrices. L'activation d'un réseau de neurones d'un hémisphère inhiberait le réseau de neurones présent dans l'aire homologue de l'autre hémisphère. De plus, les connexions intrahémisphériques (c'est-à-dire les aires environnantes d'une région spécifique) seraient aussi inhibitrices. Ceci engendrerait dans le

cas d'inhibition d'une aire d'un hémisphère (par l'activation de la région homologue de l'autre hémisphère, *i.e.*, aire homotopique) l'activation de ses aires environnantes. Le corps calleux produirait donc un négatif (au sens photographique) du pattern d'activations et une inhibition entre les hémisphères. Par ce principe, Cook (1984) a estimé que le rôle du corps calleux n'était pas de transmettre l'information, mais de rendre le travail des hémisphères complémentaire. Ce modèle est intéressant en ce sens qu'il présente avec précision le rôle du corps calleux dans la prise en charge de l'information hémisphérique. Par ce modèle, Cook (1984) a proposé un compromis entre deux grandes classes de modèles distincts par la fonction assignée au corps calleux : excitation ou inhibition. Le modèle de Cook (1984) est d'autant plus intéressant qu'il repose sur une réflexion à la fois de données psychologiques et biologiques et leurs interprétations; ainsi, c'est par une approche en neurosciences cognitives que Cook (1984) a modélisé la dynamique hémisphérique. Pour autant, si nous prenons ce modèle au pied de la lettre, alors dans les études employant des méthodes d'imagerie cérébrale, le patron d'activations d'un hémisphère devrait être le négatif du patron d'activations de son homologue. Nonobstant l'étude de Baciú et al. (1999), bien que focalisée sur une seule structure, aucun résultat d'imagerie cérébrale portant sur le traitement des relations spatiales ne met en évidence les prédictions de Cook (1984). Il est probable que la résolution spatiale des techniques ou les moyens statistiques utilisés n'étaient pas adaptés pour vérifier son hypothèse, puisque les régions « homotypiques » décrites par Cook (1984) sont de l'ordre de cinquante micromètres.

En résumé, le modèle de Cook (1984) repose sur le principe d'inhibition inter- et intrahémisphérique. Ce modèle est avant tout coopératif et bilatéral, puisque les deux hémisphères participent et s'articulent autour d'un travail commun et complémentaire. Le principe de complémentarité est différent de celui de coopération ou de compétition. La notion de spécialisation hémisphérique est difficilement applicable au modèle de Cook (1984).

Les modèles d'activations interhémisphériques

Les modèles d'activations interhémisphériques proposent que l'activation d'un hémisphère se diffuse vers l'autre hémisphère.

Le modèle de production d'activations

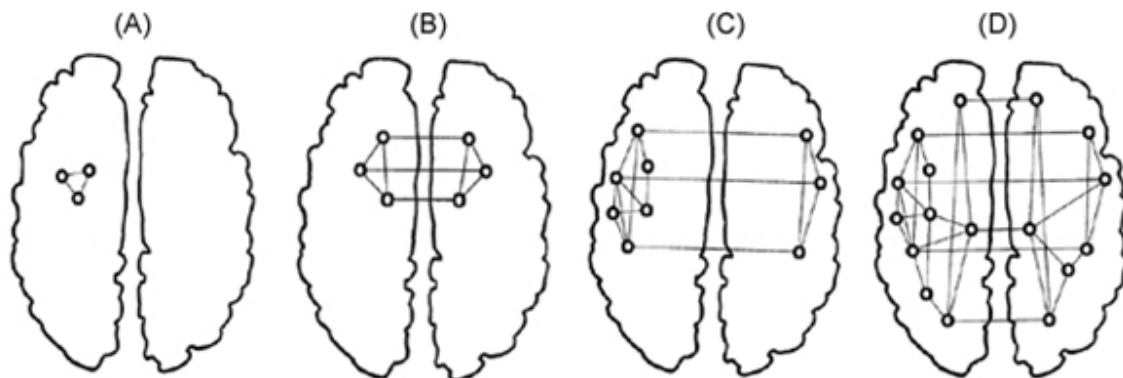
Abernethy et Coney (1990) ont étudié la communication des informations linguistiques entre les hémisphères. Selon eux, le corps calleux n'a pas pour fonction de transmettre l'information à l'hémisphère non initialement stimulé, mais de diffuser l'activation de l'hémisphère initialement activé à son homologue. Dans les études des traitements langagiers, Coltheart (1980) a montré que les informations seraient transmises à l'hémisphère non stimulé une fois que l'hémisphère stimulé a traité sémantiquement l'information. La diffusion d'activations à l'hémisphère non stimulé s'effectuerait après que les traitements langagiers sont produits par l'hémisphère activé. Collins et Coney (1998) ont nommé leur hypothèse *modèle de production d'activations* (i.e., *activation products model*). Ils ont donc proposé une alternative au modèle du relais calleux (Zaidel, 1983) qui stipule que le transfert calleux repose sur un transit d'informations et que ce transit s'effectue avant que l'hémisphère spécialisé ne réalise des traitements. Afin de trancher entre les deux modèles, Collins et Coney (1998) ont utilisé un paradigme d'amorçage grâce auquel ils ont comparé les amorçages intrahémisphériques aux amorçages interhémisphériques. Le modèle de production d'activations prédit que les amorçages intrahémisphériques interagissent avec les amorçages interhémisphériques, alors que le modèle de Zaidel prédit que la présentation de l'amorce à un hémisphère va directement activer l'hémisphère opposé sans que l'information active nécessairement les traitements de l'hémisphère qui reçoit l'amorce en premier. Donc, ce modèle prédit que les effets d'amorçages interhémisphériques et intrahémisphériques sont indépendants. Les résultats des deux expériences de Collins et Coney (1998) rejettent l'hypothèse du modèle de production d'activations et valident le modèle de Zaidel. Leurs résultats restent intéressants car ils montrent que les amorçages interhémisphériques ne sont pas symétriques.

Le modèle d'assemblée de cellules transcorticales

Pulvermüller et Mohr (1996) ont proposé la métaphore d'assemblée de cellules introduite par Hebb (1949, cité par Pulvermüller & Mohr, 1996) pour décrire les différences hémisphériques et leurs interactions. L'activation d'une partie de l'assemblée active l'ensemble de l'assemblée ; c'est ce qu'on appelle l'*ignition*. Après l'ignition, les cellules du réseau ne sont pas désactivées immédiatement, l'activation dite circulaire à l'intérieur du réseau continue de s'exercer. Les différences de latéralités s'expliqueraient par des

différences topographiques d'assemblée de cellules entre des aires homologues. Par exemple, une majorité des neurones d'une assemblée de cellules pourrait se situer dans un hémisphère, et une minorité dans l'autre. Pulvermüller et Mohr (1996) ont proposé de quantifier le degré de spécialisation hémisphérique par la répartition des cellules de l'assemblée ; par exemple, 70% des cellules dans l'hémisphère gauche et 30% dans l'hémisphère droit (cf. 0). Ce modèle est validé par deux principaux faits : premièrement, une présentation bilatérale de stimuli identiques engendre de meilleures performances qu'une présentation unilatérale ; ceci s'expliquant par une stimulation d'un nombre plus important de cellules dans le cas de la présentation bilatérale. Ceci entraîne une plus grande ignition. Deuxièmement, une présentation bilatérale n'influence pas les performances de patients commissurotomisés, c'est-à-dire que sans connexion interhémisphérique, l'activation de l'ensemble de l'assemblée de cellules n'est pas possible.

Figure 29 Quatre modèles de degrés de spécialisation hémisphérique selon et tirés de Pulvermüller et Mohr (1996). Le modèle (A) présente une assemblée de cellules complètement latéralisée. Le modèle (B) présente une assemblée de cellules symétriquement répartie entre les hémisphères, dans ce cas aucune asymétrie ne peut être observée. Les modèles (C) et (D) présentent deux degrés différents de spécialisations hémisphériques. [Ces figures sont tirées de Pulvermüller, F., & Mohr, B. (1996). The concept of transcortical cell assemblies: a key to the understanding of cortical lateralization and interhemispheric interaction. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 20, 557-566].



Le modèle d'assemblée de cellules transcorticales reformule le concept de spécialisation hémisphérique par un principe de répartition topographique de réseaux de neurones. Ce modèle a le mérite d'être clair car il expose explicitement le rôle du corps calleux : rôle excitateur. Sa clarté tient du fait que la dynamique hémisphérique énoncée repose sur des principes neurobiologiques. Nous regrettons cependant que ce modèle n'explique pas comment de plus grandes asymétries sont observées dans le cas de présentations bilatérales de stimuli différents (Boles, 1983). Des modélisations informatiques de réseaux de Hopfield (1982) seraient les bienvenues. Ce modèle est aussi puissant, puisqu'il prédit une activation bilatérale des hémisphères ; ce qui est constamment observé dans les études employant des techniques d'imagerie cérébrale.

Notes sur les fonctions des commissures interhémisphériques

Les différents modèles que nous avons présentés se contredisent sur le rôle attribué aux connexions entre les hémisphères. Bien que le corps calleux ne soit pas la seule commissure interhémisphérique, il n'en est pas moins la voie de communication principale (Aboitiz & Montiel, 2003). Il nous semble qu'un modèle de la dynamique hémisphérique doit avant tout partir de la fonction de celui-ci. Dans cette partie, nous allons donc présenter l'architecture et la fonction de cet organe.

Approche fonctionnelle du corps calleux

Le corps calleux permet soit de transmettre l'information entre les hémisphères, soit d'inhiber les hémisphères, soit de les exciter. Le tableau 18 présente un résumé des fonctions attribuées aux connexions interhémisphériques pour chaque modèle que nous avons présenté.

Tableau 18. Résumé des différents modèles et hypothèses relatifs à la dynamique hémisphérique. La colonne centrale présente le rôle attribué aux commissures interhémisphériques pour chaque modèle (un point d'interrogation mentionne que le modèle ou l'hypothèse ne décrivent pas du tout, ou trop peu clairement, le rôle des connexions interhémisphériques). La dernière colonne présente le rôle attribué à la

dynamique des traitements hémisphériques pour chaque modèle et hypothèse.

Modèle ou hypothèse	Rôle des connexions inter-hémisphériques	Rôle de l'interaction hémisphérique
Modèle d'accès direct	Pas de connexion	Répartition statique des capacités cognitives entre chaque hémisphères
Modèle de relai calleux	Transmission d'informations	Relai d'informations à l'hémisphère dominant
Hypothèse de Braun et al. (1994)	Excitation	Transmission d'informations et répartition des capacités cognitives entre chaque hémisphères
Modèle de métacontrôle	?	Système dynamique de répartition des traitements dans le cas de tâche complexes
Hypothèse de Banich & Karol (1992)	Transmission d'informations en cascades	Système de répartition des traitements
Hypothèse de Moscovitch (1976)	Inhibition unilatérale	Suppression d'activité d'un hémisphère
Modèle de course indépendante	Pas de connexion	Compétition hémisphérique et indépendance des traitements hémisphérique
Modèle de co-activation	?	Compétition hémisphérique et intégration des traitements de chaque hémisphère
Hypothèse de Mordkoff & Yantis (1991)	Transmission d'informations	Compétition hémisphérique avec échange d'informations
Hypothèse de Belger & Banich (1998)	?	Régulation des traitements
Modèle de Kinsbourne (1970)	Inhibition mutuelle	Allocation de ressources
Modèle de Levy (1974)	Inhibition mutuelle	Aiguillage des informations sensorielles
Hypothèse de Moscovitch & Klein (1980)	?	Répartition des traitements et sous-traitance en fonction du rapport capacité/niveau de ressources
Hypothèse de Boles (1986)	Transmission d'informations	Activation d'aire homologues pouvant coopérer dans le cas de présentation bilatérale
Hypothèse de Cook (1984)	Inhibition	Complémentarité des traitements hémisphériques
Hypothèse d'Abemethy & Coney (1990)	Excitation	Diffusion transcortical d'informations à certaines étapes de traitement
Le modèle d'assemblée de cellules transcorticales	Excitation	Principe d'ignition et de répartition topographique de réseau de neurone

Les dix-sept hypothèses portant sur la dynamique hémisphérique, que nous avons présentées dans cette partie (rappelons à ce propos que nous n'avons pas présenté une liste exhaustive des hypothèses existantes, mais une liste basée sur des méthodologies et des observations différentes), se répartissent de la manière suivante : deux hypothèses n'ont pas recours à la présence de communications hémisphériques pour prédire les asymétries fonctionnelles. Quatre préconisent que les connexions hémisphériques servent à transmettre des informations. Quatre proposent un rôle inhibiteur du corps calleux, trois proposent un rôle excitateur. Quatre hypothèses ne présentent pas de manière claire la fonction du corps calleux. Dans une revue récente, Bloom et Hynd (2005) ont trouvé plus d'arguments en faveur d'une communication excitatrice entre les hémisphères, mais ils ne rejettent pas la possibilité de communications inhibitrices comme le soutient une revue intéressante de Chiarello et Maxfield (1996). Sur le plan fonctionnel, le rôle du corps calleux fait encore débat.

Approche neuronale du corps calleux

Structure des connexions interhémisphériques

Les neurones du cortex sont principalement de type pyramidal, leur long axone permettant de connecter des réseaux anatomiquement éloignés. Majoritairement, les radiations du corps calleux connectent des aires corticales symétriques (*i.e.*, paires). Ainsi, le corps calleux a été anatomiquement divisé en plusieurs parties connectant de larges aires corticales (pour une revue précise voir, Selnes, 1974). Le genou connecte les aires préfrontales. La partie directement postérieure au genou connecte les aires postérieures frontales supérieures. Les sections suivantes connectent les aires motrices et somatosensorielles. La partie caudale du corps calleux connecte les aires pariéto-temporo-occipitales. Le splenium connecte les aires pariéto-occipitales dorsales. À une échelle plus petite, les neurones calleux connecteraient des colonnes de neurones larges d'une cinquantaine de micromètres nommées aires homotopiques (voir, Cook, 1984).

La maturation du corps calleux s'effectue par un processus de myélinisation des fibres qui aurait lieu entre 6 et 10 ans. En effet, les enfants de 5-8 ans auraient des difficultés dans tous les apprentissages de coordination manuelle et seraient limités dans les transferts d'apprentissage entre les hémisphères. Dans une étude originale, Chicoine, Proteau et Lassonde (2000) ont montré que le transfert d'apprentissage visuo-moteur entre les hémisphères chez des enfants atteints d'agénésie calleuse est impossible.

L'épaisseur du corps calleux varie d'un individu à l'autre. Contrairement à certaines idées reçues, Bishop et Wahlsten (1997) ont montré que le corps calleux des hommes serait plus épais que celui des femmes. L'étude d'Hellige, Taylor, Lesme et Peterson (1998) montre que plus le corps calleux est épais, plus les hémisphères travaillent isolément. L'épaisseur du corps calleux serait corrélée au degré d'inhibition interhémisphérique (Clarke, Lufkin, & Zaidel, 1993).

Excitation ou inhibition interhémisphérique ?

Concrètement, les connexions entre les hémisphères peuvent être inhibitrices ou excitatrices. Hellige (1993) rappelle que l'on peut définir ces concepts d'un point de vue soit neuronal, soit fonctionnel (pour une analyse plus fine voir, Chiarello & Maxfield, 1996). Sur le plan neuronal, une inhibition a lieu quand l'augmentation de l'activité d'un neurone ou d'un réseau de neurones engendre une diminution de l'activité d'un neurone ou d'un réseau

de neurones avec lequel il fait synapse ; inversement, dans le cas d'excitation. Sur le plan fonctionnel, une inhibition a lieu quand un système désactive le travail d'un autre système et une excitation a lieu quand un système active le travail d'un autre système.

Des observations microscopiques de neurones calleux menées au travers de méthodes de coloration ou de dégénérescence montrent que les synapses transhémisphériques sont exclusivement excitatrices et non inhibitrices (Cipolloni & Peters, 1983). Une étude immuno-cytochimique n'a pas réussi à trouver des neurones GABA dans le corps calleux du chat (Voigt, Levay, & Starnes, 1988). Une autre étude chez le chat trouve qu'entre 50% et 74% des neurones du corps calleux sont des neurones glutamates (Conti, Fabri, & Manzoni, 1988), c'est-à-dire excitateurs. Finalement, Lassonde (1986, cités par Braun et al., 1994) prétend que l'amplification calleuse caractéristique des décharges épileptiques suggère un rôle excitateur du corps calleux. Toutefois des études montrent que les neurones calleux sont excitateurs, mais se projettent sur des neurones inhibiteurs. C'est tout du moins le cas du lobe frontal des rats (Carr & Sesack, 1998). Il est difficile de comparer les différentes connexions entre chaque lobe, puisque chaque connexion inter-lobe emprunte une partie spécifique du corps calleux (Park et al., 2008). La cytoarchitecture des connexions entre les lobes via le corps calleux n'est peut-être pas généralisable à l'ensemble des lobes. Pour les connexions sous-corticales, Leviel, Chesselet, Glowinski et Cheramy (1981) ont observé chez l'animal qu'une présentation unilatérale engendre non seulement une augmentation de la sécrétion de dopamine au niveau de la substance noire controlatérale, mais aussi une inhibition de la production dopaminergique au niveau de la substance noire ipsilatérale. En résumé, il est difficile aujourd'hui d'établir une conclusion sur la nature inhibitrice ou excitatrice des commissures interhémisphériques sur le plan neuronal.

Équivalence des communications interhémisphériques

Bien que la fonction du corps calleux ne fasse pas l'unanimité au sein de la communauté scientifique, un fait avéré est que les communications entre les hémisphères ne sont pas équivalentes (Collins & Coney, 1998). Poffenberger (1912) est le premier à avoir proposé une mesure du temps de transmission interhémisphérique (*i.e.*, *interhemispheric transmission time*, IHTT). Il a montré que les réponses de la main ipsilatérale au champ visuel stimulé (*i.e.* condition non croisée) étaient plus rapides que celles de la main controlatérale. Comme nous l'avons mentionnée, cette différence se nomme CUD (*i.e.*, *crossed-uncrossed differential*). Tettamati, Paulesu, Scifo, Maravita, Fazio, Perani et Marzi

(2002) ont validé le paradigme de Poffenberger (1912) en utilisant la technique d'IRMf. En soustrayant la condition croisée à la condition non-croisée, ils ont observé l'activation d'un réseau spécifique lors de la condition croisée, en particulier une activation du genou du corps calleux (Tettamati et ses collaborateurs exposent dans leur article comment il est possible d'observer une activation du corps calleux). Ils n'ont pas observé d'activations spécifiques pour la condition non-croisée. Ces auteurs ont aussi montré que le transfert d'informations dans le paradigme de Poffenberger se situait principalement au niveau moteur, mais pas exclusivement. En effet, Thut, Hauert, Morand, Seeck, Landis et Michel (1999) ont montré dans une tâche de temps de réaction simple mesurée par potentiels évoqués que le transfert interhémisphérique se situerait au niveau frontal, surtout pour le transfert de l'hémisphère gauche vers le droit ; bien que le transfert de l'hémisphère droit vers le gauche au niveau d'autres localisations ne soit pas à exclure. Cette étude n'a pas mis en évidence d'asymétrie des transferts au niveau comportemental ; ce qui n'est pas le cas d'études moins récentes. Ces études comportementales mesurant le CUD d'informations visuo-motrices ont montré que celui-ci est plus rapide de l'hémisphère droit vers l'hémisphère gauche qu'inversement. (voir les méta-analyses de Braun, 1993 ; Brown, Larsen, & Jeeves, 1994 ; Marzi, Bisiacchi, & Nicoletti, 1991). Une autre méthode pour mesurer l'IHTT est de comparer la latence des potentiels évoqués enregistrés dans chaque hémisphère stimulé par des présentations hémichampiques. Comme le disent Nowicka, Grabowska et Fersten (1996), cette mesure est plus précise que la mesure du CUD. Dans leur étude, Nowicka et al. (1996) ont montré, en employant des stimuli préférentiellement traités par l'hémisphère droit ou l'hémisphère gauche, que l'IHTT serait plus court de l'hémisphère dominant vers l'hémisphère non dominant que l'inverse. Le temps de transfert des informations serait dépend de l'activation propre de chaque hémisphère. En revanche, en employant la même technique avec des tâches langagières, des auteurs ont observé que la communication des informations de l'hémisphère droit vers l'hémisphère gauche est plus rapide (Brown et al., 1994 ; Larsen & Brown, 1997 ; Moes, Brown, & Minnema, 2007). L'IHTT ne serait pas dépendant de l'activation de chaque hémisphère.

En résumé, il existe plus de faits empiriques en faveur d'une plus grande rapidité du transit droite-gauche que gauche-droite. Il existe plusieurs hypothèses explicatives des asymétries des communications interhémisphériques. Ces asymétries seraient causées par : (1) une différence du nombre de neurones se projetant d'un hémisphère sur l'autre, (2) un taux de myélinisation différente entre les projections de l'hémisphère droit sur le gauche et inversement, (3) le temps de transfert des informations serait dépend de l'activation propre

de chaque hémisphère. À notre connaissance, aucune étude ne permet de trancher entre les deux premières hypothèses.

Synthèse

Les interactions interhémisphériques sont complexes, comme le souligne Banich (1995). Elles dépendent du niveau de la communication interhémisphérique (corticale ou sous-corticale), de la nature des informations, du délai de transmission (fibre myélinisée ou non), et de la complexité de la tâche. Il n'existe pas à l'heure actuelle un consensus sur la fonction de l'interaction interhémisphérique. Une grande quantité de modèles a été proposée dont la plupart se recourent les uns, les autres. Les modèles proposés reposent principalement sur des constats expérimentaux issus de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie. La majeure partie de ces modèles est donc bâtie à partir d'interprétations et de spéculations sur les fonctions cognitives et non à partir d'arguments neurobiologiques ou computationnels. La première distinction de modèle que nous pouvons formuler est une distinction entre les modèles dits de spécialisation unilatérale ou bilatérale. Dans les premiers, seul un hémisphère a la capacité de réaliser une tâche donnée ; dans les seconds, les deux hémisphères ont la capacité de réaliser la tâche. Une autre manière de catégoriser les différentes approches de l'interaction interhémisphérique repose sur la prise en charge de l'information par les hémisphères. Soit un seul hémisphère prend en charge l'information (exemple des modèles de Zaidel, de métacontrôle ou d'allocation de ressources), soit les deux hémisphères prennent en charge l'information, mais peuvent collaborer (exemple de Mordkoff & Yantis, 1991 ou de Banich & Karol, 1992), être en compétition (exemple de Raab, 1962), être complémentaires (exemple de Cook, 1984), ou se co-activer (exemple de Miller, 1982 ; Pulvermüller & Mohr, 1996). La divergence des modèles de relations interhémisphériques prend naissance à partir de deux faits : d'une part, comme nous l'avons dit, ces modèles reposent sur des interprétations issues de la psychologie cognitive et les discussions ne se situent principalement que sur le plan fonctionnel. D'autre part, la non-convergence des propositions prend naissance dans l'objectif des auteurs. Certains auteurs bâtissent une réflexion sur l'interaction hémisphérique en partant du principe que des spécialisations hémisphériques existent. Ces auteurs considèrent donc les interactions hémisphériques comme un biais d'observation d'asymétrie hémisphérique et cherchent à comprendre leurs fonctions. D'autres auteurs partent du principe que les deux hémisphères ont des capacités équivalentes, mais que leurs interactions donnent naissance à des

asymétries fonctionnelles. Enfin, nous pouvons aussi classer les différents modèles en fonction du type d'approche des chercheurs.

Résumé des approches

Approche structurale

Les modèles de spécialisation unilatérale proposent qu'un seul hémisphère ne soit capable de traiter l'information. Le modèle le plus abouti est celui proposé par Zaidel avec son principe de relais calleux. Ce modèle est souvent pris comme modèle de base de la dynamique hémisphérique, puisque son principe de fonctionnement simple et son opérationnalisation occultant certains faits rendent plus aisées les interprétations de données issues de présentations hémichampiques. Cependant, il a été fortement critiqué sur le plan méthodologique. Aujourd'hui, ces modèles sont plus considérés comme une procédure méthodologique qu'une réelle modélisation de la dynamique des hémisphériques.

Approche neuropsychologique

Les modèles de contrôle sont basés sur le principe de spécialisation hémisphérique relative. Ils suggèrent des processus de prise en charge des informations par un seul hémisphère. Ce processus est décrit avant tout sur le plan fonctionnel (modèle de métacontrôle) et serait supposé impliquer le rôle du corps calleux (modèle de localisation fonctionnelle), mais ces modèles n'explicitent pas la fonction de celui-ci. Le principe de métacontrôle, s'il existe, se mettrait en place dans le cas de tâches complexes. Le modèle de métacontrôle a été fortement critiqué et peu de résultats empiriques vont en sa faveur (Banich & Karol, 1998).

Approche statistique

Les modèles de traitements parallèles reposent sur le fait que les hémisphères traitent parallèlement l'information. Le travail de chaque hémisphère se réaliserait de manière indépendante soit tout au long des traitements sans interactions hémisphériques (modèle de course indépendante), soit uniquement à l'un des stades précoces et les informations seraient donc intégrées à un stade supérieur (modèle de co-activation), soit avec des échanges d'informations au fur et à mesure des traitements parallèles (modèle de Mordkoff & Yantis, 1991), soit avec une régulation des traitements parallèles gérée par le corps calleux (modèle de Belger & Banich, 1992).

Approche attentionnelle

Les modèles d'allocation de ressources reposent sur un processus efférent (*i.e.*, top-down). Les ressources seraient préalablement distribuées entre les hémisphères en fonction de leurs capacités à traiter l'information. Les différences de performances entre les champs visuels s'expliqueraient par cet effet d'amorçage attentionnel qui serait rendu possible par une inhibition interhémisphérique (modèle de Kinsbourne, 1970) et par un aiguillage des informations sensorielles à l'hémisphère compétent (modèle de Levy, 1974). Ces modèles n'ont pas reçu de preuves expérimentales suffisantes pour être validés. Moscovitch (1976) a proposé un modèle d'accès direct avec des ressources réparties en fonction du niveau de compétence des hémisphères.

Approche cytoarchitecturale

Les aires homologues, colonnes de neurones symétriquement localisées, sont interconnectées via le corps calleux : soit ces connexions permettent d'activer des patterns d'activations opposés entre les hémisphères (modèle de Cook, 1995), soit ces connexions permettent une communication des informations (modèle de Boles, 1983). Dans le premier cas, le travail des hémisphères serait complémentaire. Cook expose une architecture connexionniste et parallèle, alors que Boles propose plutôt une conception structurale et prétend que l'activation de ces aires homologues n'aurait lieu que dans le cas de présentations bilatérales. Il précise que des informations congruentes entre les hémisphères engendrent un gain de traitement et que des informations non congruentes engendrent un coût.

Approche physiologique

Le modèle d'assemblée de cellules transcorticales repose sur le principe d'ignition de Hebb. Les asymétries hémisphériques seraient sous-tendues par une répartition non équilibrée de réseaux de neurones. Le corps calleux n'aurait pour rôle que l'activation de ces réseaux de neurones.

Les différentes approches conceptualisent différents modèles de la dynamique hémisphérique. Celles-ci ont donné naissance à plusieurs méthodes d'études que nous allons résumer.

Résumé des méthodes utilisées pour l'étude de la dynamique hémisphérique

Nous avons préalablement critiqué le paradigme de présentation en champ visuel divisé classique et de son insuffisance pour comprendre la dynamique des hémisphères. Nous allons lister de manière non exhaustive les différents moyens qui ont été mis en place pour étudier avec plus de précision les interactions interhémisphériques.

Méthodes comportementales

Plusieurs méthodes comportementales ont été inventées pour l'appréciation des interactions hémisphériques, nous présentons les principales :

- le paradigme de Poffenberger (1912) permet l'évaluation des temps de transfert calleux ;
- la comparaison de présentations bilatérales de mêmes stimuli et de présentations unilatérales permet d'évaluer le processus de métacontrôle (Hellige et al., 1988, 1989a, 1989b) ;
- l'amorçage intrahémisphérique versus interhémisphérique permet d'évaluer les fonctions ou le niveau du transfert calleux (Collins & Coney, 1998) ;
- des tâches de comparaisons de stimuli présentés soit dans des champs visuels différents, soit dans un même champ visuel permettent d'évaluer le bénéfice de la coordination hémisphérique (Banich, 1998) ;
- la présentation bilatérale de stimuli différents avec un pointage de l'hémichamp devant être traité permet de mettre plus en saillance des différences hémisphériques comparativement à la présentation unilatérale (Boles, 1983) ;
- l'emploi de doubles tâches préférentiellement et asymétriquement réalisées par les hémisphères permet de tester l'allocation des ressources et le niveau de spécialisation hémisphérique (Moscovitch & Klein, 1980 ; Querné, Eustache, & Faure, 2000).

Méthode neuropsychologique

Les études de patients commissurotomisés permettent d'évaluer les capacités des hémisphères sans communication via le corps calleux et ainsi d'inférer le rôle du corps

calleux. L'agénésie calleuse est une pathologie rendant appréhendable le rôle du corps calleux lors du développement de l'enfant. Les conclusions d'observations neuropsychologiques doivent être étudiées avec précaution si l'on considère le principe de plasticité neuronale et la grande faculté du cerveau à récupérer certaines fonctions.

Méthode d'imagerie cérébrale

Les techniques d'imagerie cérébrale couplées au paradigme de Poffenberger (1912) sont précises pour l'étude de la dynamique des hémisphères. L'utilisation restreinte de présentations centrales lors d'enregistrement IRMf permet d'évaluer la proportion d'activité de chaque hémisphère, mais ne permet pas, à elle seule, de comprendre la communication et l'interaction hémisphérique.

Résumé des effets à prendre en considération pour la modélisation de la dynamique hémisphérique

Nous présentons ici les faits que devrait prendre en compte un modèle de la dynamique hémisphérique. Cette liste constitue une proposition :

- une présentation bilatérale ou centrale de stimuli identiques améliore les performances générales comparativement à une présentation unilatérale,
- une présentation bilatérale de stimuli différents augmente le contraste de performances entre les hémisphères comparativement à une présentation unilatérale,
- le corps calleux a une fonction cruciale dans les traitements, les communications et la prise en charge de l'information des hémisphères. Tout traitement de l'information par un hémisphère engendre une communication avec son homologue,
- les connexions entre les hémisphères sont soit inhibitrices, soit excitatrices. Sur le plan fonctionnel, l'échange d'informations entre les hémisphères peut être un gain ou un coût en fonction de la nature des informations,
- plus une tâche est complexe, plus les hémisphères interagissent,
- chaque hémisphère participe au traitement de l'information,
- les hémisphères sont en compétition ou en coopération,
- plus les différences hémisphériques observées sont importantes, plus l'inhibition entre les hémisphères est grande.

Conclusion

Notre but n'est pas de trancher entre les différents modèles que nous avons présentés. Considérant les critiques que nous avons émises sur le paradigme de champ visuel divisé classique et du manque d'arguments empiriques que nous avons recueilli pour invalider l'hypothèse d'un processus unique pour le traitement des relations spatiales, cette revue de la littérature nous a ouvert différentes perspectives dans le cadre de la compréhension du traitement des relations spatiales et du fonctionnement des hémisphères. Hormis l'absence de convergence des modèles, nous avons établi une liste des moyens qui ont été mis en place pour la compréhension de la dynamique hémisphérique et une liste de faits sur lesquels nous pouvons bâtir des hypothèses.

La dynamique hémisphérique lors du traitement des relations spatiales

-

Partie expérimentale

Objectifs

Dans cette partie expérimentale, nous avons plusieurs objectifs. Le premier était de mettre en place des paradigmes nous permettant de tester l'influence mutuelle des hémisphères dans le traitement des relations spatiales. Le deuxième objectif était de palier aux problèmes relatifs à la comparaison de tâches de complexités différentes. Enfin, nous avons pour but de mesurer l'influence des informations catégorielles lors de jugements coordonnés.

Résumé des expériences

Dans cette deuxième partie expérimentale, nous avons choisi une adaptation de paradigmes que nous avons présentés pour évaluer l'incidence des communications hémisphériques lors

du traitement des relations spatiales. En accord avec les indices sur le lien entre le processus catégoriel et coordonné, nous avons évalué uniquement le jugement coordonné des participants dans trois expériences, mais en variant la position catégorielle des stimuli. Nous suspectons une influence automatique de ce facteur dans une tâche coordonnée. Cette manipulation nous dispense des problèmes d'interprétation de comparaison de tâches à complexités différentes. De plus et au regard des résultats de Baciú et al. (1999), nous porterons notre attention sur l'évolution des asymétries hémisphériques en cours de testing. Comme nous l'avons supposé, l'effet de pratique de l'hémisphère gauche dans la tâche coordonnée peut s'expliquer par la nature des communications hémisphériques. Il nous semble donc plus judicieux de ne tester que le jugement métrique pour comprendre la dynamique des hémisphères lors du traitement des relations spatiales.

Expérience 6

Dans cette expérience, nous avons adapté le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) ; la barre et le point étaient bilatéralement présentés. Les informations catégorielles et/ou coordonnées pouvaient être identiques ou différentes entre les hémichamps. Tout comme dans le paradigme de Boles (1983), une flèche indiquait au participant pour quel hémichamp il devait répondre. Cette adaptation nous a permis de comparer les performances de chaque hémisphère dans le cas de partage d'informations. Elle offre les avantages du paradigme de Boles (1983) et permet, en plus, de comparer des performances bilatérales entre elles au lieu de comparer des performances bilatérales à des performances unilatérales.

Nous avons observé que les processus catégoriels étaient automatiquement activés lors d'une tâche coordonnée. De plus, nos résultats ont montré que l'activité de chaque hémisphère est fonction de la correspondance des informations traitées par chaque hémisphère. Nous avons répliqué l'avantage de l'hémisphère droit au début de l'expérience uniquement dans le cas où les mêmes informations catégorielles et/ou coordonnées étaient traitées par chaque hémisphère. Si ni les informations catégorielles, ni les informations coordonnées n'étaient identiques entre les hémisphères, alors nous avons observé un avantage de l'hémisphère gauche. La dominance d'un hémisphère pour un type de traitement dépend donc de l'interaction qu'il entretient avec son homologue.

Cette expérience a été présentée lors de deux colloques (Putois & Koenig, 2006, 2007).

Expérience 7

Dans cette expérience, nous avons répliqué l'expérience 6 pour nous assurer de la fidélité de notre paradigme et de la validité de nos observations. Nous avons porté notre attention sur le début de l'expérience. Les résultats que nous obtenons sont identiques à ceux de l'expérience 6. Le paradigme que nous avons utilisé présente donc une bonne fidélité inter-sujet. Les conclusions que nous avons tirées dans l'expérience 6 sont donc valides. Les résultats de cette expérience et l'expérience précédente sont l'objet d'une publication (Putois & Koenig, *in press*).

Expérience 8

Dans cette expérience, nous avons employé un paradigme d'amorçage hémichampique. Nous avons ainsi comparé le gain de l'amorçage intrahémisphérique sur l'amorçage interhémisphérique pour chaque hémisphère. Dans le cas d'amorçage intrahémisphérique, la congruence catégorielle et coordonnée a influencé l'hémisphère droit. Dans cette condition, les performances de l'hémisphère droit étaient meilleures que celles de l'hémisphère gauche. Cet avantage n'était présent qu'au début de l'expérience. Dans le cas d'amorçage interhémisphérique, l'hémisphère gauche est plus influencé par l'hémisphère droit. Dans cette condition, nous observons un avantage marginal de l'hémisphère gauche. D'une part, nous concluons que la spécialisation hémisphérique dépend de la communication entre les hémisphères, que cette communication sera importante au début de l'expérience. D'autre part, nous inférons que majoritairement l'hémisphère droit influence les traitements de l'hémisphère gauche. Nos résultats ont été discutés et critiqués pour plusieurs raisons : nous n'avons pas obtenu tous les résultats auxquels nous nous attendions ; nos observations ne nous permettent pas de savoir si des communications interhémisphériques n'ont pas eu lieu pendant l'amorçage intrahémisphérique et, enfin, l'emploi d'un SOA court a peut-être empêché l'influence de l'hémisphère gauche sur les traitements de l'hémisphère droit.

Cette expérience a fait l'objet d'une communication affichée (Putois & Koenig, 2008).

Expérience 6

Objectifs

Le but de cette expérience est de comprendre comment s'articulent les processus catégoriels et coordonnés et d'évaluer l'ordre d'importance de la communication inter-hémisphérique dans le traitement des relations spatiales. La tâche coordonnée étant une tâche complexe, nous supposons une interaction importante des hémisphères. En appliquant la logique d'Hellige et al. (1988, 1989a, 1989b) de comparaison des présentations bilatérales de stimuli identiques et des présentations unilatérales nous pouvons appliquer la logique suivante : (1) si la présentation bilatérale engendre les mêmes performances que la présentation hémichampique engendrant les meilleures performances, alors l'hémisphère controlatéral à cet hémichamp visuel exerce un contrôle (*i.e.*, métacontrôle) des traitements. (2) Si la présentation bilatérale engendre de moins bonnes performances que la présentation unilatérale, alors les hypothèses d'allocation de ressources sont non valides. (3) Si la présentation bilatérale engendre de meilleures performances que la présentation unilatérale, alors les hémisphères coopèrent.

Sergent (1991) a montré que quelle que soit la tâche de traitements des relations spatiales, la présentation bilatérale engendrait de meilleures performances que la présentation unilatérale. Hellige et Michimata (1989a) ont observé, dans la tâche catégorielle, que les performances étaient meilleures dans la présentation bilatérale que dans la présentation unilatérale. Dans la tâche coordonnée, les performances de la condition bilatérale étaient équivalentes aux performances de présentation en champ visuel gauche (HD) et meilleures à celles de présentation en champ visuel droit (HG). Selon les résultats d'Hellige et Michimata (1989a), les hémisphères coopèrent pour la réalisation d'un jugement catégoriel et l'hémisphère droit exerce un métacontrôle lors de jugements coordonnés. Il semblerait donc que les communications entre les hémisphères soient importantes dans le traitement des relations spatiales. En outre, nous supposons que l'éventuelle coopération des hémisphères lors de la tâche catégorielle est une cause probable de la rareté des observations significatives de l'avantage de l'hémisphère gauche pour les processus catégoriels. De plus, l'activation concomitante et opposée des gyri angulaires, observée lors de jugements coordonnés par Baciú et al. (1999), confirme l'importance de ces connexions. Rappelons que l'effet de pratique observé par Baciú et al. (1999) peut s'interpréter par le fait que

l'évolution de l'activité de chaque gyrus est causée soit par un effet d'apprentissage des réseaux intrahémisphériques, soit par la nature des communications hémisphériques.

Afin de comprendre plus en amont ces processus de coopération ou de métacontrôle, nous avons adapté le paradigme de Boles (1984) : nous avons utilisé une présentation visuelle bilatérale des stimuli en indiquant aux participants (après présentation des stimuli) pour quel hémichamp visuel ils devaient répondre. Nous avons fait varier le niveau de congruence de réponse entre chaque stimulus présenté simultanément dans les hémichamps visuels. Nous avons distingué deux types de congruences en fonction des deux types de positions catégorielles et coordonnées afin de pouvoir tester l'influence éventuelle d'un hémisphère sur l'autre en fonction des deux types de représentations. Cette méthode présente plusieurs avantages : premièrement, la présentation bilatérale force plus les participants à fixer leur regard sur le centre de l'écran comparativement aux présentations unilatérales (Schmuller & Goodman, 1979). Deuxièmement, la charge de travail n'est pas équivalente entre une présentation unilatérale et bilatérale. Pour palier à ce problème, nous avons choisi de comparer des stimulations bilatérales identiques ou différentes, réduisant ainsi les différences de charge de travail entre nos conditions de présentations. Nous n'avons donc pas eu recours à des présentations unilatérales. Troisièmement, présenter de manière constante des stimuli identiques ou différents peut inciter les participants à mettre en place des stratégies de traitements de l'information. Dans cette expérience, le type de congruence entre les informations bilatérales variait aléatoirement d'un essai à l'autre. Quatrièmement, la manipulation de congruence catégorielle des informations présentées simultanément à chaque hémisphère dans un jugement coordonné permet de mesurer l'impact des traitements catégoriels, que nous supposons automatiques sur les processus coordonnés (Sergent, 1991 ; Niebauer, 2001). Comme nous l'avons mentionné, cette manipulation nous évite d'être confrontés aux différences de complexités entre les tâches catégorielles et coordonnées. Cinquièmement, le paradigme de Boles (1983) permet d'observer des asymétries hémisphériques plus importantes. Enfin, nous avons choisi de coupler le paradigme de Boles au paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) pour étudier l'interaction automatique des hémisphères. En effet et contrairement aux tâches développées par Banich et ses collaborateurs (1998), notre tâche ne nécessite pas de comparaison directe entre les stimuli. L'observation d'interactions entre la congruence catégorielle et coordonnée sera plus le reflet du fonctionnement des processus qu'un artefact engendré par le type de tâche. Pour accentuer l'observation du fonctionnement automatique des processus, nous avons présenté l'indication d'hémichamp après la présentation des stimuli. Si nous avons présenté l'indication

avant ou en même temps que les stimuli, des biais attentionnels auraient parasité nos observations.

Méthode

Participants

Trente-neuf sujets volontaires (20 hommes et 19 femmes), étudiants à l'Université Lumière Lyon2, ont participé à l'expérience. Les résultats de sept d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : moyenne de temps de réponse supérieure à 1100 ms, moyenne de taux d'erreurs supérieure à 25%, coefficient de latéralité (inférieur à 0.7). Nous avons changé nos critères de sélection relatifs aux temps de réponse et aux taux d'erreurs, puisque le premier échantillon de participants testé présentait une moyenne de temps de réponse et d'erreurs trop important. Nous avons donc décidé d'établir un seuil fixe, au lieu d'un seuil dépendant de la moyenne et des écart-types des participants. Les trente-deux participants (16 femmes et 16 hommes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 20 ans (Ecart type : 2.14). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.92 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

Les participants réalisaient un jugement coordonné, c'est-à-dire qu'ils devaient dire si un point était éloigné à plus ou moins de huit millimètres d'une barre.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans l'expérience 2 de la première partie expérimentale. Rappelons que la luminosité employée était faible.

Stimuli

Les stimuli étaient semblables à ceux de l'expérience 1 de la première partie expérimentale.

Procédure

Entraînement à la réponse

L'entraînement à la réponse comportait soixante-douze essais, la moitié était des signes « plus », l'autre moitié des signes « moins ». L'entraînement à la réponse se déroulait de la même manière que dans l'expérience 3 de la première partie expérimentale.

Familiarisation aux tâches

L'entraînement à la tâche comportait huit essais. Les essais suivaient le même design que celui de la phase expérimentale. La procédure de cet entraînement était identique à celle de l'entraînement à la tâche de l'expérience 3 de la première partie expérimentale.

Phase expérimentale

Les participants ne réalisaient que la tâche coordonnée dans cette expérience. Les stimuli étaient présentés par paire de part et d'autre et à 3 degrés d'angle visuel du point de fixation. Chaque paire présentée était suivie d'une flèche qui indiquait pour lequel des deux stimuli les participants devaient répondre. La tâche des participants consistait à dire si le point présenté dans le champ visuel indiqué par la flèche était à plus ou moins huit millimètres d'une barre présentée dans le même hémichamp visuel. Pour des commodités de langage, nous appellerons le stimulus présenté dans l'hémichamp visuel pour lequel le participant répondait, le *stimulus cible* ; le stimulus présenté dans l'hémichamp visuel opposé à celui pour lequel le participant répondait, le *stimulus non-cible*. Chaque couple *stimulus cible / stimulus non-cible* était présenté de manière symétrique ; c'est-à-dire chaque *stimulus cible* donné était présenté dans chaque hémichamp visuel avec le même *stimulus non-cible*. La répartition des stimuli selon le facteur Congruence coordonnée a été établie ainsi : les couples de stimuli ayant la même étiquette coordonnée (« in » ou « out »), ont été qualifiés de couples *congruence coordonnée* quelle que soit leur position catégorielle respective. Les couples de stimuli ayant des étiquettes coordonnées contraires, ont été qualifiés de couples *incongruence coordonnée* quelle que soit leur position catégorielle respective. La répartition des stimuli selon le facteur *congruence catégorielle* a suivi la même logique : les couples de stimuli ayant la même étiquette catégorielle (« down » ou « up »), ont été qualifiés de couples *congruence catégorielle*, quelle que soit leur position coordonnée respective. Les couples de stimuli ayant des étiquettes catégorielles contraires ont été qualifiés de couples *incongruence catégorielle*, quelle que soit leur position coordonnée respective.

La phase expérimentale comportait 512 essais distribués de manière équivalente en quatre blocs expérimentaux répartis selon les facteurs expérimentaux présentés dans le tableau 19. Chaque bloc était séparé d'une courte pause. Chaque bloc comportait 128 essais, pour la moitié desquels les participants effectuaient leur jugement sur le stimulus présenté dans le champ visuel gauche et pour l'autre moitié desquels les participants effectuaient leur jugement sur le stimulus présenté dans le champ visuel droit. Chaque bloc comportait le

même nombre d'essais engendrant une réponse « in » que d'essais engendrant une réponse « out ». De même, chaque bloc comportait le même nombre de *stimulus-cible* dont le point était au dessus ou en dessous de la barre. Dans un bloc, les seize positions différentes du point étaient présentées à chaque hémichamp cible. Enfin, chaque bloc comportait le même nombre d'essais faciles et difficiles. Les essais étaient répartis de manière pseudo-aléatoire au sein de chaque bloc de telle sorte que trois mêmes réponses et trois mêmes latéralités de présentations ne soient consécutives.

Tableau 19. Répartition des stimuli dans un bloc expérimental. La deuxième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence coordonnée. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence catégorielle. La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel cible. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Bloc	bloc (128)							
Congruence coordonnée	Congruence coordonnée (64)				Incongruence coordonnée (64)			
Congruence catégorielle	Congruence catégorielle (32)		Incongruence catégorielle (32)		Congruence catégorielle (32)		Incongruence catégorielle (32)	
Champ visuel cible	Champ visuel droit (16)	Champ visuel gauche (16)	Champ visuel droit (16)	Champ visuel gauche (16)	Champ visuel droit (16)	Champ visuel gauche (16)	Champ visuel droit (16)	Champ visuel gauche (16)

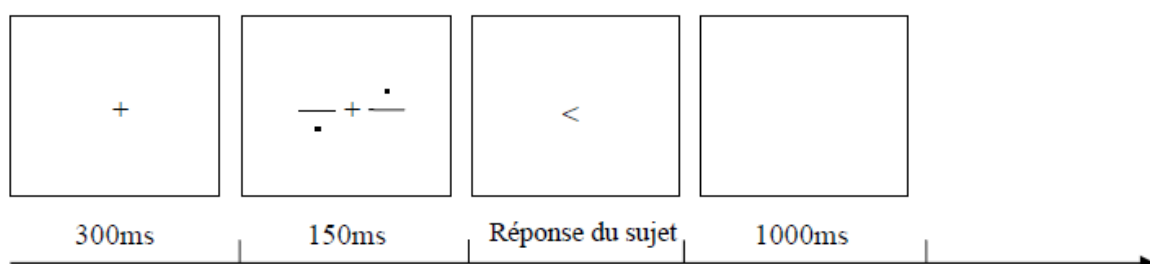
Le tableau 20 expose la répartition des participants, nous précisant l'ensemble des variables indépendantes inter-sujets prises en compte dans nos analyses statistiques. Conformément à nos interprétations de l'expérience 3, nous avons choisi un mode de réponses monomanuel. La moitié des participants répondait de la main droite, l'autre moitié de la main gauche. L'ordre de présentation des blocs était contrebalancé selon la méthode du carré latin.

Tableau 20. Présentation de la répartition des participants. La deuxième colonne indique les deux modalités du facteur Sexe. La troisième colonne indique les 4 modalités de la variable Ordre des blocs. La quatrième colonne indique les deux modalités du facteur Main de réponse. Est indiqué entre parenthèses le nombre de participants pour chaque condition.

	sexe	ordre des blocs	main de réponse
Participants (32)	Femme (16)	b1-b2-b3-b4 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b2-b1-b4-b3 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b3-b4-b1-b2 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b4-b3-b2-b1 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
	Homme (16)	b1-b2-b3-b4 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b2-b1-b4-b3 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b3-b4-b1-b2 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)
		b4-b3-b2-b1 (4)	Main droite (2)
			Main gauche (2)

Chaque essai était composé d'un point de fixation présenté au centre de l'écran pendant 300 ms et symbolisé par une croix (de largeur de deux millimètres, 0,2 angle visuel). Le point de fixation était suivi du couple de stimuli présentés dans chaque champ visuel pendant 150 ms. Pendant l'apparition des stimuli, le point de fixation restait à l'écran. Le couple point de fixation-stimuli était suivi d'une flèche centrale (« > » ou « < »). Celle-ci indiquait aux participants pour quel hémichamp visuel ils devaient donner leur réponse. Cette flèche restait à l'écran jusqu'à la réponse des participants. Un dernier écran blanc de 1000 ms permettait de faire la transition entre deux essais (cf. 0). Un feedback sonore retentissait si le participant commettait une erreur. L'expérience durait approximativement 30 minutes. Chaque bloc expérimental durait en moyenne 5 minutes.

Figure 30 Design temporel d'un essai (les stimuli ne sont pas représentés à l'échelle).



Hypothèses

Nos hypothèses théoriques (notées H) et opérationnelles (notées HO) relatives à l'expérience 6 étaient les suivantes :

H1 : L'hémisphère droit est dominant dans le traitement des relations spatiales coordonnées (Kosslyn, 1987).

- HO-1 : Cibler le champ visuel gauche engendre de meilleures performances que cibler le champ visuel droit.

H2 : Les hémisphères traitent l'information de manière indépendante.

- HO-2 : Les participants ne sont pas influencés par la congruence soit catégorielle, soit coordonnée.

H3 : La communication hémisphérique a lieu dans le traitement des relations spatiales.

- HO-3 : Les participants sont influencés par la congruence soit catégorielle, soit coordonnée.

H4 : Le traitement catégoriel est un processus automatique activé lors d'un jugement coordonné (Niebauer, 2001).

- HO-4 : Les performances des participants sont influencées par la congruence catégorielle.

H5 : Les processus catégoriels et coordonnés ne sont pas indépendants.

- HO-5 : Le facteur congruence catégorielle et congruence coordonnée interagissent.

H6 : Les hémisphères coopèrent dans le traitement des relations spatiales.

- HO-6 : La congruence catégorielle (ou coordonnée) engendre de meilleures performances que l'incongruence catégorielle (ou coordonnée).

H7 : L'hémisphère droit exerce un métacontrôle de la tâche coordonnée (Hellige et al., 1988).

- HO-7 : Quelle que soit la congruence catégorielle et coordonnée, les présentations en champ visuel gauche engendrent de meilleures performances que les présentations en champ visuel droit.

H8 : L'observation de différences hémisphériques dépend du niveau de congruence des informations entre chaque hémisphère (Boles, 1983 ; Shevtsova & Reggia, 1999).

- HO-8 : La différence de performances entre les champs visuels ciblés est plus importante dans le cas d'incongruence (coordonnée ou catégorielle) que dans le cas de congruence (coordonnée ou catégorielle).

H9 : Si l'hémisphère droit est spécialisé dans les traitements coordonnés et l'hémisphère gauche dans les traitements catégoriels et si l'influence interhémisphérique dépend du niveau de spécialisation de chaque hémisphère (Nowicka et al., 1996) alors :

- HO-9-1 : La différence des conditions congruence et incongruence catégorielle est plus importante si le champ visuel gauche est ciblé que si le champ visuel droit est ciblé, et
- HO-9-2 : La différence des conditions congruence et incongruence coordonnée est plus importante si le champ visuel droit est ciblé que si le champ visuel gauche est ciblé.

H10 : Si l'effet de pratique, observé par Baciú et al. (1999), repose sur la communication entre les hémisphères, alors nous devrions répliquer leurs résultats dans le cas de congruence des informations entre les hémisphères. Rappelons que dans l'étude de Baciú et al. (1999) les stimuli étaient présentés en position centrale, c'est-à-dire que chaque hémisphère recevait la même information (identiquement à notre condition de congruence catégorielle et coordonnée). Dans le cas d'incongruence des informations catégorielles et coordonnées, nous devrions observer le pattern inverse à celui obtenu par Baciú et al. (1999).

- HO-10-1 : Les effets de congruence catégorielle ou coordonnée évoluent le long des blocs,
- HO-10-2 : Dans les conditions de congruence catégorielle et coordonnée, les performances de la condition *cvg-HD* sont meilleures que celles de la condition *cvd-HG*, cette différence s'inverse au fur et à mesure de la passation, et
- HO-10-3 : Dans les conditions d'incongruence catégorielle et coordonnée, les performances de la condition *cvd-HG* sont meilleures que celles de la condition *cvg-HD*, cette différence s'inverse au fur et à mesure de la passation.

Ce paradigme nous offre une autre alternative méthodologique. Nous pouvons rapporter une courbe de coopération inter-hémisphérique en fonction des informations que les hémisphères ont ou non en commun. Le croisement des facteurs Congruence catégorielle et Congruence coordonnée peut être considéré comme des niveaux de complexité. Par

exemple, nous pouvons considérer que la condition croisée *congruence catégorielle/congruence coordonnée* est plus facile que la condition croisée *incongruence catégorielle/incongruence coordonnée*. En appliquant le principe d'association inversée (Dunn & Kirsner, 1988), si les traitements catégoriels et coordonnés sont régis par un processus unique, alors la courbe de coopération inter-hémisphérique devrait être monotone. Par contre, si les traitements catégoriels et coordonnés sont régis par des processus distincts, alors la courbe ne devrait pas être monotone. D'autres études sur le traitement des relations spatiales ont eu recours à la logique de l'association inversée (Bruyer et al., 1997 ; Hellige & Michimata, 1989a ; Kosslyn et al., 1989). Ces études ont cherché une corrélation entre les deux types de tâche en fonction des modalités de présentations (champ visuel droit, champ visuel gauche, présentation bilatérale et/ou présentation centrale). Or et comme nous l'avons mentionné, d'une part, le niveau de complexité entre les tâches n'est pas équivalent et, d'autre part, il est probable que l'activation des deux hémisphères (présentation bilatérale ou centrale) soit plus que la somme des activités de chaque hémisphère (présentation unilatérale) (Banich & Karoll, 1992). Il n'est donc pas étonnant que ces études aient montré une non-monotonie des courbes en comparant des conditions si différentes. Nous avons donc choisi de tester la relation entre l'activité de deux hémisphères (mesurée dans des conditions équivalentes) en fonction des modalités croisées des facteurs congruence catégorielle et coordonnée. Cette méthode permet d'évaluer la dynamique hémisphérique (c'est-à-dire le rapport d'activité des deux hémisphères en interaction) en appliquant le principe d'association inversée sur des conditions plus comparable. Ainsi, une monotonie observée validerait un continuum entre les processus coordonnés et catégoriels.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. Ainsi, dans la tâche coordonnée, l'analyse des temps de réponse portait sur 83% des réponses. Les participants répondant en moyenne à plus de 1100 ms et/ou faisant plus de 25% d'erreurs n'ont pas été inclus dans ces analyses. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (3.08% des temps ont été remplacés, la

proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). Les temps de réponses moyens étaient de 827 ms et le taux d'erreurs moyen était de 17%. Nous décrirons dans un premier temps les analyses qui ont été menées uniquement sur les facteurs expérimentaux. Nous exposerons dans un deuxième temps les analyses qui ont été menées sur les facteurs expérimentaux et sur les facteurs contrôles. Enfin, nous décrirons dans une partie spécifique les analyses du principe d'association inversée.

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, incluant les facteurs :

- Champ visuel cible à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Bloc à quatre modalités (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4),
- Congruence catégorielle à deux modalités (congruent, cat1; incongruent, cat0), et
- Congruence coordonnée à deux modalités (congruent, cool; incongruent, coo0).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche),
- Sexe à deux modalités (femme, homme), et
- Ordre des blocs à quatre modalités (b1-b2-b3-b4 ; b3-b4-b1-b2 ; b2-b1-b4-b3 ; b4-b3-b2-b1).

Analyse des temps de réponse

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a révélé trois effets simples significatifs :

- Champ visuel cible [$F_{(1,31)}=4.47, p=.04$] ; les participants ont répondu en moyenne plus rapidement pour les stimuli présentés à gauche (819 ms) que pour les stimuli présentés à droite (837 ms),
- Bloc [$F_{(3,93)}=63.54, p=.0001$] ; les participants ont été plus rapides de bloc en bloc, et
- Congruence coordonnée [$F_{(1,31)}=23.179, p=.0001$] ; les participants ont été plus rapides dans le cas de congruence coordonnée (811 ms) que dans le cas d'incongruence coordonnée (825 ms).

Nous observons une interaction significative des facteurs Bloc et Champ visuel cible [$F_{(3,93)}=3.026, p=.03$, cf. Figure 10]. Nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Champ visuel cible sur chaque modalité du facteur Bloc : l'avantage de la condition *cvg-HD*

n'était significatif que pour les trois derniers blocs [$b2 : F_{(3,93)}=15.72, p=.0001, b3 : F_{(3,93)}=17.84, p=.0001, b4 : F_{(3,93)}=7.65, p<.007$]. Nous avons observé aucune différence de performances en fonction des hémichamps visuels cibles pour le premier bloc [$F_{(3,93)}=0.17, p=.68$]. Ces résultats doivent être considérés avec prudence dans la mesure où cette interaction est incluse dans une interaction d'ordre supérieure.

[Figure 31]

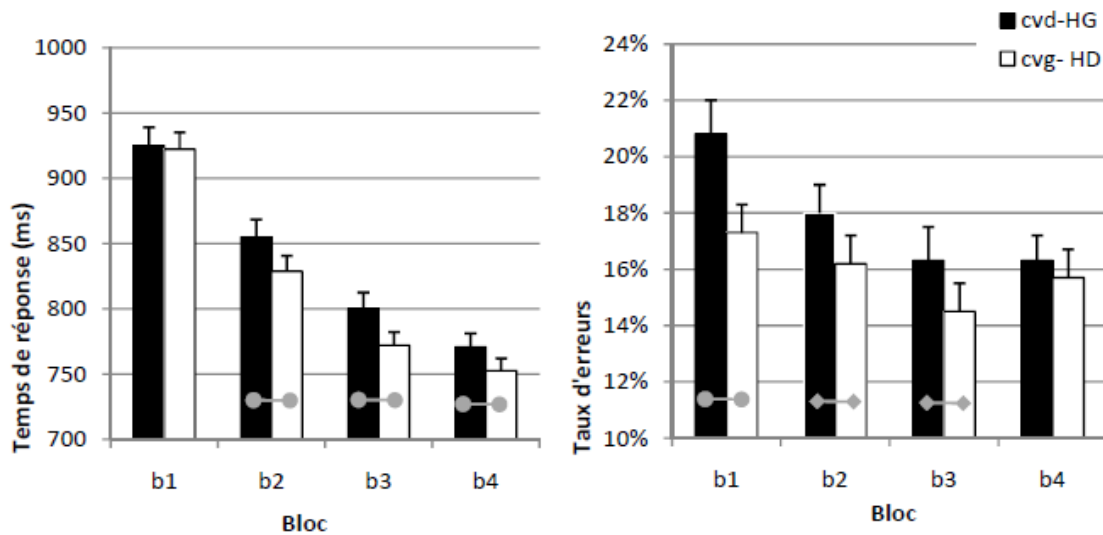


Figure 31 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (b1, b2, b3 et b4) (●● $p<.01$, ◆◆ $p<.07$). Les barres représentent les erreurs standards.

De même, l'interaction des facteurs Congruence coordonnée et Bloc était marginalement significative [$F_{(3,93)}=2.57, p=.059$, cf. Figure 32]. Nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Congruence coordonnée sur chaque modalité du facteur Bloc ; l'avantage de la condition *cool* sur la condition *cool* était marginal pour le bloc 1 [$F_{(3,93)}=3.39, p=.066$] et était significative pour les trois derniers blocs [$b2 : F_{(3,93)}=22.34, p=.0001, b3 : F_{(3,93)}=24.33, p=.0001, b4 : F_{(3,93)}=28.73, p=.0001$].

[Figure 32]

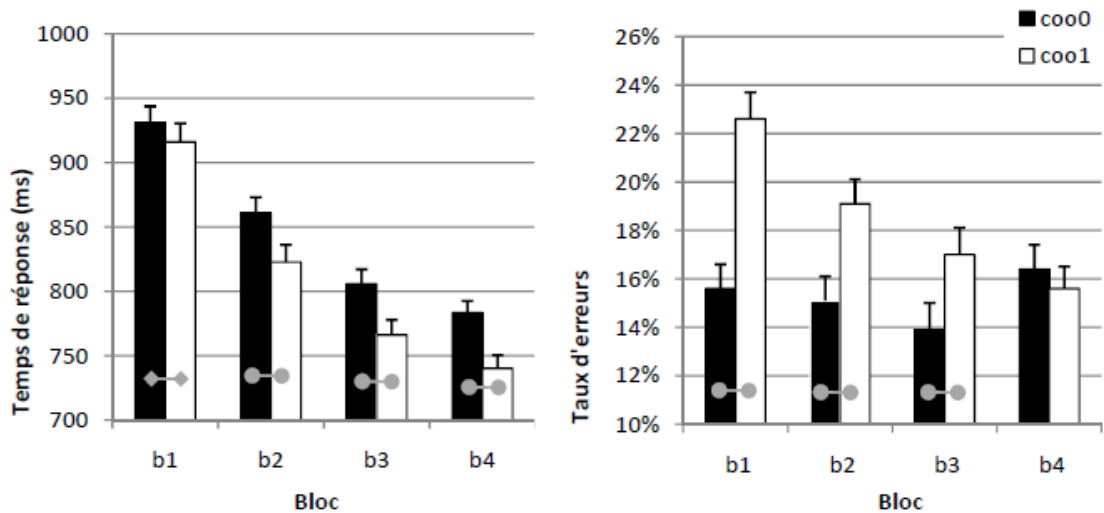


Figure 32 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Congruence coordonnée (congruence, cool, versus incongruence, cool0) et Bloc (b1, b2, b3 et b4) (●● $p < .02$, ◆◆ $p < .07$). Les barres représentent les erreurs standards.

L'interaction Congruence coordonnée * Bloc variait significativement en fonction du Champ visuel cible [$F_{(3,93)}=4.187$, $p < .008$, cf. Figure 33]. Bien que cette interaction soit comprise dans une interaction d'ordre supérieur, nous avons mené des analyses de contrastes qui ont montré que dans la condition cool0, les participants ont été significativement meilleurs quand l'hémichamp gauche était ciblé (cvg-HD) uniquement pour les trois derniers blocs [$b2$: $F_{(3,93)}=24.8$, $p=.0001$, $b3$: $F_{(3,93)}=17.78$, $p=.0001$, $b4$: $F_{(3,93)}=6.8$, $p=.01$]. Dans la condition cool1, nous n'avons observé une différence significative entre les hémichamps visuels ciblés restreinte au troisième bloc [$F_{(3,93)}=4.05$, $p < .05$]. Nous remarquons aussi que l'effet de congruence coordonnée était significatif pour toutes les conditions de champ visuel cible et des blocs sauf pour le premier bloc dans la condition champ visuel droit (cf. Figure 34). Nous avons volontairement représenté cette interaction par deux figures pour faciliter la lecture sous deux angles : soit sous l'angle des différences hémisphériques (cf. Figure 33), soit sous l'angle de la coopération inter-hémisphérique (cf. Figure 34).

[Figure 33]

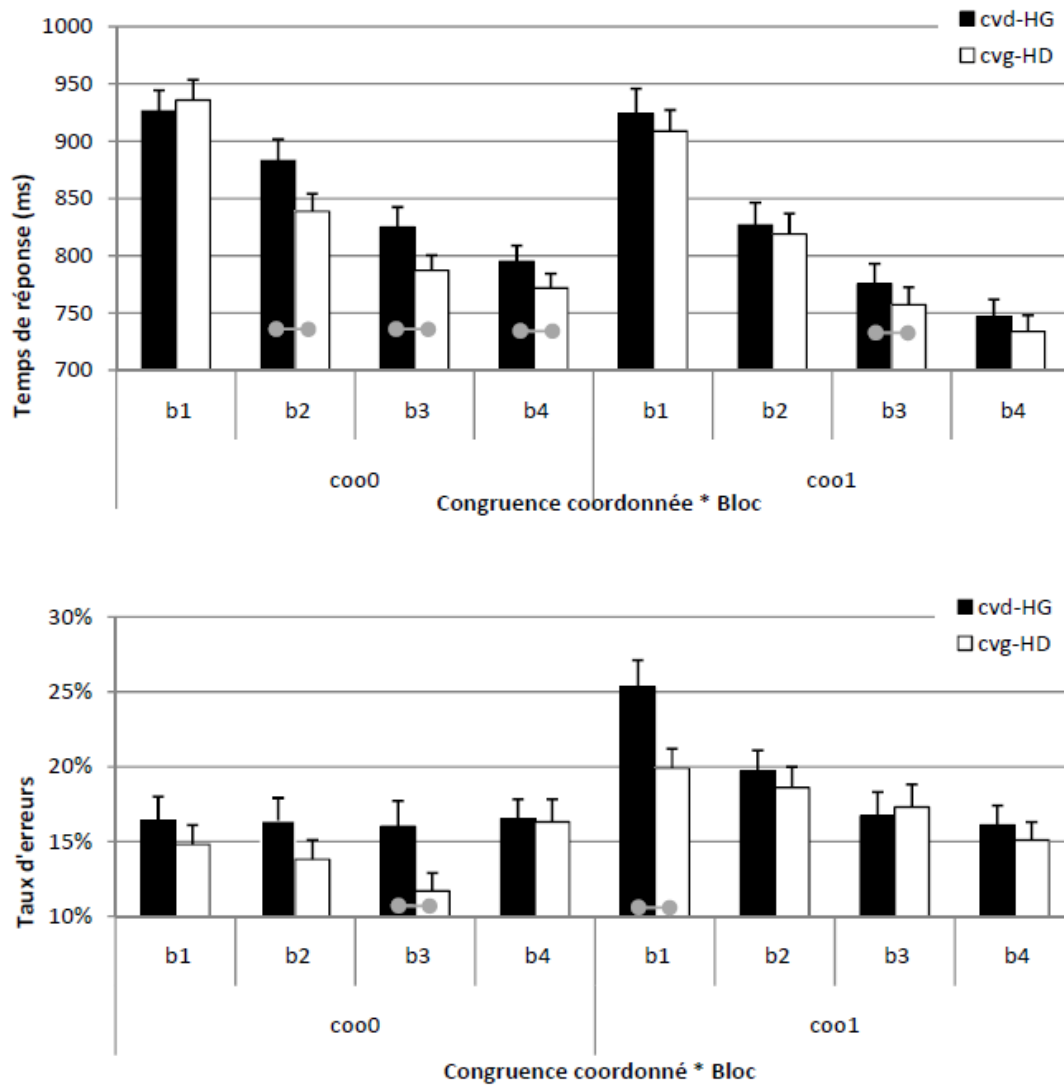


Figure 33 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Congruence coordonnée (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*) et Bloc (*b1*, *b2*, *b3* et *b4*). (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

[Figure 34]

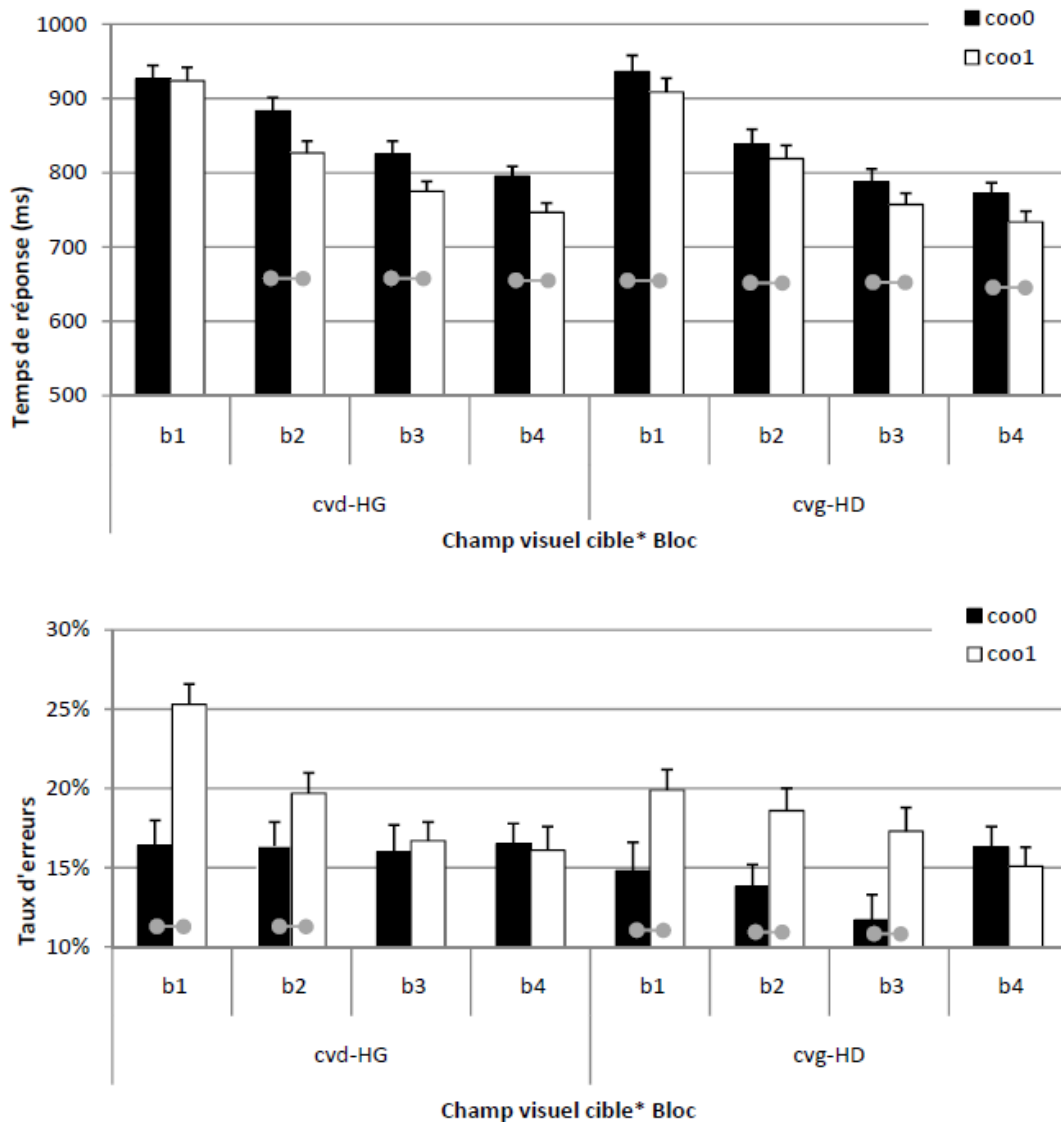


Figure 34 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Congruence coordonnée (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (*b1*, *b2*, *b3* et *b4*). (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Nous avons observé aussi que les facteurs Congruence catégorielle, Bloc et Champ visuel cible interagissaient [$F_{(3,93)}=3.89$, $p < .02$, cf. Figure 35]. Cette double interaction est incluse dans une interaction d'ordre supérieur. Néanmoins et en respect de nos hypothèses, nous avons mené des analyses de contrastes qui ont montré d'une part dans la condition *cat0*, que les participants étaient meilleurs quand l'hémichamp gauche était ciblé uniquement pour les trois derniers blocs [*b2* : $F_{(3,93)}=18.2$, $p=.0001$, *b3* : $F_{(3,93)}=9.88$, $p=.002$, *b4* : $F_{(3,93)}=8.46$, $p=.0045$]. D'autre part, dans la condition *cat1* nous avons observé une différence significative ou marginale entre les hémichamps visuels ciblés restreinte aux trois premiers

blocs [$b1 : F_{(3,93)}=5.04, p<.03, b2 : F_{(3,93)}=3.33, p=.07, b3 : F_{(3,93)}=11.18, p<.02,$]. Nous avons observé que l'effet de congruence catégorielle n'était significatif que pour le premier bloc quand le champ visuel gauche était ciblé [$F_{(3,93)}=4.77, p<.04$] et pour le deuxième bloc quand le champ visuel droit était ciblé [$F_{(3,93)}=8.55, p<.005$, cf. Figure 36]. Pour les même raison que pour l'interaction Congruence coordonnée * Bloc * Champ visuel cible, nous avons choisi de représenter par deux figures cette interaction.

[Figure 35]

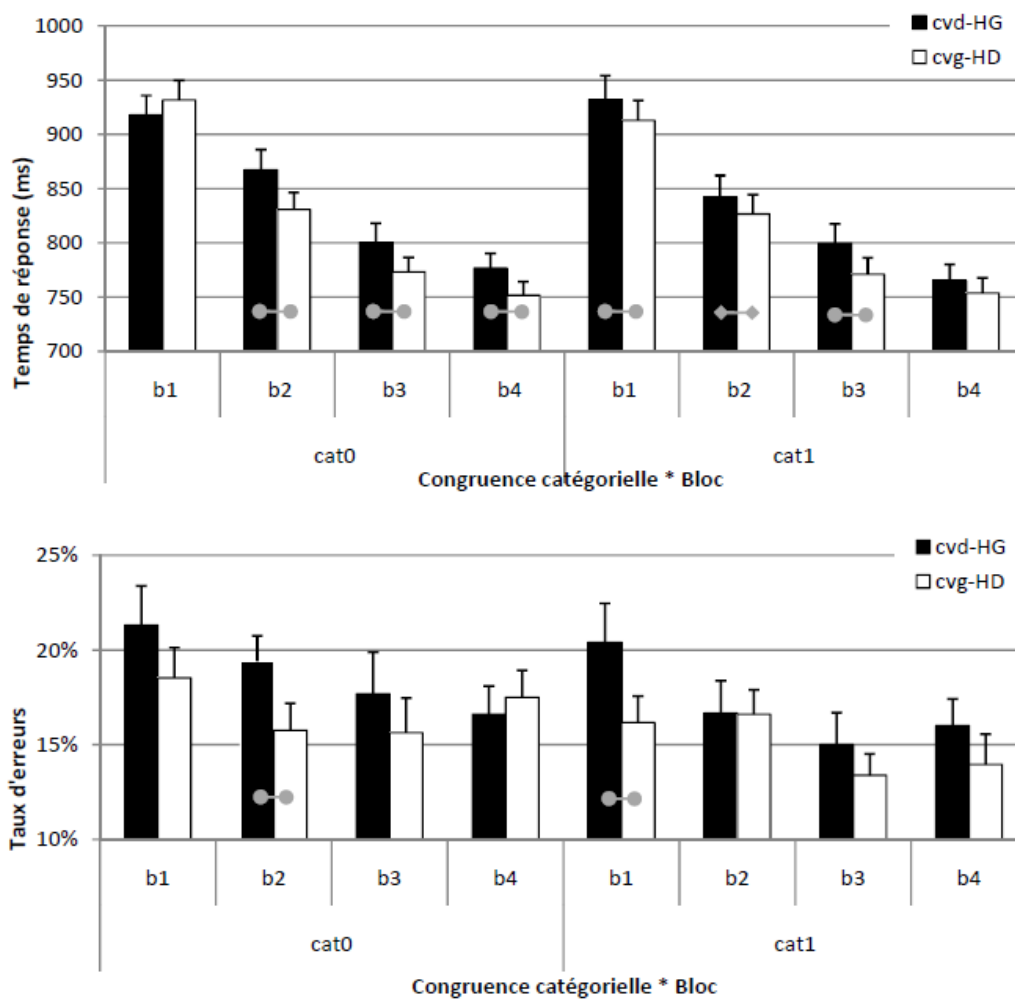


Figure 35 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0) et Bloc (b1, b2, b3 et b4) (●● $p<.05$, ◆◆ $p<.07$). Les barres représentent les erreurs standards.

[Figure 36]

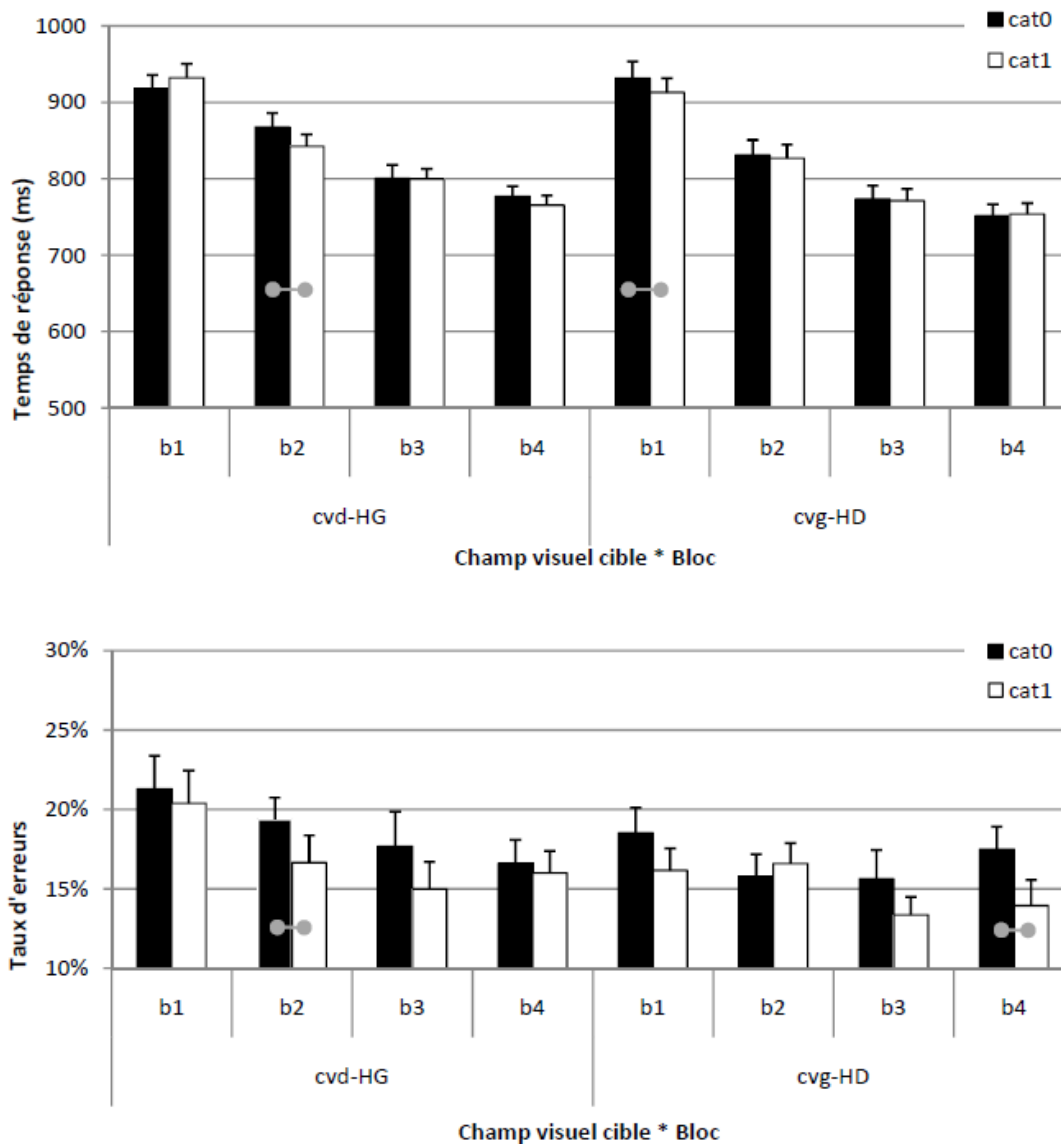


Figure 36 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Bloc (b1, b2, b3 et b4) (●● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Enfin, nous avons observé une triple interaction des facteurs Congruence catégorielle, Congruence coordonnée, Champ visuel cible, Bloc [$F_{(3,93)}=3.04, p < .04$, cf. Figure 37]. Nous avons mené des comparaisons planifiées pour analyser cette interaction. Nous avons mis en évidence dans le cas d'incongruence catégorielle et coordonnée, un avantage significatif de l'hémichamp visuel droit pour le premier bloc [$F_{(3,93)}=8.49, p=.004$] et un avantage significatif de l'hémichamp visuel gauche pour les trois derniers blocs [b2 : $F_{(3,93)}=11.33, p < .002$, b3 : $F_{(3,93)}=5.13, p < .03$, b4 : $F_{(3,93)}=8.11, p=.005$]. Nous avons observé des différences significatives entre les champs visuels cibles dans la condition d'incongruence

coordonnée et de congruence catégorielle pour le deuxième [$F_{(3,93)}=5.74, p<.02$] et troisième bloc [$F_{(3,93)}=6.76, p=.01$].

[Figure 37]

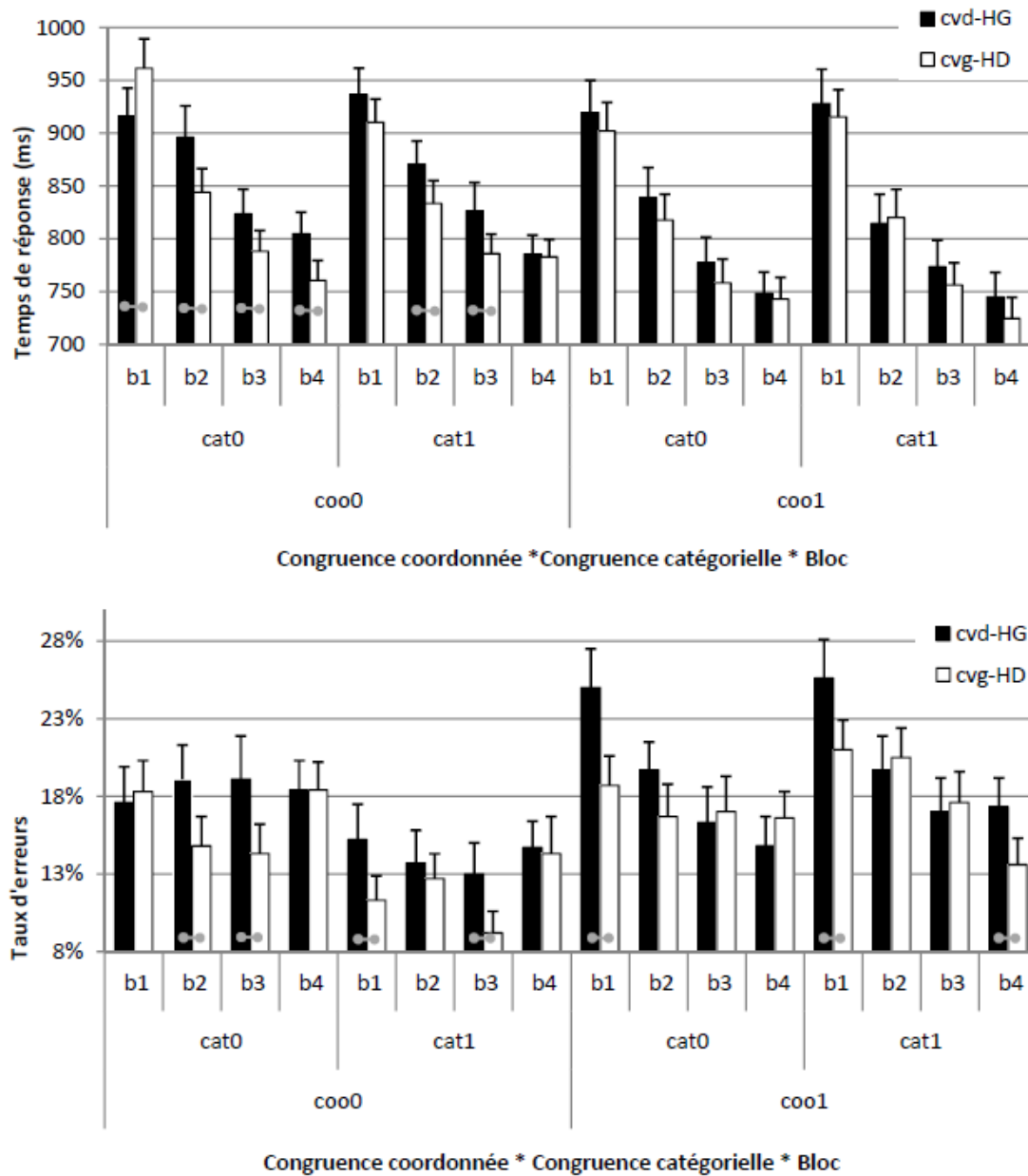


Figure 37 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Congruence coordonnée (congruence, coo1, versus incongruence, coo0), Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0) et Bloc (b1, b2, b3 et b4). (●● $p<.03$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a révélé que tous les effets simples étaient significatifs :

- Champ visuel cible [$F_{(1,31)}=4.93, p<.04$] ; les participants ont fait en moyenne moins d'erreurs quand l'hémichamp cible était le gauche (16% d'erreurs) que quand l'hémichamp cible était le droit (18% d'erreurs),
- Bloc [$F_{(3,93)}=5.87, p=.0001$] ; les participants faisaient de moins en moins d'erreurs,
- Congruence catégorielle [$F_{(1,31)}=12.67, p<.002$] ; les participants réalisaient plus d'erreurs dans la condition d'incongruence catégorielle (17.8% d'erreurs) que dans la condition de congruence (16% d'erreurs), et
- Congruence coordonnée [$F_{(1,31)}=9.27, p=.004$] ; les participants réalisaient plus d'erreurs dans la condition de congruence coordonnée (18.6% d'erreurs) que dans la condition d'incongruence (15.3% d'erreurs).

L'interaction Champ visuel cible * Bloc n'était pas significative ($p>.1$, cf. Figure 31). Compte tenu de nos hypothèses relatives à l'effet de pratique, nous avons mené des analyses de contrastes du facteur Champ visuel pour chacune des modalités du facteur Bloc. Ces analyses ont révélé un avantage des réponses au champ visuel gauche significatif pour le bloc 1 [$F_{(1,31)}=13.98, p=.0003$], et marginal pour les blocs 2 et 3 [$b2 : F_{(1,31)}=3.88, p=.0518, b3 : F_{(1,31)}=3.83, p=.0533$].

L'interaction des facteurs Congruence catégorielle et Congruence coordonnée s'est avérée significative [$F_{(1,31)}=16.95, p=.0003$]. Les participants faisaient moins d'erreurs dans la condition de congruence catégorielle et d'incongruence coordonnée (*cat1-coo0* : 13% d'erreurs) comparativement aux autres conditions (*cat1-coo1* : 19%, *cat0-coo1* : 18.1%, *cat0-coo0* : 17.5%).

L'interaction Congruence coordonnée * Bloc s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=6.3, p=.0006$, cf. Figure 32]. Des analyses de contrastes relatives au facteur Congruence coordonnée ont été menées sur chaque bloc : les participants étaient particulièrement perturbés quand les informations présentées dans les deux hémichamps étaient identiques, cette influence diminuant au fur et à mesure des blocs [$b1 : F_{(3,93)}=29.4, p=.0001, b2 : F_{(3,93)}=10, p=.002, b3 : F_{(3,93)}=5.75, p=.02, b4 : F_{(3,93)}=0.54, p=.513$].

L'interaction Congruence coordonnée * Bloc interagissait significativement avec le facteur Champ visuel cible [$F_{(3,93)}=2.88, p=.04$, cf. Figure 33]. Des analyses de contrastes ont montré que dans le cas de congruence coordonnée les participants ont fait significativement

plus d'erreurs quand le champ visuel cible était le droit uniquement pour le premier bloc [$F_{(3,93)}=12.43, p=.0007$]. Dans le cas d'incongruence coordonnée, nous avons observé un avantage significatif du champ visuel cible gauche pour le troisième bloc [$F_{(3,93)}=7.8, p=.006$]. Nous avons remarqué que l'effet de congruence coordonnée était significatif dans la condition *cvd-HG* pour les deux premiers blocs [*b1*: $F_{(3,93)}=33.42, p=.0001$, *b2*: $F_{(3,93)}=4.63, p<.04$] et dans la condition *cvg-HD* pour les trois premiers blocs [*b1*: $F_{(3,93)}=10.9, p<.002$, *b2*: $F_{(3,93)}=9.9, p=.002$, *b3*: $F_{(3,93)}=12.9, p=.005$] (cf. Figure 34).

L'interaction Congruence catégorielle * Bloc * Champ visuel cible n'était pas significative ($p>.1$) pour les taux d'erreurs (cf. Figure 35). Cette interaction étant significative pour les temps de réponse et afin de vérifier que les contrastes que nous avons précédemment calculés ne s'opposent pas à des effets sur les taux d'erreurs, nous avons mené les mêmes calculs. L'effet du facteur Champ visuel cible était significatif pour le premier bloc dans la condition *cat1* [$F_{(3,93)}=6.72, p<.002$] et pour le deuxième bloc dans la condition *cat0* [$F_{(3,93)}=4.82, p=.03$]. De plus, l'effet de congruence catégorielle était significatif pour les réponses au champ visuel droit dans le deuxième bloc [$F_{(3,93)}=4.84, p=.035$] et pour les réponses au champ visuel gauche dans le dernier bloc [$F_{(3,93)}=6.4, p=.01$] (cf. Figure 36).

L'interaction Congruence catégorielle * Congruence coordonnée * Bloc * Champ visuel cible n'était pas significative. Toutefois, puisque cette interaction était significative pour les temps de réponse, nous avons mené les mêmes contrastes que dans l'analyse précédente pour la dernière interaction. Nous avons mentionné les différences significatives obtenues sur la Figure 36. Nous avons mis en évidence que l'avantage de la condition *cvg-HD* pour le premier bloc était significatif dans toutes les conditions sauf dans le cas où les informations catégorielles et coordonnées étaient incongruentes.

Analyse par le principe d'association inversée

Une double dissociation est une méthode permettant de différencier des processus cognitifs. Ce terme, fortement utilisé en neuropsychologie car originalement employé par le neuropsychologue Teuber (1955), n'est pas exclusif à ce champ d'étude. Une dissociation renvoie au fait qu'une variable (manipulation ou facteur) affecte différemment deux tâches. Plus précisément, une dissociation simple est décrite lorsqu'une variable (a) a un effet dans une tâche A et pas d'effet dans une tâche B. Une double dissociation non-croisée est décrite lorsqu'en plus une autre variable (b) a un effet dans la tâche B et pas d'effet dans la tâche A. En d'autres termes, une double dissociation non-croisée est l'occurrence de deux

dissociations simples. Une double dissociation croisée est décrite lorsqu'une variable a un effet dans la tâche A et un effet contraire dans la tâche B.

Dans le champ de la neuropsychologie, cette ou ces variables sont souvent une zone cérébrale, pouvant être lésée ou non, ou deux groupes de patients. En psychologie cognitive, cette variable peut être, par exemple, le champ visuel ou l'hémisphère cérébral. Dans le cadre de notre travail, une double dissociation croisée équivaut à l'observation d'un avantage de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée et un désavantage dans la tâche catégorielle. Une simple dissociation s'exprimerait au travers d'un avantage de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée et une absence de différence hémisphérique dans la tâche catégorielle (remarquons que ce pattern de résultat est le plus fréquemment observé). Dans ces deux cas, l'interaction Tâche * Champ visuel peut être significative.

Il semblerait qu'une double dissociation croisée est un argument plus puissant qu'une dissociation simple ou non-croisée. A l'évidence, une dissociation simple ou l'occurrence de deux dissociations simples reposent sur le fait qu'une variable n'a pas d'effet dans une tâche. Or, sur le plan statistique, il est impossible de conclure à une absence d'effet en absence de probabilité significative. On ne peut jamais accepter l'hypothèse nulle H_0 , puisque la probabilité qu'un effet soit nul est toujours inférieure à la probabilité que cet effet soit différent de zéro (il existe une infinité de manières d'être différent de zéro). Comme le précise Dunn (2003), une simple dissociation repose sur le fait (1) qu'une variable a un effet dans une tâche, ce qui statistiquement possible, et sur le fait (2) que cette même variable n'a pas d'effet dans une autre tâche, ce qui n'est statistiquement pas possible. Comme une dissociation simple dépend que (1) et (2) soient vrais et que nous ne pouvons jamais prouver que (2) est vrai, alors on ne peut jamais être sûr qu'une dissociation existe. Ceci ne signifie pas qu'une simple dissociation n'existe pas, mais que nous ne pouvons pas savoir si nous en avons trouvé une. Ainsi, nous ne pouvons pas déduire à partir d'une dissociation simple ou non-croisée que deux systèmes sont distincts (pour des illustrations complémentaires voir, Chater, 2003).

De plus, rejeter l'hypothèse d'un processus unique sur la base de l'absence d'effet d'une variable peut être critiquable en ce sens que celle-ci peut toujours affecter un ou plusieurs processus qui sous-tendent la tâche. En effet, un changement d'efficacité d'un processus, affecté par la variable, peut ne pas être reflété par les performances à la tâche. C'est le cas quand les performances sont maximales (*i.e.*, effet plafond) ou lorsque les performances à une tâche dépendent du fait qu'un de ces processus atteigne un certain seuil (Dunn &

Krisner, 1988). Une dissociation simple ou non-croisée ne nous permet donc pas de rejeter l'hypothèse d'un processus unique.

Une double dissociation croisée peut alors nous servir d'argument afin de différencier des processus cognitifs. L'observation d'une double dissociation nécessite que les deux tâches soient commensurables, c'est-à-dire les mesures doivent être dans la même unité et mesurer les mêmes quantités, ce qui est rare (pour une discussion voir, Dunn, 2003 et pour des résultats expérimentaux dans le cadre des relations spatiales voir, Bruyer et al. 1997). De plus, les deux tâches doivent différer en un point, sinon ce ne seraient pas des tâches différentes. Cependant, il est toujours possible que cette différence modère l'effet de la variable sur les deux tâches. Pour résoudre ces problèmes, une autre stratégie est possible ; celle d'accepter provisoirement une dissociation jusqu'à ce qu'elle soit infirmée. Toutefois, Dunn (2003) a mentionné le principe du rasoir d'Ockham (selon lequel une théorie complexe devrait être acceptée que si la théorie moins complexe a été réfutée). Ainsi, il est plus simple de conclure sur l'existence d'un processus unique que sur l'existence de plusieurs.

De plus, une double dissociation, croisée ou non, peut refléter une corrélation (positive ou négative) entre les deux tâches (Dunn & Krisner, 1988). Si les performances à une tâche A sont corrélées (positivement ou négativement) aux performances d'une tâche B, alors nous pouvons inférer que les performances de la tâche A sont dépendantes des performances de la tâche B (ou *vice versa*). Les processus mis en jeu dans la tâche A peuvent donc, à un niveau de performances différent, être mis en jeu dans la tâche B (ou *vice versa*).

Au même titre que Chater (2003) a conclu « double dissociation can not, as an abstract principle, reliably serve to uncover cognitive structure », Dunn (2003) a écrit « The logical problems associated with dissociations can be resolved only if we abandon the idea that they tell us anything about the existence of separate mental functions ».

Un autre moyen de déterminer l'existence de processus différents est de s'assurer que le principe d'*influence sélective* n'est pas violé. Ce principe est le suivant : chaque variable doit sélectivement affecter un seul processus et chaque processus ne doit contribuer qu'à une seule tâche. La majorité des chercheurs en psychologies cognitives s'entendent pour dire que ce principe est plus l'exception que la règle. De plus, Dunn et Krisner (1988) ont montré que la mise en évidence de doubles dissociations ne permet pas de déterminer si ce principe est violé ou non.

Pour palier au problème de la dissociation et de l'influence sélective, quel que soit son type, Dunn et Krisner (1988) ont énoncé le principe d'association inversée. Une association inversée permet d'inférer avec certitude l'existence de deux processus distincts. Pour qu'une association inversée soit observée, il est nécessaire que (1) le pattern d'association entre deux tâches, positif (croissance monotone) ou négative (décroissance monotone), soit inversé dans une paire de conditions relativement à une autre paire et (2) qu'un minimum de trois variables expérimentales (ou modalités) soit utilisé.

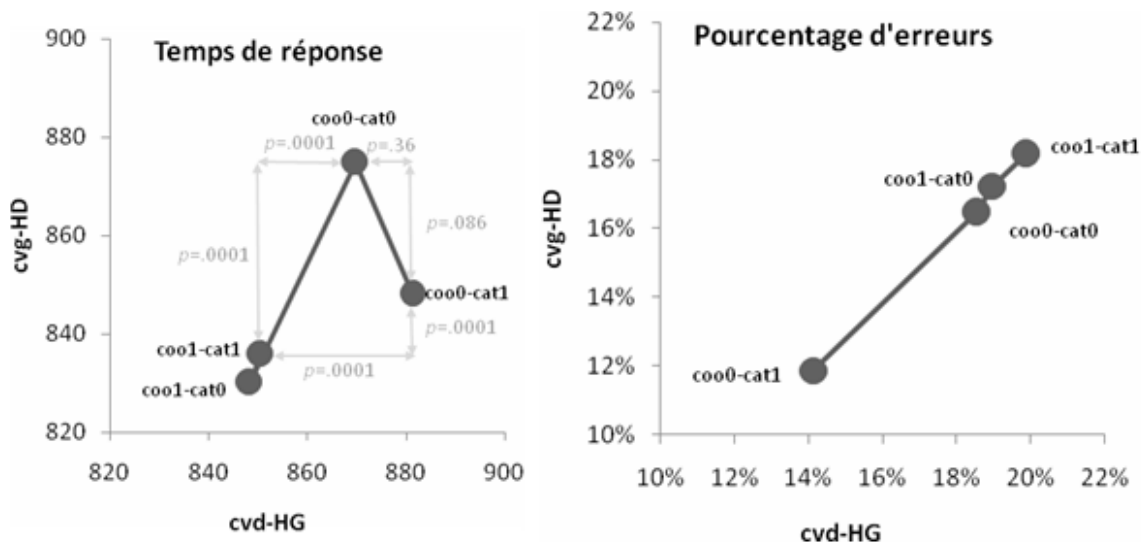
La méthode d'association inversée est une méthode puissante qui permet d'assurer que les doubles dissociations observées sont bien le reflet de deux ou plusieurs processus distincts. Cette observation est rendue possible en traçant le nuage de points des performances à une tâche en fonction des performances de l'autre tâche et en employant au minimum trois modalités. Ainsi, si les modalités décrivent une courbe monotone (c'est-à-dire décrivent une corrélation entre les tâches), alors nous ne pouvons pas exclure que les deux tâches sont sous-tendues par des processus communs et que chaque modalité représente des niveaux de performances d'un même processus. En contrepartie, si les modalités décrivent une courbe non-monotone (c'est-à-dire décrivent une absence de corrélation), alors il n'est pas probable que les modalités de la fonction entre les deux tâches reflètent des niveaux de performances d'un même processus. L'observation de fonction $f(x)$ non-monotone, où x est une tâche A et f une tâche B, est un argument fort pour conclure à l'existence de processus différents impliqués dans chacune des tâches.

Nous avons donc mené le principe d'association inversée en analysant la fonction des performances d'un hémisphère sur les performances de son homologue. Les modalités croisées des facteurs Congruence catégorielle et Congruence coordonnée nous ont permis de tracer de telles fonctions, puisque celles-ci peuvent être considérées comme des niveaux de difficultés différents et, comme nous l'avons dit, les deux hémisphères dans leur dynamique peuvent être considérés comme un seul processus. Si une relation monotone est observée, alors nous ne pourrions pas rejeter l'hypothèse d'un processus unique sous-tendant le traitement catégoriel et coordonné. Si une relation non monotone est observée, alors nous déduirions l'existence de processus catégoriels et coordonnés différents.

La 0 présente les performances moyennes du champ visuel droit en fonction du champ visuel gauche pour chaque condition de congruence. Nous avons observé pour les taux d'erreurs une courbe monotone. Plus précisément, l'observation des taux d'erreurs nous permet d'inférer que, dans le paradigme que nous avons utilisé, les deux hémisphères

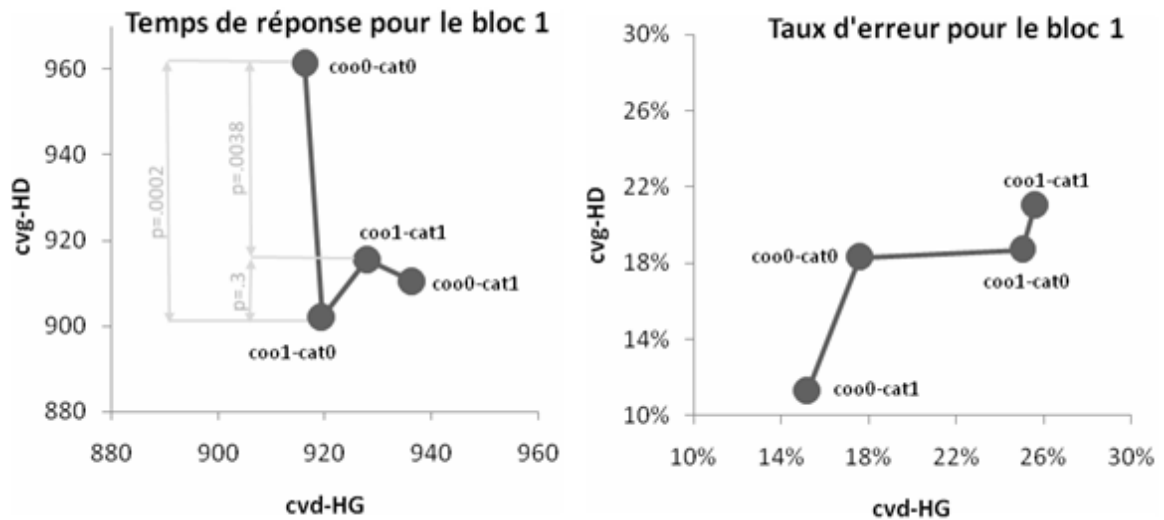
peuvent être considérés comme un seul système. Les performances d'un hémisphère dépendent linéairement des performances de l'autre hémisphère. Remarquons que la coopération hémisphérique était plus grande quand les hémisphères partageaient des informations catégorielles identiques et traitaient des informations coordonnées différentes. De même, la coopération hémisphérique était moins efficace quand les hémisphères partageaient les mêmes informations. Au regard des taux d'erreurs, nous concluons que le traitement des relations catégorielles et coordonnées est sous-tendu par un processus unique articulé par l'interaction des hémisphères. En contrepartie, la courbe d'interaction hémisphérique n'est pas monotone pour les temps de réponse. En considérant la vitesse de traitement, les processus catégoriels et coordonnés semblent être distincts. Quand les informations coordonnées étaient identiques entre les hémisphères, nous n'avons pas observé de différences hémisphériques. Nous remarquons que le coût de temps de traitement était plus important si les hémisphères ne partageaient pas les mêmes informations coordonnées. Dans ce cas, nous avons observé un avantage non-significatif de l'hémisphère droit pour traiter les mêmes informations catégorielles que l'hémisphère gauche (Fisher-LSD : $p=.086$) et un avantage non-significatif de l'hémisphère gauche pour traiter des informations catégorielles différentes de celles de l'hémisphère droit (Fisher-LSD : $p=.36$). Étant donné que ces différences ne sont pas significatives, nous ne pouvons pas exclure que la courbe d'interaction hémisphérique pour les temps de réponse, malgré les apparences descriptives, ne soit pas monotone. Il ne nous est donc rigoureusement pas permis de conclure sur la dichotomie des processus catégoriels et coordonnés par rapport aux temps de réponse.

Figure 38 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) du champ visuel droit en fonction du champ visuel gauche dans les conditions de Congruence coordonnée (congruence, $coo1$, versus incongruence, $coo0$) et Congruence catégorielle (congruence, $cat1$, versus incongruence, $cat0$). Les probabilités représentées sont issues d'analyses a posteriori de Fisher-LSD. N'ont été représentées que les probabilités importantes dans nos discussions.



La 0 présente les courbes d'interactions hémisphériques pour le premier bloc. Que se soit pour les taux d'erreurs ou pour les temps de réponse, nous avons observé des courbes monotones. Il nous semble impossible d'exclure l'existence d'un processus unique qui sous-tendrait les deux types de représentations spatiales. Nous remarquons que pour les temps de réponse, seul l'hémisphère droit était influencé par la congruence des informations coordonnées et catégorielles.

Figure 39 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) du champ visuel droit en fonction du champ visuel gauche dans les conditions de Congruence coordonnée (congruence, coo1, versus incongruence, coo0) et Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0) pour le premier bloc. Les probabilités représentées sont issues d'analyse a posteriori de Fisher-LSD. N'ont été représentées que les probabilités importantes dans nos discussions.



Résumé des résultats

Le tableau 21 présente les hypothèses opérationnelles, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses.

Tableau 21. Résumé des résultats de l'expérience 6. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonne présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
HO-1 : Cibler le champ visuel gauche engendre de meilleures performances que cibler le champ visuel droit.	Avantage significatif du champ visuel gauche.	Avantage significatif du champ visuel gauche.	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-2 : Les participants ne sont pas influencés par la congruence soit catégorielle soit coordonnée.	La congruence catégorielle ou coordonnée engendre significativement de meilleures performances que la condition d'incongruence.	La congruence catégorielle engendre significativement de meilleures performances que la condition d'incongruence. Nous observons l'effet inverse pour l'effet de congruence coordonnée.	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-3 : Les participants sont influencés par la congruence soit catégorielle soit coordonnée.			validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-4 : Les performances des participants sont influencées par la congruence catégorielle.			validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-5 : Les facteurs congruence catégorielle et congruence coordonnée interagissent.	Interaction non significative.	Interaction significative avec de meilleures performances dans la condition <i>cat1-coo0</i> .	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-6 : La congruence catégorielle (ou coordonnée) engendre de meilleures performances que l'incongruence catégorielle (ou coordonnée).	La congruence catégorielle ou coordonnée engendre significativement de meilleures performances que la condition d'incongruence.	La congruence catégorielle engendre significativement de meilleures performances que la condition d'incongruence. Nous observons l'effet inverse pour l'effet de congruence coordonnée.	nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-7-1 : Quelle que soit la congruence catégorielle et coordonnée, les présentations en champ visuel gauche engendrent de meilleures performances que les présentations en champ visuel droit.	Avantage significatif de la condition <i>cvg-HD</i> pour <i>cat0-coo0-b2</i> , <i>cat0-coo0-b3</i> , <i>cat0-coo0-b4</i> , <i>cat1-coo0-b2</i> , <i>cat1-coo0-b3</i> . Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i> pour <i>cat0-coo0-b1</i> .	Avantage général de la condition <i>cvg-HD</i> .	nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-8 : La différence de performances entre les champs visuels ciblés est plus importante dans le cas d'incongruence (coordonnée ou catégorielle) que dans le cas de congruence (coordonnée ou catégorielle).	Pas de différence notable.	Pas de différence notable.	nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-9-1 : La différence des conditions congruence et incongruence catégorielle est plus importante si le champ visuel gauche est ciblé que si le champ visuel droit est ciblé.	Pas de différence notable.	Pas de différence notable.	nous ne pouvons conclure	<input type="checkbox"/>
HO-9-2 : La différence des conditions congruence et incongruence coordonnée est plus importante si le champ visuel droit est ciblé que si le champ visuel gauche est ciblé.	Pas de différence notable.	Pas de différence notable, hormis pour le premier bloc où l'influence du facteur congruence coordonnée est plus forte dans la condition <i>cvd-HG</i> .	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
HO-10-1 : Les effets de congruence catégorielle ou coordonnée évoluent le long des blocs.	Interaction Bloc*Congruence coordonnée significative.	Interaction Bloc*Congruence coordonnée significative.	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-10-2 : Dans les conditions de congruence catégorielle et coordonnée, les performances de la condition <i>cvg-HD</i> sont meilleures que celles de la condition <i>cvd-HG</i> , cette différence s'inverse au fur et à mesure de la passation.	Avantage significatif de la condition <i>cvg-HD</i> pour <i>cat0-coo0-b2</i> , <i>cat0-coo0-b3</i> , <i>cat0-coo0-b4</i> , <i>cat1-coo0-b2</i> , <i>cat1-coo0-b3</i> . Avantage significatif de la condition <i>cvd-HG</i> pour <i>cat0-coo0-b1</i> .	Avantage significatif de la condition <i>cvg-HD</i> pour <i>cat0-coo0-b2</i> , <i>cat0-coo0-b3</i> , <i>cat1-coo0-b1</i> , <i>cat1-coo0-b3</i> , <i>cat0-coo1-b1</i> , <i>cat1-coo1-b1</i> , <i>cat1-coo1-b4</i> .	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-10-3 : Dans les conditions d'incongruence catégorielle et coordonnée, les performances de la condition <i>cvd-HG</i> sont meilleures que celles de la condition <i>cvg-HD</i> , cette différence s'inverse au fur et à mesure de la passation.			validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Interprétations

Nous observons un avantage général de l'hémisphère droit dans cette tâche coordonnée (H1 validée). Il est possible que cet avantage soit dévolu à la faible luminosité utilisée dans cette expérience (voir expérience 2 de la partie expérimentale 1). Le paradigme de présentation bilatérale que nous avons utilisé permet donc une meilleure appréciation des différences hémisphériques contrairement au paradigme de présentation unilatérale (voir chapitre I). Nous remarquons cependant que ce paradigme augmente la complexité de la tâche, puisque les temps de réponse et le taux d'erreurs étaient plus élevés que lors de présentations unilatérales.

Les effets de congruence sont évidents, nous en déduisons qu'il y a eu des communications interhémisphériques au cours de cette expérience (H3 validée). Les hémisphères ne traitent donc pas l'information de manière indépendante (rejet de H2). Ceci est d'autant plus vrai que nous avons demandé aux participants de porter leur attention sur les deux hémichamps visuels et qu'ils n'avaient pas à comparer les stimuli de chaque hémichamp. La communication interhémisphérique s'est donc mise en place automatiquement.

L'influence de la congruence catégorielle est telle que nous concluons que le traitement des relations catégorielles est automatique lors de jugements coordonnés (H4 validée). De plus, l'interaction des deux types de congruences pour les taux d'erreurs montre que le traitement des relations catégorielles et le traitement des relations coordonnées ne sont pas indépendants (H5 validée). Si les hémisphères traitent chacun des informations coordonnées différentes, le partage de la même information catégorielle favorise les traitements. À ce propos, nous observons un gain général de la modalité *congruence* sauf pour les taux d'erreurs sur les informations coordonnées. De ce fait, si les processus catégoriels et coordonnés sont sous-tendus par deux réseaux interconnectés et distribués entre les hémisphères, alors nous pourrions conclure à une coopération entre les hémisphères pour le réseau catégoriel et une interaction hémisphérique néfaste pour le réseau coordonné (H6 non validée). Cependant, nous pouvons adopter une autre logique : si le traitement d'informations coordonnées identiques entre les hémisphères réduit les temps de réponse, alors cette réduction des temps de réponse réduit le délai pendant lequel des communications hémisphériques peuvent avoir lieu. C'est-à-dire, nous pouvons penser que la réduction des temps de réponse réduit le nombre d'échanges inter-hémisphériques. Si les échanges hémisphériques sont importants pour compiler des tâches complexes, alors nous pouvons penser que leur réduction engendre de moins bonnes performances. En contrepartie, le traitement d'informations coordonnées différentes ralentit les réponses et *in*

extenso augmente le nombre éventuel de communications hémisphériques, engendrant de meilleures performances. Si ce principe est vrai, alors nous pouvons conclure à un bénéfice des interactions hémisphériques dans le traitement des relations spatiales (H6 validée). Cependant, il nous paraît délicat d'interpréter la contradiction entre les taux d'erreurs et les temps de réponse de l'effet de Congruence coordonnée. Tant que nous ne saurons pas ce que reflètent, sur le plan cognitif et neurophysiologique, les variables dépendantes comportementales que nous mesurons, il est difficile d'interpréter de tels effets opposés (H6 sans conclusion).

L'hypothèse d'un métacontrôle de l'hémisphère droit dans la tâche coordonnée (H7) est rejetée, puisque nous observons un avantage de l'hémisphère gauche pour le premier bloc et quand les informations catégorielles et coordonnées envoyées aux hémisphères sont différentes. L'hémisphère droit n'est donc pas dominant quelles que soient les conditions de présentations. S'il existe un processus de métacontrôle, alors sa mise en action demanderait une quantité minimale d'informations identiques entre les hémisphères. De plus, ce processus de métacontrôle ne serait fonctionnel qu'au début de l'expérimentation, puisque l'avantage de l'hémisphère droit est présent surtout pour le premier bloc (sauf pour la condition *cat0-coo0*).

Les différences hémisphériques sont aussi saillantes, que les informations partagées entre les hémisphères soient identiques ou différentes. En contrepartie et comme nous l'avons mentionné, nous observons de plus franches asymétries avec ce paradigme qu'avec le paradigme de présentation unilatérale. Nous répliquons donc le gain méthodologique de Boles (1983) (H8 validée). La différence avec le paradigme de Boles (1983) est que nous avons présenté de manière aléatoire des informations identiques ou différentes, alors que lui ne présentait que des informations différentes. Nous pensons que notre méthode évite des effets de stratégie de la part des participants et empêche des biais attentionnels.

Les interactions Congruence catégorielle * Congruence coordonnée * Champ visuel n'étaient pas significatives. En revanche, nous avons remarqué des différences en fonction des blocs. Il est difficile de conclure que l'effet de congruence catégorielle est différent entre chaque hémisphère (cf. Figure 36). Néanmoins, bien que l'effet de congruence coordonnée influence les réponses de chaque hémichamps quel que soit le bloc (cf. Figure 31), cette influence est plus importante pour l'hémisphère gauche (différence de 9%) que pour l'hémisphère droit (différence de 5%) pour le premier bloc. Les traitements coordonnés de l'hémisphère droit influenceraient donc plus l'hémisphère gauche que l'inverse au début

de l'expérience. Cette interférence repose sur l'augmentation des taux d'erreurs lorsque les informations coordonnées étaient identiques. Comme les réponses sont binaires, faire une erreur dans le cas d'incongruence coordonnée peut être interprété comme une réponse correcte au stimulus non-cible. Dans ce cas, nous aurions pu interpréter ce fait comme suit : l'hémisphère non ciblé donne sa réponse et exerce donc un métacontrôle sur les réponses de l'autre hémisphère. Or, nous n'observons pas ce cas de figure, la congruence coordonnée détériorant les performances. Ceci est un argument supplémentaire en défaveur d'un métacontrôle de l'hémisphère droit. Ces résultats et cet effet inattendu ne nous permettent pas de conclure sur le rapport entre communication interhémisphérique et spécialisation hémisphérique (H9 sans conclusion).

Nous avons observé un avantage de l'hémisphère droit en termes de précision pour le premier bloc et ensuite un avantage de ce même hémisphère en termes de temps de traitement pour les trois derniers blocs (cf. Figure 31). De manière globale, nous ne répliquons pas l'effet de pratique de la littérature. L'évolution des différences hémisphériques de bloc en bloc semblerait être corrélée à l'évolution de l'effet de congruence coordonnée (comparaison de la Figure 10 et de la Figure 32) (HO-10-1 validée). Nous pouvons conclure que l'observation d'asymétries hémisphériques dépend du partage des informations entre les hémisphères. Comme le montre la Figure 37, nous avons mis en évidence l'effet de pratique classiquement observé uniquement dans le cas de congruence coordonnée (HO-10-2 validée). Par opposition, nous avons obtenu une inversion totale de l'effet de pratique quand les informations catégorielles et coordonnées étaient différentes entre les champs visuels (HO-10-3 validée). Plus précisément, nous avons remarqué une lenteur de traitement de l'hémisphère droit au début de l'expérience et ensuite un avantage de l'hémisphère droit pour le reste de l'expérimentation. Le sens de l'effet de pratique dépendrait donc de la congruence des informations catégorielles et coordonnées traitées par chaque hémisphère.

L'effet de pratique observé par plusieurs auteurs dépendrait donc des interactions interhémisphériques. Ces résultats confortent l'idée selon laquelle l'activation antagoniste des gyri angulaires, observée par Baciú et al. (1999), s'explique par la nature des communications hémisphériques. Rappelons que dans leur étude, les stimuli étaient présentés en position centrale, c'est-à-dire que les hémisphères recevaient les mêmes informations catégorielles et coordonnées. Nous ne pouvons conclure sur la nature de ces communications étant donné que notre hypothèse 9 n'a pas été validée.

Le principe d'association inversée que nous avons appliqué à nos résultats a montré que les processus catégoriels et coordonnés sont dépendants l'un de l'autre et reposent sur un système unique fondé sur l'articulation des traitements des deux hémisphères (cf. 0). Les performances d'un hémisphère étaient effectivement fonction linéaire des performances de l'autre hémisphère. La monotonie des courbes a été confirmée par les analyses *a posteriori* qui ont précisé que les différences entre les différents points consécutifs de la droite n'étaient pas significatives. Nous ne pouvons donc pas exclure que l'activité d'un hémisphère ne soit pas fonction de l'activité de l'autre hémisphère. Ceci étant d'autant plus vraisemblable que les calculs post-hocs que nous avons calculés, le Fisher-LSD, sont des tests peu conservateurs. De même, les courbes d'interactions hémisphériques pour le premier bloc, de par leur monotonie, nous permettent d'inférer les mêmes conclusions (cf. 0). Nous remarquons cependant une asymétrie des interactions hémisphériques. A l'évidence, au début de l'expérience et pour les temps de réponse, l'hémisphère droit était influencé par l'hémisphère gauche ; le contraire étant faux, l'hémisphère gauche n'étant pas influencé par l'hémisphère droit. Pour les taux d'erreurs, les deux hémisphères s'influenceraient mutuellement. Nous pouvons supposer que les hémisphères communiqueraient pour réaliser des traitements coordonnés et que ces traitements coordonnés nécessiteraient un traitement catégoriel. Comme le montrent les études sur les temps de transmission interhémisphérique, les temps de transfert sont plus longs de l'hémisphère gauche à l'hémisphère droit que l'inverse. Ainsi, au début de l'expérience, cette asymétrie des temps de transfert engendrerait des temps de réponse plus longs dans le cas où l'hémichamp visuel gauche (hémisphère droit) est ciblé. Cette différence serait observable uniquement quand les hémisphères ne partageraient pas les mêmes informations, c'est-à-dire quand les échanges entre les hémisphères sont plus importants.

Conclusion

Le paradigme de présentation bilatérale de Boles (1983) nous permet de mieux comprendre les interactions des hémisphères et ainsi de valider ou non l'existence de processus distincts pour le traitement des relations spatiales. Par ce moyen nous avons recueilli des informations précieuses. Nos résultats suggèrent que le traitement des relations spatiales catégorielles est automatiquement réalisé lors d'un jugement coordonné (Sergent, 1991 ; Niebauer, 2001). Le fait que les traitements coordonnés dépendent du traitement catégoriel n'invalide pas l'existence de deux processus différents, puisque nous pouvons

supposer que les deux processus sont sous-tendus par des réseaux fortement interconnectés. Pourtant, le principe d'association inversée ne nous permet pas d'exclure l'existence d'un processus unique qui serait sous-tendu par l'intégration des traitements hémisphériques. Les représentations catégorielles et coordonnées pourraient être assimilées à des niveaux de difficultés ou à des niveaux d'interaction hémisphérique nécessaires en fonction de la précision de l'information que doit restituer le système. Faire un jugement catégoriel ne représente pas un grand niveau de précision des relations spatiales et donc ne nécessiterait que peu de coordination du travail de chaque hémisphère. Faire un jugement coordonné représente un plus grand niveau de précision des relations spatiales et donc nécessiterait une plus grande coopération des hémisphères. Cette interprétation est logique, en ce sens que plus une tâche est complexe, plus les hémisphères interagissent (Weissman & Banich, 2000). Les hémisphères ne travaillent donc pas de manière indépendante. Le fait le plus important de cette recherche est que le sens des asymétries hémisphériques observées dépend de l'interaction entre les hémisphères. La notion de spécialisation hémisphérique est donc soit à remettre en cause, soit à être précisée en fonction des interactions hémisphériques. Néanmoins, nos résultats ne nous permettent pas de comprendre la nature exacte de cette interaction. Pour le moins, nous avons observé qu'au début de l'expérience l'hémisphère droit était plus influencé par l'hémisphère gauche que l'inverse. Ensuite, l'influence interhémisphérique semble être équivalente sauf dans le cas où les informations coordonnées traitées par chaque hémisphère sont différentes. Selon notre point de vue, le changement des asymétries hémisphériques (effet de pratique) serait sous-tendu par la communication entre les hémisphères. Mais en retour, notre expérience ne nous permet pas de savoir si la capacité de chaque hémisphère influence la nature ou l'intensité des communications hémisphériques. De plus, le protocole que nous avons adopté n'est pas suffisant pour savoir lors de présentations unilatérales si et comment les hémisphères interagissent.

Bien que ce ne soit pas l'objectif de cette expérience, les données que nous avons recueillies permettent d'établir certaines conclusions sur certains modèles d'interaction hémisphérique que nous avons présentés. Tout d'abord, le modèle d'accès direct et le modèle de relais calleux ne rendent pas compte de nos résultats. En effet, si les informations étaient transmises à l'hémisphère le plus compétent, que nous supposons être l'hémisphère droit, alors la présentation d'informations congruentes devrait engendrer de meilleures performances que la présentation d'informations incongruentes. Nous observons l'inverse pour les informations coordonnées. Ce fait invalide aussi le modèle d'interaction

hémisphérique proposé par Boles (1990). De même, le processus de métacontrôle ne prédit pas les résultats que nous avons obtenus (voir la partie interprétation, p. 256). Le modèle de course indépendante n'est pas non plus retenu, puisque nous avons montré que les hémisphères ne travaillaient pas de manière indépendante. Les modèles de Kinsbourne (1970) et de Lévy (1974) n'expliquent pas l'avantage de l'hémisphère gauche que nous avons obtenu pour le premier bloc dans la condition d'incongruence coordonnée et catégorielle. Si leurs modèles étaient valides, et puisque les participants ne réalisaient que la tâche coordonnée, alors nous aurions dû observer un avantage de l'hémisphère droit dans toutes les conditions. En dernier lieu, nous ne validons pas le modèle d'assemblée de cellules transcorticales. En effet, présenter deux informations congruentes à un réseau de neurones devrait augmenter l'ignition et donc améliorer les performances, or nous observons un effet négatif du facteur Congruence coordonnée sur les taux d'erreurs. En résumé, nous mettons en doute tous les modèles qui reposent sur : (1) une indépendance des traitements hémisphériques, (2) un principe d'isolation des traitements hémisphériques et (3) la notion d'hémisphère dominant ou spécialisé pour réaliser une tâche. Les modèles qui ne contredisent pas les faits rassemblés ici sont : le modèle de co-activation de Miller (1982), l'hypothèse de Mordkoff et Yantis (1991), l'hypothèse de Moscovitch et Klein (1980) et l'hypothèse de Cook (1984).

La plupart de nos conclusions reposent sur l'avantage de l'hémisphère gauche pour le premier bloc dans la condition d'incongruence catégorielle et coordonnée. Nos analyses de variance incluaient beaucoup de facteurs, sachant qu'un grand nombre de facteurs augmente la probabilité d'obtenir des effets significatifs artefacts (erreur de type I). Afin de s'assurer de la fidélité de ces résultats, nous avons décidé de répliquer cette expérience, mais en ne testant que le premier bloc.

Expérience 7

Objectifs

Nous avons conduit la même expérience que la précédente sur un autre échantillon de participants. Nous voulions nous assurer des résultats que nous avons obtenus dans l'expérience précédente pour vérifier la fidélité de notre protocole. Particulièrement, nous souhaitions répliquer l'avantage de l'hémisphère gauche dans la condition d'incongruence catégorielle et coordonnée. Pour cela, nous avons focalisé notre attention sur le début de

l'expérience. Nous avons fait passer l'équivalence du premier bloc de l'expérience 6, c'est-à-dire 128 essais au lieu de 512.

Méthode

Participants

Cinquante-huit sujets volontaires (25 hommes et 33 femmes), étudiants à l'Université Lumière Lyon2, ont participé à l'expérience. Les résultats de vingt-six d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : temps de réponses moyens supérieur à 1100 ms, le taux d'erreurs supérieur à 25% et le coefficient de latéralité. Le taux d'exclusion des participants est élevé dans cette expérience, comment expliquer cela ? Les participants de l'expérience 6 commettaient beaucoup d'erreurs et étaient plus lents au début de l'expérience. Comme l'expérience 7 portait sur le début de l'expérience 6 et que nous avons maintenu les mêmes critères d'exclusion, alors nous avons eu un nombre important de participants exclus des analyses. Nous avons fait ce choix en raison du nombre important d'erreurs dans le premier bloc de l'expérience 6, avoisinant 25% d'erreurs dans certaines conditions. Les trente-deux participants (16 hommes et 16 femmes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 22,5 ans (Ecart type : 5,26). Tous étaient droitiers (moyenne de 0,92 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

Les participants réalisaient un jugement coordonné, c'est-à-dire qu'ils devaient dire si un point était éloigné à plus ou moins de huit millimètres d'une barre.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans l'expérience 6.

Stimuli

Les stimuli étaient identiques à ceux de l'expérience 6, hormis le fait que les participants de cette expérience n'étaient pas testés sur l'ensemble des stimuli, contrairement à l'expérience 6.

Procédure

Cette expérience suivait le même design expérimental que celui de l'expérience 6, excepté le fait que les participants ne réalisaient que 128 essais. Nous avons réparti l'ensemble des 512 stimuli de l'expérience 6 dans quatre ensembles. La répartition des stimuli au sein de ces ensembles suivait celle de l'expérience 6 pour les blocs. Ces ensembles ne comportaient pas les mêmes essais, mais étaient identiquement construits en fonction de nos facteurs expérimentaux. De plus, nous avons divisé chaque ensemble en deux blocs. Ces blocs étaient équivalents et équilibrés sur le croisement des modalités de nos facteurs expérimentaux (cf. tableau 22). Il n'y avait pas de pause entre ces blocs.

Tableau 22. Répartition des stimuli dans un bloc expérimental. La deuxième ligne représente les modalités du facteur Bloc. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence coordonnée. La quatrième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence catégorielle. La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel cible. Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

	Phase expérimentale (128)															
Bloc	Bloc 1 (64)								Bloc 2 (64)							
Congruence coordonnée	coo1 (32)				coo0 (32)				coo1 (32)				coo0 (32)			
Congruence catégorielle	cat1 (16)		cat0 (16)		cat1 (16)		cat0 (16)		cat1 (16)		cat0 (16)		cat1 (16)		cat0 (16)	
Champ visuel cible	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)	cvd (8)	cvg (8)

Les variables expérimentales et contrôles étaient les mêmes hormis le facteur Ordre des blocs que nous ne prendrons pas en considération dans nos analyses.

Hypothèses

Les hypothèses étaient identiques à celles de l'expérience 6.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. Ainsi, dans la tâche coordonnée, l'analyse des temps de

réponse portait sur 83.75% des réponses. Les participants répondant en moyenne à plus de 1100 ms et/ou faisant plus de 25% d'erreurs n'ont pas été considérés dans ces analyses. Par ailleurs, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (3.66% des temps ont été remplacés, la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). La moyenne des temps de réponse était de 902 ms et la moyenne des taux d'erreurs de 16.25%. Nous décrivons dans un premier temps des analyses qui ont été menées uniquement sur les facteurs expérimentaux. Nous exposerons dans un deuxième temps les analyses qui ont été menées sur les facteurs expérimentaux et sur les facteurs contrôles. Enfin, nous décrivons dans une partie spécifique les analyses du principe d'association inversée. Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, incluant les facteurs :

- Champ visuel cible à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Bloc à deux modalités (bloc 1, b1; bloc 2, b2),
- Congruence catégorielle à deux modalités (congruent, incongruent), et
- Congruence coordonnée à deux modalités (congruent, incongruent).

Chacune de ces analyses a été complétée par des analyses de variance incluant les facteurs contrôles suivants :

- Main de réponse à deux modalités (main droite, main gauche), et
- Sexe à deux modalités (femme, homme).

Analyse des temps de réponse

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a révélé deux effets simples significatifs et un marginal :

- Bloc [$F_{(1,31)}=67.83, p=.0001$] ; les participants ont été plus rapides pour le bloc 2 que pour le bloc 1,
- Congruence catégorielle [$F_{(1,31)}=5.25, p<.03$] ; les participants ont été plus rapides dans le cas de congruence catégorielle (891 ms) que dans le cas d'incongruence catégorielle (909 ms), et

- Congruence coordonnée [$F_{(1,31)}=3.37, p=.07$] ; les participants ont été plus rapides dans le cas de congruence coordonnée (891 ms) que dans le cas d'incongruence coordonnée (909 ms).

L'effet du facteur Champ visuel cible n'était pas significatif ($p>.1$). L'interaction Champ visuel cible * Congruence catégorielle s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=6.99, p<.02$]. Nous avons mené des comparaisons planifiées qui ont montré que l'effet de congruence catégorielle était significatif dans la condition *cvg-HD* [$F_{(1,31)}=14.95, p=.0005$], mais pas dans la condition *cvd-HG* [$F_{(1,31)}=0.016, p=.09$]. De plus, nous avons observé un avantage significatif de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* dans le cas où les informations catégorielles étaient congruentes [$F_{(1,31)}=4.85, p=.035$]. Nous avons mis en évidence l'effet inverse dans le cas où les informations catégorielles sont incongruentes, cet effet n'étant pas significatif [$F_{(1,31)}=2.36, p=.13$]. L'interaction Champ visuel cible * Congruence catégorielle était modulée par le facteur Bloc [$F_{(1,31)}=4.94, p<.04$]. Les effets que nous avons décrits n'étaient observables que dans le premier bloc.

L'interaction Champ visuel cible * Congruence coordonnée * Bloc s'est avérée significative [$F_{(1,31)}=4.52, p<.05$]. L'effet de congruence coordonnée était significatif pour le deuxième bloc dans la condition *cvd-HG* [$F_{(1,31)}=15.12, p=.005$]. L'interaction Champ visuel cible * Congruence coordonnée * Congruence catégorielle était aussi significative [$F_{(1,31)}=4.13, p=.05$]. Nous avons mené des analyses de contrastes sur cette interaction. Nous avons répliqué les effets obtenus dans l'expérience 6 pour le premier bloc : nous avons observé un avantage de la modalité *cvd-HG* lorsque les informations catégorielles et coordonnées étaient incongruentes [$F_{(1,31)}=4.57, p=.04$] et un avantage de la modalité *cvg-HD* quand les informations catégorielles étaient congruentes et les informations coordonnées incongruentes [$F_{(1,31)}=11.93, p=.001$]. Enfin, l'interaction Champ visuel cible * Congruence coordonnée * Congruence catégorielle * Bloc s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=11.93, p=.001$, cf. Figure 40]. Les asymétries décrites n'étaient observables que pour le premier bloc [avantage de *cvd-HG* : $F_{(1,31)}=13.35, p<.001$; avantage de *cvg-HD* : $F_{(1,31)}=12.46, p<.002$].

[Figure 40]

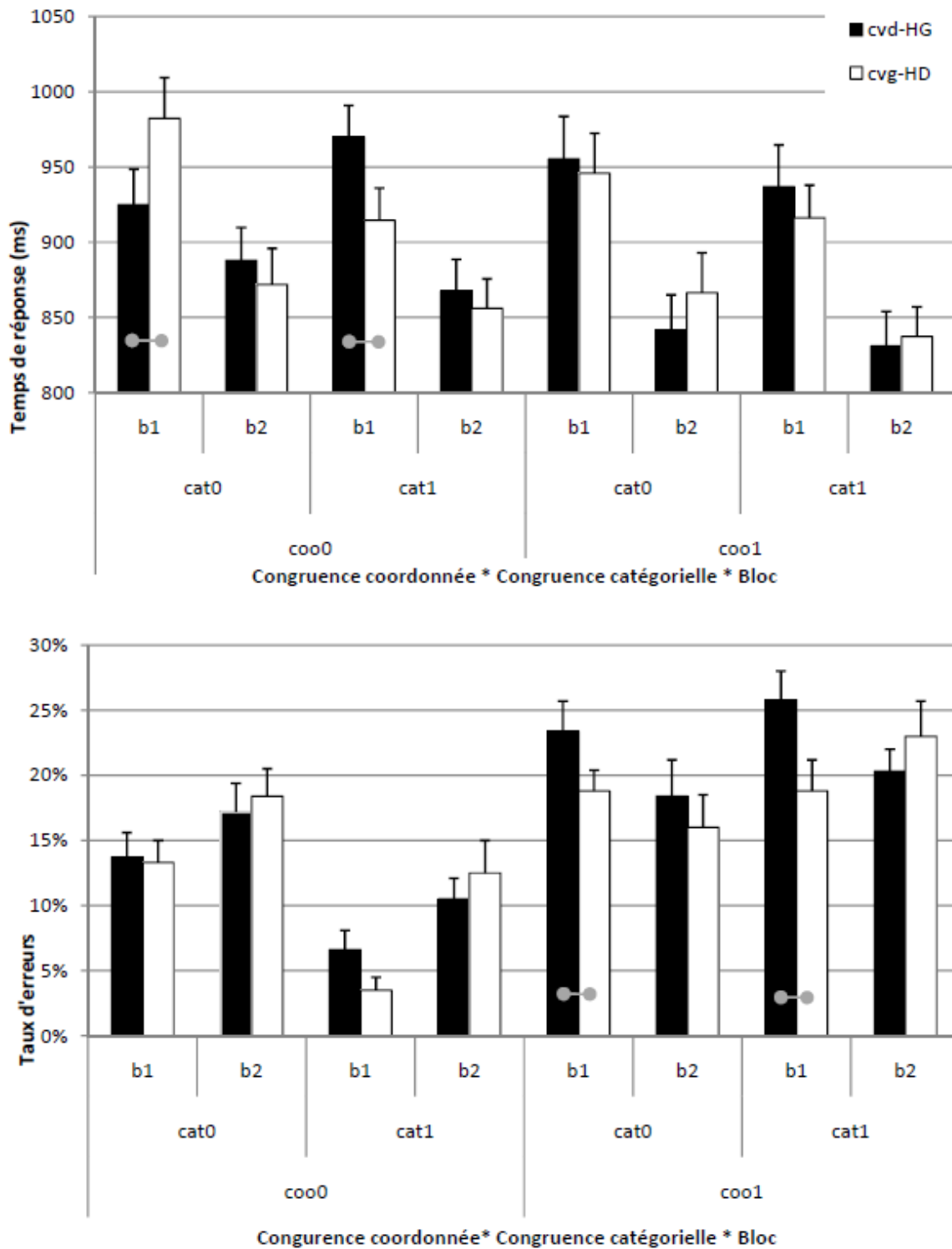


Figure 40 Représentation des temps de réponses moyens (figure au dessus) et des taux d'erreurs moyens (figure au dessous) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit), Congruence coordonnée (congruence, coo1, versus incongruence, coo0), Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0) et Bloc (b1, b2) (●● $p < .01$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a indiqué que deux effets simples étaient significatifs :

- Congruence catégorielle [$F_{(1,31)}=6.53$, $p=.015$] ; les participants réalisaient plus d'erreurs dans la condition d'incongruence catégorielle (17.4% d'erreurs) que dans la condition de congruence (15.1% d'erreurs), et
- Congruence coordonnée [$F_{(1,31)}=60.9$, $p=.0001$] ; les participants réalisaient plus d'erreurs dans la condition de congruence coordonnée (20.6% d'erreurs) que dans la condition d'incongruence (12% d'erreurs).

L'interaction Congruence coordonnée * Congruence catégorielle s'est montrée significative [$F_{(1,31)}=20.22$, $p=.0001$]. Les participants ont fait moins d'erreurs dans le cas où les informations catégorielles étaient congruentes et les informations coordonnées étaient non congruentes (*cat1-coo0* : 8.3% d'erreurs) comparativement aux autres conditions (*cat0-coo0* : 15.6%, *cat0-coo1* : 19.1%, *cat1-coo1* : 22%). L'interaction Congruence coordonnée * Bloc étaient aussi significative [$F_{(1,31)}=12.23$, $p<.002$].

Bien que l'interaction Congruence coordonnée * Congruence catégorielle * Champ visuel cible * Bloc ne fût pas significative ($p>.1$) et pour nous assurer que des effets sur les taux d'erreurs ne soient pas contradictoires avec ceux obtenus sur les temps de réponse, nous avons mené des analyses de contrastes (cf. Figure 40). Celles-ci ont mis en évidence un avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* dans le premier bloc quand les informations coordonnées étaient congruentes quelle que soit la congruence catégorielle [*cat0-coo1-b1* : $F_{(1,31)}=4.34$, $p=.045$; *cat1-coo1-b1* : $F_{(1,31)}=9.77$, $p=.003$].

Analyse par le principe d'association inversée

Nous avons conduit le principe d'association inversée dans un premier temps sur l'ensemble des deux blocs (cf. Figure 41) et, dans un deuxième temps sur le premier bloc (cf. Figure 42).

Figure 41 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) du champ visuel droit en fonction du champ visuel gauche dans les conditions de Congruence coordonnée (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*) et Congruence catégorielle (congruence, *cat1*, versus incongruence, *cat0*). Les probabilités représentées sont issues d'analyses a posteriori

de Fisher-LSD. N'ont été représentées que les probabilités importantes dans nos discussions.

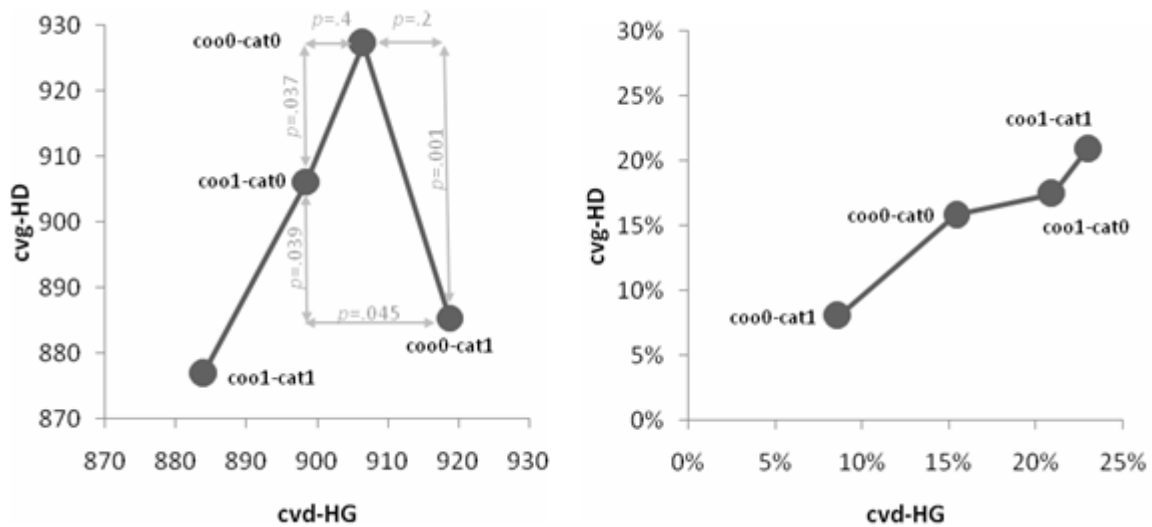
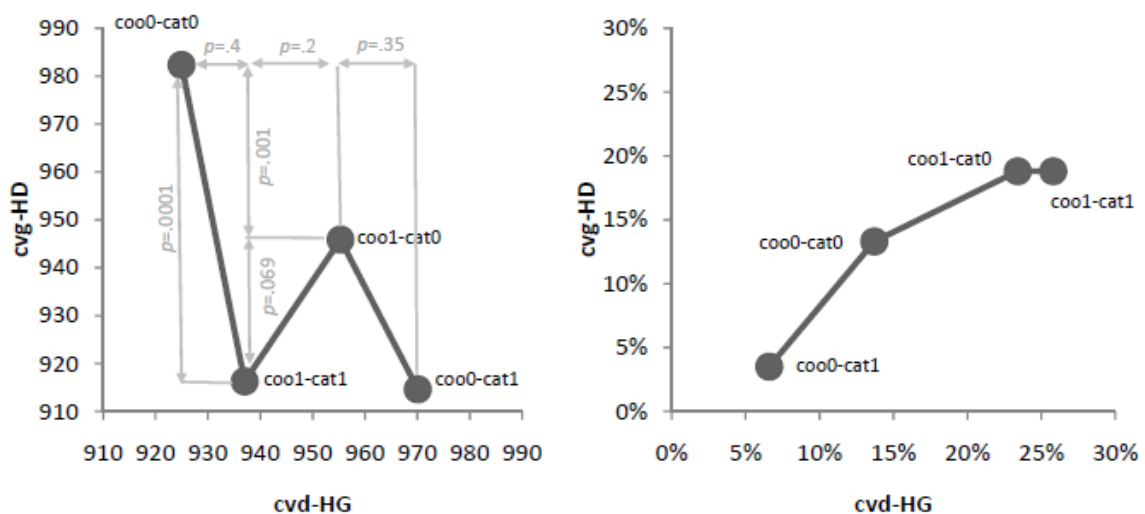


Figure 42 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) du champ visuel droit en fonction du champ visuel gauche dans les conditions de Congruence coordonnée (congruence, coo1, versus incongruence, coo0) et Congruence catégorielle (congruence, cat1, versus incongruence, cat0) pour le premier bloc. Les probabilités représentées sont issues d'analyses a posteriori de Fisher-LSD. N'ont été représentées que les probabilités importantes dans nos discussions.



En premier lieu, nous répliquons la forme des courbes obtenue lors des analyses du principe d'association inversée de l'expérience 6. Que ce soit pour l'ensemble des deux blocs (cf. 0) ou pour le premier bloc (cf. 0), les courbes d'interactions hémisphériques sont monotones pour les taux d'erreurs. Cependant et pour les temps de réponse, la non-monotonie des courbes nous donne un argument fort sur l'existence de processus distincts pour le traitement des relations spatiales. En opposition avec nos résultats précédents, la non-monotonie de la courbe est soulignée par des variations significatives. Pour le premier bloc, l'hémisphère droit était particulièrement ralenti s'il ne traitait pas les mêmes informations coordonnées que l'hémisphère gauche ; ce ralentissement étant accentué s'il ne traitait pas les mêmes informations catégorielles. L'hémisphère gauche n'était pas influencé par les traitements de l'hémisphère droit pour les temps de réponse du premier bloc. Néanmoins et comme l'ont montré nos analyses de variances, pour les taux d'erreurs, l'hémisphère droit était dominant uniquement dans le cas où les informations coordonnées traitées par chaque hémisphère étaient identiques. Nous pensons que la dominance de l'hémisphère droit au début de l'expérience, classiquement dénommée effet de pratique, dépendrait des traitements des informations catégorielles de l'hémisphère gauche.

Interprétations

Cette expérience avait pour but de répliquer les résultats de l'expérience 6 avec un nouvel échantillon de participants. Les effets mis en évidence dans cette expérience sont les mêmes que ceux obtenus pour le premier bloc de l'expérience 6. Les traitements catégoriels sont automatiquement mis en place dans un jugement coordonné. Nous avons observé des avantages hémisphériques significatifs uniquement pour le premier bloc ; ces avantages dépendaient de la correspondance des informations traitées par chaque hémisphère. Ainsi, un avantage de l'hémisphère droit a été observé à partir du moment où il traitait des informations catégorielles et/ou coordonnées identiques à celles traitées par l'hémisphère gauche. Lorsque ni les informations catégorielles ni les informations coordonnées étaient communes entre les hémisphères, alors nous avons observé un gain de temps de traitement pour l'hémisphère gauche. L'analyse menée au moyen du principe d'association inversée nous invite à penser que la dominance de l'hémisphère droit repose essentiellement sur une aide de l'hémisphère gauche pour les traitements catégoriels. La non-monotonie des courbes d'interactions hémisphériques que nous avons obtenue nous indique que les processus catégoriels et coordonnés sont des sous-systèmes distincts et fortement interconnectés.

Conclusion

Les conclusions que nous avons tirées sur les hypothèses de l'expérience 6 sont donc valides. Le paradigme et le principe d'association inversée que nous avons utilisés nous invitent à conclure que les processus coordonnés et catégoriels sont distincts et dépendants. Le paradigme de présentation bilatérale d'informations congruentes ou incongruentes nous a permis de mettre en évidence l'importance des communications interhémisphériques dans le traitement des relations spatiales. L'avantage de l'hémisphère droit pour le traitement de type coordonné dépend de l'activité de l'hémisphère gauche en particulier dans les traitements de type catégoriel. Cette observation est de première importance dans la mesure où le paradigme de présentation en champ visuel divisé est utilisé pour la dichotomisation de processus cognitifs. Ainsi, labéliser un hémisphère comme « spécialisé » ne repose pas sur une différence de capacité propre à chaque hémisphère de traiter l'information, mais plutôt sur la communication entre les hémisphères. L'utilisation d'une double dissociation de facteurs Tâche ou Type d'informations et Champ visuel ne nous semble pas suffisant pour inférer l'existence de représentations différentes. Les deux hémisphères peuvent avoir les mêmes capacités pour traiter certains types d'informations, mais la nature de leurs communications peut aider ou interférer les traitements de l'un comparativement à l'autre et donc engendrer des différences de performances entre eux. Avoir recours au principe d'association inversée nous a permis de valider et, nous pensons, de préciser l'hypothèse de Kosslyn (1987).

Les interprétations tirées des expériences 6 et 7 sont à considérer avec prudence dans la mesure où nous pouvons supposer que l'emploi du paradigme de Boles infère des traitements catégorielles supplémentaires. En effet, la présentation d'une flèche pour indiquer le stimulus cible implique le traitement de l'orientation de celle-ci, à savoir si elle indique la droite ou la gauche ; c'est-à-dire implique un traitement catégoriel. Ce traitement est beaucoup plus explicite dans ce paradigme que lors de présentations unilatérales. Cet effet confondu a donc pu biaiser nos observations. Nous avons choisi de concevoir une autre expérience où ce biais serait moindre.

Expérience 8

Objectifs

Le paradigme de présentation bilatérale que nous avons utilisé nous a permis de conclure à une dépendance des activités de chaque hémisphère dans le traitement des relations spatiales. Nous n'avons pu conclure si l'interaction hémisphérique dépendait de la capacité propre de chaque hémisphère à traiter l'information ou de l'asymétrie des communications interhémisphériques. À cette fin, nous avons mené une expérience d'amorçage hémichampique en utilisant le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a). Nous avons utilisé une présentation unilatérale et avons présenté une amorce soit dans le même hémichamp visuel (*i.e.*, amorçage intrahémisphérique), soit dans l'hémichamp visuel opposé (*i.e.*, amorçage interhémisphérique). Ainsi, en comparant la différence d'effet d'amorçages intra- et interhémisphériques, nous évaluerons avec plus de précision l'incidence des traitements d'un hémisphère sur son homologue. Cette expérience d'amorçage est différente de celles conduites par Niebauer (2001). En effet, Niebauer présentait l'amorce en position centrale et la cible en position unilatérale. Cette méthode n'offre pas la possibilité de comparer l'influence de l'amorce intra- et interhémisphérique. L'objectif de Niebauer était de rendre compte des relations entre processus catégoriels et coordonnés. Notre objectif est identique, mais, de manière complémentaire, nous souhaitons évaluer l'asymétrie des communications hémisphériques dans le traitement des relations spatiales.

Le recours à un paradigme d'amorçage nous offre un autre avantage. Dans les deux expériences précédentes, l'usage d'une flèche indiquant l'hémichamp cible aurait pu impliquer des traitements catégoriels supplémentaires. En effet, le traitement de l'orientation de la flèche nécessite un traitement gauche-droite, ce traitement d'ordre spatial a peut-être joué un rôle dans les observations que nous avons faites. Le paradigme d'amorçage nous libère de ce biais éventuel.

Méthode

Participants

Quarante-sept sujets volontaires (19 hommes et 28 femmes), étudiants de l'Université Lumière Lyon 2, ont participé à l'expérience. Les résultats de quinze d'entre eux ont été éliminés sur les critères suivants : les temps de réponses moyens trop longs (supérieur à la

somme de la moyenne et de deux écarts-types des temps de réponse des quarante-sept participants), le coefficient de latéralité inférieur à .75, le taux d'erreurs moyen supérieur à 20% et la non-compréhension de la consigne. Nous avons changé nos critères de sélection par rapport aux deux expériences précédentes, puisque, d'une part, la moyenne du premier échantillon de participants avait une moyenne de temps de réponse satisfaisante, et d'autre part le taux d'erreurs moyen était trop élevé. Les trente-deux participants (16 femmes et 16 hommes) dont les résultats ont été retenus avaient une moyenne d'âge de 26.5 ans (Ecart-type : 8.8). Tous étaient droitiers (moyenne de 0.89 et écart-type de 0.11 au test de Oldfield, 1971), emmétropes et aucun n'avait connaissance des fins de l'expérimentation.

Expérience

Les participants réalisaient un jugement coordonné. Ils devaient dire si un point était éloigné à plus ou moins de huit millimètres d'une barre.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était identique à celui utilisé dans l'expérience 2 de la partie expérimentale 1.

Stimuli

Les stimuli étaient semblables à ceux de l'expérience 2 de la partie expérimentale 1.

Procédure

Entraînement à la réponse

L'entraînement à la réponse comportait soixante-douze essais, la moitié étant des signes « plus » l'autre moitié des signes « moins ». L'entraînement à la réponse se déroulait de la même manière que dans l'expérience 3 de la première partie expérimentale.

Familiarisation aux tâches

L'entraînement à la tâche comportait huit essais. Les essais suivaient le même design que ceux de la phase expérimentale. La procédure de cet entraînement était identique à celle de l'entraînement à la tâche de l'expérience 3 de la première partie expérimentale.

Phase expérimentale

Les participants ne réalisaient que la tâche coordonnée dans cette expérience. La tâche des participants était de dire si un point et une barre (*i.e.*, stimulus cible) étaient distants de plus

ou moins huit millimètres. Chaque point et barre était présenté unilatéralement à trois degrés d'angle visuel d'une croix que les participants devaient fixer (*i.e.*, point de fixation). Chaque stimulus cible était précédé de la présentation unilatérale d'un point et d'une barre (*i.e.*, stimulus amorce). Afin que les participants ne répondent pas pour les stimuli amorces, les stimuli cibles étaient rouges et les stimuli amorces noirs. La consigne ne précisait pas au participant la présence de stimuli amorces, cependant la consigne insistait sur le fait que les participants ne devaient répondre que pour les stimuli rouges.

L'expérience était constituée de 256 essais expérimentaux répartis en deux parties. Chaque partie était constituée de 2 blocs de 64 essais. Dans la moitié des essais, la cible était présentée dans le champ visuel droit, dans l'autre moitié dans le champ visuel gauche. Dans la moitié des essais, l'amorce apparaissait dans le même champ visuel que la cible ; dans l'autre moitié, l'amorce apparaissait dans le champ visuel opposé à la cible. Pour un même couple amorce-cible, les quatre conditions croisées des champs visuels de l'amorce et de la cible (amorce et cible présentées dans le champ visuel droit, amorce et cible présentées dans le champ visuel gauche, amorce présentée dans le champ visuel droit et cible présentée dans le champ visuel gauche, amorce présentée dans le champ visuel gauche et cible présentée dans le champ visuel droit) était réparties de manière équilibrée dans chaque bloc. Par exemple, le couple 1-11 (position de l'amorce : 1, et position de la cible : 11) était présenté quatre fois, une fois dans chaque bloc. Nous avons qualifié d'*amorçage intrahémisphérique* (*i.e.*, *intra*) la condition dans laquelle l'amorce et la cible étaient présentées dans le même champ visuel. La condition où l'amorce et la cible ont été présentées dans des hémichamps visuels différents a été qualifiée d'*amorçage interhémisphérique* (*i.e.*, *inter*). De plus, comme dans l'expérience 6, nous avons dénommé la condition où l'amorce et la cible présentaient les mêmes informations catégorielles - *congruence catégorielle* (*i.e.*, *cat1*) - et la condition où l'amorce et la cible présentaient des informations catégorielles différentes - *incongruence catégorielle* (*i.e.*, *cat0*). Nous avons appliqué la même logique sur les informations coordonnées (congruence coordonnée, *coo1* et incongruence coordonnée, *coo0*). Les modalités des facteurs congruence catégorielle et coordonnée ont été équitablement réparties dans chaque bloc. Pour plus de détails, le tableau 23 présente la répartition des stimuli pour chaque session expérimentale et nous donne un aperçu des variables indépendantes intra-sujets importantes pour notre étude. Les essais étaient répartis de manière pseudo-aléatoire au sein de chaque bloc de telle sorte que trois mêmes réponses attendues et trois mêmes latéralités de présentations ne soient jamais consécutives.

Tableau 23. Le tableau du dessus présente le découpage de la phase expérimentale en plusieurs parties et blocs. Le tableau en dessous présente la répartition des stimuli dans un bloc expérimental. La première ligne représente les modalités du facteur Bloc. La deuxième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence coordonnée. La troisième ligne indique les deux modalités du facteur Congruence catégorielle. La quatrième ligne indique les modalités du facteur Type d’amorçage. La dernière ligne indique les deux modalités du facteur Champ visuel cible (cvd : champ visuel droit ; cvg : champ visuel gauche). Est indiqué entre parenthèses le nombre de stimuli dans chaque condition.

Expérience	Expérience (256)			
Partie	Partie 1 (128)		Partie 2 (128)	
Bloc	Bloc A (64)	Bloc B (64)	Bloc A (64)	Bloc B (64)

Bloc	Bloc (64)							
Congruence coordonnée	coo1 (32)				coo0 (32)			
Congruence catégorielle	cat1 (16)		cat0 (16)		cat1 (16)		cat0 (16)	
Type d’amorçage	intra (8)	inter (8)	intra (8)	inter (8)	intra (8)	inter (8)	intra (8)	inter (8)
Champ visuel cible	cvd (4)	cvg (4)	cvd (4)	cvg (4)	cvd (4)	cvg (4)	cvd (4)	cvg (4)

Étant donné que nous avons souhaité garder les mêmes stimuli que ceux de nos expériences précédentes, à savoir que le point pouvait prendre 16 positions différentes par rapport à la barre, nous avons été contraints de sélectionner des paires de stimuli amorce-cible. La raison est simple : la combinaison croisée de 16 positions de points entre les facteurs Position de l’amorce, Position de la cible, Champ visuel cible, Type d’amorce engendre au total 1024 essais différents. En considération des effets de pratique, nous ne souhaitons pas que les participants réalisent un aussi grand nombre d’essais. Nous avons donc sélectionné 64 paires parmi les 16*16 couples amorce-cible possibles (cf. tableau 24). Ainsi, le nombre total d’essais a été réduit à 256 essais (64 couples amorce-cible*2 modalités du facteur Champ visuel cible * 2 modalité du facteur Type d’amorçage). Un couple amorce-cible était donc

présenté quatre fois, une fois dans chaque bloc. La sélection des couples amorce-cible ne s'est pas faite de manière aléatoire nous avons respecté les critères suivants :

- afin d'empêcher d'éventuelles prédictions statistiques² des correspondances amorce-cible entre les positions coordonnées et catégorielles, nous avons évité qu'une même position coordonnée amorce soit systématiquement suivie de la même position coordonnée ou catégorielle. Nous avons donc sélectionné pour une position coordonnée d'amorce donnée, un quart des cibles correspondantes ayant la même position coordonnée et la même position catégorielle, un quart des cibles correspondantes ayant la même position coordonnée et une position catégorielle différente, un quart des cibles correspondantes ayant une position coordonnée différente et une position catégorielle identique, et un quart des cibles correspondantes ayant une position catégorielle et une position coordonnée différente.
- Pour éviter les prédictions statistiques des correspondances de positions par rapport à la barre, mais aussi les prédictions statistiques de la distance entre l'amorce et la cible, nous avons évité qu'une même position amorce soit systématiquement suivie de cibles ayant des positions équivalentes. Nous avons donc sélectionné, pour chaque position amorce, quatre positions de cibles dont la moitié avait la même position catégorielle et l'autre moitié avait des positions catégorielles différentes. De plus, nous n'avons pas sélectionné de couple amorce-cible qui avait la même position (par exemple, le couple 1-1).
- Afin que nos deux parties expérimentales soient équilibrées, nous avons sélectionné des paires de couples d'amorce-cible les plus analogues. Une seule position de point pour chaque essai divergeait entre les deux parties. Par exemple, le couple 1-13 (up-out-facile/down-out-difficile) dans la première partie avait son équivalent dans la deuxième partie : 1-14 (up-out-facile/down-out-difficile). Toutefois, l'ordre des essais n'était pas équivalent entre nos deux parties.
- Dans le but d'éviter que les modalités croisées des facteurs Difficulté de l'amorce et Difficulté de la cible ne soient pas équilibrées sur les couples amorce-cible sélectionnés, nous n'avons pas sélectionné les couples amorce-cible dont l'amorce et

² Nous entendons par prédiction statistique la possibilité que l'occurrence de plusieurs mêmes modalités au sein de l'expérience entraîne un effet d'attente. Par exemple, la présentation à plusieurs reprises du couple 1-13 peut engendrer la mise en place d'un biais attentionnel sur la position 13 dès que l'amorce a la position 1. Cette prédiction statistique peut porter sur trois aspects : la position coordonnée, la position catégorielle, la position en tant que telle.

la cible avaient le même niveau de difficulté. Ainsi, tous les couples sélectionnés avaient le même niveau de difficulté relative ; c'est-à-dire que quand l'amorce était facile, la cible était difficile et inversement.

Tableau 24. Ce tableau présente les 64 couples amorce-cible que nous avons sélectionnés pour l'expérience 8. La deuxième et la troisième colonne indiquent respectivement la congruence catégorielle (*i.e.*, congruence cat) et coordonnée (*i.e.*, congruence coo) entre l'amorce et la cible (congruence: 1; incongruence: 0). Les 16 colonnes de droite indiquent la position de l'amorce (A) et la position de la cible (C). La troisième et la quatrième ligne indiquent les positions coordonnées (*i.e.*, position coo) et les positions catégorielles (*i.e.*, position cat). Cette sélection s'est réalisée en vertu des contrôles que nous avons portés relatifs aux prédictions de position, de position coordonnée, de position catégorielle, mais aussi pour équilibrer nos parties expérimentales et établir le même niveau de difficulté entre nos essais.

Congruence cat		Position du point par rapport à la barre															
Congruence coo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Position coo		OUT				IN				IN				OUT			
Position cat		UP								DOWN							
0	1	A															C
0	1	A															C
1	1	A	C														
1	1	A		C													
0	1		A														C
0	1		A														C
1	1		A	C													
1	1		A		C												
1	0			A						C							
1	0			A						C							
0	0			A							C						
0	0			A								C					
1	0				A					C							
1	0				A					C							
0	0				A						C						
0	0				A							C					
1	1					A				C							
1	1					A				C							
0	1					A					C						
0	1					A						C					
1	1						A			C							
1	1						A			C							
0	1							A			C						
0	1								A			C					
1	0			C					A				C				
1	0			C						A				C			
0	0										A				C		
0	0											A				C	
1	0			C									A				C
1	0													A			C
0	0														A		C
0	0															A	C
1	0																A
1	0																A
0	1		C													A	
0	1		C													A	
1	1															A	C
1	1															A	C
0	1		C														A
0	1		C														A
1	1																A
1	1																A
0	0					C											A
0	0						C										A
1	0											C					A
1	0												C				A
0	0						C										A
0	0							C									A
1	0												C				A
1	0													C			A

64 paires amorçables sélectionnées

En raison du grand nombre de contrôles que nous avons mis en place dans cette expérience, les blocs étaient équivalents sur nos variables expérimentales principales, mais pas sur nos variables secondaires ou contrôles. C'est pour cette raison que nous avons regroupé par

deux les blocs, sectionnant ainsi notre phase expérimentale en deux parties équivalentes. Ainsi, nos analyses statistiques ont porté sur la variable Partie mais pas sur la variable Bloc. Le tableau 25 présente la répartition des participants en fonction des variables inter-sujets. L'ordre des parties a été contrebalancé. La moitié des participants était des femmes, l'autre moitié des hommes. La moitié des participants répondait de la main droite, l'autre moitié de la main gauche.

Tableau 25. Présentation de la répartition des participants. La deuxième colonne indique les deux modalités du facteur Sexe. La troisième colonne indique les deux modalités du facteur Main de réponse. La quatrième colonne indique les 2 modalités de la variable Ordre des parties. Est indiqué entre parenthèses le nombre de participants pour chaque condition.

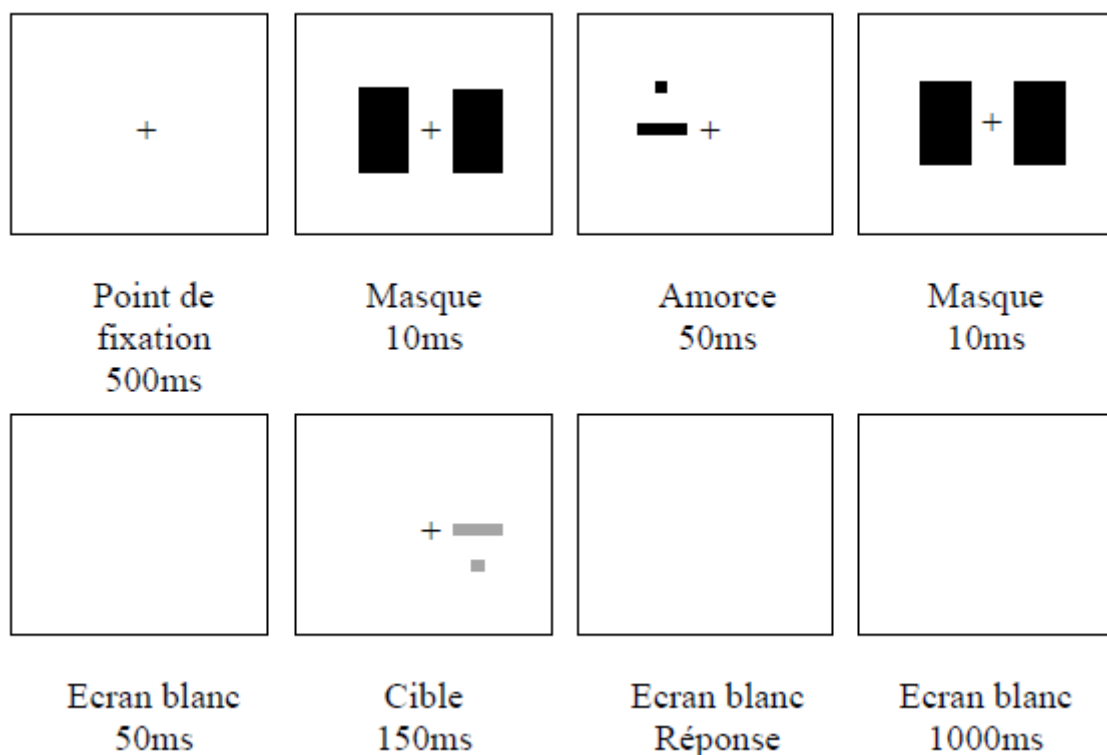
	Sexe	Main de réponse	Ordre des parties
Participants (32)	Femme (16)	Main droite (8)	p1-p2 (4)
			p2-p1 (4)
		Main gauche (8)	p1-p2 (4)
			p2-p1 (4)
	Homme (16)	Main droite (8)	p1-p2 (4)
			p2-p1 (4)
		Main gauche (8)	p1-p2 (4)
			p2-p1 (4)

Chaque essai était composé d'un point de fixation présenté au centre de l'écran pendant 500 ms et symbolisé par une croix (de largeur de deux millimètres, 0,2 degré d'angle visuel). Le point de fixation était suivi par un masque (rectangle noir recouvrant la surface d'écran où les points et les barres pouvaient apparaître) présenté pendant 10 ms. Ensuite, le stimulus amorce apparaissait pendant 50 ms suivi à nouveau d'un masque identique. Après un écran blanc de 50 ms, le stimulus cible était alors présenté pendant 150 ms. Un écran blanc restait jusqu'à la réponse des participants. Un dernier écran blanc de 1000 ms permettait de faire la transition entre deux essais (cf. figure 43).

Niebauer (2001) a utilisé arbitrairement un SOA de 200 et de 600 ms. Il n'a pas observé d'effet du SOA sur les effets d'amorçage. Cependant, Niebauer a utilisé comme amorce les positions coordonnées ou catégorielles et pas, contrairement à notre expérience, les positions précises des points. En considérant la méthode que nous avons choisie, le choix du

SOA est important. Van der Hamm et al. (2007) en utilisant un SOA trop long ont observé un avantage de l'hémisphère gauche pour le traitement coordonné. Van der Lubbe et al. (2006) ont montré, par une méthode de potentiels évoqués, une activation des aires extrastriées controlatérales à la stimulation plus forte que l'activation des aires extrastriées ipsilatérales à 168 ms. Nous avons choisi arbitrairement et volontairement un SOA court (de 110 ms) pour que le traitement des relations spatiales de l'amorce se déroule pendant la présentation du stimulus cible et pour que les traitements de l'amorce et de la cible interagissent avant la disparition de la cible. De plus, nous avons choisi de présenter l'amorce rapidement (50 ms) et de manière masquée pour éviter au maximum que les participants donnent leur réponse sur l'amorce et non sur la cible. Un feedback sonore retentissait si les participants commettaient une erreur. L'expérience durait approximativement 30 minutes. Chaque bloc expérimental durait en moyenne 5 minutes. Les participants faisaient une pause de quelques minutes entre chaque bloc.

Figure 43 Design temporel d'un essai (les stimuli ne sont pas représentés à l'échelle et le point et la barre de la cible étaient rouges).



Hypothèses

Nos hypothèses théoriques (notées H) et opérationnelles (notées HO) relatives à l'expérience 8 sont présentées ci-dessous.

En condition d'amorçage intrahémichampique

H1 : L'hémisphère droit est dominant dans le traitement des relations spatiales coordonnées (Kosslyn, 1987).

- HO-1 : Le champ visuel gauche engendre de meilleures performances que le champ visuel droit quel que soit l'amorçage catégoriel ou coordonné.

H2 : L'hémisphère droit est dominant pour le jugement coordonné au début de l'expérience, cet avantage diminuant avec la pratique.

- HO-2 : L'avantage de la condition *cvg-HD* n'est présent que pour la première partie de l'expérience.

H3 : Le traitement catégoriel intervient automatiquement dans un jugement coordonné et le traitement coordonné dépend du traitement catégoriel.

- HO-3-1 : L'effet d'amorçage catégoriel est significatif, et
- HO-3-2 : L'amorçage catégoriel interagit avec l'amorçage coordonné.

H4 : Si HO-3-1 est vraie et si l'hémisphère droit est spécialisé dans le traitement coordonné et que l'hémisphère gauche est spécialisé dans le traitement catégoriel, alors :

- HO-4-1 : En amorçage intrahémichampique, le facteur Amorçage catégoriel influence plus les réponses au champ visuel droit,
- HO-4-2 : En amorçage intrahémichampique, le facteur Amorçage coordonné influence plus les réponses au champ visuel gauche, et
- HO-4-3 : Ces effets ne sont présents que pour la première partie de l'expérience.

H5 : Si les hémisphères ont des compétences similaires pour le traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées, alors :

- HO-5 : Les effets d'amorçage intrahémichampique sont équivalents entre les modalités du facteur Champ visuel.

H6 : Si l'effet de pratique dépend d'une amélioration des capacités de l'hémisphère gauche à réaliser un traitement coordonné, alors :

- HO-6 : En amorçage intrahémichampique, l'amorçage coordonné n'influence pas les réponses au champ visuel droit pour la première partie de l'expérience, mais pour la deuxième partie.

En condition d'amorçage interhémichampique

H7 : Si les hémisphères ne s'influencent pas de manière réciproque, alors :

- HO-7 : Les effets d'amorçage interhémichampique catégoriel et/ou coordonné ne sont pas équivalents pour les réponses au champ visuel droit et gauche.

H8 : Si l'hémisphère droit est spécialisé dans le traitement coordonné et que l'hémisphère gauche est spécialisé dans le traitement catégoriel et si les hémisphères interagissent, alors :

- HO-8-1 : En amorçage interhémichampique, le facteur Amorçage catégoriel influence plus les réponses au champ visuel gauche que les réponses au champ visuel droit, et
- HO-8-2 : En amorçage interhémichampique, le facteur Amorçage coordonné influence plus les réponses au champ visuel droit que les réponses au champ visuel gauche.

H9 : Si l'effet de pratique dépend des communications entre les hémisphères, alors :

- HO-9 : Pour la première partie de la phase expérimentale et pour la condition d'amorçage interhémichampique, l'avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* est influencé par les facteurs Amorçage catégoriel et/ou Amorçage coordonné.

H10 : Si H3 et H4 sont vraies et si l'avantage de l'hémisphère droit au début de l'expérience est dépendant des traitements catégoriels de l'hémisphère gauche, alors :

- HO-10 : Pour la première partie de la phase expérimentale et pour la condition d'amorçage interhémichampique, l'avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* est plus influencé par l'amorçage catégoriel que par l'amorçage coordonné.

Comparaison de l'amorçage intrahémichampique et interhémichampique

H11 : Si l'interaction hémisphérique dépend de la capacité propre de chaque hémisphère à traiter les relations spatiales, alors :

- HO-11 : Les effets d'amorçage interhémisphérique sont proportionnels aux effets d'amorçage intrahémisphérique. Plus les effets d'amorçage intrahémichampique pour un champ visuel cible donné sont importants, plus les effets d'amorçage interhémichampique pour le champ visuel opposé sont importants. Ces effets peuvent être restreints au début de l'expérience.

Résultats

Des analyses de variance séparées ont été conduites systématiquement sur les temps de réponse et sur les erreurs. Lors de l'analyse des temps de réponse, seules les bonnes réponses ont été considérées. Ainsi, dans la tâche coordonnée, l'analyse des temps de réponse portait sur 86.86% des réponses. De plus, un élagage a été effectué sur les données : préalablement au calcul des moyennes par sujet et par cellule (définie par le croisement des différents facteurs), les temps de réponse excédant la moyenne plus deux écarts-types de la cellule et ceux inférieurs à 150 ms ont été remplacés par la moyenne de cette même cellule (3.49% des temps ont été remplacés, la proportion des temps de réponse remplacés pour chaque hémisphère était identique). La moyenne des temps de réponse était de 607 ms et la moyenne des taux d'erreurs de 13.14%. Pour des raisons de clarté, nous présenterons dans un premier temps les analyses portant sur l'amorçage intrahémichampique et dans un deuxième temps les analyses portant sur l'amorçage interhémichampique. Pour finir, nous exposerons les analyses portant sur le rapport entre l'amorçage intra- et interhémichampique. Chacune de ces analyses sera discutée et interprétée individuellement. Pour chacune des analyses, deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites sur les temps de réponse et sur les taux d'erreurs, incluant les facteurs :

- Champ visuel cible à deux modalités (champ visuel droit, champ visuel gauche),
- Amorçage catégoriel à deux modalités (amorçage congruent, amorçage incongruent),
- Amorçage coordonné à deux modalités (amorçage congruent, amorçage incongruent), et
- Partie à deux modalités (première partie, deuxième partie).

L'analyse portant sur le rapport entre l'amorçage intra- et interhémichampique incluait cette variable supplémentaire :

- Type d'amorçage à deux modalités (intrahémichampique, interhémichampique).

Chacune de ces analyses a été complétée d'analyses incluant les facteurs inter-sujets suivants :

- Sexe à deux modalités (femme, homme),
- Main à deux modalités (main droite, main gauche), et
- Ordre des parties à deux modalités (partie 1 puis partie 2, partie 2 puis partie 1).

Analyse sur les amorçages intrahémichampique

Analyse des temps de réponse

L'ANOVA sur les facteurs expérimentaux a dégagé trois effets principaux significatifs pour les facteurs :

- Amorçage catégoriel [$F_{(1,31)}=15.937, p=.0004$] ; les amorces incongruentes (616 ms) ont plus ralenti les temps de réponse que les amorces congruentes (599 ms),
- Amorçage coordonné [$F_{(1,31)}=42.663, p=.0001$] ; les amorces incongruentes (619 ms) ont plus ralenti les temps de réponse que les amorces congruentes (595 ms), et
- Partie [$F_{(1,31)}=25.061, p=.0001$] ; les participants ont été plus rapides pour la deuxième partie (586 ms) que pour la première (628 ms).

L'interaction Champ visuel * Partie était significative [$F_{(1,31)}=4.234, p<.05$, cf. Figure 44]. Des analyses de contrastes ont montré que les réponses au champ visuel gauche étaient plus rapides (*cvg-HD* : 620 ms) que les réponses au champ visuel droit (*cvd-HG* : 637 ms) dans la première partie [$F_{(1,31)}=5.51, p<.03$]. Dans la deuxième partie, cette différence n'était pas significative. L'interaction Amorçage coordonné * Partie s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=8.125, p<.008$]. L'effet d'amorçage coordonné était plus grand dans la deuxième partie (différence de 34 ms entre la modalité incongruence et congruence) que dans la première partie (différence de 14 ms entre la modalité incongruence et congruence).

[Figure 44]

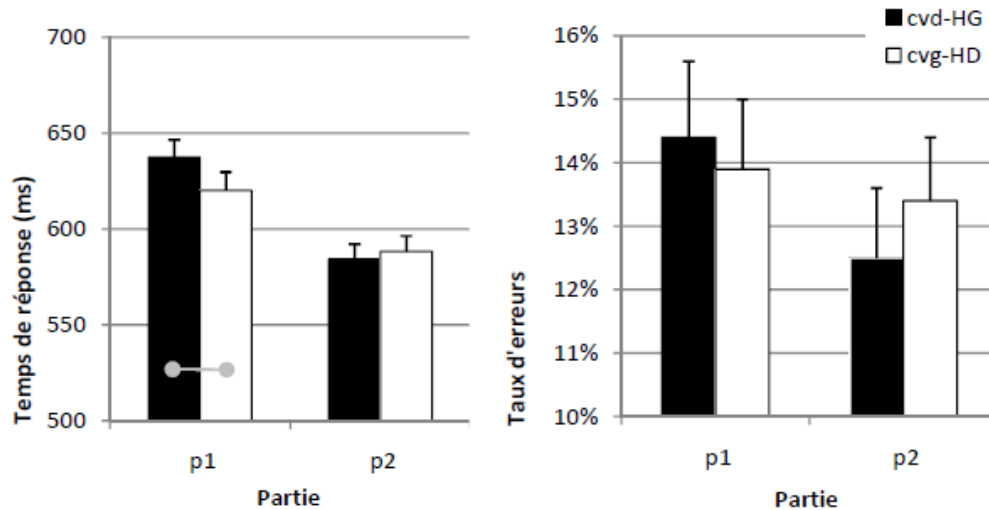


Figure 44 Représentation des temps de réponses moyens (figure de gauche) et des taux d'erreurs moyens (figure de droite) en fonction des facteurs Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Partie (p1, p2) dans la condition d'amorçage intrahémichampique (●—● $p < .03$). Les barres représentent les erreurs standards.

Bien que les interactions Champ visuel * Amorçage catégoriel et Champ visuel * Amorçage catégoriel * Partie ne fussent pas significatives [respectivement $F_{(1,31)}=2.157$, $p=.152$ et $F_{(1,31)}=2.11$, $p=.156$], et conformément à nos hypothèses, nous avons mené des analyses de contrastes sur l'effet d'amorçage catégoriel pour chaque partie et chaque champ visuel (cf. Figure 45). Nous avons observé un effet d'amorçage catégoriel significatif pour la première partie pour la condition *cvg-HD* [$F_{(1,31)}=4.14$, $p=.0002$]. De plus, l'avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* n'était significatif que pour le premier bloc dans le cas de congruence catégorielle [$F_{(1,31)}=3.55$, $p<.002$].

[Figure 45]

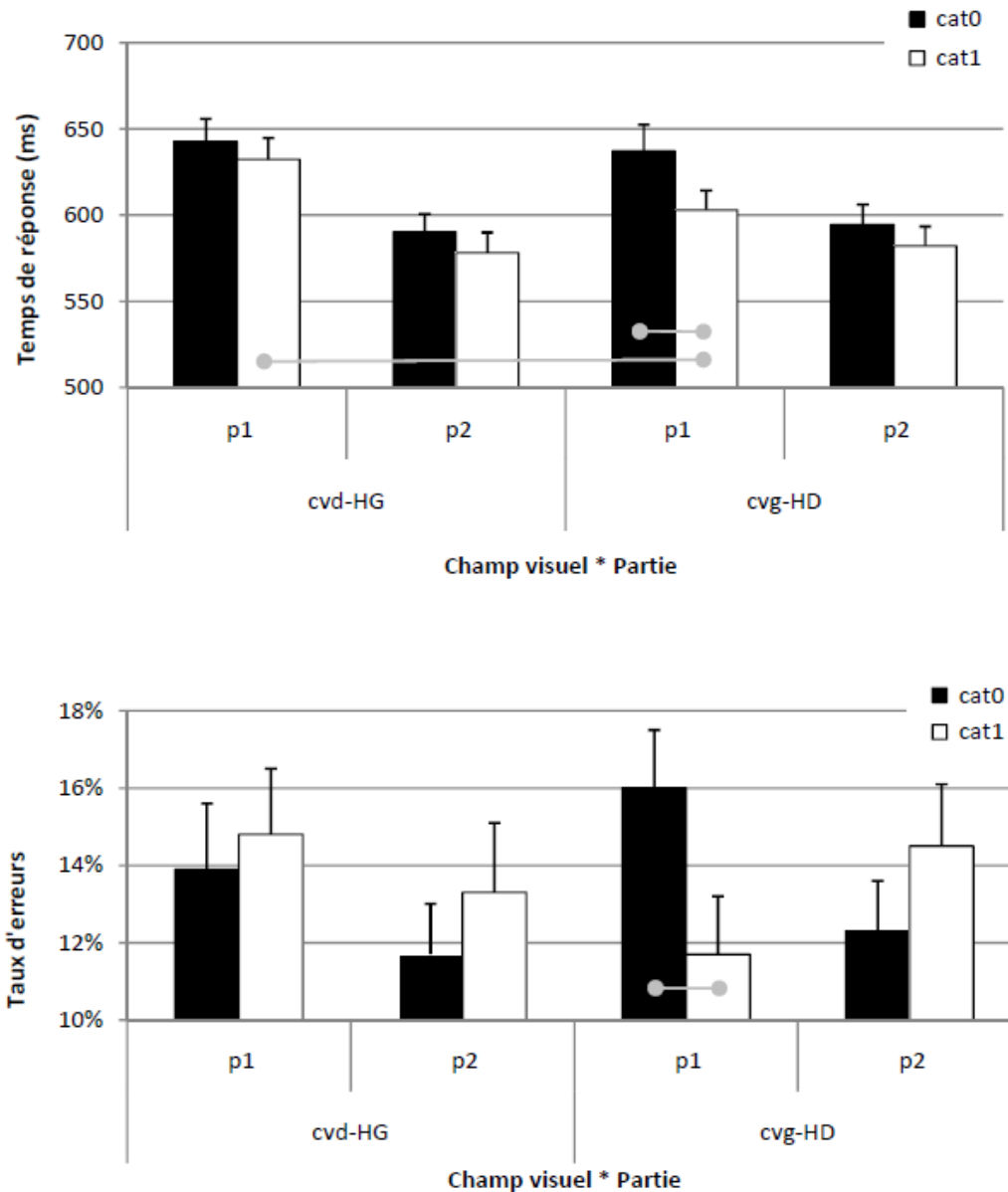


Figure 45 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage catégoriel (congruence, cat1, versus incongruence, cat0), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Partie (p1, p2) dans la condition d'amorçage intrahémichampique (●● $p < .01$). Les barres représentent les erreurs standards.

Par ailleurs, ni l'interaction Champ visuel * Amorçage coordonné, ni l'interaction Champ visuel * Amorçage coordonné * Partie n'étaient significatives [respectivement $F_{(1,31)}=0.07$, $p=.79$ et $F_{(1,31)}=0.92$, $p=.34$]; conformément à nos hypothèses, nous avons mené des analyses de contrastes sur l'effet d'amorçage catégoriel pour chaque partie et chaque champ visuel (cf. Figure 46). Nous avons relevé que l'amorçage coordonné a influencé significativement les réponses au champ visuel gauche dans les deux parties expérimentales

[$p1 : F_{(1,31)}=2.22, p=.03, p2 : F_{(1,31)}=3.85, p=.0005$]. En contrepartie, l'amorçage coordonné a influencé les réponses au champ visuel droit uniquement dans la deuxième partie [$F_{(1,31)}=5.11, p=.0001$]. Dans le cas d'un amorçage coordonné congruent, les analyses ont montré un avantage significatif de la condition *cvg-HD* pour la première partie [$F_{(1,31)}=2.62, p=.013$].

[Figure 46]

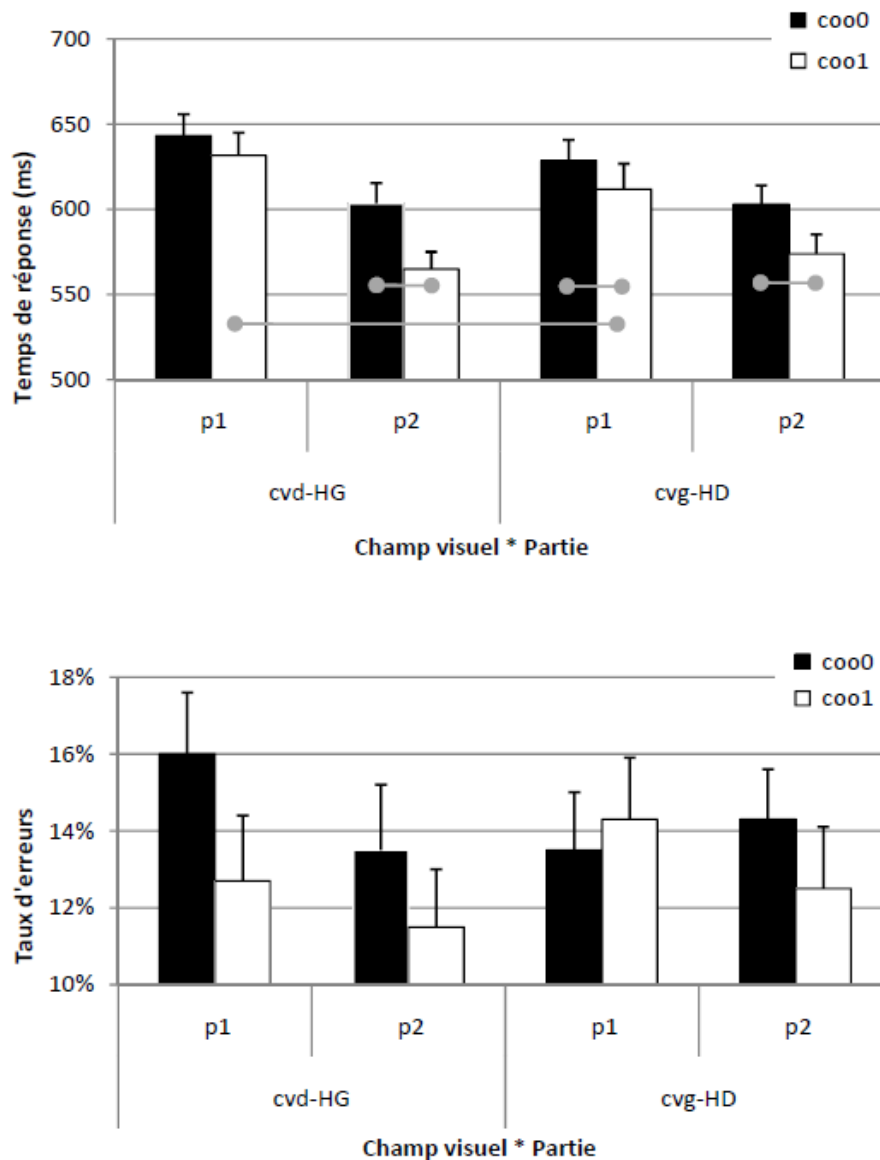


Figure 46 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage coordonné (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Partie (*p1*, *p2*) dans la condition d'amorçage intrahémichampique (●—● $p < .01$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

Contrairement à l'analyse sur les temps de réponse, l'ANOVA sur les taux d'erreurs n'a pas montré d'effet simple significatif. Toutefois et de manière similaire à l'analyse précédente, aucune des interactions suivantes n'était significative : Champ visuel * Partie, Champ visuel * Amorçage catégoriel * Partie, Champ visuel * Amorçage coordonné * Partie. En correspondance avec l'analyse précédente, nous avons mené des comparaisons spécifiques et avons présenté ces interactions conjointement aux figures des temps de réponse. Les analyses de contrastes que nous avons menées n'ont montré qu'un seul effet significatif (cf. Figure 45) : l'effet d'amorçage catégoriel pour la première partie dans la condition *cvg-HD* [$F_{(1,31)}=2.33, p<.03$].

L'analyse de variance sur les taux d'erreurs a montré que l'interaction Amorçage catégoriel * Amorçage coordonné était significative [$F_{(1,31)}=4.682, p<.04$], les participants ont fait moins d'erreurs dans le cas de congruence coordonnée et d'incongruence catégorielle comparativement aux autres conditions. Cette interaction était influencée par le facteur Champ visuel [$F_{(1,31)}=8.386, p<.007$]. Nous avons mené des analyses *a posteriori* pour décrire plus en amont cette interaction (cf. Figure 47). Nous avons observé un avantage de la condition *cvg-HD* sur la condition *cvd-HG* dans la condition de congruence catégorielle et d'incongruence coordonnée (Fisher-LSD : $p=.015$). Quand l'amorce catégorielle était congruente, alors l'amorce coordonnée congruente engendrait un gain de précision dans la condition *cvg-HD* (Fisher-LSD : $p=.015$). Inversement, quand l'amorce catégorielle était incongruente, alors l'amorce coordonnée congruente engendrait un coût de précision dans la condition *cvg-HD* (Fisher-LSD : $p=.004$). La condition *cvd-HG* ne semble pas avoir été influencée par l'interaction des facteurs Amorçage catégoriel et Amorçage coordonné.

[Figure 47]

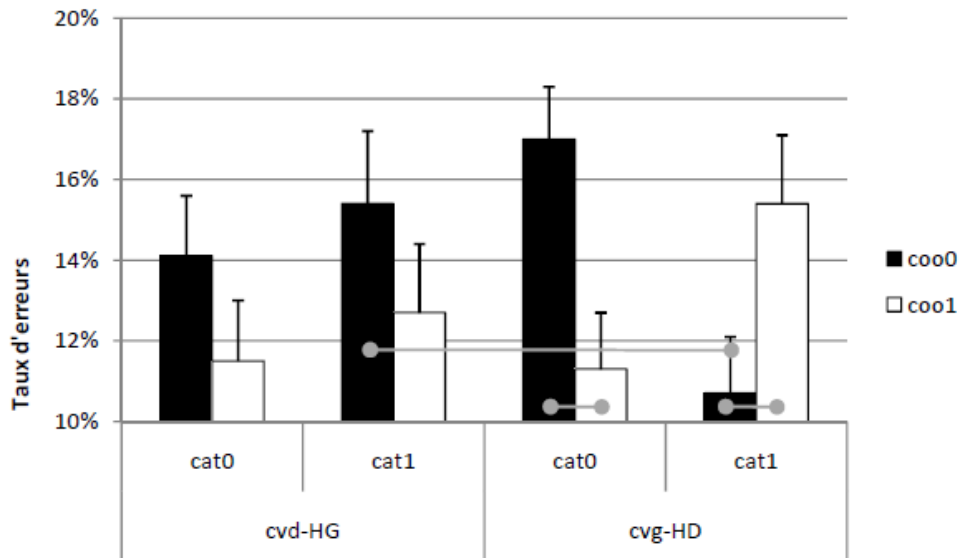


Figure 47 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage coordonné (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Amorçage catégoriel (congruence, *cat1*, versus incongruence, *cat0*) dans la condition d'amorçage intrahémichampique (●● $p < .02$). Les barres représentent les erreurs standards.

Interprétations

Nous n'avons pas observé d'effet simple du facteur Champ visuel ; nous n'avons pas observé d'avantage général de l'hémisphère droit dans cette tâche coordonnée (rejet de H1). Toutefois, nous observons un avantage de l'hémisphère droit pour la première partie de la phase expérimentale (H2 validée). L'amorçage catégoriel influençait les résultats. Le traitement des informations catégorielles est donc automatique dans un jugement coordonné. Nous répliquons donc les résultats de Niebauer (2001) et les résultats de nos expériences précédentes. De plus, les amorçages catégoriels et coordonnés ont interagi ; nous supposons donc que les traitements coordonnés dépendent des traitements catégoriels (H3 validée). Cette interaction n'a été observée que pour les réponses au champ visuel gauche (HD) : l'amorçage catégoriel congruent engendrerait un gain de la congruence coordonnée, et inversement, l'amorçage catégoriel incongruent engendrerait un gain de l'incongruence coordonnée. Il est difficile d'interpréter cette interaction croisée en raison de l'absence d'hypothèse sur cet effet. Toutefois, cette interaction laisse supposer que la nature des traitements catégoriels et coordonnés est qualitativement différente. L'amorçage catégoriel n'a influencé que les performances de l'hémisphère droit dans la première partie expérimentale et non pas exclusivement celles de l'hémisphère gauche comme nous l'avions pensé (rejet de HO-4-1 et de H5). Ces faits sont donc en défaveur d'une spécialisation

absolue de l'hémisphère droit pour le traitement des relations coordonnées, en ce sens que l'hémisphère droit est amorcé aussi bien par des informations catégorielles que coordonnées dans une tâche coordonnée. Réciproquement, nous avons observé un effet d'amorçage coordonné dans la condition *cvd-HG* pour la deuxième partie, mais pas pour la première partie. L'hémisphère gauche n'est donc pas sensible aux informations coordonnées au début de l'expérience (HO-4-2, HO-4-3, H6 validée). Ce fait va dans le sens suivant : l'hémisphère droit est dominant au début de l'expérience, mais par la suite l'hémisphère gauche apprend à réaliser le traitement coordonné. Cet apprentissage améliore les compétences de l'hémisphère gauche et donc engendre une diminution des différences hémisphériques. Remarquons que contrairement à nos attentes, l'hémisphère gauche n'était pas sensible aux amorces catégorielles, ni dans la première ni dans la deuxième partie. Si l'hémisphère gauche adoptait une stratégie catégorielle, c'est-à-dire affinait ses catégories pour réaliser le jugement coordonné, comme le propose Kosslyn (1989), alors l'effet d'amorçage catégoriel aurait eu un effet. Or, ce n'est pas le cas. De la même manière, dans la première partie, l'avantage de l'hémisphère droit n'a été observé que dans le cas d'amorçages catégoriels ou coordonnés congruents. Trois observations sont donc sans interprétations : la non-influence des informations catégorielles sur l'hémisphère gauche, leur influence sur l'hémisphère droit et la nécessité d'amorçage congruent pour observer l'avantage initial de l'hémisphère droit. La participation principale de l'hémisphère droit dans la première partie est donc remise en question, en ce sens qu'il est probable que des échanges hémisphériques sur les prétraitements peuvent avoir eu lieu avant le traitement des stimuli cibles. Si tel est le cas, alors l'avantage de l'hémisphère droit dans la première partie devrait être dépendant des traitements de l'hémisphère gauche. Les analyses portant sur l'amorçage interhémichampique vont nous permettre de répondre à cette question.

Analyse sur les amorçages interhémichampiques

Analyse des temps de réponse

L'ANOVA sur les temps de réponse a révélé deux effets principaux significatifs pour les facteurs :

Amorçage coordonné [$F_{(1,31)}=11.809, p<.002$] ; les amorces incongruentes (623 ms) ont plus ralenti les réponses que les amorces congruentes (609 ms), et

Partie [$F_{(1,31)}=24.003, p=.0001$] ; les participants étaient plus rapides pour la deuxième partie (593 ms) que pour la première (639 ms).

Les facteurs ou interactions suivants ne sont pas significatifs : Amorçage catégoriel, Champ visuel, Champ visuel * Partie, Amorçage coordonné * Champ visuel, Amorçage catégoriel * Champ visuel, Amorçage coordonné * Champ visuel * Partie, et Amorçage catégoriel * Champ visuel * Partie.

En dépit de leur non-significativité et en respect de nos hypothèses, nous avons conduit des analyses de contrastes sur chacune de ces interactions. L'interaction Champ visuel * Amorçage coordonné a montré que l'amorçage coordonné interhémichampique était plus important dans la condition *cvd-HG* [différence de 18 ms entre la modalité incongruence et congruence, $F_{(1,31)}=3.68$, $p=.0009$] que dans la condition *cvg-HD* [différence de 10 ms entre la modalité incongruence et congruence, $F_{(1,31)}=2.1$, $p=.04$]. Cette différence était présente et significative uniquement dans la première partie de l'expérience (cf. Figure 48). Aucune de nos analyses n'a montré d'effet significatif des facteurs Champ visuel et Amorçage catégoriel.

[Figure 48]

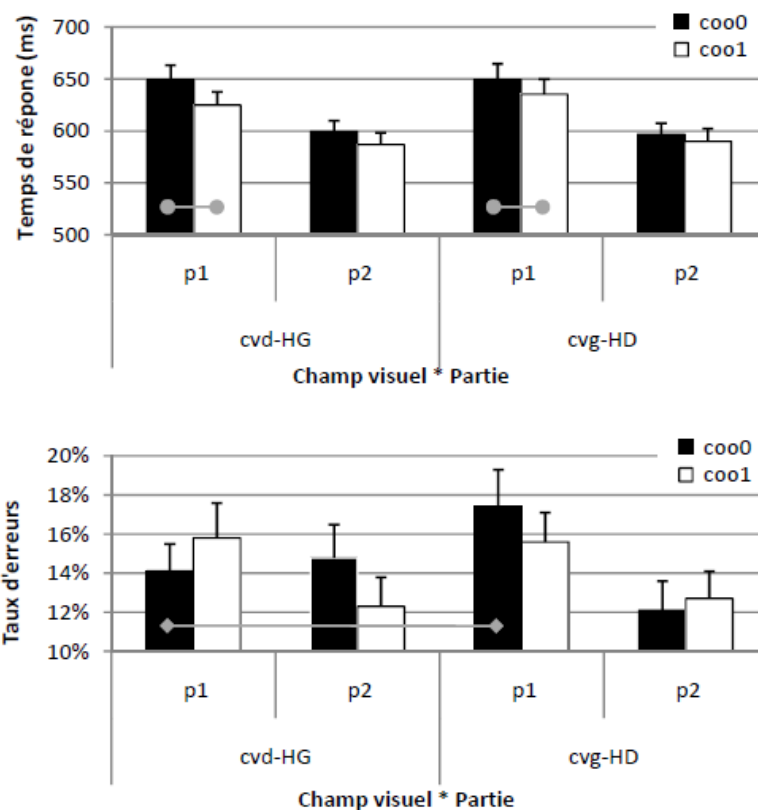


Figure 48 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage coordonné (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Partie (p1, p2) dans la condition d'amorçage interhémichampique (●● $p < .01$, ◆◆ $p < .06$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'ANOVA sur les taux d'erreurs a montré un effet significatif du facteur Partie [$F_{(1,31)}=5.484, p < .03$]. Les participants ont fait moins d'erreurs pour la deuxième partie (13% d'erreurs) que pour la première (15% d'erreurs). De même, l'interaction Amorçage catégoriel * Amorçage coordonné était significative [$F_{(1,31)}=5.27, p < .03$], les participants ont fait moins d'erreurs quand les amorces catégorielles et coordonnées étaient congruentes. Cet effet était différent de celui observé pour l'amorçage intrahémichampique où les participants ont fait moins d'erreurs quand les amorces coordonnées étaient congruentes et les amorces catégorielles incongruentes. L'interaction Champ visuel * Partie n'était pas significative [$F_{(1,31)}=1.96, p = .17$]. Sur le plan descriptif, nous remarquons un avantage de la condition *cvd-HG* (14.9% d'erreurs) sur la condition *cvg-HD* (16.5% d'erreurs) pour la première partie, et un avantage de la condition *cvg-HD* (12.1% d'erreurs) sur la condition *cvd-HG* (13.6% d'erreurs) pour la deuxième partie.

L'interaction Champ visuel * Amorçage catégoriel s'est révélée significative [$F_{(1,31)}=4.592$, $p=.0401$]. Des analyses de contrastes ont montré que l'effet d'amorçage interhémisphérique catégoriel était significatif pour la condition *cvd-HG* [$F_{(1,31)}=3$, $p=.005$]. Bien que cette interaction ne fût significativement pas influencée par le facteur Partie et en respect de nos hypothèses, nous avons mené des analyses de contrastes sur cette interaction (cf. Figure 49). Ces analyses ont montré que l'effet d'amorçage interhémichampique catégoriel n'était significatif que pour la condition *cvd-HG* et pour la première partie [$F_{(1,31)}=2.73$, $p=.01$]. En outre, nous avons remarqué un avantage marginal de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* pour la première partie et dans le cas d'amorçage catégoriel congruent.

[Figure 49]

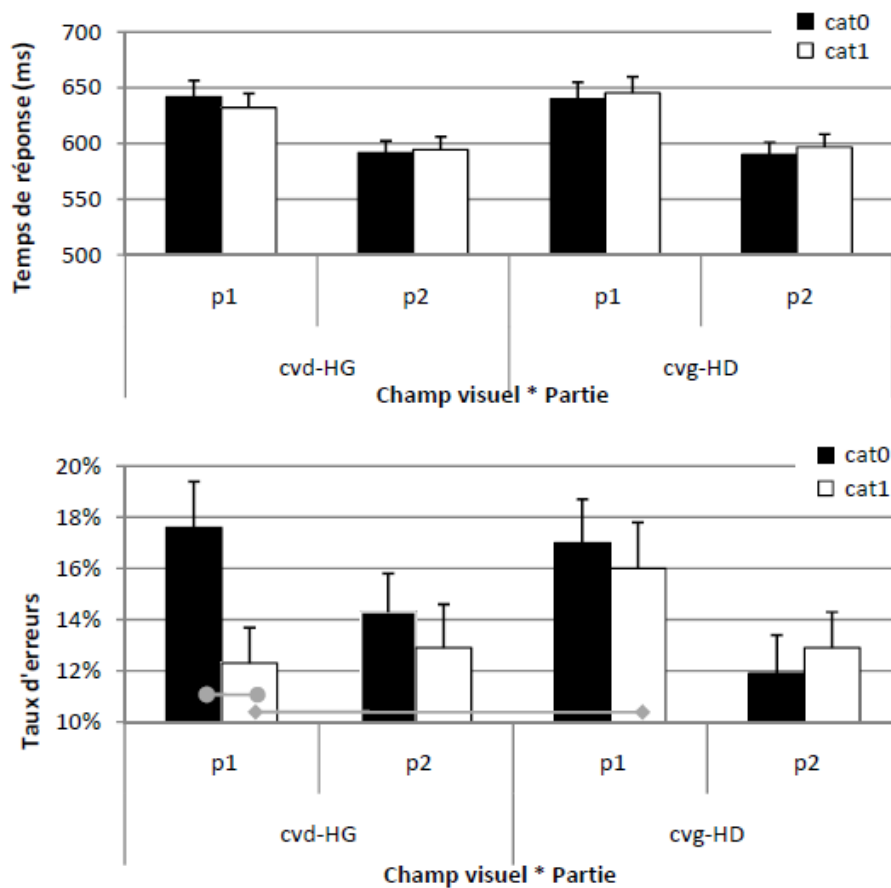


Figure 49 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage catégoriel (congruence, *cat1*, versus incongruence, *cat0*), Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Partie (*p1*, *p2*) dans la condition d'amorçage interhémichampique (●—● $p<.01$, ◆—◆ $p<.07$). Les barres représentent les erreurs standards.

Enfin, nous avons observé une tendance de l'interaction Champ visuel * Amorçage coordonné * Partie [$F_{(1,31)}=4, p=.054$] (cf. Figure 48). Nous avons donc conduit des comparaisons planifiées pour décrire de manière plus précise cet effet. Quelle que soit la partie ou le champ visuel, nous n'avons pas observé d'effet d'amorçage coordonné significatif. Néanmoins, nous avons observé un avantage marginal de la condition *cvd-HG* sur la condition *cvg-HD* dans la première partie quand les amorces coordonnées étaient incongruentes [$F_{(1,31)}=2, p=.054$].

Interprétations

Comme le montrent les figures 48 et 49, les effets d'amorçage interhémichampique n'étaient pas équivalents entre les hémisphères (H7 validée). L'amorçage catégoriel interhémisphérique influençait uniquement les performances de l'hémisphère gauche pour la première partie expérimentale (rejet de HO-8-1). Cette influence s'est exprimée par un gain du prétraitement par l'hémisphère droit d'informations catégorielles congruentes. En revanche et pour la première partie expérimentale, l'amorçage coordonné interhémisphérique influençait les deux hémisphères, bien que cette influence ait été plus importante sur les performances de l'hémisphère gauche (HO-8-2 validée, rejet de H10). L'hémisphère gauche est donc plus influencé par l'hémisphère droit qu'inversement ; cette observation est d'autant plus évidente à propos des informations catégorielles.

Contrairement aux analyses sur l'amorçage intrahémichampique, nous n'avons pas observé d'avantage initial de l'hémisphère droit. L'hémisphère gauche a été marginalement plus performant que l'hémisphère droit pour la première partie si les amorces catégorielles étaient congruentes ou si les amorces coordonnées étaient incongruentes. Les asymétries hémisphériques et ce que l'on dénomme « l'effet de pratique » dépendent donc des communications entre les hémisphères (H9 validée). Nous avons répliqué l'effet de pratique dans le cas d'amorçage intrahémichampique et répliqué l'effet de pratique inversé (voir expérience 6 et 7) dans le cas d'amorçage interhémichampique. Succinctement, nous pourrions conclure que l'avantage de l'hémisphère droit ne s'observe que dans le cas d'amorçage intrahémichampique, c'est-à-dire en absence de communication hémisphérique (si nous acceptons le modèle d'accès direct de Zaidel). Mais comment savoir si des communications interhémisphériques n'ont pas eu lieu pendant l'amorçage intrahémichampique ? Pour répondre à cette question, nous avons mené des analyses incluant le facteur Champ visuel cible et Type d'amorçage (voir ci-après). De même, nous pourrions interpréter l'avantage de l'hémisphère gauche en amorçage interhémisphérique

comme un avantage des prétraitements de l'hémisphère droit, ce qui validerait la spécialisation de l'hémisphère droit dans le jugement coordonné. Cette interprétation présuppose un relais d'informations de l'information cible vers l'hémisphère le plus compétent, le droit. Si tel était le cas, alors nous devrions obtenir des effets d'amorçage qualitativement identique entre les performances où le champ visuel droit est ciblé en amorçage interhémichampique et les performances où le champ visuel gauche est ciblé en amorçage interhémichampique. Nous observons bien ce pattern de résultats pour l'amorçage catégoriel. En revanche, l'amorçage coordonné est différent entre ces conditions, plus précisément l'avantage de l'hémisphère droit en amorçage intrahémisphérique s'exprime par des temps de réponse plus rapides dans le cas d'amorçage coordonné congruent, alors que l'avantage de l'hémisphère gauche en amorçage interhémisphérique s'exprime par une plus grande précision dans le cas d'amorçage coordonné incongruent. Cette différence qualitative est un indice nous permettant d'être sceptique vis-à-vis de l'hypothèse d'un relais d'informations entre les hémisphères.

Comparaison entre les amorçages intrahémichampique et interhémichampiques

Deux analyses de variance à mesures répétées ont été conduites (sur les temps de réponse et les taux d'erreurs) en incluant les facteurs : Champ visuel cible, Type d'amorçage, Amorçage catégoriel, Amorçage coordonné et Partie. En respect de nos hypothèses et pour éviter des redondances avec les analyses précédentes, nous ne mentionnons ici que les effets spécifiques de ces analyses (en particulier les effets où les facteurs Champ visuel cible et Type d'amorçage sont en interaction). Rappelons que nous souhaitons comparer les effets d'amorçage catégoriel ou coordonné, d'une part entre les champs visuels cibles en fonction du type d'amorçage (intra- et interhémichampique) ; et, d'autre part, entre les champs visuels amorcés en fonction du champ visuel amorcé.

Analyse des temps de réponse

En premier lieu, l'amorçage intrahémichampique a engendré des réponses plus rapides que l'amorçage interhémichampique [$F_{(1,31)}=6.17, p<.02$]. L'effet d'amorçage catégoriel n'était présent qu'en amorçage intrahémichampique [$F_{(1,31)}=9.27, p=.005$]. L'amorçage coordonné était présent quelle que soit la partie ou le type d'amorçage, mais a été plus important dans la deuxième partie en amorçage intrahémichampique [$F_{(1,31)}=10.38, p=.003$].

Aucune de ces deux interactions n'était significative : Amorçage catégoriel * Champ visuel cible * Type d'amorçage * Partie [$F_{(1,31)}=2.6, p=.11$] ; Amorçage coordonné * Champ visuel cible * Type d'amorçage * Partie [$F_{(1,31)}=0.87, p=.37$]. Conformément à nos prédictions, nous avons des analyses de contrastes sur le facteur Amorçage catégoriel et Amorçage coordonné. Nous remarquons que l'amorçage catégoriel était significatif seulement quand celui-ci était intrahémichampique pour la condition *cvg-HD* dans la première partie [$F_{(1,31)}=11.75, p=.002$, cf. Figure 50]. Dans la première partie, l'amorçage coordonné était significatif quand l'hémichamp gauche était amorcé, quel que soit le champ visuel cible [*cvg-HD* : $F_{(1,31)}=4.58, p=.04$; *cvd-HG* : $F_{(1,31)}=7.33, p=.01$, cf. Figure 51]. Dans la deuxième partie, l'amorçage coordonné était significatif s'il était intrahémichampique, quel que soit le champ visuel [*cvg-HD* : $F_{(1,31)}=24.3, p=.0001$; *cvd-HG* : $F_{(1,31)}=22, p=.0001$].

[Figure 50]

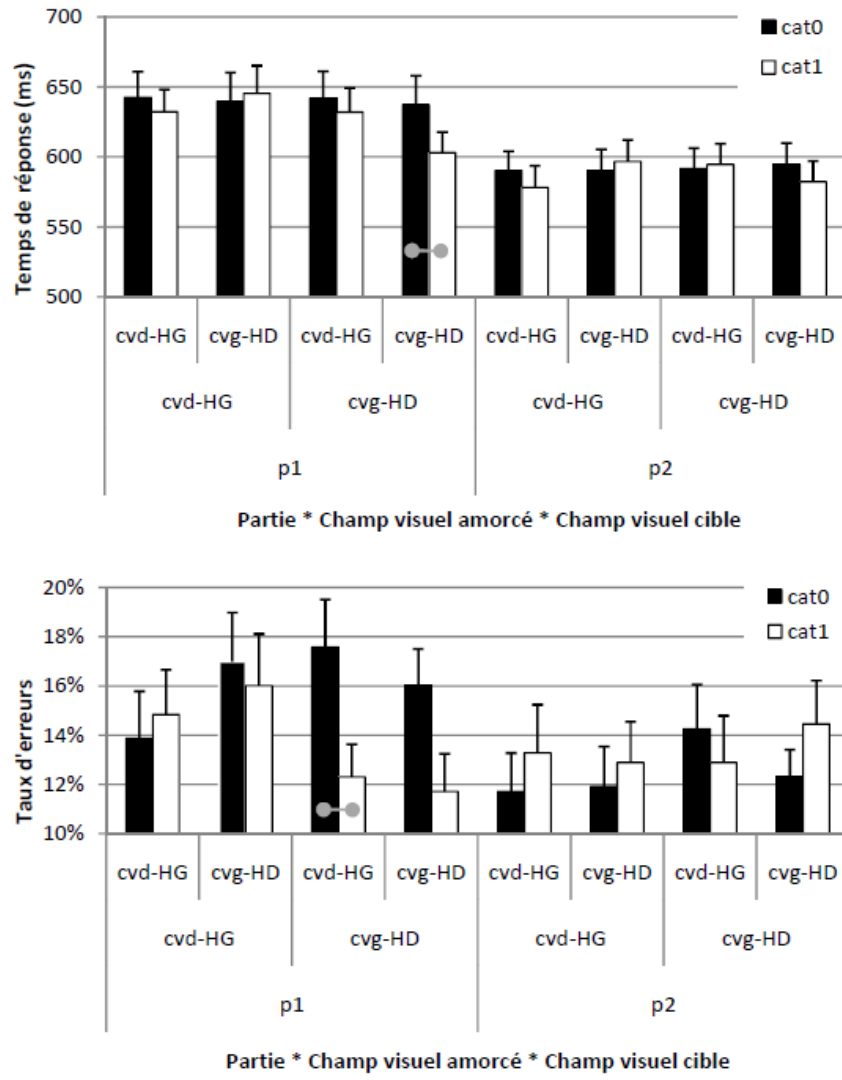


Figure 50 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage catégoriel (congruence, cat1, versus incongruence, cat0), Partie (p1, p2), Champ visuel amorcé (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Champ visuel cible (champ visuel droit versus champ visuel gauche) (●—● p < .05). Les barres représentent les erreurs standards.

[Figure 51]

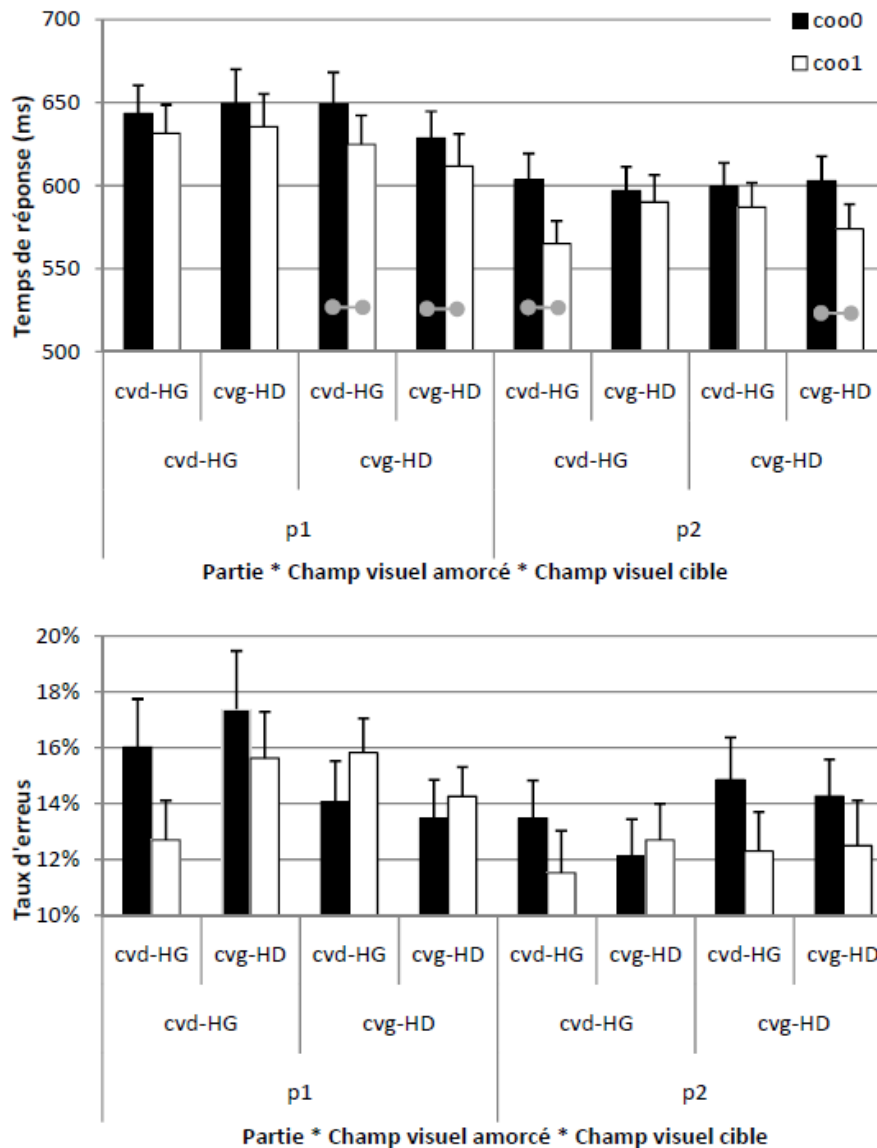


Figure 51 Représentation des temps de réponses moyens (figure du haut) et des taux d'erreurs moyens (figure du bas) en fonction des facteurs Amorçage coordonné (congruence, *coo1*, versus incongruence, *coo0*), Partie (*p1*, *p2*), Champ visuel amorcé (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) et Champ visuel cible (champ visuel droit-hémisphère gauche versus champ visuel gauche-hémisphère droit) (●—● $p < .05$). Les barres représentent les erreurs standards.

Analyse des taux d'erreurs

L'interaction Amorçage catégoriel * Champ visuel cible * Type d'amorçage était significative [$F_{(1,31)}=7.42$, $p=.01$]. L'amorçage catégoriel s'est révélé significatif pour les réponses au champ visuel droit (*cvd-HG*) dans le cas d'amorçage interhémichampique. Des analyses de contrastes sur cette interaction incluant le facteur Partie (qui n'est pas significative) ont montré que cet effet n'était significatif que pour la première partie [$F_{(1,31)}=3.83$, $p=.05$] (cf. Figure 50). Remarquons toutefois que l'effet d'amorçage

catégoriel, dans la première partie de l'expérience, était aussi important pour les réponses au champ visuel gauche (*cvg-HD*) dans le cas d'amorçage intrahémichampique (Cet effet est non significatif).

L'interaction Amorçage coordonné * Champ visuel cible * Champ visuel amorcé * Partie s'est aussi révélée significative [$F_{(1,31)}=4.35, p<.05$]. Des analyses de contrastes du facteur Amorçage coordonné n'ont pas mis en évidence d'effet significatif (cf. Figure 51).

Interprétations

Nous remarquons que les effets d'amorçage étaient principalement effectifs quand l'hémisphère droit était amorcé. Quelle que soit la nature de l'amorce (coordonnée ou catégorielle), l'hémisphère droit amorcé influençait identiquement les réponses aux champs visuels droit et gauche dans la première partie de l'expérience. Il est important de noter que l'hémisphère gauche amorcé n'influçait ni les réponses de l'hémichamp droit ni celles de l'hémichamp gauche. Nous pouvons conclure que l'hémisphère droit influençait l'hémisphère gauche et non l'inverse. Il nous semble cependant délicat de valider l'hypothèse selon laquelle l'influence d'un hémisphère sur son homologue dépend de son propre niveau d'influence (H11 partiellement validée), puisque la comparaison entre deux conditions où l'une présente un effet significatif et l'autre non est risquée.

L'observation d'effets d'amorçage identiques entre la condition intra- et interhémichampique, quand le même hémisphère est ciblé, aurait apporté des arguments en faveur de l'existence de communications interhémisphériques même lors de l'amorçage intrahémichampique. Or, les effets d'amorçage de l'hémisphère droit (ciblé) n'étaient présents que dans le cas d'amorçage intrahémichampique et non dans le cas interhémichampique. De même, les effets d'amorçage de l'hémisphère gauche (ciblé) étaient différents entre les conditions intra- et interhémichampique. Donc, nous excluons la présence de communications hémisphériques significatives lors d'amorçage intrahémichampique.

Nous notons aussi que les effets d'amorçage interhémisphérique étaient présents uniquement pour la première partie de l'expérience. Nous pensons que les communications hémisphériques ne jouaient un rôle qu'au début de l'expérience.

Résumé des résultats

Le tableau 26 présente les hypothèses, les principaux résultats relatifs à ces hypothèses et nos inférences sur la validité ou la non-validité de ces hypothèses.

Tableau 26. Résumé des résultats de l'expérience 8. La première colonne présente les différentes hypothèses. La deuxième et la troisième colonne présentent les effets principaux obtenus relatifs à chacune des hypothèses. La dernière colonne présente la validation ou la non-validation de chacune des hypothèses.

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
H1 : En amorçage intra-hémichampique, l'hémisphère droit est dominant dans le traitement des relations spatiales coordonnées.	Avantage non significatif du champ visuel gauche.	Avantage non significatif du champ visuel gauche.	partiellement validée	<input type="checkbox"/>
H2 : En amorçage intra-hémichampique, l'hémisphère droit est dominant pour le jugement coordonné au début de l'expérience. Cet avantage diminue avec la pratique.	Avantage significatif du champ visuel gauche pour la première partie de l'expérience.	Aucun effet significatif.	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
H3 : En amorçage intra-hémichampique, le traitement catégoriel intervient automatiquement dans un jugement coordonné et les traitements coordonnés dépendent des traitements catégoriels.	Amorçage catégoriel significatif	Amorçage catégoriel * Amorçage coordonné est significative pour la condition <i>cvg-HD</i>	validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-4-1 : Si H3 est vraie et si l'hémisphère gauche est spécialisée dans le traitement catégoriel, alors en amorçage intra-hémichampique, le facteur Amorçage catégoriel influence plus les réponses au champ visuel droit.	Amorçage catégoriel significatif pour la première partie dans la condition <i>cvg-HD</i> .	Amorçage catégoriel significatif pour la première partie dans la condition <i>cvg-HD</i> .	non validée	<input checked="" type="checkbox"/>
HO-4-2 : Si H3 est vraie et si l'hémisphère droit est spécialisé dans le traitement coordonné, alors en amorçage intra-hémichampique, le facteur Amorçage coordonné influence plus les réponses au champ visuel gauche.	Amorçage coordonné significatif pour la deuxième partie dans la condition <i>cvd-HG</i> . Amorçage coordonné significatif dans la condition <i>cvg-HD</i> quelque soit la partie.	Aucun effet significatif.	validée pour la première partie de l'expérience	<input checked="" type="checkbox"/>
H5 : Si les hémisphères ont des compétences similaires pour le traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées, alors les effets d'amorçage intra-hémichampique sont équivalents entre les modalités du facteur Champ visuel.	voir HO-4-1 et HO-4-2	voir HO-4-1 et HO-4-2	non validée pour la première partie de l'expérience	<input checked="" type="checkbox"/>
H6 : Si l'effet de pratique dépend d'une amélioration des capacités de l'hémisphère gauche à réaliser un traitement coordonné, alors en amorçage intra-hémichampique, l'amorçage coordonné n'influence pas les réponses au champ visuel droit pour la première partie de l'expérience mais pour la deuxième partie.	Amorçage coordonné significatif pour la deuxième partie dans la condition <i>cvd-HG</i> .	Aucun effet significatif.	validée	<input checked="" type="checkbox"/>

Hypothèses	Analyses		Test hypothèse	
	Temps de réponse	Taux d'erreur		
H7 : Si les hémisphères ne s'influencent pas de manière réciproque, alors les effets d'amorçage inter-hémichampique catégoriel et/ou coordonné ne sont pas équivalents pour les réponses au champ visuel droit et au champ visuel gauche.	Amorçage coordonné significatif pour la première partie plus important si <i>cvd-HG</i> est la cible que si <i>cvg-HD</i> est la cible.	Amorçage catégoriel significatif pour la première partie si <i>cvd-HG</i> est ciblé.	validée	☑
H8-1 : Si l'hémisphère gauche est spécialisé dans le traitement catégoriel et si les hémisphères interagissent, alors en amorçage inter-hémichampique, le facteur Amorçage catégoriel influence plus les réponses au champ visuel gauche que les réponses au champ visuel droit.	Aucun effet significatif.	Amorçage catégoriel significatif pour la première partie dans la condition <i>cvd-HG</i> .	non validée	☒
H8-2 : Si l'hémisphère droit est spécialisé dans le traitement coordonné et si les hémisphères interagissent, alors en amorçage inter-hémichampique, le facteur Amorçage coordonné influence plus les réponses au champ visuel droit que les réponses au champ visuel gauche.	Amorçage coordonné significatif pour la première partie plus important dans la condition <i>cvd-HG</i> que dans la condition <i>cvg-HD</i> .	Aucun effet significatif.	validée	☑
H9 : Si l'effet de pratique dépend des communications entre les hémisphères, alors pour la première partie de la phase expérimentale et pour la condition d'amorçage inter-hémichampique, l'avantage de la condition <i>cvg-HD</i> sur la condition <i>cvd-HG</i> est influencé par les facteurs Amorçage catégoriel et/ou Amorçage coordonné.	Aucun effet significatif.	Avantage marginal de la condition <i>cvd-HG</i> sur la condition <i>cvg-HD</i> dans la première partie dans le cas de <i>cat1</i> ou de <i>coo0</i> .	validée	☑
H10 : Si H3 et H4 sont vraies et si l'avantage de l'hémisphère droit au début de l'expérience est dépendant des traitements catégoriels de l'hémisphère gauche, alors pour la première partie de la phase expérimentale et pour la condition d'amorçage inter-hémichampique, l'avantage de la condition <i>cvg-HD</i> sur la condition <i>cvd-HG</i> est plus influencé par l'amorçage catégoriel que par l'amorçage coordonné.			non validée	☒
H11 : Si l'interaction hémisphérique dépend de la capacité propre de chaque hémisphère à traiter les relations spatiales, alors les effets d'amorçage intra-hémichampique pour un champ visuel cible donné sont identiques aux effets d'amorçage inter-hémichampique pour le champ visuel opposé.	Dans la première partie: (1) Les effets d'amorçage coordonné sont identiques entre les champs visuels cibles si <i>cvg-HD</i> est amorcé. (2) Les effets d'amorçage catégoriel sont différents entre les champs visuels cibles si <i>cvg-HD</i> est amorcé. Dans la deuxième partie, les effets d'amorçage coordonné sont différents entre les champs visuels.	Dans la première partie et quand le <i>cvg-HD</i> est amorcé, les effets d'amorçage catégoriel sont significatifs uniquement si le <i>cvd-HG</i> est ciblé.	non validée	☒

Discussion sur les modèles d'interactions interhémisphériques

Si le modèle de relais calleux de Zaidel (1986) ou le modèle d'aiguillage de Levy (1974) sont valides, alors les stimuli amorces ou les stimuli cibles devraient être transmis à

l'hémisphère le plus spécialisé, en l'occurrence l'hémisphère droit (selon Kosslyn, 1987). Donc, les effets d'amorçage catégoriel et coordonné devraient être identiques entre l'amorçage intra- et interhémichampique. De plus, nous devrions observer des effets d'amorçage catégoriel et/ou coordonné identiques entre les modalités du champ visuel cible. Or, ce n'est pas ce que nous avons observé, puisque que nous avons mis en évidence des effets d'amorçage différents en fonction des champs visuels et du type d'amorçage. Le modèle de relais calleux ou d'aiguillage ne prédisent donc pas nos résultats.

Si l'hémisphère droit prenait le métacontrôle de la tâche (hypothèse d'Hellige, 1988) ou qu'une allocation de ressources était en faveur de l'hémisphère droit (hypothèse de Kinsbourne, 1970 ou de Moscovitch & Klein, 1980), alors quelle que soit la condition d'amorçage, l'hémisphère droit devrait toujours présenter des performances meilleures que celles de l'hémisphère gauche. Or, nous observons un avantage de l'hémisphère gauche dans la condition d'amorçage interhémichampique. Il semble donc qu'aucun processus de métacontrôle ne se mette en place dans notre expérience.

Si le modèle de course indépendante est valide, alors nous n'aurions pas du observer d'effet d'amorçage interhémichampique. Nous rejetons donc ce type de modèle. Si le modèle de co-activation (hypothèse de Miller, 1982) est valide, alors, dans les cas d'amorçage congruent, l'amorçage interhémichampique devrait être meilleur que l'amorçage intrahémichampique ; puisque dans ce dernier cas, l'amorce et la cible seraient traitées indépendamment par deux canaux différents ce qui devrait engendrer un bénéfice. De manière générale et quelle que soit la congruence de l'amorçage, nous avons observé de meilleures performances dans la condition d'amorçage intrahémichampique que dans la condition interhémichampique. Le modèle de co-activation ne semble donc pas refléter nos résultats. Le modèle de Mordkoff et Yantis (1991) peut être valide, mais nos observations ne sont pas suffisamment précises pour pouvoir le discuter.

Le modèle de Boles (1990) repose sur l'activation d'aires homologues. Si ces aires reçoivent des informations identiques, alors il y a un gain de traitement. Si ces aires reçoivent des informations différentes, alors il y a un coût de traitement qui se traduit par une plus grande isolation des traitements hémisphériques et par conséquent une observation facilitée des asymétries. Bien que le modèle de Boles ait été construit sur des constats issus de présentations bilatérales et comme nous avons utilisé un SOA court, nous pouvons supposer que son modèle peut prédire nos résultats en présentation unilatérale. Si tel est le cas, alors nous devrions observer les faits suivants : (1) l'amorçage interhémichampique

congruent (catégoriel ou coordonné) engendre de meilleures performances que l'amorçage interhémichampique incongruent, (2) les différences hémisphériques sont de plus grandes ampleurs dans le cas d'amorçage interhémichampique incongruent que dans le cas d'amorçage interhémichampique congruent, (3) les asymétries hémisphériques sont plus grandes dans le cas d'amorçage interhémichampique que dans le cas d'amorçage intrahémichampique. Nous avons bien observé la première prédiction. Toutefois, la deuxième prédiction n'a pas été observée avec certitude et aucun élément n'a été obtenu pour valider la troisième prédiction. À l'évidence, les différences hémisphériques étaient plus saillantes en amorçage intrahémisphérique qu'en amorçage interhémisphérique. De surcroît, nous avons observé des différences hémisphériques en amorçage incongruent ainsi qu'en amorçage congruent. Nos résultats n'invalident pas complètement l'hypothèse de Boles. Le traitement d'informations identiques par deux hémisphères améliore les performances et le traitement d'informations différentes détériore les performances.

À ce propos, le pattern que nous obtenons dans la condition d'amorçage interhémichampique n'était pas entièrement identique à celui que nous avons obtenu en présentation bilatérale. L'avantage de l'hémisphère gauche dans les expériences 6 et 7 a été observé dans la condition incongruence coordonnée et catégorielle (*cat0-coo0*), alors que, dans cette expérience, cet avantage a été observé dans la condition de congruence catégorielle et dans la condition d'incongruence coordonnée (*cat1-coo0*). De plus, l'avantage de l'hémisphère gauche avait été observé sur les temps de réponse dans les expériences 6 et 7 ; dans cette étude nous l'avons observé sur les taux d'erreurs. Une autre différence notable, entre les résultats des deux paradigmes que nous avons utilisés, est qu'en présentation bilatérale, l'incongruence coordonnée engendrait systématiquement de meilleures performances, alors qu'en amorçage interhémichampique l'incongruence coordonnée a engendré systématiquement une détérioration des performances. Comme nous l'avons déjà mentionnée, l'activation bilatérale est plus que la somme des activations unilatérales selon Banich et Karol (1992). Ainsi, il est difficile de comparer des résultats de présentations bi- et unilatérales comme nous venons de le faire ; nous n'écarterons donc pas entièrement l'hypothèse de Boles.

Le modèle de Cook (1984) prédit une complémentarité des traitements entre les hémisphères. Rappelons que le modèle de Cook repose sur le fait que chaque hémisphère est équipé des deux types de réseaux (ici, catégoriel et coordonné) et que l'ensemble des réseaux s'inhibe les uns les autres. De cette configuration résulte que le pattern d'activations

d'un hémisphère est le « négatif photographique » du pattern d'activations de son homologue. Si la proposition de Cook est vraie, alors les effets d'amorçage que nous avons obtenus en intrahémichampique pour un hémisphère devraient être identiques à ceux obtenus en interhémichampique pour l'hémisphère opposé. Nous avons effectivement observé que les informations amorcées en *cvg-HD* influençaient identiquement le traitement des cibles *cvg-HD* et des cibles *cvd-HG*. Selon le modèle de Cook, lors d'un jugement coordonné, l'hémisphère droit réaliserait un traitement du niveau coordonné et l'hémisphère gauche un traitement du niveau catégoriel. Les deux hémisphères seraient dotés de deux réseaux, l'un spécialisé dans le traitement catégoriel et l'autre dans le traitement coordonné. Néanmoins le modèle de Cook n'explique pas le fait que nous n'avons pas observé d'amorçage catégoriel intrahémichampique de l'hémisphère gauche. Le modèle de Cook est satisfaisant, mais ne semble pas rendre compte de la totalité de nos résultats.

Le modèle d'assemblée de cellules transcorticales (Pulvermüller & Mohr, 1996) prédit que les effets d'amorçage interhémichampique, bien que moins importants, devraient être identiques aux effets d'amorçage intrahémichampique. Nous n'avons pas observé ce pattern de résultats, puisque l'amorçage catégoriel influençait les performances de l'hémisphère droit uniquement en condition intrahémichampique. Par opposition, l'amorçage catégoriel influençait les performances de l'hémisphère gauche seulement en condition interhémichampique. Nos données ne valident donc pas le modèle d'assemblée de cellules transcorticales.

Conclusion

Nous avons observé des effets d'amorçage interhémichampique qui nous permettent de conclure à l'existence de communications entre les hémisphères. De plus, nous avons répliqué les résultats de Sergent (1991) et de Niebauer (2001) selon lesquels les processus catégoriels sont activés lors d'un jugement coordonné. Cependant, nous n'avons pas réuni de faits montrant une participation prédominante de l'hémisphère gauche pour leur réalisation. L'hémisphère droit présente un avantage quand celui-ci est préalablement amorcé. En contrepartie, l'hémisphère gauche présente un avantage quand l'hémisphère droit est préalablement amorcé. Nous pensons donc que les différences hémisphériques dépendent de la communication hémisphérique.

Nous avons répliqué l'effet de pratique dans le cas d'amorçage intrahémisphérique et nous avons obtenu un effet de pratique inverse dans le cas d'amorçage interhémisphérique. Nous pensons donc qu'il est fortement probable que l'activation concomitante des gyri angulaires lors d'un jugement coordonné (Baciu et al., 1999) repose sur la connexion entre ces deux structures. La méthode d'enregistrement comportemental n'est cependant pas suffisamment précise pour pouvoir tirer des conclusions aussi précises que Baciu et al. (1999). Il serait intéressant de répliquer cette expérience en utilisant une méthode d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou une méthode d'enregistrement de potentiels évoqués.

Nous ne sommes pas en mesure de valider l'hypothèse de Kosslyn (1989) sur l'affinage des catégories de l'hémisphère gauche pour la réalisation d'un jugement coordonné étant donné que nous n'observons pas d'amorçage catégoriel intrahémisphérique gauche (bien que nous observions un effet d'amorçage coordonné dans la deuxième partie de l'expérience).

Nous avons cependant obtenu des résultats surprenants par rapport à nos attentes. Par exemple, l'amorçage catégoriel intrahémisphérique n'a agi que sur les performances de l'hémisphère droit et non sur celles de l'hémisphère gauche. De même, nous avons obtenu des interactions Amorçage coordonné * Amorçage catégoriel différentes entre les types d'amorçages. Enfin, nous avons observé un avantage de l'hémisphère gauche dans des conditions différentes de celles de nos expériences précédentes employant une présentation bilatérale. Ces trois faits sont difficilement interprétables. Nous sommes convaincus qu'une réplique de cette expérience est nécessaire, mais en faisant varier le SOA entre l'amorce et la cible. Nous pensons que cette manipulation nous apporterait des précisions sur les différentes étapes de la dynamique hémisphérique. L'effet qui prête le moins à confusion est l'effet d'amorçage catégoriel de l'hémisphère gauche quand l'hémisphère droit est amorcé. Si le temps de transfert de l'hémisphère droit vers l'hémisphère gauche est plus court que l'inverse, alors il est possible que le SOA court que nous avons employé ait laissé suffisamment de temps à des communications de l'hémisphère droit vers l'hémisphère gauche et non l'inverse.

Un effet important que nous avons observé est l'effet d'amorçage catégoriel quand l'hémisphère droit est amorcé. Cet effet était significatif quand l'amorçage était intrahémisphérique droit ou quand l'amorçage était interhémisphérique gauche. Rien ne nous permet de savoir si, dans ces deux conditions, l'hémisphère gauche n'a pas participé au traitement. Notre étude ne nous permet donc pas de vérifier l'activation additionnelle de l'hémisphère gauche dans le jugement coordonné suspecté par Van der Lubbe et al. (2006).

Tout comme nous l'avons déjà mentionné, il serait intéressant de comparer l'activation électrophysiologique des deux hémisphères entre la condition d'amorçage intra- et interhémichampique.

Nos observations ne sont pas suffisamment détaillées pour valider ou infirmer rigoureusement les modèles de la dynamique hémisphérique que nous avons proposés. Toutefois, le modèle de Zaidel (1986), les modèles d'allocation de ressources, les modèles de métacontrôle et le modèle d'assemblée de cellules transcorticales ne rendent pas compte de nos résultats. Les propositions de Mordkoff et Yantis (1991), de Cook (1984) et de Boles (1990) semblent être les plus convaincantes aux regards de nos observations. Toutefois, nos observations devraient être répliquées afin de nous assurer de leurs valeurs.

La dynamique hémisphérique lors du traitement des relations spatiales

-

Synthèse

Dans le chapitre II, nous avons adopté une approche plus algorithmique, comparativement à l'approche que nous avons adoptée dans le premier chapitre. En effet, nous n'avons pas uniquement cherché à dissocier des processus en fonction de réseaux différents, mais nous avons cherché à comprendre comment ces processus interagissaient et quelle était la nature de la communication entre ces réseaux.

L'hypothèse de processus distincts pour le traitement des relations spatiales

145 participants différents ont réalisé un jugement coordonné dont les résultats de 96 d'entre eux ont été retenus dans nos analyses. Les analyses inférentielles convergent toutes sur le fait que les relations catégorielles ont été traitées lors de ces jugements. Par conséquent, nous assurons que l'encodage des relations catégorielles a lieu lors de processus

coordonnés. Dans les trois expériences, nous avons observé une interaction entre les informations catégorielles et les informations coordonnées. De fait, nous inférons que les processus coordonnés et les processus catégoriels interagissent. Les résultats de l'ensemble de nos expériences (chapitre I et chapitre II) nous invitent à penser que les processus coordonnés dépendent du traitement des relations catégorielles.

Nous avons mis en évidence que les hémisphères interagissaient. Il semblerait que l'hémisphère droit influence plus l'hémisphère gauche lors d'un jugement coordonné que l'inverse. À plusieurs reprises, nous avons constaté que les avantages hémisphériques (inférés par des différences de performances de réponses aux hémichamps) dépendaient de la communication hémisphérique. Ainsi, nous avons répliqué l'effet de pratique dans certaines conditions et nous avons obtenu un effet de pratique inverse dans d'autres conditions. Le fait que les avantages hémisphériques dépendent de leur interaction mutuelle remet en cause le principe de spécialisation hémisphérique. *In extenso*, utiliser les différences hémichampiques pour tester la dissociation de processus nous semble délicat. Se pose alors un problème méthodologique de grande ampleur dans la démarche computationnelle : comment adopter le principe de *divide-and-conquer* et parallèlement le principe de *weak modularity* ?

L'implication du traitement des relations catégorielles dans le processus coordonné et le changement d'asymétries fonctionnelles en fonction des échanges d'informations entre les hémisphères ne nous permet pas de conclure que l'hémisphère droit est dominant pour le traitement des relations coordonnées et que l'hémisphère gauche est dominant pour le traitement des relations catégorielles. Il nous semble donc difficile de considérer les processus catégoriels et coordonnés comme distincts, puisque l'hypothèse d'un système unique n'a jamais complètement été évincée de nos observations (hormis dans l'analyse d'association inversée de l'expérience 7). Nous pensons qu'il existe un seul type de représentations des relations spatiales, basé sur un processus de catégorisation de l'espace visuel. Catégoriel et Coordonné représenteraient des niveaux de complexité différents, ou des degrés plus ou moins fins de l'information. En contrepartie, nous avons de bonnes raisons de croire que les deux hémisphères interagissent le plus efficacement possible pour réaliser ces jugements.

Critique des paradigmes

Nous pensons qu'utiliser un niveau de contraste ou de luminosité plus élevé dans la tâche coordonnée nous aurait apporté des éléments de discussions importants. Ensuite, il aurait été bienvenu de coupler ces trois expériences avec un mode de présentations unilatérales (sans amorçage), ainsi nous aurions pu appliquer le principe d'Hellige afin d'affiner nos conclusions sur le processus de métacontrôle. Une variation du SOA dans l'expérience 8 nous paraît indispensable pour valider nos interprétations (Abernethy & Coney, 1993). Toutefois, il nous semble évident que les paradigmes que nous avons utilisés apportent plus de précisions que le paradigme classique de présentation en champ visuel divisé. Ils répondent à un grand nombre de critiques que nous avons établi dans le premier chapitre. Le problème majeur auquel nous avons été confrontés est celui du manque de prédictivité du sens des effets attendus. Nous pensons que la simulation informatique de nos expériences est nécessaire pour pouvoir trancher entre les différents modèles que nous avons présentés. De plus, la réplique de nos expériences, en utilisant une technique d'imagerie cérébrale, nous semble indispensable pour comprendre les effets obtenus et affiner nos interprétations.

Synthèse générale

Notre travail doctoral avait pour objectif d'apporter des arguments théoriques et empiriques afin de tester l'hypothèse d'une dissociation entre les processus catégoriels et coordonnés lors du traitement des relations spatiales.

Démarche générale de notre travail

En 1987, Kosslyn a posé une hypothèse fructueuse sur le fonctionnement cérébral et cognitif. Son hypothèse nulle est qu'il existe un processus unique pour le traitement des relations spatiales. Son hypothèse alternative est qu'il existe un sous-système fonctionnel coordonné, distinct d'un sous-système fonctionnel catégoriel, pour effectuer le traitement des relations spatiales. En adoptant une approche computo-fonctionnelle, cette hypothèse est valide si, pour chaque sous-système, une fonction, une computation et un réseau de neurones spécifiques existent. L'opérationnalisation de cette hypothèse s'articule de la manière suivante : en faisant appel au principe d'effet boule de neige et en partant du postulat que les relations catégorielles sont plus verbalisables et que les relations

coordonnées sont plus utiles pour la navigation spatiale, Kosslyn (1987) a supposé que l'hémisphère gauche était spécialisé dans le traitement catégoriel et que l'hémisphère droit était spécialisé dans le traitement coordonné. Ainsi, l'observation d'une double dissociation Tâche * Hémisphère permettrait d'inférer une double dissociation entre deux fonctions cognitives et deux réseaux de neurones distincts, invalidant *in extenso* l'hypothèse théorique d'un processus unique pour le traitement des relations spatiales.

La première étape de ce travail doctoral a été l'analyse des données comportementales accumulées pour valider cette double dissociation. Notre analyse a mis en évidence le manque de convergence des données. Nous avons étendu cette analyse à des travaux utilisant d'autres méthodes. Cette démarche pluridisciplinaire nous a permis d'avoir des preuves supplémentaires. Une synthèse de toutes ces données va dans le sens d'une dissociation entre les processus catégoriels et coordonnés, bien qu'isolément considérées chacune de ces preuves soit insuffisantes. De plus, deux phénomènes remettent en cause l'existence de deux sous-systèmes fonctionnels distincts. Premièrement, l'effet de pratique de l'hémisphère gauche lors de jugements coordonnés, selon les interprétations, déstabilise la conclusion de deux types de computations différentes pour le traitement des relations spatiales. En effet, si l'hémisphère gauche, supposé utiliser une procédure catégorielle, peut être aussi efficace que l'hémisphère droit, alors rien ne nous empêche de penser que les computations mises en œuvre lors de jugements catégoriels et coordonnés sont identiques. En d'autres termes, la distinction ne serait pas d'ordre fonctionnel, mais se situerait au niveau d'une différence de complexités de tâches. Nous avons réuni d'autres arguments allant dans ce sens. Deuxièmement, les doubles dissociations entre les tâches et les hémisphères pourraient s'expliquer à un niveau plus bas dans la hiérarchie des étapes de traitements. Les travaux de modélisations et les recherches sur le rôle différencié des hémisphères par rapport aux fréquences spatiales laisseraient entendre que les calculs opérés par les hémisphères soient les mêmes, mais que la nature des informations traitées (ou reçues) soit différente. Dès lors, notre travail s'est orienté vers deux objectifs, l'un étant de tester l'hypothèse théorique énoncée par Kosslyn (1987), l'autre de comprendre la non-convergence des données comportementales en considérant ces deux phénomènes.

La deuxième étape de notre travail a été portée par la volonté de répliquer les résultats comportementaux par les méthodes qui avaient validé l'hypothèse alternative de Kosslyn (1987). À cette fin, une série de cinq expériences ont été conduites en utilisant le paradigme d'Hellige et Michimata (1989a) et le paradigme de présentation en champ visuel divisé.

Nous avons été confrontés à une grande difficulté de répliation des résultats. Nous avons mené une série de contrôles, afin de nous assurer de l'absence de biais dans notre protocole. Finalement, nous avons observé un avantage de l'hémisphère droit lors du jugement coordonné et un avantage marginal de l'hémisphère gauche lors du traitement catégoriel (expérience 5). Il nous semblerait donc logique de valider l'hypothèse de dichotomisation des processus du traitement des relations spatiales bien que nous n'ayons pas mis en évidence de doubles dissociations croisées significatives. Toutefois, notre analyse des biais éventuels nous a menée à plusieurs indices ne nous permettant pas d'inférer la validité de notre démarche empirique. Premièrement, le fait que les processus catégoriels influencent les processus coordonnés nous a encouragés à ne pas conclure sur une indépendance des deux types de traitements. De même, nous n'avons pas trouvé d'arguments attestant que les jugements coordonnés reposaient sur un calcul de distance dépendant des positions spatiales relatives (expérience 4). C'est-à-dire que les traitements catégoriels seraient intrinsèques au processus coordonné. Deuxièmement, la mise en évidence de l'influence d'amorçages inter-essais entre les champs visuels nous a invités à considérer le travail de chaque hémisphère comme dépendant du travail de leur homologue. Troisièmement, nous avons renforcé l'idée selon laquelle les deux tâches, catégorielle et coordonnée, étaient difficilement comparables et que les différentes asymétries observées pouvaient s'expliquer par une différence hémisphérique par rapport à la prise en charge de tâches plus ou moins complexes. Enfin, n'ayant que faiblement répliqué l'effet de pratique (expérience 5), nous supposons que cet effet pourrait être dévolu à l'interaction des deux types de processus et des deux hémisphères. En guise de synthèse, nous avons dressé une critique des paradigmes que nous avons utilisés, plus particulièrement le paradigme de présentation en champ visuel divisé. Nous avons déduit de ce premier chapitre qu'il était important d'étudier les processus cognitifs dans leur dynamique et leurs interactions.

La troisième étape de notre recherche a été une reconsidération de notre partie théorique. Dans un premier temps, nous avons ré-analysé les données de la littérature traitant des relations spatiales et nous avons trouvé des indices étayant nos interprétations. Nous avons abouti à trois problèmes majeurs : comment comparer des tâches dont le niveau de complexité n'est pas équivalent ? Comment discriminer des sous-systèmes fonctionnels en considérant le principe de « weak modularity » ? Comment nous assurer que le principe de dégradation transhémisphérique, postulé par Kosslyn pour asseoir l'opérationnalisation de son hypothèse et *in extenso* valider sa proposition théorique, soit vrai ? Pour nous aider à mieux aborder les deux derniers problèmes, nous avons dressé un inventaire des principaux

modèles d'interaction hémisphérique. Nous nous sommes aperçus que la majorité des travaux de chronométrie mentale sur le traitement des relations spatiales reposaient sur le modèle de Zaidel (1986) et que la démarche argumentative de Kosslyn (1987) pour arriver à opérationnaliser son hypothèse reposait sur le modèle de Kinsbourne (1970). Ces deux modèles sont ceux qui ont reçu le plus de critiques et qui n'ont pas été empiriquement validés. Ce point est crucial, puisqu'il remet en doute tous les résultats obtenus en employant le paradigme de présentation en champ divisé classique, *in extenso*, tous les résultats validant l'hypothèse de processus distincts pour le traitement des relations spatiales. Dès lors, l'objectif principal de notre travail a été de comprendre la dynamique des hémisphères lors du traitement des relations spatiales.

La quatrième étape de notre étude a été l'utilisation de protocoles nous permettant de mieux prendre en considération l'influence mutuelle des processus et des hémisphères. Nos résultats ont confirmé l'influence automatique des processus catégoriels lors de jugements coordonnés. Nous avons validé une dissociation entre les processus catégoriels et coordonnés (voir analyse d'association inversée de l'expérience 7). Cette observation est importante, puisqu'elle repose sur une construction opérationnelle différente de celle qui est classiquement utilisée. Plus précisément, nous n'avons pas eu recours à une recherche d'interaction Tâche * Champ visuel, mais à une comparaison des rapports d'activité des hémisphères considérés comme un système dynamique. Nous avons observé que l'avantage d'un hémisphère dépendait des interactions qu'il entretient avec son homologue. De plus, nous avons mis en évidence que l'effet de pratique s'expliquait par la nature des communications interhémisphériques. Nous postulons que l'hémisphère droit influence davantage l'hémisphère gauche que l'inverse au début de jugements coordonnés, ce qui expliquerait son avantage initial. Toutefois, nous avons obtenu plusieurs résultats non prédits qui sont difficilement interprétables au regard des hypothèses opérationnelles que nous avons formulées. Ces résultats affaiblissent l'aplomb de nos conclusions.

Conclusion générale

Nous pensons que la démarche computo-fonctionnelle est une approche très rigoureuse qui nous permet grâce à l'articulation Fonction/Computation/Substrat de tendre vers une meilleure compréhension du système cognitif. Cependant, il nous semble indispensable d'étudier les processus cognitifs dans leur dynamique, plus spécifiquement leur évolution

dans le temps et leur interaction. Comme le mentionne Versace (1986, p.183), « *les recherches sur la spécialisation hémisphérique donnent parfois l'impression que les hémisphères sont des entités indépendantes, caractérisées par des mécanismes qui leur sont propres. Or, il ne faut pas oublier que les opérations accomplies par chaque hémisphère sont coordonnées, intégrées dans une activité globale* ». L'approche algorithmique est complémentaire à l'approche computationnelle (Kosslyn, 2006). Nous pensons que la démarche computationnelle doit nécessairement être couplée à une approche algorithmique. Les paradigmes expérimentaux doivent être employés avec prudence et conscience des modèles théoriques sous-jacents. Comme le précisent Querné et al. (2000, p.186), « *data obtained in studies using divided visual field tachistoscropy must be regarded as reflecting only those hemispheric capacities specific to the particular state of interhemispheric activation-inhibition under study* ». Si l'opérationnalisation d'une hypothèse repose sur des modèles ou des postulats non valides, alors il nous semble impossible d'assurer sa réfutation. En ce sens et au regard de notre démarche, il nous semble délicat de conclure hâtivement sur le plan théorique : un processus unique à plusieurs étapes de traitement ou deux sous-systèmes fonctionnellement distincts ? Kosslyn (2006) a présenté l'étude de la dichotomie entre les représentations catégorielles et coordonnées, d'une part comme un état de fait et, d'autre part, comme un champ de recherche exemplaire. Nous ne sommes pas de son avis et nous ne sommes pas convaincus complètement que les processus catégoriels et coordonnés ne soient pas régis par un processus commun. Nous avons réfuté l'opérationnalisation de Kosslyn (1987). Le principe de dégradation transhémisphérique ne nous semble pas vraisemblable. De même, si le principe d'effet boule de neige est vrai, alors comment justifier le nombre conséquent d'arguments en défaveur du lien entre les processus langagiers et traitement des relations spatiales catégorielles ? Les critiques de la littérature et les faits empiriques que nous avons recueillis ne peuvent nous permettre d'accepter l'hypothèse d'un processus unique ; à défaut et dans une vue d'ensemble, elles nous permettent de ne pas la rejeter. Nous pensons que les processus catégoriels et coordonnés se différencient par des étapes différentes de l'information et non par deux sous-systèmes fonctionnels distincts. Cette hypothèse et nos résultats sont en correspondance avec des travaux récents. Martin, Houssemand, Schiltz, Burnod et Alexandre (2008) ont validé l'hypothèse d'encodage spatial continu (selon leur terminologie), selon laquelle les processus catégoriels et coordonnés sont sous-tendus par un réseau d'aires corticales commun. Leurs résultats IRMf ont montré que les jugements catégoriels et coordonnés se différencient par leur complexité et non par des processus distincts. De même, une étude

neuropsychologique récente a confirmé nos conclusions : Palormo, Bureca, Matano et Guariglia (2008) ont testé 34 patients cérébro-lésés dans une tâche d'imagerie visuelle. Ils ont observé que les patients ayant des lésions gauches présentaient des déficits dans la tâche catégorielle, alors que les patients ayant des lésions droites présentaient un déficit pour le jugement catégoriel et coordonné. Ces résultats sont congruents avec les résultats de notre expérience 8. Ces auteurs concluent comme suit: "*it can be affirmed that these two cognitive functions (categorical and coordinate) have the same organization at this level of spatial processing (visual imagery)*" (Palormo et al., 2008, p. 2806).

L'hypothèse de deux sous-systèmes fonctionnels pour le traitement des relations spatiales fait donc encore débat plus de vingt ans après sa formulation. L'analyse critique des travaux de la littérature que nous avons menée nous invite à nous questionner sur le plan de la méthodologie générale en sciences cognitives : en quoi de faibles preuves unidisciplinairement ou unitechniquement réunies, aussi nombreuses soient-elles, permettent d'inférer une preuve pluridisciplinaire forte ? Métaphoriquement, deux, trois, mille voitures ne vont jamais plus rapidement qu'une fusée. Le nombre de véhicules allant à certaine vitesse n'a aucune influence sur la vitesse propre de chaque véhicule. Néanmoins, il nous semble indispensable d'adopter une démarche pluridisciplinaire pour tester une hypothèse relative au système cognitif, mais celle-ci doit être construite et menée par une volonté de rechercher des faits exacts et de les inclure, tous, dans des interprétations univoques. En cela, notre travail est inachevé dans la mesure où certains faits observés restent sans explication.

Ouvertures

Continuité de travaux expérimentaux

Les résultats de notre dernière expérience ne nous semblent que peu convaincants dans la mesure où nous avons fait appel à un autre paradigme, le paradigme d'amorçage, pour lequel il existe une multitude de variables à prendre en considération. Par exemple, il nous semble nécessaire de répliquer cette expérience en faisant varier le SOA afin d'avoir des éléments de discussion sur les étapes de traitements des processus catégoriels et coordonnés. Comme nous l'avons mentionné, il nous semblerait intéressant, dans un deuxième temps, de répliquer l'expérience 6 et l'expérience 8 en utilisant une méthode d'imagerie cérébrale.

L'IRMf ou l'EEG nous permettrait de mieux calculer le rapport d'activations des hémisphères lors du traitement des relations spatiales et ainsi de mieux qualifier la nature des communications interhémisphériques.

Ouverture méthodologique

La recherche de prédictivité

Dans une vue d'ensemble, il nous semble important d'affiner les modèles d'interaction hémisphérique afin de pouvoir établir des hypothèses opérationnelles et des prédictions précises. Bien que l'objectif de notre travail ne fût pas de valider ces modèles, nous regrettons le fait de n'avoir émis que des tentatives de réfutation. Il nous semble primordial d'avancer sur le plan des connaissances sur ces modèles avant d'utiliser des paradigmes qui en découlent. À cette fin, avoir recours à des modélisations de réseaux de neurones pour simuler différentes fonctions du corps calleux nous paraît une étape nécessaire à toutes études utilisant les asymétries hémisphériques pour tester l'existence de processus cognitifs distincts. Ainsi, ces simulations informatiques nous permettraient d'augmenter la prédictivité des modèles d'interaction hémisphérique et de mieux interpréter nos résultats comportementaux.

Une approche enactive pour l'étude du traitement des relations spatiales

Andersen (1987) a montré que les neurones du cortex pariétal supérieur répondaient aussi bien à des informations sensorielles qu'à des informations motrices. Mountcastle, Lynch, Georgopoulos, Sakata et Acuna (1975) et Hyvärinen et Poranen (1974) ont montré que cette structure était particulièrement impliquée dans la fixation visuelle, la poursuite oculaire, la manipulation d'objets et le guidage visuel de recherche. Ces recherches sont plus en faveur d'un rôle du lobe pariétal dans le contrôle visuo-moteur que dans les traitements spatiaux. Cette thèse est défendue par Goodale et ses collaborateurs (Goodale, 1999 ; Goodale & Humphrey, 1998 ; Goodale & Milner, 1992). La voie ventrale sous-tendrait la perception visuelle, alors que la voie dorsale sous-tendrait la mise en action. Ces auteurs parlent de dissociation entre le « What » et le « How » en opposition à la terminologie d'Ungerleider et Mishkin (1982). Comme le mentionne Kosslyn (Dror, Kosslyn, & Waag, 1993 ; Kosslyn,

1987), les traitements des relations spatiales, surtout ceux de type coordonné, serviraient pour reconnaître les objets, mais aussi seraient utiles pour la navigation spatiale. Beaucoup d'études ont testé cette première fonction, mais, à notre connaissance, aucune étude n'a testé la dichotomie des processus du traitement des relations spatiales dans un contexte de navigation spatiale et d'interactions avec l'environnement (autre que celle d'appuyer sur un bouton). Ceci nous semble important, puisque Kosslyn (1987) suppose que les représentations coordonnées serviraient davantage à la navigation spatiale que les représentations catégorielles. Rappelons que c'est de cette supposition que l'hémisphère droit, par effet boule de neige, serait spécialisé dans ce type de traitement. Il nous semble donc important de ne pas tester ces processus dans un cadre uniquement perceptuel, mais aussi dans un cadre d'action. Par exemple, il serait intéressant de tester le rapport entre les informations catégorielles et les informations coordonnées lors de la préhension distale ou lors de manipulation d'objets. Employer des méthodes d'EEG lors d'activités demandant une grande coordination visuo-motrice, par exemple mettre un fil dans le chas d'une aiguille, serait un cadre protocolaire plus écologique que les tâches qui ont été créées dans ce champ d'études. De plus, une approche enactive nous semble aussi complémentaire à ce champ de recherche que pertinente pour faire face au problème relatif à la formulation d'hypothèses sous des termes représentationnels.

Références

- Abernethy, M., & Coney, J. (1990). Semantic and phonemic priming in the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, *28*, 933-945.
- Abernethy M., & Coney, J. (1993). Associative priming in the hemispheres as a function of SOA. *Neuropsychologia*, *31*(12), 1397-1409.
- Aboitiz, F., & Montiel, J. (2003). One hundred million years of interhemispheric communication: the history of the corpus callosum. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *6*(4), 409-420.
- Andresen, D.R., & Marsolek, C.J. (2005). Does a causal relation exist between the functional hemispheric asymmetries of visual processing subsystems? *Brain and Cognition*, *59*(2), 135-144.

- Aguire, G.K., & D'Esposito, M. (1999). Topographical disorientation: A synthesis and taxonomy. *Brain, 122*, 1613-1628.
- Allen, M. (1983). Models of hemispheric specialization. *Psychological Bulletin, 93*, 73-104.
- Andersen, R.A. (1987). Inferior parietal lobule function in spatial perception and visuomotor integration. In V.B. Mountcastle, F. Plum, & S.R. Geiger (Ed.), *Handbook of Physiology Section 1: The Nervous System, Volume V: Higher Functions of the Brain, Part 2*. Maryland: American Physiological Association.
- Baciu, M., Koenig, O., Vernier, M.P., Bedoin, N., Rubin, C., & Segebarth, C. (1999). Categorical and coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *Neuroreport, 10*, 1373-1378.
- Baddeley, A. (2003). Double dissociations: not magic, but still useful. *Cortex, 39*(1), 129-131.
- Baker, D.P., Chabris, C.F., & Kosslyn, S.M. (1999). Encoding categorical and coordinate spatial relations without input-output correlation: New simulation models. *Cognitive Science, 23*(1), 35-51.
- Balint, R. (1909). Seelenlahmung des 'Shauens', optische Ataxie, raumliche Störung der Aufmerksamkeit. *Monatschrift für Psychiatrie und Neurologie, 25*, 5-81.
- Banich, M.T., & Federmeier, K.D. (1999). Categorical and metric spatial processes distinguished by task demands and practice. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*, 153-166.
- Banich, M.T. (1995). Interhemispheric processing: Theoretical considerations and empirical approach. In R. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry* (pp. 427-450). Cambridge, MA: MIT Press.
- Banich, M.T. (1998). The missing link: the role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition, 36*(2), 128-157.
- Banich, M.T., & Karol, D.L. (1992). The Sum of the Parts Does Not Equal the Whole: Evidence From Bihemispheric Processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*(3), 763-784.

- Banich, M.T., & Federmeier, K.D. (1999). Categorical and metric spatial processes distinguished by task demands and practice. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(2), 153-166.
- Bartolomeo, P., Siéroff, E., Decaix, C., & Chokron, S. (2001). Modulating the attentional bias in unilateral neglect: the effects of the strategic set. *Experimental Brain Research*, *137*(3-4), 432-444.
- Bashore, T.R. (1981). Vocal and manual reaction time estimates of interhemispheric transmission time. *Psychological Bulletin*, *89*(2), 352-368.
- Beaumont, G.F. (1982). *Divided visual field studies of cerebral organisation*. London: Academic Press.
- Belger, A., & Banich, M.T. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, *30*(10), 923-929.
- Belger, A., & Banich, M.T. (1998). Costs and benefits of integrating information between the cerebral hemispheres: a computational perspective. *Neuropsychology*, *12*(3), 380-398.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Garnier-Flammarion.
- Beyn, E.S., & Knyazeva, G.R. (1962). The problem of prosopagnosia. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *25*, 154-158.
- Biedermann, I. (1987). Recognition by components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*(2), 115-147.
- Bihle, A., Bellugi, U., Delis, D., & Marks, S. (1989). Seeing either the forest or the trees: Dissociation in visuospatial processing. *Brain and Cognition*, *11*, 37-49.
- Bishop, K.M., & Wahlsten, D. (1997). Sex differences in the human corpus callosum: myth or reality? *Neuroscience Biobehavioural Review*, *21*(5), 581-601.
- Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, *14*, 129-133.
- Bloom, J.S., & Hynd, G.W. (2005). The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? *Neuropsychology Review*, *15*(2), 59-71.

- Boles, D.B. (1979). Laterally biased attention with concurrent verbal load: Multiple failures to replicate. *Neuropsychologia*, *17*, 353-361.
- Boles, D.B. (1983). Hemispheric interaction in visual field asymmetry. *Cortex*, *19*(1), 99-113.
- Boles, D.B. (1990). What bilateral displays do. *Brain and Cognition*, *12*, 205-228.
- Bonnet, C. (1986). *Manuel pratique de psychophysique*. Paris: Armand Colin.
- Braun, C. (1993). Estimation of interhemispheric dynamics from simple unimanual reaction time to extrafoveal stimuli. *Neuropsychology Review*, *3*, 321-364.
- Braun, C.M., Collin, I., & Mailloux, C. (1997). The "Poffenberger" and "Dimond" paradigms: interrelated approaches to the study of interhemispheric dynamics? *Brain and Cognition*, *34*(3), 337-359.
- Braun, C.M., Sapin-Leduc, A., Picard, C., Bonnenfant, E., Achim, A., & Daigneault, S. (1994). Zaidel's model of interhemispheric dynamics: empirical tests, a critical appraisal, and a proposed revision. *Brain and Cognition*, *24*(1), 57-86.
- Broca, P. (1865). Sur la faculté du langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris*, *6*, 493-494.
- Brooks, B.E., & Cooper, E.E. (2006). What types of visual recognition tasks are mediated by the neural subsystem that subserves face recognition? *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, *32*(4), 684-698.
- Brown, W., Larsen, E., & Jeeves, M. (1994). Directional asymmetries in interhemispheric transmission time: Evidence from visual evoked potentials. *Neuropsychologia*, *32*, 439-448.
- Bruyer, R., Scailquin, J.C., & Coibion P. (1997). Dissociation between categorical and coordinate spatial computations: modulation by cerebral hemispheres, task properties, mode of response, and age. *Brain and Cognition*, *33*, 245-277.
- Buron, V. (2004). *Etude des relations spatiales visuelles et de leur implication dans la discrimination des expressions faciales émotionnelles: argument anatomo-fonctionnels*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Lyon, Université Lyon 2, Lyon, France.

- Carey, D.P., Dijkerman, H.C., Murphy, K.J., Goodale, M.A., & Milner, A.D. (2006). Pointing to places and spaces in a patient with visual form agnosia. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1584-1594.
- Carr, D.B., & Sesack, S.R. (1998). Callosal terminals in the rat prefrontal cortex: synaptic targets and association with GABA-immunoreactive structures. *Synapse*, *29*(3), 193-205.
- Cave, C.B., & Kosslyn, S.M. (1993). The role of parts and spatial relations in object identification. *Perception*, *22*(2), 229-248.
- Chabris, C.F., & Kosslyn, S.M. (1998). How do the cerebral hemispheres contribute to encoding spatial relations? *Current Directions in Psychological Science*, *7*(1), 8-14.
- Chater, N. (2003). How much can we learn from double dissociation? *Cortex*, *39*, 167-169.
- Chiarello, C., & Maxfield, L. (1996). Varieties of interhemispheric inhibition, or how to keep a good hemisphere down. *Brain and Cognition*, *30*(1), 81-108.
- Chicoine, A.J., Proteau, L., & Lassonde, M. (2000). Absence of interhemispheric transfer of unilateral visuomotor learning in young children and individuals with agenesis of the corpus callosum. *Developmental Neuropsychology*, *18*(1), 73-94.
- Christman, S. (1989). Perceptual Characteristics in Visual Laterality Research. *Brain and Cognition*, *11*, 238-257.
- Christman, S. (1990). Effects of luminance and blur on hemispheric asymmetries in temporal integration. *Neuropsychologia*, *28*(4), 361-374.
- Christman, S. (2002). Hemispheric asymmetries in categorical judgments of direction versus coordinate judgments of velocity of motion. *Psychonomic Bulletin Review*, *9*(2), 298-305.
- Cipolloni, P.B., & Peters, A. (1983). The termination of callosal fibres in the auditory cortex of the rat. A combined Golgi--electron microscope and degeneration study. *Journal of Neurocytology*, *12*(5), 713-726.
- Clarke, J.M., Lufkin, R.B., & Zaidel, E. (1993). Corpus callosum morphometry and dichotic listening performance: individual differences in functional interhemispheric inhibition? *Neuropsychologia*, *31*(6), 547-557.

- Cohen, J.D., MacWhinney, B., Flatt, M. & Provost, J.(1993). Psyscope: A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 25(2), 257-271.
- Collins, M., & Coney, J. (1998). Interhemispheric communication is via direct connections. *Brain and Language*, 64(1), 28-52.
- Coltheart, M. (1980). Deep dyslexia: A right hemisphere hypothesis. In M. Coltheart, K. Patterson, & J. Marshall (Eds.), *Deep dyslexia*. London, UK: Routledge and Kegan Paul.
- Conti, F., Fabri, M., & Manzoni, T. (1988). Glutamate-positive corticocortical neurons in the somatic sensory areas I and II of cats. *Journal of Neuroscience*, 8(8), 2948-2960.
- Cook, N.D., Früh, H., & Landis, T. (1995). The cerebral hemisphere and neural network simulations: design considerations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(2), 410-422.
- Cooper, E.E., & Brooks, B.E. (2004). Qualitative differences in the representation of spatial relations for different object classes. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 30(2), 243-256.
- Cooper, E.E., & Wojan, T.J. (2000). Differences in the coding of spatial relations in face identification and basic-level object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 26(2), 470-488.
- Corballis, M.C. (1997). Mental rotation and the right hemisphere. *Brain and Language*, 57(1), 100-121.
- Cowin, E.L., & Hellige, J.B. (1994). Categorical versus coordinate spatial processing: effects of blurring and hemispheric asymmetry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 156-164.
- Damasio, A.R., Damasio, H. & Van Hoesen, G.W. (1982). Prosopagnosia: Anatomic basis and behavioral mechanism. *Neurology*, 32, 331-341.
- Dax, G. (1965). Lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncidant avec l'oubli des signes de la pensée. *Gazette Hebdomadaire de Medecine et Chirurgie*, 2, 259-262.

- De Valois, R.L., & De Valois, K.K. (1988). *Spatial vision*. New York : Oxford University Press.
- Delis, D.C., Robertson, L.C., & Efron, R. (1986). Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli. *Neuropsychologia*, *24*(2), 205-214.
- Dépy, D., Fagot, J., & Vauclair, J. (1998). Comparative assessment of distance processing and hemispheric specialization in humans and baboons. *Brain and Cognition*, *38*, 165-182.
- Dror, I.E., Kosslyn, S.M., & Waag, W.L. (1993). Visual-spatial abilities of pilots. *Journal of Applied Psychology*, *78*(5), 763- 773.
- Dunn, J.C. (2003). The elusive dissociations. *Cortex*, *39*, 177-179.
- Dunn, J.C., & Kirsner K. (1988). Discovering functionally independent mental processes: the principle of reversed association. *Psychological Review*, *95*(1), 91-101.
- Dunn, J.C., & Kirsner, K. (2003). What can we infer from double dissociations? *Cortex*, *39*, 1-7.
- Farah, M.J. (1990). *Visual agnosia. Disorders of object recognition and what they tell us about normal vision*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Farran, E.K., & Jarrold, C. (2005). Evidence for unusual spatial location coding in Williams syndrome: an explanation for the local bias in visuo-spatial construction tasks? *Brain and Cognition*, *59*(2), 159-172.
- Favelle, S.K., Hayward, W.G., Burke, D., & Palmisano, S. (2006). The configural advantage in object change detection persists across depth rotation. *Perception and Psychophysics*, *68*(8), 1254-1263.
- Fechner, G. (1966). *Elements of psychophysics, Volume 1*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Fecteau, H. & Munoz, D.P. (2003). Exploring the consequences of the previous trial. *Nature reviews, Neuroscience*, *4*(6), 435-443.
- Fitss, P.M., & Deininger, R.L. (1954). S-R compatibility: correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, *48*(6), 483-492.

- Fodor, J. (1983). *La Modularité de l'esprit : essai sur la psychologie des facultés*. Paris : Les Éditions de Minuit.
- Ginchereau, F. (2000). *L'encodage des relations spatiales: effet de pratique et différences latérales visuelles*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Lyon, Université Lyon 2, Lyon, France.
- Goodale, M.A. (1999). Visuomotor control: where does vision end and action begin? *Current Biology*, *8*(14), 489-491.
- Goodale, M.A., & Humphrey, G.K. (1998). The objects of action and perception. *Cognition*, *67*(1-2), 181-207.
- Goodale, M.A., & Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 20-25.
- Gootjes, L., Bruggeling, E.C., Magnée, T., & Van Strien, J.W. (2008). Sex differences in the latency of the late event-related potential mental rotation effect. *Neuroreport*, *19*(3), 349-353.
- Grabowska, A., & Nowicka, A. (1996). Visual-Spatial-Frequency Model of Cerebral Asymmetry: A Critical survey of behavioral and electrophysiological studies. *Psychological Bulletin*, *120*(3), 434-449.
- Harcum, E. R. (1967). A note on "Some artefactual causes of perceptual primacy". *Psychonomic Science*, *8*, 67-68.
- Hasbroucq, T., & Possamai, C.A. (1995). Does irrelevant stimulus location affect response selection? *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *49*(3), 349-356.
- Haxby, J.V., Grady, C.L., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Mishkin, M., Carson, R.E., Herscovitch, P., Schapiro, M.B., & Rapoport, S.I. (1991). Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Neurobiology*, *88*, 1621-1625.
- Haxby, J.V., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Maisog, J.M., Pietrini, P., & Grady, C.L. (1994) The functional organization of human extrastriate cortex: a PET-rCBF study of selective attention to faces and locations. *Journal of Neuroscience*, *14*(11), 6336-6353.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior. A neuropsychological theory*. New York: John Wiley.

- Hedge, A., & Marsh, N.W. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Acta Psychologica*, *39*(6), 427-439.
- Heilman, K.M., Bowers, D., & Watson, R.T. (1983). Performance on hemispatial pointing task by patients with neglect syndrome. *Neurology*, *33*, 661-664.
- Heister, G., & Schroeder-Heister, P. (1987). Evidence for stimulus-response compatibility effects in a divided visual field study of cerebral lateralization. *Acta Psychologica*, *66*(2), 127-138.
- Hellige, J.B. (1993). *Hemispheric Asymmetry. What's Right and What's Left*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hellige, J.B., & Cumberland, N. (1998). Categorical and coordinate spatial processing: more on contributions of the transient/magnocellular visual system. *Brain and Cognition*, *45*(2), 155-163.
- Hellige, J.B., & Michimata, C. (1989a). Categorization versus distance: hemispheric differences for processing spatial information. *Memory and Cognition*, *17*, 770-776.
- Hellige, J.B., & Michimata, C. (1989b). Visual laterality for letter comparison : Effects of stimulus factor, Response factor and metacontrol. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *27*, 441-444.
- Hellige, J.B., Jonsson, J.E., & Michimata, C. (1988). Processing from LVF, RVF and BILATERAL presentations: examinations of metacontrol and interhemispheric interaction. *Brain and Cognition*, *7*(1), 39-53.
- Hellige, J.B., Taylor, A.K., & Eng, T.L. (1989). Interhemispheric interaction when both hemispheres have access to the same stimulus information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*(4), 711-722.
- Hellige, J.B., Taylor, A.K., Lesme, L. & Peterson, S. (1998). Relationship between brain morphology and behavioral measures of hemispheric asymmetry and interhemispheric interaction. *Brain and Cognition*, *36*(2), 158-192.
- Heron, W. (1957). Perception as a function of retinal locus and attention. *American Journal of Psychology*, *70*, 38-48.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature reviews. Neuroscience*, *8*(5), 393-402.

- Hines, D. (1972). Bilateral tachistoscopic recognition of verbal and nonverbal stimuli. *Cortex*, *8*, 315-322.
- Hinton, G.E. (1981). Shape recognition in parallel systems. In A. Drina (Ed.), *Proceeding of the seventh international Joint conference on Artificial intelligence*. Menlo Park, CA: Morgan Kaufmann.
- Holtzman, J.D., & Gazzaniga, M.S. (1982). Dual task interactions due exclusively to limits in processing resources. *Science*, *218*(4579), 1325-1327.
- Hopfield, J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, *79*(8), 2554-2558.
- Horner, M.D., & Freides, D. (1996). Effects of retinal eccentricity on the lateralized processing in categorical and coordinate spatial relations. *International Journal of Neuroscience*, *86*, 7-13.
- Hubel, D.H., & Wiesel, T.N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, *148*, 573-591.
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Erslund, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: an fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1575-1583.
- Hummel, J.E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychological Review*, *99*(3), 480-517.
- Humphreys, G.W., & Riddoch, M.J. (1984). Routes to object constancy: implications from neurological impairments of object constancy. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, *36*(3), 385-415.
- Hutsler, J., & Galuske, R.A. (2003). Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks. *Trends of Neuroscience*, *26*(8), 429-435.
- Hyvärinen, J., & Poranen, A. (1974). Function of the parietal associative area 7 as revealed from cellular discharges in alert monkeys. *Brain*, *97*, 673-692.
- Iacoboni, M., Rayman, J., & Zaidel, E. (1997). Does the previous trial affect lateralized lexical decision? *Neuropsychologia*, *35*(1), 81-88.

Iacoboni, M., Woods, R.P., & Mazziotta, J.C. (1996). Brain-behavior relationships: evidence from practice effects in spatial stimulus-response compatibility. *Journal of Neurophysiology*, *76*(1), 321-331.

Jacobs, R.A. (1999). Computational studies of the development of functionally specialized neural modules. *Trends of Cognitive Science*, *3*(1), 31-38.

Jager, G., & Postma, A. (2003). On the hemispheric specialization for categorical and coordinate relations : a review of the current evidence. *Neuropsychologia*, *41*, 504-515.

Jason, G.W., Cowey, A., & Weiskrantz, L. (1984). Hemispheric asymmetry for a visuo-spatial task in monkeys. *Neuropsychologia*, *22*, 777-784.

Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends of Cognitive Science*, *9*(11), 512-518.

Kandel, E.R. (1991). Perception of motion, depth, and form. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, & T.M. Jessell (Eds.), *Journal of neural science* (3rd ed., pp. 440-466). Northwalk : Appleton & Lange.

Kerkhoff, G. (2001). Spatial hemineglect in humans. *Progress in Neurobiology*, *63*(1), 1-27.

Kessels, R.P., d'Alfonso, A.A., Postma, A., & de Haan, E.H. (2000). Spatial working memory performance after high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the left and right posterior parietal cortex in humans. *Neuroscience Letters*, *287*(1), 68-70.

Kessels, R.P., Jaap Kappelle, L., de Haan, E.H., & Postma, A. (2002). Lateralization of spatial-memory processes: evidence on spatial span, maze learning, and memory for object locations. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1465-1473.

Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, *33*, 193-201.

Kinsbourne, M. (1982). Hemispheric specialization and the growth of human understanding. *The American Psychologist*, *37*(4), 411-420.

Kinsbourne, M., & Hicks, R.E. (1978). Functional cerebral space: A model for overflow, transfer and interference effects in human performance. In J. Requin (Ed.), *Attention and performance VII*. Hillsdale, N.J.: Erl- Erlbaum.

- Kitterle, F.L., & Selig, S.M. (1991). Visual field effects in the discrimination of sine-wave gratings. *Perception and Psychophysics*, *50*, 15-18.
- Koenig, O., Reiss, L.P., & Kosslyn, S.M. (1990). The development of spatial relation representations : evidence from studies of cerebral lateralization. *Journal of Experimental Child Psychology*, *50*, 119-130.
- Kosslyn, S.M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kosslyn, S., Maljkovic, V., Hamilton, G, & Thompson, W. (1995). Two types of images generation: Evidence fo left and LVF/RH processes. *Neuropsychologia*, *33*, 1485-1510.
- Kosslyn, S.M, Anderson, A.K, Hillger, L.A, & Hamilton, S.E. (1994). Hemispheric differences in sizes of receptive fields or attentional biases? *Neuropsychology*, *8*, 139-147.
- Kosslyn, S.M, Chabris, C.F, Marsolek, C.J, & Koenig, O. (1992). Categorical versus coordinate spatial relations: computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* *18*, 562-577.
- Kosslyn, S.M, Chabris, C.F., Marsolek, C.J., Jacobs, R.A., & Koenig, O. (1995). On computational evidence for different types of spatial relations encoding: reply to Cook et al. (1995). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(2), 423-431.
- Kosslyn, S.M, Koenig, O., Barrett, A., Cave, C., Tang, J., & Gabrieli, J.D.E. (1989). Evidence for two types of spatial representations: hemispheric specia-lization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 723-735.
- Kosslyn, S.M, Thompson, W.L., Gitelman, D.R, & Alpert, N.M. (1998). Neural systems that encode categorical versus coordinate spatial relations: PET investigations. *Psychobiology*, *26*, 333-347.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. *Psychological Review*, *94*, 148-175.

- Kosslyn, S.M. (2006). You can play 20 questions with nature and win: categorical versus coordinate spatial relations as a case study. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1519-1523.
- Kosslyn, S.M., & Koenig, O. (1992). *Wet mind. The new cognitive neuroscience*. New-York : Free Press.
- Kreuter, C., Kinsbourne, M., & Trevarthen, C. (1972). Are disconnected cerebral hemispheres independent channels? *Neuropsychologia*, *10*, 453-461.
- LaBerge, D., & Buchsbaum, M.S. (1990). Positron emission tomographic measurements of pulvinar activity during an attention task. *Journal of Neuroscience*, *10*(2), 613-619.
- Laeng, B. (1994). Lateralization of categorical and coordinate spatial functions: a study of unilateral stroke patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *6*, 189-203.
- Laeng B. (2006). Constructional apraxia after left or right unilateral stroke. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1595-1606.
- Laeng, B., & Peters, M. (1995). Cerebral lateralization for the processing of spatial coordinates and categories in left-and right-handers. *Neuropsychologia*, *33*(4), 421-439.
- Laeng, B., Chabris, C.F., & Kosslyn, S.M. (2003). Asymmetries in encoding spatial relations. In K. Hugdahl & R. Davidson (Eds.), *The asymmetrical brain* (pp. 303-339). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Laeng, B., Shah, J., & Kosslyn, S.M. (1999). Identifying objects in conventional and contorted poses: Contributions of hemispheric-specific mechanisms. *Cognition*, *70*, 53-85.
- Larson, E.B., & Brown, W.S. (1997). Bilateral field interactions, hemispheric specialization and evoked potential interhemispheric transmission time. *Neuropsychologia*, *35*(5), 573-581.
- Lassonde, M. (1986). The facilitatory influence of the corpus callosum on intrahemispheric processing. In F. Leporé, M. Ptito, & H.H Jasper (Eds.). *Two hemispheres, one brain. Function of the corpus callosum*, New York: A.R Liss.

- Leviel, V., Chesselet, M.F., Glowinski, J., & Chéramy, A. (1981). Involvement of the thalamus in the asymmetric effects of unilateral sensory stimuli on the two nigrostriatal dopaminergic pathways in the cat. *Brain Research*, *223*(2), 257-272.
- Levy, J. (1974). Psychobiological implications of bilateral asymmetry. In S.J Dimond & J.G. Beaumont (Eds.) *Hemisphere function in the human brain*. New York: Wiley.
- Levy, J., & Trevarthen, C. (1976). Metacontrol of hemispheric function in human split-brain patients. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *2*(3), 299-312.
- Liederman, J., Merola, J., & Martinez, S. (1985). Interhemispheric collaboration in response to simultaneous bilateral input. *Neuropsychologia*, *23*(5), 673-683.
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, *240*, 740-749.
- Losier, B.J., & Klein, R.M. (2001). A review of the evidence for a disengage deficit following parietal lobe damage. *Neuroscience Biobehavioural Review*, *25*(1), 1-13.
- MacKavey, W., Curcio, F., & Rosen, J. (1975). Tachistoscopic word recognition performance under conditions of simultaneous presentation. *Neuropsychologia*, *13*, 27-33.
- Magué, J.P., & Paugam-Moisy, H. (2001). *Modèles connexionistes pour l'étude de la cognition spatiale : codages catégoriels et coordonnés*. Mémoire de DEA de Sciences Cognitives non publié, Université de Lyon, Université Lyon 2, Lyon, France.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: Freedman and Company.
- Martin, R., Houssemand, C., Schiltz, C., Burnod, Y., & Alexandre, F. (2008). Is there continuity between categorical and coordinate spatial relations coding? Evidence from a grid/no-grid working memory paradigm. *Neuropsychologia*, *46*(2), 576-594.
- Marzi, C., Bisiacchi, P., & Nicoletti, R. (1991). Is interhemispheric transfer of visuomotor information asymmetric? Evidence from a meta-analysis. *Neuropsychologia*, *29*, 1163-1177.
- Marzi, C.A.(1986). Transfer of visual information after unilateral input to the brain. *Brain and Cognition*, *5*(2), 163-173.

- McClelland, J.L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, *86*, 287-330.
- McKeever, W.F. (1971). Lateral word recognition effects of unilateral and bilateral presentation, asynchrony of bilateral presentation and forced order of report. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *23*, 410-416.
- McKeever, W.F., & Huling, M.D. (1970). Lateral dominance in tachistoscopic word recognition performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *22*(4), 600-604.
- McKeever, W.F., & Huling, M.D. (1971). Bilateral tachistoscopic word recognition as a function of hemisphere stimulated and interhemispheric transfer time. *Neuropsychologia*, *9*, 281-288.
- McKeever, W.F., Suberi, M., & Van Deventer, A.D. (1972). Fixation control in tachistoscopic studies of laterality effects: Comments and data relevant to Hines' experiment. *Cortex*, *8*, 473-479.
- McKone, E., Aitkin, A., & Edwards, M. (2005). Categorical and coordinate relations in faces, or Fechner's law and face space instead? *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, *31*(6), 1181-1198.
- Miller, J. (1982). Divided Attention: Evidence for Coactivation with Redundant Signals. *Cognitive psychology*, *14*, 247-279.
- Mishkin, M., & Forgays, D.G. (1952). Word recognition as a function of retinal locus. *Journal of Experimental Psychology*, *43*, 43-48.
- Moesa, P.E., Brown, W.S., & Minnema, M.T. (2007). Individual differences in interhemispheric transfer time (IHTT) as measured by event related potentials. *Neuropsychologia*, *45*, 2626-2630.
- Mordkoff, J.T., & Yantis, S. (1991). An interactive race model of divided attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*(2), 520-538.
- Moscovitch, M. (1976). On the representation of language in the right hemisphere of right-handed people. *Brain and Language*, *3*, 47-71.

- Moscovitch, M. (1986). Afferent and efferent models of visual perceptual asymmetries: theoretical and empirical implications. *Neuropsychologia*, *24*(1), 91-114.
- Mountcastle, V.B., Lynch, J.C., Georgopoulos, A., Sakata, H., & Acuna, C. (1975). Posterior parietal association cortex of the monkey: command functions for operations within extrapersonal space. *Journal of Neurophysiology*, *38*, 871-908.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-383.
- Niebauer, C.L. (2001). A possible connection between categorical and coordinate spatial relation representations. *Brain and Cognition*, *47*(3), 434-445.
- Nowicka, A., Grabowska, A., & Fersten, E. (1996). Interhemispheric transmission of information and functional asymmetry of the human brain. *Neuropsychologia*, *34*, 147-151.
- Okubo, M, & Michimata, C. (2002). Hemispheric processing of categorical and coordinate spatial relations in the absence of low spatial frequencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 291-297.
- Okubo, M, & Michimata, C. (2004). The role of high spatial frequencies in hemispheric processing of categorical and coordinate spatial relations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(9), 1576-1582.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Olson, M.E. (1973). Laterality differences in tachistoscopic word recognition in normal and delayed readers in elementary school. *Neuropsychologia*, *11*, 343-350.
- Palermo, L., Bureca, I., Matano, A., & Guariglia, C. (2008). Hemispheric contribution to categorical and coordinate representational processes: a study on brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, *46*(11), 2802-2807.
- Park, H.J., Kim, J.J., Lee, S.K., Seok, J.H., Chun, J., Kim, D.I., & Lee, J.D. (2008). Corpus callosal connection mapping using cortical gray matter parcellation and DT-MRI. *Human Brain Mapping*, *29*(5), 503-516.

- Parrot, M., Doyon, B., Démonet J.F., & Cardebat, D. (1999). Hemisphere preponderance in categorical and coordinate visual processes. *Neuropsychologia*, *37*, 1215-1225.
- Philips, C., Jarrold, C., Baddeley, A., Grant, J., & Karmiloff-Smith, A. (2004). Comprehension of spatial language terms in Williams syndrome: Evidence for an interaction between domains of strength and weakness. *Cortex*, *40*, 85-101.
- Piéron, H. (1913). Recherches sur les lois de variation des temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices [On the laws of variation of sensory processing time as a function of the excitatory intensity]. *L'Année Psychologique*, *20*, 17-96.
- Piéron, H. (1920). Nouvelles recherches sur l'analyse du temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices [Further evidence on the laws of sensory processing time as a function of the excitatory intensity]. *L'Année Psychologique*, *22*, 58-142.
- Poffenberger, A.T. (1912). Reaction time to retinal stimulation with special reference to the time lost in conduction through nervous centers. *Archives of Psychology*, *23*, 1-73.
- Pohl, W. (1973). Dissociation of spatial discrimination deficits following frontal and parietal lesions in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *82*(2), 227-239.
- Posner, M.I., Cohen, Y. & Rafal, R.D., (1982). Neural systems control of spatial orienting. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, *298*(1089), 187-198.
- Posner, M.I., Rafal, R.D., Choate, L.S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of return: neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, *2*, 211-228.
- Posner, M.I., Snyder, C.R., & Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology*, *109*(2), 160-174.
- Pulvermüller, F., & Mohr, B. (1996). The concept of transcortical cell assemblies: a key to the understanding of cortical lateralization and interhemispheric interaction. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, *20*, 557-566.

Putois, B. (accepté). *L'utilisation des représentations dans l'étude des relations spatiales visuelles : naissance d'ambiguïté*. In Fresco, (Eds.), *La notion de représentation en Sciences Cognitives*. (à paraître).

Putois, B., & Koenig, O. (2006). Etude des changements d'asymétries fonctionnelles lors du traitement des relations spatiales visuelles. Communication affichée acceptée - Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive (Arco). Bordeaux (France), 6-8 décembre.

Putois, B., & Koenig, O. (2007). Changes with practice in visual lateral differences in the processing of spatial relations. Communication affichée acceptée - Conference of The European Society for Cognitive Psychology (Escop). Marseilles (France), 29 août-1er septembre.

Putois, B., & Koenig, O. (2008). Une ou des connaissances pour le traitement des relations spatiales ? Le rôle des communications hémisphériques dans la genèse des connaissances spatiales. Communication affichée acceptée - Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive (Arco). Lyon (France), 3-5 décembre.

Putois, B., & Koenig, O. (en soumission). Categorical and coordinate spatial relations: Interhemispheric processing.

Querné, L., Eustache, F., & Faure, S. (2000). Interhemispheric inhibition, intrahemispheric activation, and lexical capacities of the right hemisphere: a tachistoscopic, divided visual-field study in normal subjects. *Brain and Language*, *74*(2), 171-190.

Raab, D. (1962). Statistical facilitation of simple reaction time. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, *43*, 574-590.

Rafal, R. (2001). Balint's syndrome. In M. Behrmann (Eds), *Handbook of Neuropsychology*, 2nd Edition, vol.4, Amsterdam: Elsevier Science.

Reese, C.J., & Stiles, J. (2005). Hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations during an image generation task: evidence from children and adults. *Neuropsychologia*, *43*(4), 517-529.

Reggia, J.A., Goodall, S., & Shkuro, Y. (1998). Computational studies of lateralization of phoneme sequence generation. *Neural Computation*, *10*(5), 1277-1297.

- Robertson, L.C., Treisman, A., Friedman-Hill, S.R., & Grabowecky, M. (1997). The interaction of spatial and object pathways: Evidence from Balint's syndrome. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(3), 295-317.
- Roth, E.C, & Hellige, J.B. (1998). Spatial processing and hemisphere asymmetry. Contributions of the transient/ magnocellular visual system. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(4), 472-484.
- Sapir, A., Rafal, R., & Henik, A. (2002). Attending to the thalamus: inhibition of return and nasal-temporal asymmetry in the pulvinar. *Neuroreport*, *13*(5), 693-697.
- Schatz, J., Craft, S., Koby, M., & DeBaun, M.R. (2004). Asymmetries in visual-spatial processing following childhood stroke. *Neuropsychology*, *18*(2), 340-352.
- Schenkenberg, T., Bradford, D.C., & Ajax, E.T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*, *30*, 509-517.
- Schmuller, J., & Goodman, R. (1979). Bilateral tachistoscopic perception, handedness, and laterality. *Brain and Language*, *8*(1), 81-91.
- Selnes, O.A. (1974). The Corpus Callosum: Some Anatomical and Functional Considerations with Special Reference to Language. *Brain and Cognition*, *1*, 111-139.
- Sergent, J. (1982). The cerebral balance of power: Confrontation or cooperation? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 253-272.
- Sergent, J. (1991a). Judgments of relative position and distance on representations of spatial relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *91*, 762-780.
- Sergent, J. (1991b). Processing of spatial relations within and between the disconnected cerebral hemispheres. *Brain*, *114*, 1025-1043.
- Sergent, J., & Hellige, J.B. (1986). Role of input factors in visual-field asymmetries. *Brain and Cognition*, *5*(2), 174-199.
- Shannon, C. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.

- Shepard, R.N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science, 171*, 701-703.
- Shevtsova, N., & Reggia, J.A. (1999). A neural network model of lateralization during letter identification. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*(2), 167-181.
- Simon, J.R., & Rudell, A.P. (1967). Auditory S-R compatibility: the effect of an irrelevant cue on information processing. *The Journal of Applied Psychology, 51*(3), 300-304.
- Slotnick, S.D., & Moo, L.R. (2006). Prefrontal cortex hemispheric specialization for categorical and coordinate visual spatial memory. *Neuropsychologia, 44*(9), 1560-1568.
- Slotnick, S.D., Moo, L.R., Teroso, M., & Hart, J. (2001). Hemispheric asymmetry in categorical versus coordinate visuospatial processing revealed by temporary cortical deactivation. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*(8), 1088-1096.
- Smith, E.E., & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology, 33*(1), 5-42.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentation. *Psychological Monographs, 74*, 1-29.
- Springer, S.P. (1971). Ear asymmetry in a dichotic detection task. *Perception and Psychophysics, 10*, 239-241.
- Stins, J.F., & Michaels, C.F. (2000). Stimulus-response compatibility for absolute and relative spatial correspondence in reaching and in button pressing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 53*(2), 569-589.
- Tardieu, J. (1978). *Le Professeur Froeppel*. Paris : Gallimard.
- Tettamanti, M., Paulesu, E., Scifo, P., Maravita, A., Fazio, F., Perani, D., & Marzi, C.A. (2002). Interhemispheric transmission of visuomotor information in humans: fMRI evidence. *Journal of Neurophysiology, 88*(2), 1051-1058.
- Teuber, H.L. (1955). Physiological psychology. *Annual Review of Psychology, 6*, 267-296.

- Thut, G., Hauert, C-A., Morand, S., Seeck, M., Landis, T., & Michel C. (1999). Evidence for interhemispheric motor-level transfer in a simple reaction time task: an EEG study. *Experimental Brain Research*, *128*(1-2), 256-261.
- Tiberghien, G., & Versace, R. (1985). Spécialisation hémisphérique et fréquences spatiales. *L'année Psychologique*, *85*(2), 227-247.
- Trojano, L., Conson, M., Maffei, R., & Grossi, D. (2006). Categorical and coordinate spatial processing in the imagery domain investigated by rTMS. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1569-1574.
- Trojano, L., Grossi, D., Linden, D.E.J., Formissano, E., Goebel, R., Cirillo, S., Elefante, R., & Di Salle, F. (2002). Coordinate and categorical judgement in spatial imagery. An fMRI study. *Neuropsychologia*, *40*, 1666-1674.
- Tsal, Y, & Shalev, L. (1996). Inattention magnifies perceived length: the attentional receptive field hypothesis. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *22*(1), 233-243.
- Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus-response compatibility. In R.W Proctor & T.G. Reeve (Eds), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 89-116). Amsterdam: Elsevier.
- Ungerleider, L.G., & Mishkin, M.(1992). Two cortical visual systems. In D.J. Ingle, M.A. Goodale, & R.J.W. Mansfield (Eds.). *Analyse of visual behavior*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Ungerleider, L.G., & Haxby, J.V. (1994). "What" and "where" in the human brain. *Current Opinions in Neurobiology*, *4*, 157-165.
- Vallar, G. (2007). Spatial neglect, Balint-Homes' and Gerstmann's syndrome, and other spatial disorders. *CNS Spectrums*, *12*(7), 527-536.
- van der Ham, I.J., van Wezel, R.J., Oleksiak, A., & Postma, A. (2007). The time course of hemispheric differences in categorical and coordinate spatial processing. *Neuropsychologia*, *45*(11), 2492-2498.
- van der Lubbe, R.H., Schölvink, M.L., Kenemans, J.L., & Postma, A. (2006). Divergence of categorical and coordinate spatial processing assessed with ERPs. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1547-1559.

- Van Kleeck, M.H. (1989). Hemispheric differences in global versus local processing of hierarchical visual stimuli by normal subjects: new data and a meta-analysis of previous studies. *Neuropsychologia*, 27(9), 1165-1178.
- Van Kleeck, M.H., & Kosslyn, S.M. (1989). Gestalt laws of perceptual organization in an embedded figures task: evidence for hemispheric specialization. *Neuropsychologia*, 27(9), 1179-1186.
- Van Orden, G.C., Pennington, B.F., & Stone, G.O. (2001). What do double dissociations prove? *Cognitive Science*, 25, 111-172.
- Vauclair, J., Yamazaki, Y., & Güntürkün, O. (2006). The study of hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations in animals. *Neuropsychologia*, 44(9), 1524-1534.
- Vernier, M.P. (2000). *Traitement des relations spatiales catégorielles et coordonnées : approche neuropsychologique*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Lyon, Université Lyon 2, Lyon, France.
- Versace, R. (1986). *Vers un modèle général de la spécialisation hémisphérique: à la recherche de l'origine des différences hémisphériques*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Grenoble, Grenoble, France.
- Vogels, R., Saunders, R. C., & Orban, G. A. (1994). Hemispheric lateralization in rhesus monkeys can be task-dependent. *Neuropsychologia*, 32, 425-438.
- Voigt, T., LeVay, S., & Stamnes, M.A. (1988). Morphological and immunocytochemical observations on the visual callosal projections in the cat. *The Journal of Comparative Neurology*, 272(3), 450-460.
- Vossel, S., Thiel, C.M., & Fink, G.R. (2006). Cue validity modulates the neural correlates of covert endogenous orienting of attention in parietal and frontal cortex. *Neuroimage*, 32(3), 1257-1264.
- Weissman, D.H., & Banich, M.T. (2000). The cerebral hemispheres cooperate to perform complex but not simple tasks. *Neuropsychology*, 14, 41-59.
- White, M.J. (1969). Laterality differences in perception: a review. *Psychological Bulletin*, 72(6), 387-405.
- White, M.J. (2002). Different spatial-relational information is used to recognize faces and emotional expressions. *Perception*, 31, 675-682.

Wilkinson, D., & Donnelly, N. (1999). The role of stimulus factors in making categorical and coordinate spatial judgments. *Brain and Cognition*, 39(3), 171-185.

Witelson, S.F. (1974). Hemispheric specialization for linguistic and nonlinguistic tactual perception using a dichotomous stimulation technique. *Cortex*, 10, 3-17.

Yamazaki, Y., Aust, U., Huber, L., & Güntürkün, O. (2006). Lateralized cognition: Asymmetrical and complementary strategies of pigeons during discrimination of the human concept. *Cognition*, 104(2), 315-344.

Young, A. W. (1982). Methodological and theoretical bases of visual hemifield studies. In J. G. Beaumont (Ed.), *Divided visual field studies of cerebral organisation*, London: Academic Press.

Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Leporé, M. Ptito, & H. Jasper (Eds.), *Two hemispheres - One brain: Function of the corpus callosum*. New York: A.R.Liss.

Annexe

Nous présentons en annexe, sous forme de tableau, l'évaluation des expériences utilisant le paradigme de présentation en champ visuel divisé en fonction de leurs résultats sur la double dissociation Tâche * Champ visuel.

Légende:

cvg-HD: champ visuel gauche - hémisphère droit

cvd-HG: champ visuel droit - hémisphère gauche

H & M: paradigme d'Hellige et Michimata (1989a)

R & H: paradigme de Rybach & Hoyer (1992)

L: paradigme de Laeng (1994)

***: paradigme propre à l'étude

? : Effet non mentionné dans la publication

1 : Effet significatif

0: Effet non significatif

Etudes sélectionnées (1/3)					Tâche * Champ Visuel	Tâche coordonnée			Tâche catégorielle	
Référence	Année	n° expérience	Paradigme	Remarque		avantage cvg-HD	avantage cvd-HG	effet de pratique	avantage cvg-HD	avantage cvd-HG
Hellige & Michimata	1989	/	H & M		1	1		?		0
Kosslyn et al.	1989	expé 1	***		1	1		?		0
Kosslyn et al.	1989	expé 2	***		1	1		?		0
Kosslyn et al.	1989	expé 3	H & M		1	1		1		1
Kosslyn et al.	1989	expé 4	H & M	Forté latéralité	1	1		?		1
Koenig et al.	1990	/	H & M	Enfants	1 (bloc 1)	1		1		1
Sergent	1991a	expé 1	***	4 types de tâches	0	0		0		0
Sergent	1991a	expé 2	H & M		0	0		0		0
Sergent	1991a	expé 4	H & M	Luminance basse	1	1		1		1
Rybach & Hoyer	1992	/	R & H	Tâche coordonnée modifiée	1	1		1		1
Cowin & Hellige	1994	/	H & M	Effet du « dioptic blurring »	0	0		1		0
Hellige et al.	1994	expé 3	H & M	Sujets droitiers	1	1		?		0
Hellige et al.	1994	/	H & M	Sujets droitiers	0	1		?	1	
Laeng & Peters	1995	expé 1	H & M	Comparaison d'objets	1	1		?		1
Laeng & Peters	1995	expé 2	H & M	Sujets gauchers	0	0		?		0
Horner & Freides	1996	/	H & M	1° d'angle visuel	0	0		?		0
Horner & Freides	1996	/	H & M	3° d'angle visuel	1	1		?		p<.07
Horner & Freides	1996	/	H & M	9° d'angle visuel	0	1		?	1	
Bruyer et al.	1997	expé 1	H & M	Réponse manuelle	1	1		1		1
Bruyer et al.	1997	expé 2	H & M	Mode de réponse	1	1		1		1
Bruyer et al.	1997	expé 3	H & M	Mode de réponse	0		1	?		0
Bruyer et al.	1997	expé 4	H & M	Absence de feedback	0	0		?		0
Bruyer et al.	1997	expé 5	H & M	Personnes âgées	0	0		?		0
Michimata	1997	/	L	Modalité visuelle	(bloc 1)	1 (bloc 1)		1		p<.07 (bloc 1)
Michimata	1997	/	L	Modalité d'imagerie visuelle	0	1 (bloc 3)		0		0
Roth & Hellige	1998	expé 01	R & H	Atténuation de la voie parvocellulaire	1	1		0		1

Etudes sélectionnées (2/3)					Tâche * Champ Visuel	Tâche coordonnée			Tâche catégorielle	
Référence	Année	n° expérience	Paradigme	Remarque		avantage cvg-HD	avantage cvd-HG	effet de pratique	avantage cvg-HD	avantage cvd-HG
Roth & Hellige	1996	expé 02	R & H		1	1		0		1
Banich & Federmeyer	1999	/	H & M	Barre statique	0	0		?		0
Banich & Federmeyer	1999	/	H & M	Barre variable	0	0	1 (bloc 2)	0		1 (bloc 3 et 4)
Parrot et al.	1999	exp 1	H & M	Tâche de localisation	0	1 (essais difficiles)		?		1
Parrot et al.	1999	exp 2	H & M	Tâche d'identification	0	1 (essais difficiles)		?		1
Wilkinson & Donnelly	1999	expé 01	H & M	Stimuli blancs sur fond noir versus noirs sur fond blanc	0	0	1 (luminance haute et blanc sur fond noir)	?		0
Wilkinson & Donnelly	1999	expé 02	H & M	Stimuli blancs sur fond noir + forte versus faible luminance	0	0		?		0
Wilkinson & Donnelly	1999	expé 03	H & M	Durée d'exposition : 100 versus 200	0	1 (si durée de présentation : 100ms)		?		0
Hellige & Cumberland	2001	/	R & H	Atténuation de la voie magnocellulaire	0	0		?		0
Vermier	2000	expé 4	H & M	Distance critique et effet de pratique	/	1 (bloc 1 indépendamment des distances)		1		?
Vermier	2000	expé 5	H & M	Distance critique et effet de pratique et non répétition des stimuli	/	1 (bloc 1 indépendamment des distances)		1		?
Vermier	2000	expé 6	H & M	Changement de la distance critique à chaque essai	/	1 (bloc 1 indépendamment des distances)		1		?
Ginchereau	2000	expé 1	H & M	Tâche coordonnée avant tâche catégorielle contrairement à Banich & Federmeyer	1	1 (stimuli difficiles et bloc 1)		1		0

Etudes sélectionnées (3/3)					Tâche * Champ Visuel	Tâche coordonnée			Tâche catégorielle	
Référence	Année	n° expérience	Paradigme	Remarque		avantage HD	avantage HG	effet de pratique	avantage HD	avantage HG
Ginchereau	2000	expé 2	H & M	Stimuli difficiles versus stimuli faciles	/	1 (stimuli difficiles et bloc 1)		1		?
Ginchereau	2000	expé 3	H & M	Augmentation du nombre de Stimuli	/	1 (stimuli difficiles et bloc 1)		1		?
Niebauer	2001	expé 3	H & M	Amorçage	1	1		?		0
Christman	2002	expé 1	***		1	1		?		0
Christman	2002	expé 2	***	Durée d'exposition : 300 ms	1	1		?		0
Christman	2002	expé 3	***	Durée d'exposition : 150 ms	1	1		?		0
Okubo & Michimata	2002	/	H & M	Stimuli contrasté : atténuation des basses fréquences spatiales	0	0		?		1
Okubo & Michimata	2002	/	H & M	Stimuli normaux	1	1		?		1
Okubo & Michimata	2004	/	H & M	Filtre passe bas: atténuation des hautes fréquences spatiales	0	0		?		0
Okubo & Michimata	2004	/	H & M	Condition normale	0	1		?		1
Andresen & Marsoleck	2005	/	H & M	Condition normale	1	?		?		?
Andresen & Marsoleck	2005	/	H & M	Condition d'identification	1	?		?		?
Van der Ham et al.	2007	/	***	Intervalle de rétention de 500 ms	1	p<.07		?		1
Van der Ham et al.	2007	/	***	Intervalle de rétention de 2000 ms	0	1		?		p<.07
Van der Ham et al.	2007	/	***	Intervalle de rétention de 5000 ms	0	0	1	?		p<.07