

UFR Sciences et Techniques du Havre



Développement d'un serveur web de tests psychologiques

Pour but de diagnostiquer les effets de concentration liés au traitement de la douleur.

Réalisé par :

Imane ZEROUALI
Mohamed El Mehdi TIOUITCH
Abdousamad MOUSSA ELMI

Encadré par:

M. Cyrille BERTELLE



Ψ PsychoTest Ψ

2016/2017

Master 2 MATIS

Parcours SIRES

RESUME : Pour finaliser notre cursus universitaire de Master 2 Mathématiques et informatique des systèmes complexes et distribués, discipline Systèmes Informatiques, Réseaux et Sécurité à l'Université Sciences et Techniques du Havre, on a mené à travaillé sur un projet de fin d'études en trinômes.

Le sujet qui m'a été confié se résume comme suit :

Développement d'un serveur de tests psychologiques :

Dans le cadre d'une collaboration avec la neuro-psychologue Mm. Sophie BAUDIC spécialisée dans le traitement de la douleur, il est proposé de développer un serveur web de tests psychologiques servant à diagnostiquer les effets de concentration liés au traitement de la douleur. Les tests demandés sont sous forme d'affichage d'images, de caractères ou de symboles avec réaction attendu de l'utilisateur via son clavier.

Le but est de développer un petit serveur web qui est à destination de deux catégories d'utilisateurs : des patients qui seront sollicités par un médecin afin de réaliser certains tests et les médecins afin qu'ils récupèrent des analyses statistiques de leur patient. Le dispositif doit pouvoir marcher en local sur une machine sans connexion au réseau. Il doit aussi pouvoir être déployé sur un site web. Le codage de l'application doit être facilement accessible pour pouvoir être modifié ou adapté.

MOTS CLES : Psychologie, Neurologie, Test psychologique, AngularJS, HTML/CSS, PHP, JavaScript, MySQL.

ABSTRACT: To finalize our Master's Degree in Mathematics and Computer Science of Complex and Distributed Systems, a discipline in Information Systems, Networks and Security at the University of Science and Technology of Le Havre, we have worked on a final project in trinomials.

The subject entrusted to us is summarized as follows:

Development of a psychological testing server:

In collaboration with the neuro-psychologist, Ms Sophie BAUDIC, specialized in the treatment of pain, it is proposed to develop a web server of psychological tests to diagnose the effects of concentration related to the treatment of pain. The tests requested are in the form of displaying images, characters or symbols with the expected reaction of the user via his keyboard. The goal is to develop a small web server that is aimed at two categories of users: patients who will be asked by a doctor to carry out certain tests and doctors so that they recover statistical analyzes of their patient. The device must be able to walk locally on a machine without connection to the network. It must also be able to be deployed on a website. The coding of the application must be easily accessible to be modified or adapted.

KEYWORDS: Psychology, Neurology, Psychological test, AngularJS, HTML/CSS, PHP, JavaScript, MySQL.



Remerciements:

Ce projet de fin d'études est une étape nécessaire dans notre parcours, une phase de cohabitation entre les acquis théoriques et la découverte d'autre domaine en relation avec l'informatique, Mener à bien ce projet se révèle être une épreuve ardue sans l'aimable contribution de tous ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce travail; c'est pourquoi, nous tenons à exprimer notre reconnaissances à :

M. Cyrille BERTELLE Notre encadrant Professeur d'informatique Modélisation et simulation de systèmes complexes, Co-fondateur de l'ISCN - Institut des Systèmes Complexes en Normandie et membre du Laboratoire de Recherche LITIS d' Université du Havre, Normandie, France.

La neuropsychologue Mme. Sophie BAUDIC, spécialiste dans le traitement de la douleur.

M. Laurent AMANTON, notre enseignant et chef de formation, maître de conférences en informatique et membre du laboratoire LITIS d'Université du Havre, Normandie, France qui nous a aidés tout au long de cette période et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.



Sommaire :

Introduction Générale

<i>Chapitre 1 : Aperçu général sur la psychologie et les tests psychologiques</i>	<i>5</i>
1. <i>La psychologie</i>	<i>6</i>
2. <i>Les tests psychologiques et leurs principales caractéristiques</i>	<i>7</i>
3. <i>Objectifs</i>	<i>8</i>
4. <i>Types et exemples de tests à implémenter</i>	<i>11</i>
a- <i>Test de la rotation mentale</i>	<i>11</i>
b- <i>Test N-back</i>	<i>12</i>
<i>Chapitre 2 : Charge du projet</i>	<i>13</i>
1. <i>Objectifs généraux</i>	<i>14</i>
2. <i>Description du projet</i>	<i>15</i>
3. <i>Besoins fonctionnels</i>	<i>16</i>
4. <i>Besoins non fonctionnels</i>	<i>16</i>
5. <i>Analyse et critique de l'existant</i>	<i>17</i>
<i>Chapitre 3 : La conception</i>	<i>18</i>
I. <i>Conception Générale</i>	<i>19</i>
1. <i>Le modèle de cycle de vie</i>	<i>19</i>
II. <i>Conception Détaillée</i>	<i>19</i>
1. <i>Le diagramme de cas d'utilisation</i>	<i>20</i>
2. <i>Le diagramme de classes</i>	<i>21</i>
III. <i>Maquette</i>	<i>21</i>
<i>Chapitre 4 : La réalisation</i>	<i>22</i>
I. <i>Environnement de travail</i>	<i>23</i>
1. <i>Environnement Hard</i>	<i>23</i>
2. <i>Langage de programmation</i>	<i>23</i>
3. <i>Environnement de développement</i>	<i>23</i>
II. <i>Création de la base de données</i>	<i>24</i>
III. <i>L'interface graphique</i>	<i>25</i>
1. <i>Framework</i>	<i>25</i>
2. <i>Design et multimédia</i>	<i>25</i>
IV. <i>L'implémentation des tests psychologiques</i>	<i>25</i>
1. <i>Découvert du site d'échantillons de tests psychologiques</i>	<i>28</i>
2. <i>Les tests du Psytoolkit</i>	<i>30</i>
3. <i>Utilisation des tests à l'aide de l'environnement Psytoolkit</i>	<i>32</i>
V. <i>Une petite démonstration</i>	<i>34</i>
<i>Conclusion</i>	



Introduction Générale :

Dans le cadre d'une collaboration avec une neuropsychologue spécialisée dans le traitement de la douleur, il est proposé de développer un serveur web de tests psychologiques servant à diagnostiquer les effets de concentration liés au traitement de la douleur. Les tests demandés sont sous forme d'affichage d'images, de caractères ou de symboles avec réaction attendu de l'utilisateur via son clavier.

Le but est de développer un petit serveur web qui est à destination de deux catégories d'utilisateurs : des patients qui seront sollicités par un médecin afin de réaliser certains tests et les médecins afin qu'ils récupèrent des analyses statistiques de leur patient. Le dispositif doit pouvoir marcher en local sur une machine sans connexion au réseau. Il doit aussi pouvoir être déployé sur un site web. Le codage des applications doit être facilement accessible pour pouvoir être modifié ou adapté.

Au long de ce rapport, on va résumer notre projet en quatre chapitres principaux.

- Le 1er chapitre présentera un Aperçu général sur la psychologie et les tests psychologiques.
- Le 2ème chapitre consistera à décrire le cahier des charges du projet.
- Le 3ème chapitre sera consacré pour la conception.
- Le dernier chapitre sera consacré pour la description de la réalisation et la démonstration de l'application.



Chapitre 1

Aperçu général sur la psychologie et les tests psychologiques

L'objectif de ce premier chapitre est d'expliquer la psychologie et les tests psychologiques, leurs principales caractéristiques et objectifs en bref ainsi que la présentation de quelques types de tests.

I. Aperçu général sur la psychologie et les tests psychologiques

1. La psychologie

La Psychologie (en grec: ψυχολογία) est une science et études académiques appliquées pour étudier le comportement et la cognition, généralement des humains, mais peut être appliqué à des animaux.

Le mot psychologie se réfère également à l'application de ces connaissances sur les différents domaines de l'activité humaine, y compris les problèmes des individus dans la vie de tous les jours et le traitement de la maladie mentale.

En bref, la psychologie est l'étude scientifique du comportement et de l'esprit, la pensée et personnelle, et peut être défini comme suit: «l'étude scientifique du comportement des organismes vivants, en particulier l'homme, afin de parvenir à une compréhension de ce comportement et son interprétation, la prévision et le contrôle.»

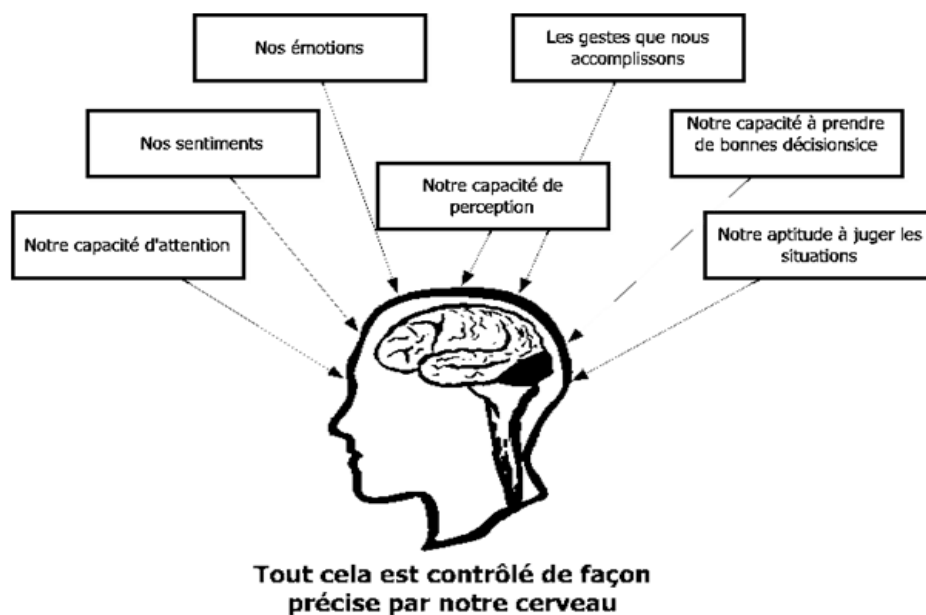


Fig1. Ensemble des réactions et des comportements contrôlés par notre cerveau.

Src: http://www.libertox.com/?page_id=125

Il se décompose à plusieurs branches et domaines parmi eux :

- ***La psychologie expérimentale:*** Cette section traite de la capacité et les processus cognitifs et moteurs, en particulier l'audiovisuel et de la cognition et les processus cognitifs.
- ***La psychophysiologie:*** La découverte des bases physiologiques du comportement, où cette branche cherche à découvrir la relation entre les processus et les comportements physiologiques.
- ***La psychologie du développement:*** Sert étudier les étapes de la croissance du fœtus avant la naissance à la vieillesse.
- ***La psychologie sociale:*** Traite de l'influence du groupe sur le comportement des individus, ainsi que l'étude des comportements individuels dans la communauté.
- ***La neuropsychologie :*** Qui est une discipline clinique qui rassemble deux domaines la neurologie et la psychologie qui aide à analyser les fonctions cérébrales supérieures.

2. Les tests psychologiques et leurs principales caractéristiques

Un test psychologique est une mesure standardisée d'un échantillon de comportement d'une personne qui est utilisé pour mesurer les différences individuelles qui existent parmi les gens, il est aussi une mesure objective et normalisée des caractéristiques mentales et / ou comportementales d'un individu, ainsi qu'il suit une procédure systématique pour observer le comportement ou la performance d'une personne, en le décrivant à l'aide d'une échelle numérique ou d'un système de catégories chronométré.

La plupart des tests sont utilisés comme un moyen de mesurer les différences entre les personnes ou les différences dans la même personne au fil du temps ainsi que ces tests aident à diagnostiquer les douleurs neurologique comme dans notre cas.

Ces tests sont caractérisés par l'utilisation d'échantillons de comportement, le plus souvent administré comme une série d'éléments dans lesquels l'individu doit donner une réponse, afin d'évaluer les constructions psychologiques, comme la capacité, le fonctionnement cognitif et émotionnel, la personnalité ou détection de douleur lors du passage du test ou au fil du temps.

Le terme technique pour la science derrière les tests psychologiques est la psychométrie. La psychométrie est le domaine d'étude de la théorie et de la technique de la mesure psychologique, qui comprend la mesure des connaissances, des aptitudes, des attitudes, des traits de personnalité et de la mesure de l'éducation.

3. Objectifs

Les tests psychologiques ont pour but d'évaluer les capacités mentales y compris la réalisation et la capacité général, l'aptitude ou de la personnalité et le fonctionnement ***neurologique***.

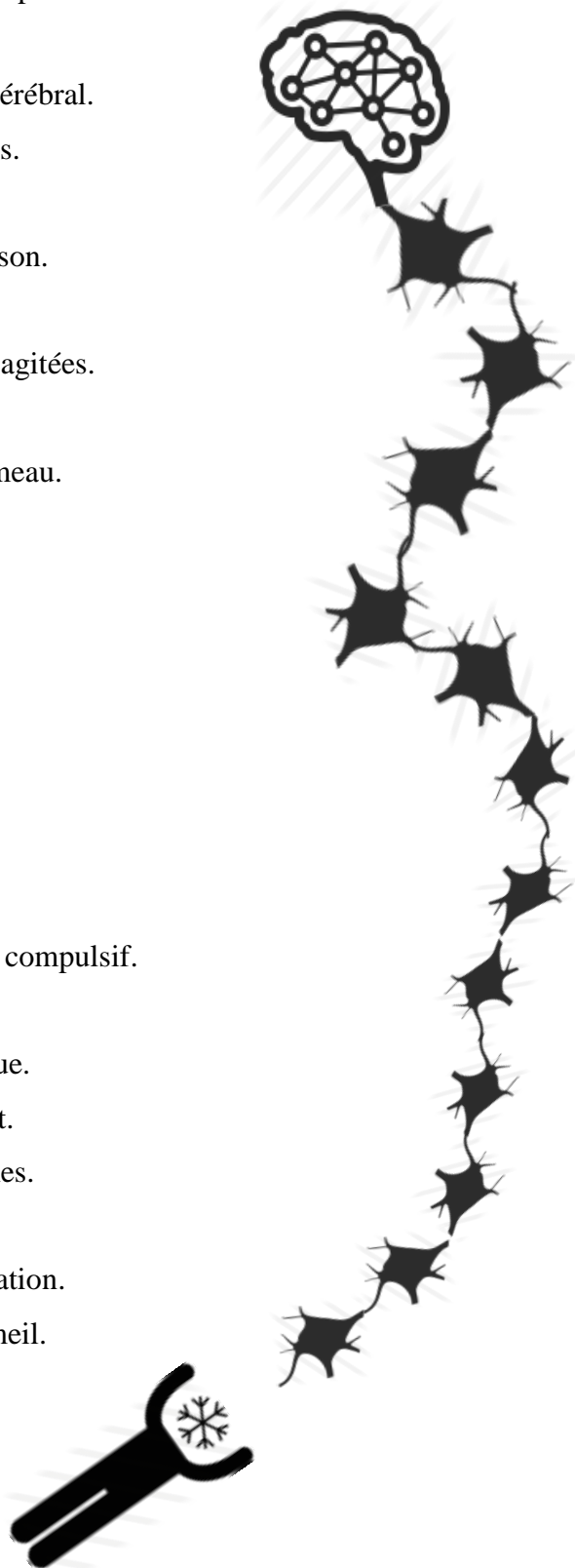
Les tests neuropsychologiques sont administrés pour une grande variété de raisons, du diagnostic de la neuropathologie, comme la détection des troubles et douleurs neurologiques comme la clarification de la différenciation de la maladie par rapport à d'autres formes de démence.

Par exemple : la démence vasculaire ou le syndrome cérébral organique, les troubles de l'activité cérébrale, la dépression, les troubles anxieux, les troubles de la personnalité, les troubles du sommeil.

Exemple d'autre troubles et douleurs détectables :

- Migraine maux de tête.
- Vertige.
- Perturbations visuelles.
- Douleur lombaire
- Glissement du disque.
- Dégâts nerveux.

- Syndrome du canal carpien
- Nerfs piégés.
- Accident vasculaire cérébral.
- Épilepsie, convulsions.
- Sclérose en plaque.
- La maladie de Parkinson.
- Tremblement.
- Syndrome de jambes agitées.
- Paralysie.
- La névralgie du trijumeau.
- Myasthénie grave.
- Démence.
- Schizophrénie.
- Dépression.
- La manie.
- Troubles bipolaires.
- Anxiété, phobie
- Crises de panique.
- Trouble obsessionnel compulsif.
- Le stress aigu.
- Stress post traumatique.
- Troubles d'ajustement.
- Troubles somatoformes.
- Troubles dissociatifs.
- Troubles de l'alimentation.
- Les troubles du sommeil.



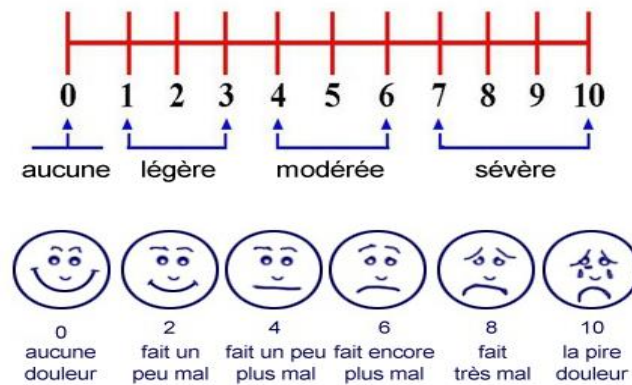


Fig2. Échelle d'évaluation de douleur de Mosby
 Src : <https://heidiwriting.wordpress.com/tag/pain-scale/>

L'utilisation des procédures d'essai neuropsychologiques aide à détecter les déficiences cognitives chez les patients avec les maladies les plus différentes. Ainsi qu'ils sont en mesure de tester la mémoire fonctionnelle, la capacité d'apprentissage, la récupération de la mémoire, les fonctions exécutives et la réalisation psychomotrice pour pouvoir avoir des analyses des fonctions cérébrales supérieures en rapport avec des troubles et des affections ou des lésions cérébrales.

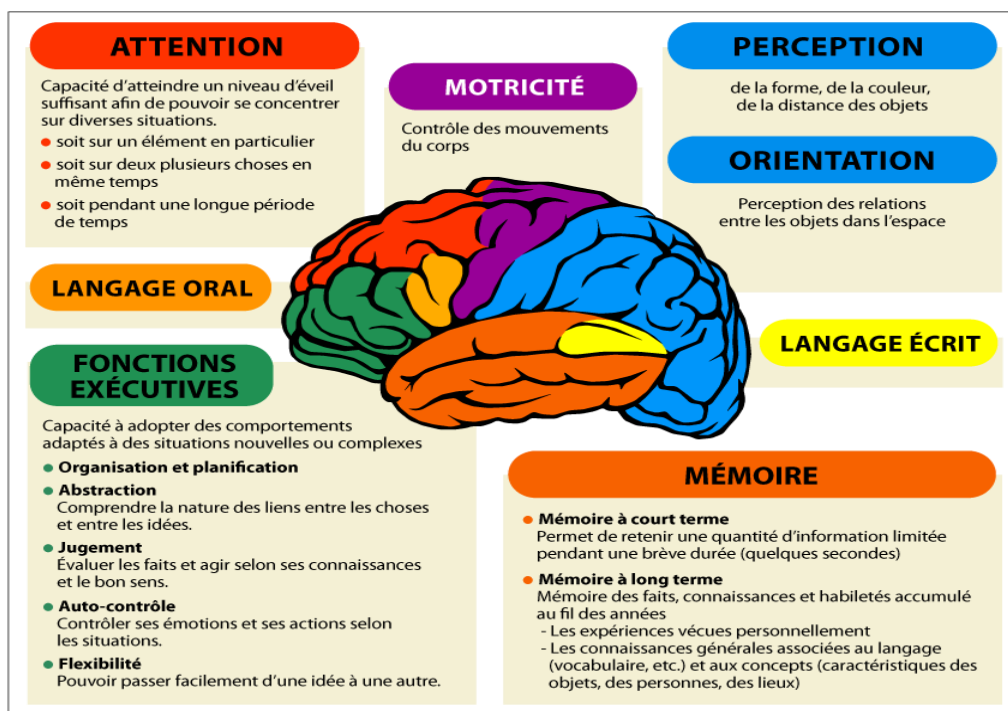


Fig3. Une mini carte neuropsychologique du cerveau
 Src : http://www.libertox.com/?page_id=125

4. Types et exemples de tests à implémenter.

a. Test de la rotation mentale

La rotation mentale est la capacité de faire tourner les représentations mentales d'objets bidimensionnels et tridimensionnels car elle est liée à la représentation visuelle d'une telle rotation au sein de l'esprit humain, il est associé à l'hémisphère cérébral droit.

Évaluation :

Dans un test de rotation mentale, le patient compare deux objets 2D ou 3D (ou lettres), souvent tournés dans un certain axe, et les états si elles sont la même image ou si elles sont des images miroir (énantiomorphes). Généralement, le test aura des paires d'images chacune tournant une quantité spécifique de degrés (par exemple 0 °, 60 °, 80°, 90°, 120 ° ou 180 °). Un nombre défini de paires sera divisé entre être la même image tournée, tandis que d'autres sont mis en miroir ou un peu modifié. Le médecin juge le participant en prenant en considération la précision et la rapidité de la distinction entre les objets en rotation.

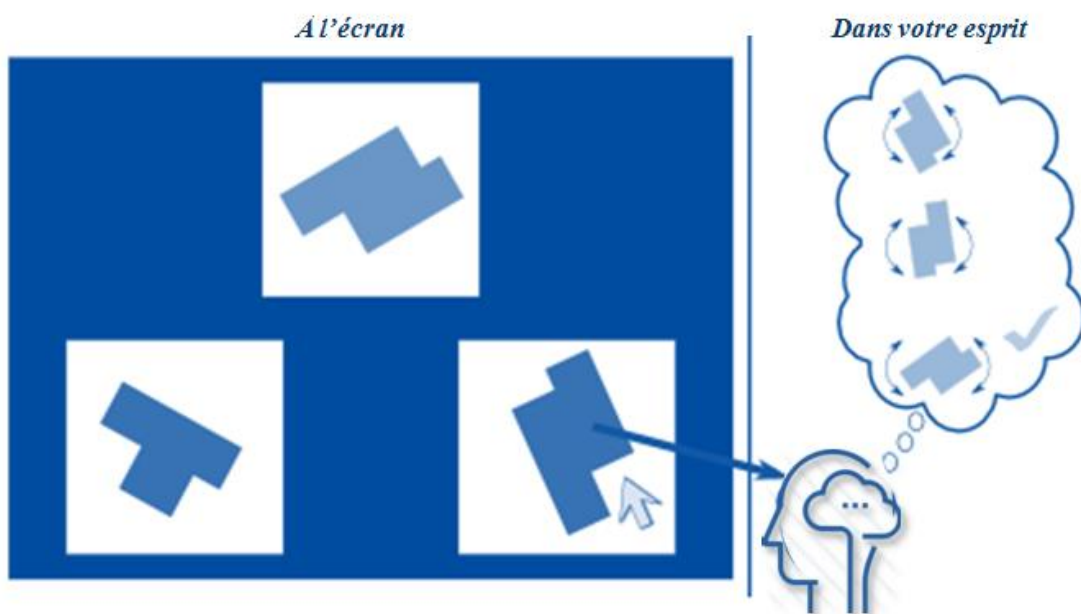


Fig4. Exemple de processus d'évaluation d'un test de rotation mental



b. Test N-back

Le test ***N-back*** est un test de performance continue qui est couramment utilisée comme une évaluation en ***neuroscience cognitive*** pour mesurer une partie de la mémoire de travail et la capacité de mémoire de travail.

Évaluation :

Dans test ***N-Back***, une séquence de stimuli est présenté un par un pour le patient. Pour chaque stimulus, il a besoin de décider si le stimulus actuel est le même que celui présenté ***N essais avant***. Le N peut être 1 essais, 2 essais, 3 essais, etc. Plus le nombre est élevé, plus la tâche est difficile.

Les facteurs influencent la performance des réponses ne sont pas seulement le **N**, mais aussi **la vitesse** de réponse et le nombre de l'ensemble de stimuli.



Chapitre 2

Charges du projet

Ce chapitre donne un aperçu sur le cahier des charges qu'on a confirmé avec notre encadrant Monsieur Cyrille BERTELLE et la neuropsychologue Madame Sophie BAUDIC.

1. Objectifs généraux

Les objectifs de notre projet est dans un premier temps de mettre en avant l'informatique et de faire de celui-ci à la porter des maximum des personnes possible. La neuropsychologue qui est en réalité la cliente qui utilise jusqu'à présent un papier et un crayon pour faire son travail face au patient qu'elle doit recevoir.

Un deuxième et grand objectif est celui de la mise en place d'une série de test qui va permettre d'évaluer un patient et de communiquer un résultat au médecin. Parmi les grands points important de ce projet figure le fait qu'un médecin pour pouvoir diagnostiquer les effets de concentration liés au traitement de la douleur, au de pouvoir gérer ses clients (ajouter etc...) et ainsi mettre en place son identifiants et son mot de passe. Ici on peut remarquer que l'application est entièrement géré par le médecin principal. S'il a éventualité de vouloir ajouter des nouveaux médecins l'application doit dans le futur permettre l'ajout d'un médecin par le médecin principal qui est considéré comme l'administrateur. Chaque médecin doit pouvoir ajouter lui-même ses propres patients et doit pouvoir avoir l'accès exclusif aux résultats de ses patients. Du côté des tests, les objectifs les plus importants sont : que le résultat contient le temps qu'a mis l'utilisateur pour effectuer les questionnaires des tests, que le médecin puisse bien différencié si l'utilisateur a bien fait une erreur sur les tests ou si il n'a pas donner de réponses ou si il a cliqué sur une zone en dehors de la zone demander pour les réponses (pour les tests avec souris) ou/et si il a cliqué sur le bouton du clavier (pour les tests avec clavier).

2. Description du projet

Notre projet consiste à mettre en place un système dédié à une neuropsychologue. Ce système doit avoir deux interface distincte qui seront dédié l'un au médecin et l'autre au patient. Il doit y avoir une interface de connexion pour le médecin et pour le patient.

Du côté du médecin :

Le médecin doit pouvoir se connecter. Quand le médecin accède à la page qui lui était dédié il doit pouvoir avoir la liste de ses patients. Il doit pouvoir ajouter autant de patient qu'il veut. En ajoutant un patient, le médecin doit remplir un formulaire qui va permettre de saisir plus d'informations sur le patient mais qui va également créer au patient un identifiant et un mot de passe pour qu'il puisse se connecter.

En cliquant sur un patient en particulier le médecin doit avoir accès aux ensembles des tests que le patient à effectuer. Il doit pouvoir supprimer ou modifier les informations d'un patient. Il doit pouvoir se déconnecter.

Du côté du patient :

Un patient doit pouvoir se connecter depuis l'interface d'accueil grâce à l'identifiant et au mot de passe fourni par le médecin. Après authentification, le patient doit pouvoir réaliser les tests qui lui sont présenté dans la deuxième l'interface. Après que les tests sont finaliser, l'utilisateur doit cliquer sur un bouton dédié à la validation du test et à l'envoi du résultat de ce dernier a son médecin. Le patient doit pouvoir se déconnecter après avoir effectué ses différentes tâches.

Voici une feuille de route qu'on a mise en place au moment du commencement du projet pour énumérer les grands axes du projet.

- Rédaction d'un petit cahier de charge avec les spécifications fonctionnelles technique.
- Une petite page d'accueil sympa.
- Création d'une interface pour les patients facile d'utilisation.
- Création d'un formulaire « patient ».
- Mise en place d'un bon nombre des tests psychologiques basique.
- Implémentation d'une méthode pour chronométrer le temps de réponse du patient.
- Implémentation d'une méthode pour la sauvegarde des saisies depuis le clavier.
- Mise en place de l'interface administrateur (docteurs).
- Création d'un système de login pour chaque docteur (si plusieurs).
- Mise en place d'un système de génération de formulaire des tests psychologiques.

Si toute la partie d'en haut est finie à temps :

- Relié cette dernière avec une base de donnée pour la sauvegarde des tests.
- Rajout des listes des médecins dans le formulaire du patient (si plusieurs médecin).
- Faire les tests spécifiques demandés.
- Faire un formulaire dans le médecin administrateur pour qu'il puisse ajouter des médecins.
- Donner à chaque médecin tous les droit nécessaire sur ses patients
- Développer une bibliothèque des composants logiciels.
- Faire des tests audio pour aller plus loin dans l'application.

3. Besoins fonctionnels

Dans cette section nous allons exprimer les besoins en termes de finalité, des services attendus tout en référençant les solutions techniques susceptibles d'y répondre.

Nous avons récapitulé tous ses besoins dans le tableau suivant :

Besoin	QUOI ?	Comment ?
Connexion / Déconnexion	Authentification du medecin	Cocher le radio bouton medecin puis entrer le login le mot de passe.
	Authentification du patient	Cocher le radio bouton patient puis entrer le login et le mot de passe crée par un medecin.
	Déconnexion du medecin / patient	Avec un simple cliquage sur le bouton «Déconnexion».
Gestion des patients par le medecin	Affichage des patients liées au medecin	Après la phase d'authentification, une interface contenant l'ID et le nom du medecin apparaîtra ainsi qu'une liste des patients liées au medecin avec une zone de recherche sous forme de filtrage. Devant chaque patient il y aura un symbole de modification et de suppression. En haut de la page il y aura un bouton permettant l'ajout d'un patient.
	Ajout des patients	
	Modifications des données de patients	
	Suppression des patients	
	Recherche d'un patient	
Récupération des analyses statistiques des tests passés par les patients	Affichage des tests effectués par le patient	Après un choix d'un patient de la liste affichée, une interface contiendra les tests effectués par ce dernier apparaîtra, le medecin aura la possibilité de consulter les résultats de chaque test effectué ainsi que les imprimés ou les enregistrés sous forme d'un fichier pdf ou csv.
	Consultations des résultats des tests effectués	
	Impression / Enregistrement des résultats,	
Le patient pourra passé des tests	Passage de tests psychologiques	Après la phase d'authentification, une interface contenant l'ID et le nom du patient ainsi que les informations nécessaire sur le neuro-psychologue traitant. Il y aura aussi une liste de tests proposées. Le patient peut choisir un test et le passé (Chronométré), à la fin il pourra l'enregistrer ou l'annuler.
	Enregistrement / annulation de test	

4. Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels sont beaucoup plus techniques et vont nous permettre de voir les outils majeurs qui ont été utilisé dans la réalisation de ce projet. Ces besoins sont récapitulés dans le tableau suivant :

Besoin	QUOI / Comment ?	Technologies / langages ?
Mise en place d'une base de données	Conception & élaboration de la base de données	MySQL
Développement du FRONT-END	La résolution d'affichage va être en couleurs claires et nettes car l'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.	HTML, CSS (bootstrap cms)
Développement du BACK-END	Pages interactives et dynamiques via serveur...	PHP, JavaScript (AngularJS)



5. Analyse et critique de l'existant

Des tests déjà implémenté en MATLAB nous ont été fourni par la cliente. Ces tests était implémenter en MATLAB mais pas seulement que, il y avait aussi un autre composant qui devrait fournir les graphiques pour MATLAB à intégrer. Au début on a eu un mois d'essai avec les identifiants étudiants pour faire fonctionner MATLAB sur nos machines. Cela est un premier frein pour le projet. Le deuxième est que le composant qu'on devrait intégrer dans MATLAB n'a pas pu faire fonctionner. Alors sur ce coup, on ne sait pas s'il s'agit d'une erreur technique de notre part ou si la version de MATLAB et le composant externe ne sont compatible. Et puis MATLAB ne peut pas être utilisé par des utilisateurs peut expérimenter dans l'informatique. Pour conclure, on n'a pas pu voir les tests de MATLAB qu'on devrait implémenter en JavaScript.



Chapitre | 3

La conception

Ce chapitre donne un aperçu sur le modèle de cycle adopté pour la réalisation du projet ainsi que les diagrammes de cas d'utilisation et de classes et la maquette.

La conception est une phase élémentaire dans le cycle de vie d'une application, elle a pour but de réaliser à partir du modèle du système obtenu lors de l'étape d'analyse de besoin, des modèles et diagrammes détaillés de l'hierarchie du système. Elle vise également la réduction de la complexité du système.

I. Conception Générale

1. Le modèle de cycle de vie

Afin de concevoir et réaliser notre application, nous avons opté pour le model de cycle de vie en V.

a. Présentation du model

Le modèle du cycle en V est un modèle conceptuel de gestion de projet imaginé suite au problème de réactivité du modèle en cascade. Il permet, en cas d'anomalie, de limiter un retour aux étapes précédentes.

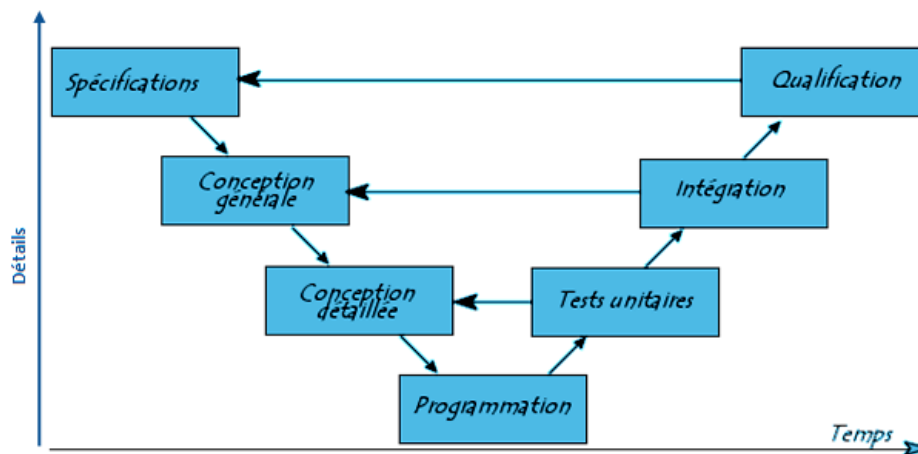


Fig4. Le model en V

2. Conception détaillée

Pour la modélisation, on a utilisé l'UML (Unified Modeling Language) qui consiste généralement à l'utilisation de deux diagrammes :

- 🔗 Diagramme de cas d'utilisation.
- 🔗 Diagrammes de classes.

1. Le diagramme de cas d'utilisation

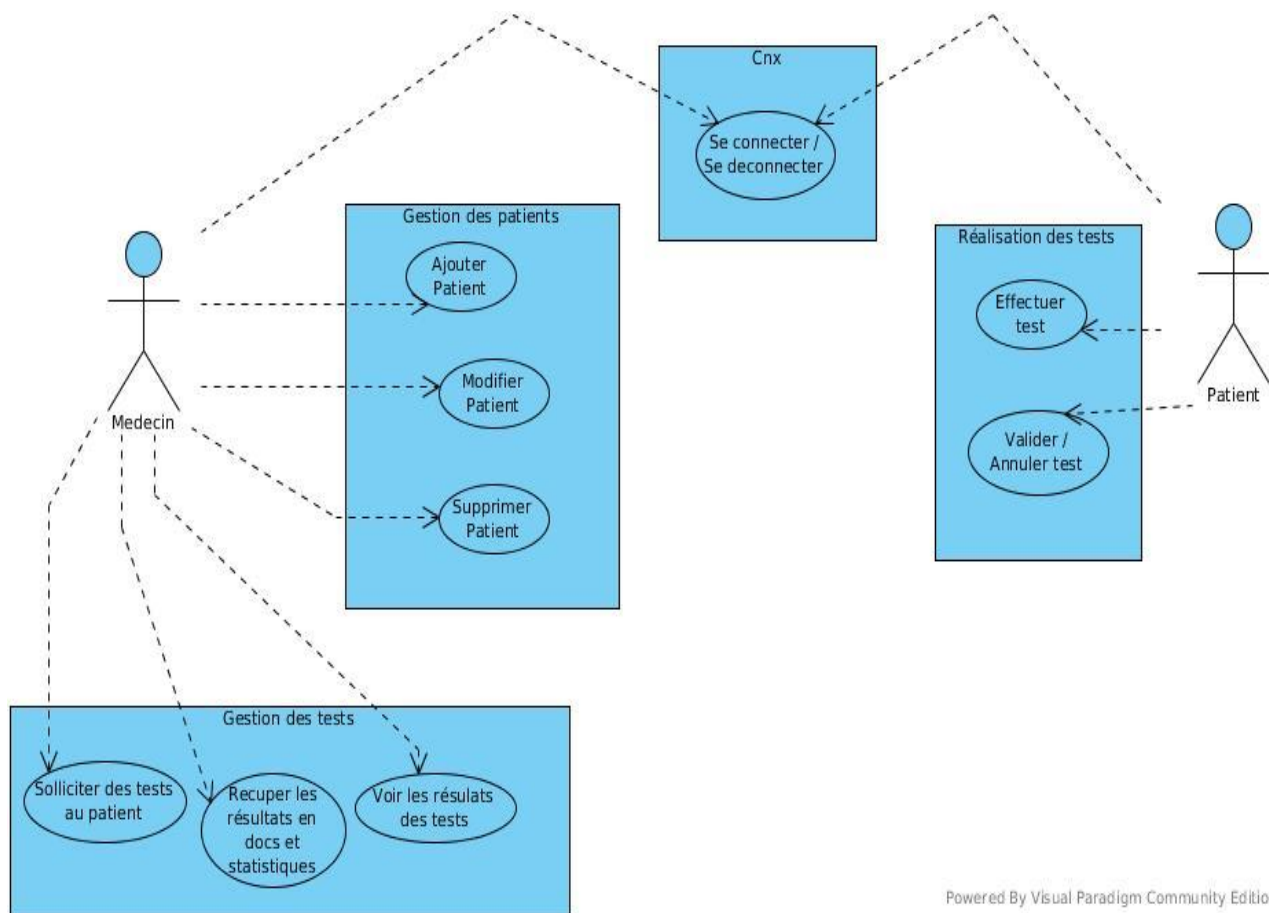
L'objectif fondamental de cette étape est d'identifier et repérer les principales données et cas d'utilisation.

Nous nous intéressons donc, dans cette partie, à la réalisation du diagramme des cas d'utilisations des données. Ce diagramme décrit précisément les besoins d'utilisateur final.

Présentation des acteurs

Avant d'étudier les cas d'utilisation nous commençons par la recherche des acteurs qui relient notre champ d'étude.

Nous avons défini deux acteurs : le médecin qui sera administrateur et le patient.



Powered By Visual Paradigm Community Edition

Fig5. Diagramme de cas d'utilisation

2. Le diagramme de classes

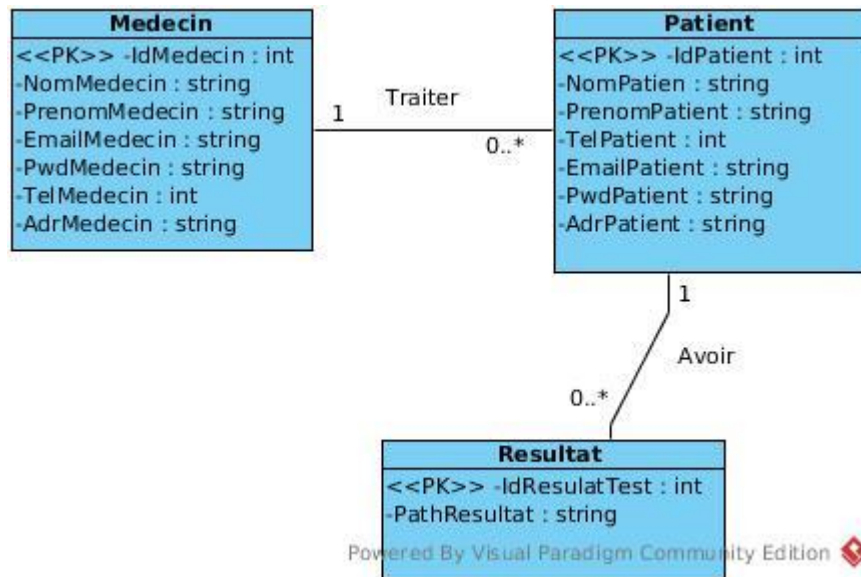


Fig6. Diagramme de classes

3. Maquette

Structure de l'application

Dans notre application, on a choisi une structure qui s'adapte aux besoins de l'utilisateur. L'objectif est de maintenir une hiérarchisation équilibrée qui permet l'accès rapide à l'information et une compréhension intuitive de la façon dont les pages sont organisées, ainsi que le choix des couleurs conviviales et alaises à la vue sans influence négative sur la psychologie de l'utilisateur.

Pour les tests, on a opté pour une console à arrière plan noir avec des objets et lettres colorés en bleus, gris et rouges... (Voir Démo chapitre 4)



Chapitre 4

La réalisation

Ce chapitre est consacré à la description des étapes de la réalisation avec une petite démonstration de l'application.

I. Environnement de travail

Au niveau de cette dernière partie, nous allons énumérer les outils soft et hard que nous avons utilisés pour réaliser notre serveur de tests psychologiques ainsi que ses principales interfaces.

1. Environnement Hard

POSTE1 :

- Hôte : LENOVO THINKPAD T420
- Microprocesseur : Intel Core *I5*
- RAM : 4GO

POSTE2 :

- Hôte : ASUS F552L
- Microprocesseur : Intel Core I5
- RAM : 4GO

POSTE3 :

- Hôte : DELL LATITUDE
- Microprocesseur : Intel Core *I5*
- RAM : 4GO

2. Langage de programmation

Nous avons eu recours, pour le développement de notre application au langage de programmation JAVASCRIPT.

3. Environnement de développement

Pour développer en JAVASCRIPT un éditeur de texte tout simple suffit (que ce soit le bloc note, wordpad, vi, scite, etc.). Cependant, il peut être appréciable d'utiliser un environnement de développement intégré (IDE). Nous avons choisi SublimeText pour développer notre application.



SublimeText : Est un éditeur de texte générique codé en C++ et Python, disponible sur Windows, Mac et Linux. Le logiciel a été conçu tout d'abord comme une extension pour Vim, riche en fonctionnalités.

II. Création de la base de données

Après la phase de conception on a passé à la création de la base de données en respectant les cardinalités et contraintes. (Voir le dictionnaire de données aux annexes).

Cette création a été réalisée à l'aide du « WampServer » qui est une plateforme gratuite de développement Web pour des applications Web dynamiques à l'aide du serveur Apache2, du langage de scripts PHP et d'une base de données MySQL. Il possède également phpMyAdmin qui est une application web de gestion pour gérer plus facilement les systèmes de gestion de bases de données MySQL réalisée en PHP et distribué sous licence publique générale.



WampServer: <http://www.wampserver.com/>



phpMyAdmin: <http://www.phpmyadmin.net/>

III. Interface graphique :

1. Framework JavaScript:



AngularJS : est un Framework javascript qui permet de créer des applications web dynamiques. Ce type d'applications (souvent appelées SPA pour Single Page Application) sont de plus en plus présentes avec des périphériques connectés de plus en plus variés. Malheureusement, créer une application tenant sur une seule page n'est pas chose simple. En effet, cela requiert l'utilisation de beaucoup de javascript et il est très difficile de bien s'organiser et d'obtenir une application maintenable et modulable. Et c'est ici qu'AngularJS intervient.

2. Design & Multimédia :



Les feuilles de styles en cascade CSS (Cascading Style Sheets) :

Permet de définir la manière dont s'affichent tous ces éléments à l'écran : la couleur du texte, les marges, les bordures, les images d'arrière-plan ...

Le navigateur utilise le code HTML et les feuilles de style CSS pour faire son rendu à l'écran.

HTML/CSS sont complémentaires, ils sont publiés par le «World Wide Web Consortium » (W3C)



HTML5 (HyperText Markup Language 5) : Est un format permettant de définir les éléments variés d'une "page" qu'on observe avec un logiciel d'exploration du WEB : un Browser.



Hypertext Preprocessor : Est un langage de programmation libre principalement utilisé pour produire des pages Web dynamiques via un serveur HTTP6, mais pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale. PHP est un langage impératif Orienté Objet.



- ✓ HTML/CSS et JavaScript sont tous des langages côté client, ils sont exécutés sur le navigateur.
- ✓ PHP est un langage côté serveur.

IV. L'implémentation des tests psychologiques

Dans cette section nous allons montrer comment on a mis en place les tests qui vont permettre au médecin d'évaluer son patient et donc par conséquent de permettre au patient de s'améliorer.

Il faudrait comprendre que les tests doivent être visibles du côté du patient qui doit faire les tests sans avoir accès à autre chose. Pour le patient, les tests peuvent être traités soit à l'aide du clavier pour toucher des touches spécifique qui seront détaillé dans les consignes du test soit par la souris en cliquant sur des images en correspondance aux consignes. L'implémentation de notre test doit permettre non seulement de montrer les tests mais aussi de traiter les réponses, mesurer le temps de réponse du patient (ou de l'utilisateur du test en question si test spécifique), de montrer l'endroit sur le quel le patient à cliquer si c'est un test qui accepte comme réponse la souris et éventuellement si nécessaire pour le docteur dire les autres réponses qui était disponible lors de l'affichage des questionnaires des tests.

Notre script pour le test doit retourner après un fichier en format pdf qui sera visible du côté du patient et qui va être générer après que le patient ait fini le test. Ce document pdf va contenir les réponses du patient sur les différentes questions, le temps de réponse de chaque question, les types de questions.

Un site qui contient des tests psychologiques nous a été fournis par notre encadrant pour pouvoir implémenter les tests sur le site dans un premier temps et dans la suite d'autre tests devrait nous être dit par le client en question ici " La neuropsychologue Mme. Sophie BAUDIC. Ce site qui est " <http://www.psytoolkit.org> " est très riche dans les tests psychologiques. On va découvrir ce site et on a pu voir que les tests était implémenter en langage R et que ces mêmes tests pouvaient être récupérer dans un fichier

zip. Sachant que ces tests fonctionnent bien en ligne sur le site, quand on récupère le fichier zip contenant tout le nécessaire du test ainsi que le fichier R, les fichiers psy et les images, on peut le faire fonctionner en local. De ce fait on a découvert une autre grande fonctionnalité de ce site qui est, l'implémentation des tests psychologiques. Oui ce site a la capacité de mettre en place des tests que l'utilisateur va implémenter lui-même. Ces tests peuvent soit être des nouveaux tests qui vont être écrits au format psy et donc être traités par le site pour afficher une démo ou bien un test déjà à notre disposition et qu'on veut le modifier sur le site et ainsi récupérer la nouvelle version. Ces tests peuvent être récupérés soit sous forme de script (javascript) qui, après, va fonctionner normalement en local ou bien sous forme de fichier zip.

Dans notre cas on s'est contenté de télécharger le format zip des tests demandés par la neuropsychologue et nous l'avons ensuite adapté à notre cas d'utilisation à travers le site et puis nous l'avons récupéré pour le faire fonctionner en local. Pour finaliser le test on devrait retoucher le script pour ajouter la fonction qui doit générer le *pdf* contenant les coordonnées du patient et du médecin, récupérer les résultats (énumérations questions, types questions, réponse patient, temps de réponse) et ainsi le mettre à la disposition du médecin.

Dans un premier temps nous allons aborder et voir le fonctionnement du site, puis nous allons voir comment voir les différentes expériences que les tests nous donnent et donc ainsi comment les récupérer. Une fois le site découvert, nous allons nous pencher sur les tests et voir le contenu du format zip des tests et voir comment est implémenté un test et ainsi par la suite on pourra s'en servir du test récupéré pour créer nos propres tests à l'aide de l'environnement du site.

1. Découvert du site d'échantillons de tests psychologiques

Ce site est une boîte à outils gratuite pour la démonstration, la programmation et l'exécution d'expériences et d'enquêtes cognitives-psychologiques, y compris des tests de personnalité. Les avantages que possède ce site sont :

- Il permet la conception et l'exécution d'expériences ou de sondages en ligne (basés sur navigateur) ou hors ligne,
- La collecte, le stockage, l'analyse et le téléchargement de données en ligne,
- Interface d'enquête multilingue (l'anglais, l'espagnol, le français, l'allemand etc...),
- Idéal pour les projets de recherche étudiants et professionnels (c'est bien notre cas),
- Idéal pour soutenir l'enseignement de la psychologie cognitive ou de la personnalité,
- Développement rapide possible grâce à des questionnaires et des expériences de la grande bibliothèque,
- Non commercial et gratuit ce qui peut nous aider en tant qu'étudiant,
- Réalisé pour et par des universitaires,
- Les données sont hébergées par un centre de données professionnel fiable,
- Il utilise des ressources de logiciels libres,
- Version basée sur Lab pour Linux avec prise en charge de claviers spéciaux (Cedrus, BlackBox, etc.).

Sans même trop rentrer dans le détail du site, on va s'intéresser aux parties du site qu'on va utiliser majoritairement dans nos prochaines étapes de la mise en place des tests.

La première est la librairie des expériences (tests). Dans ce composant du site, existe un bon nombre de tests psychologique qui peuvent être parcouru et exécuter dans le navigateur sans aucun autre logiciel ou aucune autres technologies requises pour lancer une démo des tests. On peut aussi

récupérer les tests au format zippé comme citer précédemment. La deuxième est le Web Based/Login qui est l'environnement web gratuit pour concevoir / exécuter des expériences en ligne et des questionnaires qui vont s'exécuter dans notre navigateur, sans plugins et sans logiciel supplémentaire. Il est nécessaire d'abord de créer un compte psytoolkit totalement gratuit et après en utilisant ce compte nous pourrons programmer et exécuter des expériences en ligne, partager ses derniers avec d'autres utilisateur de l'environnement et plein d'autre fonctionnalités que nous n'aura pas besoin de les utilisées dans notre cas.

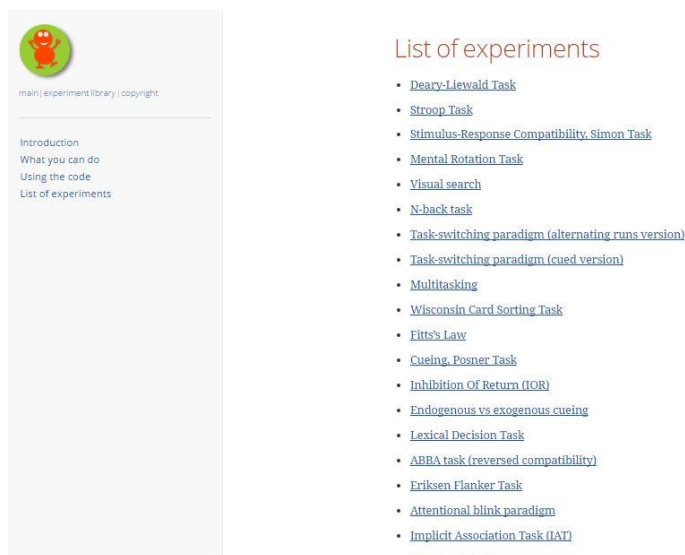


Fig7. Listes des expériences (tests)

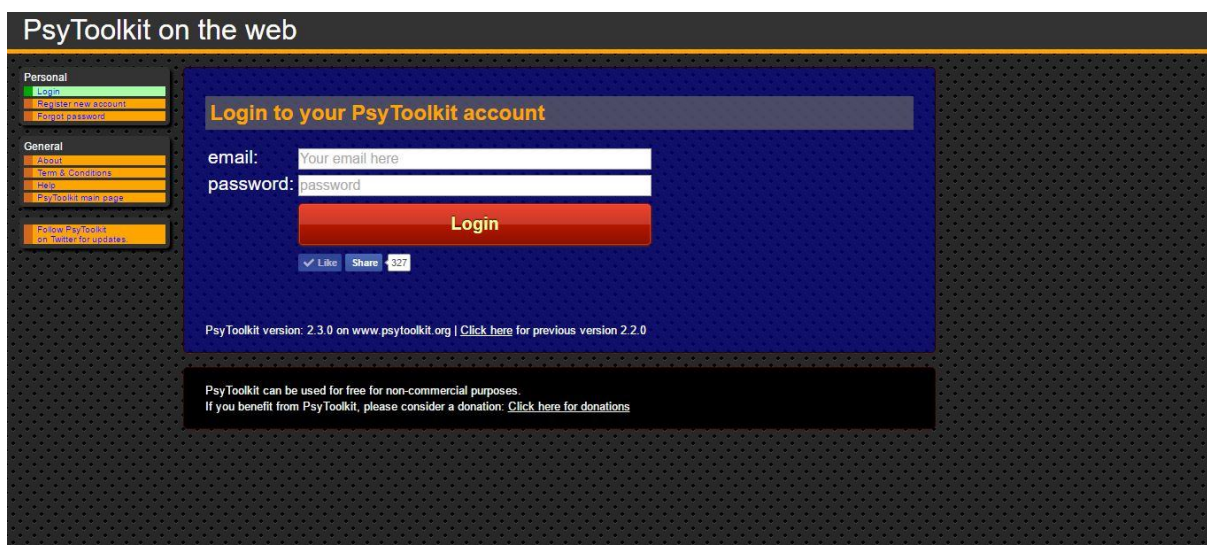


Fig8.: Environnement dédié à la gestion des tests.

2. Les tests du Psytoolkit.

Une longue liste d'expériences psychologique est dans le site. Les deux tests auquel on va s'intéresser sont le 'Mental Rotation Task' et le 'N-Task' qui sont expliqués précédemment dans le chapitre 1. On cliquant sur le test en question sur le site, on va être redirigé vers la page contenant une brève description du test, une démo pour faire marcher le test dans le navigateur sans avoir besoin d'autre technologie, une brève explication des données générées après le test et la section qui va permettre d'avoir le fichier zip du test pour les utilisateurs du site et qui dispose déjà d'un compte. Le test est directement téléchargé dans le dossier par défaut de l'ordinateur. Le contenu de ce fichier est principalement de 4 :

Un premier fichier qui contient un exemple d'analyse des données du test après le passage du test par un quelconque patient ou utilisateur. Cet exemple de résultat est celui du même format que celui qui doit être généré pour permettre au médecin d'évaluer son patient.

```

1 training 0 1 1252 1
2 training 1 1 875 1
3 training 2 1 1316 1
4 training 3 0 1502 1
5 training 4 1 1004 1
6 test 5 1 4814 2
7 test 6 1 2301 1
8 test 7 0 2686 1
9 test 8 0 2229 1
10 test 9 0 16168 1
11 test 10 1 2261 1
12 test 11 0 2974 1
13 test 12 1 1509 1
14 test 13 1 6012 1
15 test 14 0 5551 2
16

```

Fig9. Exemple de fichier « .data ».

Un deuxième fichier est le plus important et c'est le fichier avec l'extension 'psy' qui est développé par le site et qui est le programme cœur du test. Il contient les variables (questions et réponses correctes ou fausses) qui sont déclarées tout au début du programme et contient aussi le tableau qui va permettre la mise en place des questions les unes après les autres. Ce fichier contient également la méthode qui va permettre de permuter les réponses

correctes et ne va pas laisser la réponse correcte soit droite ou à gauche seulement. Les autres méthodes qui sont décrites sont : celle qui permet de limiter le temps de réponse à 2000ms, celle qui va permettre de gérer les consignes, celle qui va s'occuper de générer un tableau récapitulatif.

```

1 options
2   window
3   mouse on
4   escape
5   bitmapdir stimuli
6
7   bitmaps
8     instructions
9     instruction2
10    correct
11    incorrect
12    training
13    readyforreal
14    thatwasit
15    # now the actual stimuli
16    target1
17    target2
18    target3
19    target4
20    target5
21    target6
22    target7
23    target8
24    target9
25    target10
26    target11
27    target12
28    target13

```

Fig10 : Exemple du contenu du fichier ".psy"

Le troisième fichier contenu dans ce zip est un petit programme écrit en R et qui va s'occuper de fournir le résultat qui va être généré à la fin par le programme.

```

1 data = read.table("example.data")
2 colnames( data ) = c( "block" , "row" , "position" , "rt" , "status" )
3
4 correct = data[,"status"]==1
5 responsetime = data[,"rt"]
6
7 selection = c(rep(F,5),rep(T,10)) # select last 10 trials
8
9 cat( paste( sum ( correct[ selection ] ) , "correct out of 10\n" ) )
10
11 cat( paste(
12     "Mean response time (and SD) in the last 10 trials (correct ones only):",
13     mean( responsetime[ correct & selection ] ),
14     sd( responsetime[ correct & selection ] ) ) )
15
16 cat ( "The binomial test is excellent to check whether performance is different from chance level\n" )
17
18 print( binom.test( sum ( correct[ selection ] ) , 10 ) )
19

```

Fig11 : Exemple du contenu « .R ».

Le quatrième est un dossier qui contient tous les images nécessaires au bon fonctionnement du test.

3. Utilisation des tests à l'aide de l'environnement Psytoolkit.

Tout d'abord on doit créer un test pour pouvoir utiliser cette fonctionnalité du site. C'est totalement gratuit et rapide et peut être utilisé pour n'importe quelle fin. Après avoir créé notre propre compte Psytoolkit, on va voir l'interface suivant :

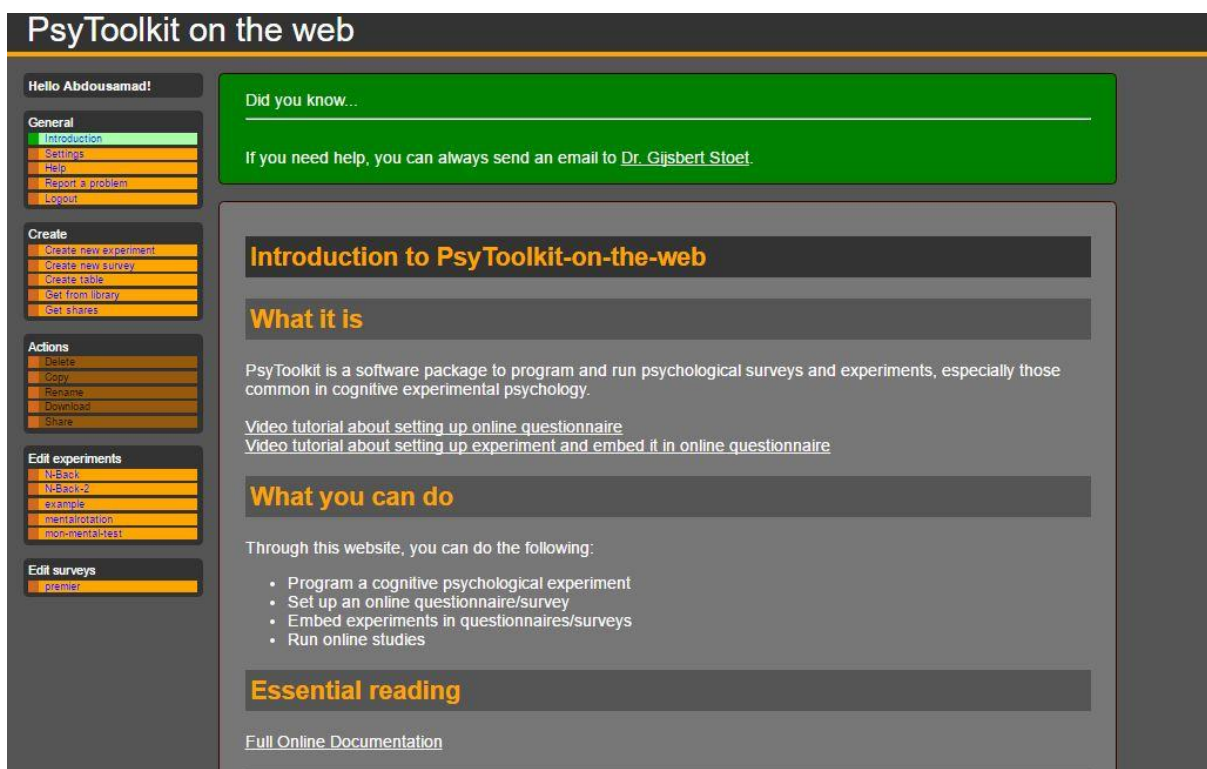


Fig12 : Interface Compte Psytoolkit

On voit bien dans la figure 6 qu'il y un menu à gauche. Ce menu est en 5 sous partie. Une première inutile « General » et qui sert à introduire, expliquer données des aides et déconnecter l'utilisateur. La deuxième section est inutile « create ». Comme son nom l'indique c'est la partie pour créer des nouveaux tests ou des nouveaux sondages (oui le site permet aussi la création des sondages et contient des sondages aux préalables aussi). La troisième partie s'occupe des actions (supprimer, copier, renommer, télécharger ou partager) qui peuvent être mené sur les tests ou sondages créer. La quatrième et la cinquième partie sont les



parties consacrées à l'édition respective des tests (expériences) et des sondages qui ont été créés dans le deuxième sous menu.

Pour créer nos propres tests, on va aller dans la section « create » et on va dire « create new experiment ». On a deux méthodes de création de test. La première consiste à créer une nouvelle expérience de A à Z et la deuxième méthode consiste à charger un fichier au format zip dans la plateforme. Ce dossier zip consiste à un test soit déjà implémenté par la personne elle-même soit un test télécharger depuis la librairie des expériences. Dans notre cas on va utiliser la deuxième méthode et ainsi charger les tests qu'on a récupérés depuis la librairie à savoir le « Mental Rotation Task » et le « N-Back Task ».

Dans la suite, après avoir chargé le test, on peut modifier, rajouter des nouvelles questions supplémentaires, changer le temps de réponse exigé et faire plein d'autres trucs qu'on pouvait ne pas faire depuis la plateforme principale du site. Celle-ci va nous permettre d'utiliser les mêmes tests mais tout en les adaptant à notre manière et à nos attentes. On peut après avoir fait toutes les modifications nécessaires (on doit préciser que les images après téléchargement de la version offline sont sous le format 64 bit) compiler le programme pour voir si tout est bien correcte. On va ensuite exécuter le code et pouvoir voir le résultat de nos modifications. Il faut bien noter que si on veut ajouter des questionnaires supplémentaires, il faut aussi ajouter les images nécessaires dans le dossier correspondant avant de charger le fichier zip.

Après avoir finalisé, si tout fonctionne bien on peut maintenant se procurer le code source « script » pour le faire fonctionner en local, dans un autre site web ou même l'utiliser lui tout seul en fonction des attentes du demandeur. Pour cela on a plus qu'à cliquer sur le bouton « Download for running offline ». On va faire plein de retouche sur le code qu'on a pu avoir depuis les modifications sur l'environnement Psytoolkit. On a par exemple évité que l'utilisateur (patient) puisse avoir son résultat directement mais que ce dernier l'envoie au médecin en cliquant sur un bouton de validation à la fin du test. On a aussi ajouté des fonctions pour pouvoir gérer la connexion entre notre application et la partie test. On a aussi fait une méthode pour sauvegarder le résultat du test dans le serveur et ainsi générer ce dernier dans l'interface du médecin.

V. Une petite démonstration

Cette partie dénombre la présentation des Scénarios applicatifs de l'application. Nous allons présenter dans ce qui suit, les imprimés-écran des principales interfaces réalisées dans notre application web :

Page d'authentification :

Lors du premier lancement, une interface présentant le nom et l'objet d'application avec le logo, ainsi le formulaire d'authentification :





Fig13. Page d'authentification

Vue de tableau de bord du médecin :


Cette vue contient les informations sur les patients du médecin connecté ainsi que les trois actions suivantes :

 **Gérer** : qui permet de faire la modification des données d'un patient







 **Rotation mentale** : Il s'agit d'un lien en cliquant dessus, il nous permet d'afficher le résultat de test de rotation mentale qu'il a déjà effectué.


 **N-Back** : Il s'agit d'un lien en cliquant dessus, il nous permet d'afficher le résultat de test de N-Back qu'il a déjà effectué.






Aussi le médecin aura la possibilité d'ajouter des nouveaux patients à travers le bouton "ajouter un nouveau patient" en bas. A travers cette interface, le médecin aura la possibilité d'insérer les informations du nouveau patient.


Medecin ID: 191 / Nom: TIOUITCHI
Déconnexion

Vos patients

Identifiant	Nom	Prénom	Email	Téléphone	Adresse			
13	Jallouni	Ayoub	ayoubjallouni@gmail.com	078543654	2, rue Coty	 Gerer	 Rotation mentale	 N-Back
14	Anrouz	ayoub	anrouzayoub@gmail.com	0543634213	67, rue Edouard Corbière	 Gerer	 Rotation mentale	 N-Back

 Ajouter un nouveau patient

Copyright © 2017 | A.M.I (V1.0) | UFR Sciences et Technique du Havre

Fig14. Tableau de bord du médecin

Page d'insertion d'un nouveau patient :

Medecin ID: 188 / Nom: tioutchi

Déconnexion

Ajouter un nouveau patient

Email

Password

Confirmez le mot de passe

Prenom

Nom

Téléphone

Adresse

f t g+ p v

Copyright © 2017 | A.M.I (V1.0) | UFR Sciences et Technique du Havre

Fig15. Page d'insertion d'un nouveau patient

Résultat du test :

A fin que le médecin puisse récupérer le résultat du test effectué par un patient, on l'a stocké dans un fichier PDF :

ID médecin : 189
 Nom : samad
 Prénom : abdi
 Email : ok@ok.fr
 Téléphone : 0758228443
 Adresse : casimire de lavigne

Ψ PsychoTest Ψ

16/2/2017 à 22:33

Résultat du Test psychologique

Question	Type	Réponse	Durée en ms
1	entrainement	VRAI	748
2	entrainement	FAUX	462
3	entrainement	FAUX	1125
4	entrainement	VRAI	184
5	entrainement	FAUX	157
6	test	VRAI	776

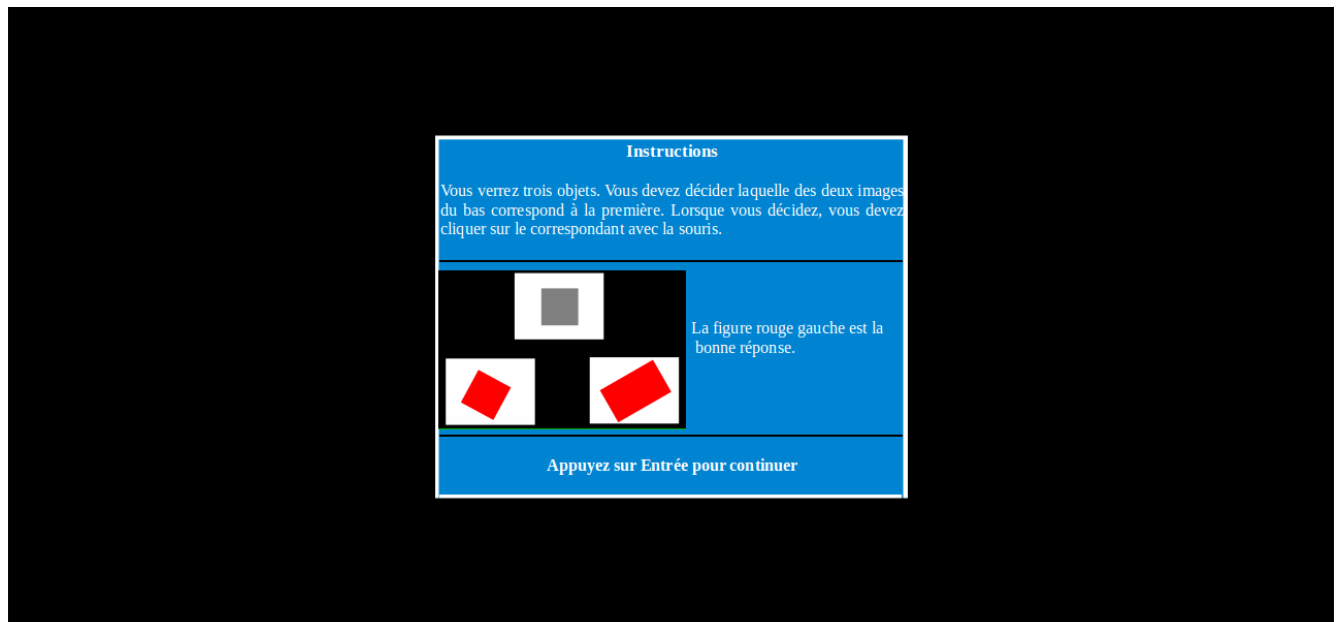
ID Patient : 3
 Nom : med
 Prénom : medi
 Email : medi@gmail.com
 Téléphone : 0758228443
 Adresse : adr

Fig16. Résultats d'un test



Exemple du test de rotation mentale :

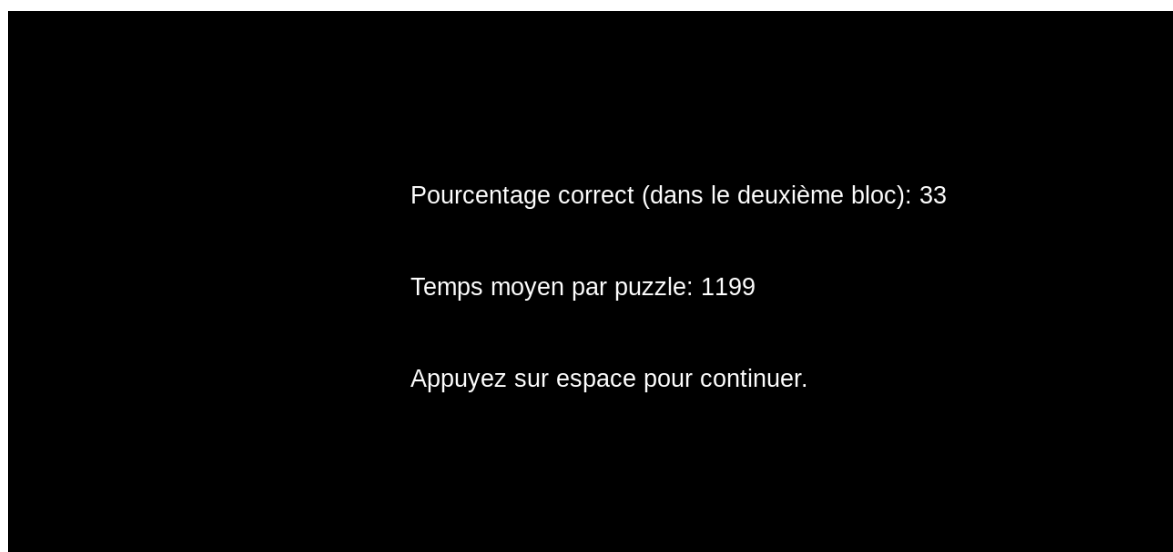
Une fois le patient a choisit le test qu'il souhaite passer (test de la rotation mentale ou test N-Back), l'interface suivante va être affichée.
Supposons qu'il a choisit le test de la rotation mentale.



Cliquez sur ce bouton pour lancer l'expérience dans la boîte noire au-dessus de ce bouton

Fig17. Console d'un test

Après avoir passé le test, le patient aura l'interface suivante :



Cliquez sur ce bouton pour lancer l'expérience dans la boîte noire au-dessus de ce bouton

Fig18. Fin de passage d'un test (pourcentage et temps moyen)

Pour que le patient puisse valider le test il doit appuyer sur espace, un bouton de validation va apparaître :

En cliquant sur le bouton “Validez le test” le fichier PDF qui contient le résultat du test doit être enregistré dans le serveur, et plus précisément dans le dossier TestPsycho/pdfs.

(Voir l'image ci-dessous)

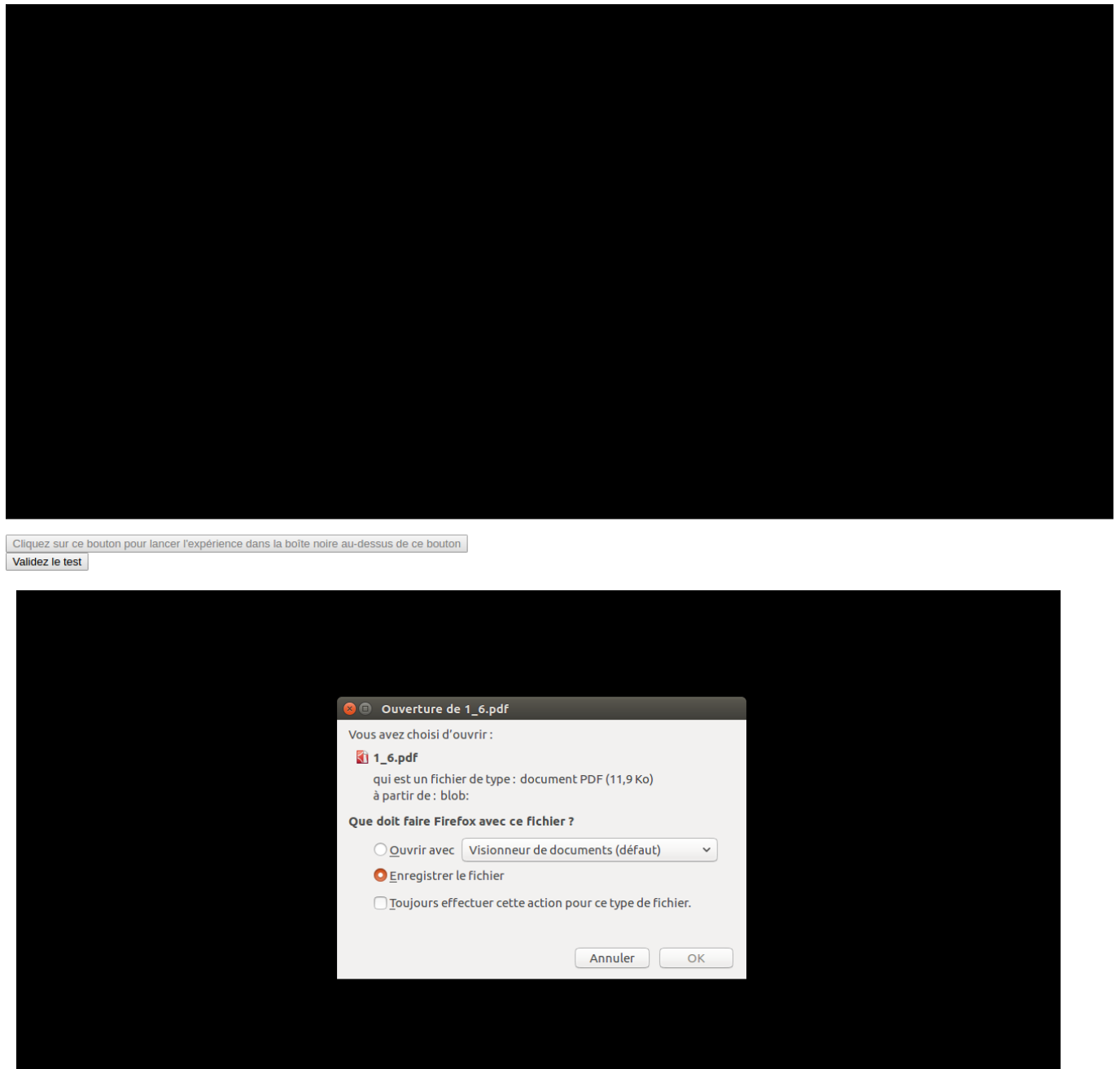


Fig19. Validation et enregistrement des résultats



Conclusion

Le projet de développement d'un serveur en JavaScript nous paraissait normal, mais aussi quelque chose de pas très différent de nos projets quotidiens habituels. Par contre toute la différence résidait dans le fait que ce projet était un projet purement réel dans le sens qu'on doit rendre un résultat au client (d'ailleurs l'un de nous doit se déplacer pour mettre l'outil dans le système de la cliente).

Pour le moment, on a réussi à finaliser une première version comportant deux tests psychologiques (test de rotation mentale et test N-Back) avec la présence de l'encadrant et de la cliente, qui nous ont donné de l'inspiration, de l'aide et du temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer tout au long la réalisation de ce projet et sans eux ce projet n'aurait jamais vu le jour .

D'une manière globale, nous avons touché l'essentiel du projet en utilisant l'environnement de Psytoolkit qui est très riche et qui nous a facilité l'implémentation des tests d'une bonne manière, ainsi nous avons essayé de rendre le codage de l'application facilement accessible pour pouvoir être modifié et adapté, ce qui facilite l'implémentation de nouveaux tests en s'inspirant des autres tests déjà implémentés.

Nous sommes arrivés à la fin de ce rapport que nous espérons enrichissant pour nous et pour tous ceux qui le consultent et qui résume ce travail rigoureux et acharné.

Bibliographie :

- AngularJS, « Data Semantics ». Data Base Management, North Holland, 1974.
- ACSIOME, Modélisation dans la conception des systèmes d'information, Masson, 1990.
- ASTRAHAN Miloud et al., « System R: Relational Approach to Database Management », ACM Transactions on Database Systems, Vol.1, N° 2, 1976.
- ABITEBOUL Slifan, R. HULL, « IFO: A Formal Semantic Database Model System », ACM Transactions on Database Systems, Vol. 12, N° 4, 1987.
- ADIBA, COLLET, Objets et Bases de données, le SGBD O2, Hermès, 1993.
- AKOKA, COMYN-WATIAU, Conception des bases de données relationnelles, Vuibert 2001, et cycle URL : http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Cycle_en_V/fr-fr/.
- AngularJS, Documentation licensed under [CC BY 4.0](#), (Consulté le 25/01/2017)
URL: <https://angularjs.org>.
- D. Fournier, Cours PHP, (Consulté 25/01/2017).
URL: <http://litis.univ-lehavre.fr/~fournier/PHP/coursPHP.php>
- GNC « German Neuroscience Center Dubaï », (Consulté 25/01/2017).
URL : <http://www.gncdubai.com/treatments/psychiatric-neuro-psychology/>
- Heidiwriting, «Tag Archives for Pain scale», (Consulté 30/01/2017).
URLs: <https://heidiwriting.wordpress.com/tag/pain-scale/> & <http://cognitivefun.net/test/4>
- LIBERTOX, « © Conseil de la Nation Atikamekw », (Consulté 25/01/2017).
URL: <http://www.libertox.com/wp-content/uploads/2011/10/Cerveau-4.png>
URL : http://www.libertox.com/?page_id=125
- Marc LEJEUN et Christian DECKER, « Livre Capacités de rotation mentale »
URL : http://www.persee.fr/doc/psy_0003-5033_1994_num_94_1_28733
- PhpMyAdmin : URL : <http://www.phpmyadmin.net/>, (Consulté le 25/01/2017)
- SOUTOU Christian, Livre UML pour les bases de données
URL: <http://www.essai.rnu.tn/Ebook/Informatique/uml2pourlesbasesdedonnees.pdf>,
Éditions Eyrolles (Consulté le 21/05/2014)
- TIMOTHY Jhon Berners-Lee: Inventeur de World Wide Web Consortium
URL: <http://www.w3.org/>, (consulté le 25/01/2017).
- VALDURIEZ, « Objets complexes dans les systèmes de bases de données relationnels », Techniques et science informatique, Vol. 6, N° 5, 1987.
- WONG, K. YOUSSEFI, « Decomposition Strategy for Query Processing », ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, N° 3, 1978.
- Yoann PIGNE, Cours du Web, (Consulté le 25/01/2017).
URL: <http://pigne.org/teaching/index.html>



Annexes:

Involvement of rostral prefrontal cortex in selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought

Sam J. Gilbert,¹ Christopher D. Frith² and Paul W. Burgess¹

¹Institute of Cognitive Neuroscience and Department of Psychology, University College London, 17 Queen Square, London WC1N 3AR, UK

²Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, University College London, 12 Queen Square, London WC1N 3BG, UK

Keywords: area 10, executive function, fMRI, task switching

Abstract

We used functional magnetic resonance imaging to investigate brain activity while healthy subjects performed three different tasks, each of which alternated between: (i) phases relying on stimulus-oriented thought (i.e. cognitive processes provoked by incoming sensory information); and (ii) phases relying on stimulus-independent thought (i.e. cognitive processes that were not related to any information in the immediate sensory environment). Within each task, the two phases were matched as closely as possible. In all three tasks, lateral rostral prefrontal cortex was transiently activated by a switch between stimulus-oriented and stimulus-independent thought (regardless of the direction of the switch). Medial rostral prefrontal cortex consistently exhibited sustained activity for stimulus-oriented vs. stimulus-independent thought. These results suggest the involvement of rostral prefrontal cortex in selection between stimulus-oriented and stimulus-independent cognitive processes.

Introduction

A basic distinction may be drawn between stimulus-oriented cognitive processes (i.e. cognition provoked by incoming sensory information, or oriented towards something to be experienced through the senses) and stimulus-independent cognitive processes (i.e. cognition that is decoupled from all external stimuli; McGuire *et al.*, 1996; Burgess *et al.*, 2005a,b). Examples of the former type of process might include inspecting or looking for something; examples of the latter type of process might include imagining an event that is unrelated to one's current sensory environment or novel creative thought. It is important that we are able to select voluntarily between engaging in these two types of process, as the same neural systems may participate in both (e.g. Kosslyn *et al.*, 1995; Farah, 2000; O'Craven & Kanwisher, 2000). However, the brain mechanisms involved in this form of selection have not been directly studied.

In the present study we employed functional magnetic resonance imaging (fMRI) to investigate this selection process, using a novel task-switching paradigm. In typical studies of task switching, subjects respond to a sequence of stimuli, alternating between two or more sets of stimulus–response rules (Monsell, 2003). However, in the present study, rather than alternating between stimulus–response rules, subjects alternated between phases where they based their responses on visual information, and phases where they based their responses (using the same task rules) on information that they generated themselves. In other words, subjects alternated between carrying out tasks provoked by stimuli presented to them visually, and doing the same tasks 'in their heads'. In such a design, selection between stimulus-oriented and stimulus-independent cognitive processes may take two forms: (i) sustained biasing of the balance between these two

types of process, depending on the current phase; and (ii) transient processes allowing subjects to switch from one mode to the other at the transitions between phases.

We focused particularly on rostral prefrontal cortex (PFC), approximating Brodmann's area (BA) 10, as previous studies have implicated this region in a wide variety of tasks that could be supposed to involve selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought (see Ramnani & Owen, 2004 for a review). For example, studies of episodic memory retrieval (Simons & Spiers, 2003) may require selection between stimulus-oriented processing of retrieval cues, and stimulus-independent evaluation of the information retrieved. Similarly, evaluating self-referential (Gusnard *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2002; Frith & Frith, 2003) or self-generated (Christoff & Gabrieli, 2000) information (i.e. focusing on information that may conflict with incoming sensory information) will depend crucially on this selection process. Paradigms requiring subjects to hold information in mind about one task ('task A'), whilst simultaneously processing stimuli related to a different task ('task B') (e.g. Okuda *et al.*, 1998; Koechlin *et al.*, 1999; Burgess *et al.*, 2001, 2003; Braver & Bongiolatti, 2002; Christoff *et al.*, 2003), will also require selection between the stimulus-independent processes related to task A and the stimulus-oriented processes related to task B. Thus, the hypothesis that rostral PFC is involved in selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought may potentially explain its role in a wide variety of cognitive tasks (Burgess *et al.*, 2005a,b).

Materials and methods

Subjects

There were 12 healthy right-handed subjects, aged 24–30 years (mean: 26 years; six females). All provided written informed consent before taking part.

Correspondence: Dr S. J. Gilbert, as above.

E-mail: sam.gilbert@ucl.ac.uk

Received 20 September 2004, revised 26 November 2004, accepted 11 January 2005

Experimental design and procedure

Three separate tasks were investigated. Each task alternated between 'external' and 'internal' phases, which were similar in terms of visual stimuli presented, cognitive operations required and responses produced. However, they differed in that subjects responded on the basis of visually presented information (i.e. stimulus-oriented cognition) during the external phases, and self-generated information (i.e. stimulus-independent cognition) during the internal phases, each phase being cued by the nature of the stimulus (Fig. 1). Between-task differences were maximized in order to obtain a wide sampling of cognitive operations across tasks, and the data were analysed with a conjunction approach (cf. Price & Friston, 1997) so that a region was declared significant for a particular contrast only if it exhibited significant activations for each of the three tasks. Thus, the activations reported below are unlikely to result from task-specific stimuli, cognitive operations, or types of response, as they were observed in all three tasks.

We used a hybrid blocked and event-related design, allowing us to examine both the sustained haemodynamic changes in the brain associated with performing the tasks in one or the other condition, and also the transient changes that occurred when subjects switched from one mode to the other (Visscher *et al.*, 2003). Of course, 'external' phases still required stimulus-independent thought in the sense of the cognitive operations required to perform the tasks. Thus, both external and internal phases required some degree of stimulus-independent thought. However, whereas the external phases additionally required subjects to attend to visually presented information, the internal phases required stimulus-independent thought alone. To ensure that subjects would be likely to withdraw attention from the visual display during the internal phases, we presented potentially distracting visual information during these phases. However, the stimuli presented during the internal phases were sufficiently dissimilar to those presented during the external phases that it was always clear which phase was currently taking place.

Stimuli were projected onto a mirror in direct view of the subjects, who responded by pressing buttons on a response pad with their right hand. There were three tasks. The screen background in all tasks was black. In Task 1, subjects were presented with a white circle, diameter $\sim 2^\circ$, with small red vertical marks at the '12 o'clock' and '6 o'clock' positions. During the external phase, a yellow 'clock hand' swept around the circle smoothly in a clockwise direction, passing one of the red marks once per second. Subjects were instructed to press a response button every time the yellow clock hand passed one of the red marks. During the internal phase, the clock hand became purple and turned in an anticlockwise direction, passing one of the red marks every 300 ms. In this phase, subjects were asked to continue pressing the response button at the same rate as they had in the external phase, rather than responding on the basis of the visual display. At a switch between the external and internal phases, the clock hand started from the position of one of the two red marks, chosen randomly.

In Task 2 (external phase) subjects repeatedly pressed one of two buttons, as if navigating around the edge of a complex shape in a clockwise direction, to indicate whether the next corner would require a left or a right turn. The stimulus presented during this phase was white, $\sim 7^\circ$ tall and wide, and shaped similarly to the outlines of the letters H and F placed adjacent to one another, with the vertical line between them removed (see Fig. 1). A red arrow at the top-right corner of the shape indicated the position from which to start, at the beginning of each scanning session. Following the first button-press response this arrow was removed. During the internal phase the shape was replaced by a similarly sized white 'thought-bubble' shape; subjects were asked to imagine the shape that was presented in the

external phase and continue navigating from their current position (see Brooks, 1968 for a related task).

In Task 3 (external phase), subjects classified capital letters by pressing one of three buttons, according to whether the letter was composed entirely of straight lines, entirely of curves, or out of a combination of straight lines and curves. Subsequent letters were presented immediately following each button press, forming a regular sequence that cycled through the alphabet, skipping two letters between each stimulus and the next. Stimuli were presented in white Arial typeface, $\sim 1^\circ$ tall and wide. During the internal phase these letters were replaced with alternating question marks and upside-down question marks. Subjects were asked to mentally continue the sequence from their current position in the alphabet, performing the same classification task for each internally represented letter. The first letter to be presented in each external phase was the appropriate continuation of the sequence, assuming that the sequence had been correctly maintained during the preceding internal phase (see Kosslyn *et al.*, 1985 for a related task).

Within each task, the external and internal phases alternated, each phase lasting between 3 and 54 s (mean: 11 s). Four event types were defined: 'External Switch', marking an internal-to-external phase transition; 'Internal Switch', marking an external-to-internal phase transition; 'External Stay'; and 'Internal Stay'. The latter two 'Stay' events took place during the external and internal phases, respectively, and were accompanied by a displacement of the stimuli by $\sim 1^\circ$ in a diagonal direction, without the requirement for subjects to shift from one phase to the other. The purpose of these events was to control for the momentary changes in the visual display at the transition points between external and internal phases. The order of the four event types was randomized, with the constraint that each event could be followed only by a 'Stay' event corresponding to the current phase (internal or external), or a 'Switch' event corresponding to the other phase. These two events were selected with 50% probability. For each event, a duration between 3 and 7 s was selected (from a uniform distribution). The subsequent event was triggered by the subject's next response after that interval had elapsed, leading to a mean interval between events of 5.8 s.

Scanning procedure

Subjects were familiarized with the tasks during a practice session lasting ~ 40 min, immediately before the scanning session. A 3T Siemens Allegra head-only system was used to acquire both T1-weighted structural images and T2*-weighted echoplanar (EPI) images [64×64 ; 3×3 mm pixels; echo time (TE), 30 ms] with BOLD contrast. Each volume comprised 32 axial slices (3 mm thick, separated by 1.5 mm), covering the whole brain. Functional scans were acquired during six sessions, each comprising 175 volumes (lasting ~ 6 min). Volumes were acquired continuously with an effective repetition time (TR) of 2.08 s per volume. The first seven volumes in each session were discarded to allow for T1 equilibration effects. Each task was performed for two of the six sessions, in an ABCBA order counterbalanced across subjects; each session began with an external task phase. Following the functional scans, a 12-min structural scan was performed.

Data analysis

fMRI data were analysed using SPM2 software (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/spm2.html>). Volumes were realigned, corrected for different slice acquisition times, normalized into 2-mm cubic voxels

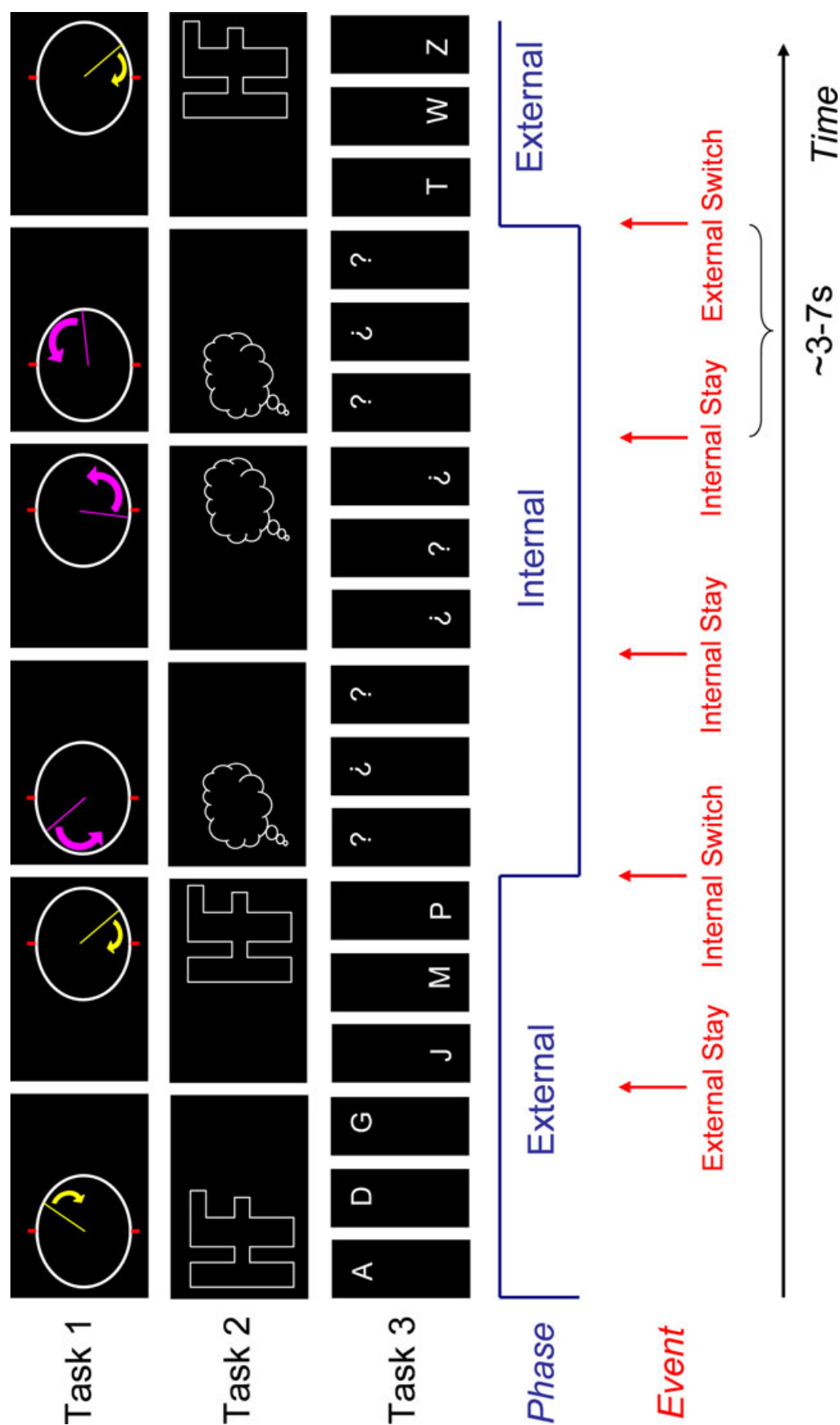


FIG. 1. Schematic representation of the three tasks.

using a standard EPI template based on the Montreal Neurological Institute (MNI) reference brain in Talairach space, and smoothed with an isotropic 8-mm, full-width, half-maximum Gaussian kernel. The volumes acquired during the six sessions were treated as separate time series. For each series, the variance in the BOLD signal was decomposed with a set of regressors in a general linear model (Friston *et al.*, 1995). Variance was decomposed into components associated both with sustained activity during the internal vs. external phases and transient activity related to the four event types. Because sustained and transient activity was modelled simultaneously, the two types of regressor only accounted for variance unique to each (Visscher *et al.*, 2003). Each event type was modelled with a pair of regressors, constructed by convolving a series of delta functions with a canonical haemodynamic response function (HRF) and the same function delayed by 3 s. The delta functions indexed the occurrence of each event. These regressors modelled event-related responses with two temporal components, referred to as 'early' and 'late' (Henson *et al.*, 2000). Sustained activity was modelled with a single boxcar regressor representing activity sustained throughout the internal phases of each run, convolved with a canonical HRF. These regressors, together with regressors representing residual movement-related artefacts and the mean over scans, comprised the full model for each session. The data and model were high-pass filtered to a cut-off of 1/128 Hz.

Parameter estimates for each regressor were calculated from the least mean squares fit of the model to the data. Effects of interest were assessed in a random effects analysis as follows. Linear contrasts of parameter estimates were performed separately for each task, averaging across the two sessions. Analyses of the event-related regressors averaged over the early and late components. The three resulting contrasts for each subject, one for each task, were then entered into a repeated-measures ANOVA, using non-sphericity correction (Friston *et al.*, 2002). Statistical parametric maps (SPMs) of the minimum *t* statistic across the three orthogonalized contrasts were generated; these SPMs were converted into SPMs of the *Z* statistic via associated *P*-values. Contrasts were thresholded at $P < 0.05$ corrected for multiple comparisons across the whole brain volume (i.e. each of the three contrasts was independently thresholded at the cube root of this value). Activations falling within BA 10, our *a priori* region of interest, were thresholded at $P < 0.05$ corrected for multiple comparisons across voxels in this region (as defined by the Brodmann map supplied with MRIcro: <http://www.mricro.com>; Rorden & Brett, 2000; $Z > 3.9$) if they did not survive a whole-brain corrected threshold. In the results below, only clusters of five or more contiguous voxels are reported.

Results

Behavioural data

Reaction times (RTs) outside the range 500–1500 ms in Task 1, and 250–5000 ms in Tasks 2 and 3 were excluded from the following analyses (leading to the exclusion of 2.6% of trials). The mean RTs and error rates for the trial following each of the four event types are presented in Table 1, separately for each of the three tasks. Initially the RT data were analysed in a 3 (Task) \times 2 (Phase: External/Internal) \times 2 (Switch: Stay/Switch) repeated-measures ANOVA. On average, RTs following Switch events were slower than those following Stay events ($F_{1,11} = 73$; $P < 0.001$), RTs following Internal events were slower than those following External events ($F_{1,11} = 34$; $P < 0.001$), and the difference in RT between Switch and Stay events was greater in the External than Internal phases ($F_{1,11} = 14$; $P < 0.001$). However, each of these effects was significantly modulated by Task

TABLE 1. Mean RTs and error rates for each of the event types, for each task

	External Switch	External Stay	Internal Switch	Internal Stay
Task 1				
RT	1019 \pm 8.3	990 \pm 4.1	1011 \pm 13.5	1000 \pm 17.1
Error (%)	0.6 \pm 0.6	1.1 \pm 0.5	3.9 \pm 1.4	5.4 \pm 1.7
Task 2				
RT	1590 \pm 181	1304 \pm 158	1363 \pm 153	1466 \pm 153
Error (%)	5.7 \pm 2.0	4.4 \pm 1.9	5.1 \pm 1.9	6.8 \pm 2.7
Task 3				
RT	1660 \pm 140	1041 \pm 73	2592 \pm 113	2043 \pm 142
Error (%)	3.3 \pm 1.0	2.4 \pm 1.1	3.8 \pm 1.1	5.3 \pm 2.4

Data are presented as mean \pm SEM.

($F_{2,10} > 9$; $P < 0.01$). The effect of Phase was not consistent across tasks, as responses following Internal events were slower than those following External events in Tasks 1 and 3, but faster in Task 2. The effect of Switch and the Phase \times Switch interaction were in the same direction for each task, but differed reliably in magnitude.

In Task 1, a response was counted as 'correct' if it fell within 200 ms of the correct time for that response. In Task 2 it was not possible to assess each response individually for accuracy (as there was no external marker for the subject's position on the edge of the shape), so accuracy was coded by investigating consecutive, overlapping sequences of four responses, to see if they were valid sequences of responses in the task. By chance this procedure should yield 56% accuracy, as only nine of the 16 possible four-response sequences were valid in this task. The proportion of correct responses was significantly greater than this chance level in all conditions ($t_{11} > 13$, $P < 0.001$). Post-error trials were excluded from the analysis of the Internal phases of Task 3, so that an error on one trial was not propagated to subsequent trials. Error data were analysed in a 3 (Task) \times 2 (Phase) \times 2 (Switch) repeated-measures ANOVA. The only reliable effect was a Task \times Phase interaction ($F_{2,10} = 5$; $P < 0.05$), reflecting a significant difference in accuracy between the two phases in Task 1 ($F_{1,11} = 9$; $P < 0.05$), but not in Tasks 2 or 3 ($F_{1,11} < 2$; $P > 0.3$).

Functional imaging data

First, sustained activity during the internal and external phases was compared. No regions were significantly more active during internal than external phases, in the conjunction across the three tasks. The reverse contrast revealed several regions consistently more active during the external than internal phases, the most significant being a superior rostral medial frontal (hereafter 'rostromedial PFC') region (peak: 0, 64, 26; BA 10, extending superiorly into BA 9). Additional activations were located in more posterior medial frontal regions, parietal cortex, posterior cingulate and cerebellum (Table 2).

Next, we investigated transient activity related to the transitions between the two phases by subtracting activity related to the Stay events from that related to the Switch events. There were activations in bilateral superior parietal cortex (BA 7), right dorsolateral PFC (BA 9/46) and right lateral frontal pole (hereafter 'rostrolateral PFC'; BA 10; see Fig. 2). It should also be noted that similar regions of left dorsolateral and rostrolateral PFC showed significant activations at a more liberal threshold of $P < 0.001$ uncorrected (dorsolateral: -34, 46, 32; extent: 44 voxels; $Z_{\max} = 3.87$; rostrolateral: -34, 54, 8; extent: 6 voxels; $Z_{\max} = 3.24$), so the present results do not necessarily entail a functional dissociation between left and right prefrontal regions.

TABLE 2. Regions showing significant differences in BOLD signal between conditions

Region	BA	Hemisphere	x	y	z	P*	Z _{max}	Voxels (n)
External–Internal (sustained)								
Medial frontal cortex	10/9	–	0	64	26	< 0.001	6.4	102
	10/32	R	8	50	8	0.001	5.7	26
	6	L	–6	–8	74	< 0.001	5.9	50
Medial parietal cortex	7	L	–6	–46	74	0.001	5.8	44
Lateral parietal cortex	7	L	–28	–54	64	0.004	5.5	17
	40	R	52	–54	46	0.02	5.1	17
	7	R	28	–56	58	0.001	5.8	52
Posterior cingulate	23	–	0	–54	18	0.018	5.2	6
Cerebellum	–	–	0	–72	–16	0.003	5.6	13
	–	R	4	–76	–38	0.02	5.1	5
Switch–Stay (transient)								
Frontal pole	10	R	34	60	4	0.029†	4.1	8
Dorsolateral prefrontal cortex	9/46	R	36	46	30	0.007	5.3	11
Lateral parietal cortex	7	R	30	–56	62	< 0.001	6.3	126
	7	L	–38	–56	60	0.001	5.7	32

Coordinates refer to the Montreal Neurological Institute reference brain. BAs are approximate. *Corrected for multiple comparisons across all brain voxels.

†Corrected for multiple comparisons across all voxels in BA 10.

A follow-up analysis investigated whether the regions activated by the Switch–Stay contrast were differentially activated by transitions from external to internal phases, vs. transitions in the reverse direction. For each of the four regions listed under ‘Switch–Stay’ in Table 2, parameter estimates related to the four event types were entered into a 3 (Task) \times 2 (Phase: External/Internal) \times 2 (Switch: Stay/Switch) repeated-measures ANOVA. In all four regions there was a reliable effect of Switch ($F_{1,10} > 13$, $P < 0.005$). However, neither the Phase \times Switch nor the Task \times Phase \times Switch interaction was significant in any of the regions ($F_{1,10} < 2$, $P > 0.19$). Thus, the results suggest that bilateral superior parietal cortex, right dorsolateral PFC and right rostrolateral PFC are involved in switching between stimulus-oriented and stimulus-independent cognitive processes, regardless of the direction of the switch.

We next investigated whether the difference in results between the rostromedial PFC region (showing a sustained difference in activity between the two phases) and the rostrolateral PFC region (showing transient activation at the point of a switch between the two phases) represents a genuine double dissociation between the roles of these two regions (Shallice, 1988), rather than being a thresholding artefact. The peak signal change associated with each contrast was extracted from the two regions, separately for each task, and entered into a 2 (Region: rostrolateral/rostromedial) \times 2 (Contrast: Switch–Stay/External–Internal) repeated-measures ANOVA. The Region \times Contrast interaction was reliable in all three tasks ($F_{1,11} > 5.8$; $P < 0.035$ in each task). Moreover, all three were crossover interactions (see Fig. 2C). Thus, the double dissociation was confirmed statistically in all three tasks, and could not be caused by one region being generally more responsive than the other, or by one contrast being generally more likely to elicit signal change than the other.

Finally, we investigated whether the rostrolateral and rostromedial PFC activations in this study could be attributed to task difficulty effects related to differences in RTs and error rates between conditions. First we investigated whether signal change in the rostrolateral PFC region activated by the Switch–Stay contrast mirrored the between-task differences in the behavioural data. The increase in RT for Switch vs. Stay events ranged from 20 ms in Task 1 to 583 ms in Task 3 (Task \times Condition interaction: $F_{2,10} = 80$; $P < 0.000001$). However, the corresponding increase in signal in rostrolateral PFC did not differ reliably between tasks ($F_{2,10} = 1$; $P > 0.3$), despite being significant in each ($F_{1,11} > 7$; $P < 0.022$ for each task). Thus, whereas the

magnitude of the RT difference between Switch and Stay events differed ~ 30 -fold between tasks, the magnitude of the difference in BOLD-signal between Switch and Stay events was relatively constant. It is therefore implausible to suggest that the rostrolateral PFC activation for the Switch–Stay contrast was simply a by-product of the slower RTs for Switch than Stay events. This conclusion was further supported by a re-analysis of the data including additional regressors representing the parametric modulation of each event by RT. In this analysis the subtraction of Switch–Stay was still significant in right rostrolateral PFC (peak: 32, 60, 4; extent: 5 voxels; $Z_{\max} = 4.0$). No regions were reliably associated with faster RTs. Slower RTs were associated with activity in a single region of right ventrolateral PFC (peak: 50, 42, –8; extent: 16 voxels; $Z_{\max} = 5.8$; BA 47). Even at an extremely liberal threshold of $P < 0.05$ uncorrected, there was no reliable association between RT and activity in the rostrolateral PFC region identified in the original analysis (34, 60, 4).

We next investigated whether the rostromedial PFC activation for the External–Internal contrast could simply reflect the greater ‘easiness’ of the External phases. The rostromedial PFC signal change associated with this contrast did not differ reliably between tasks ($F_{2,10} < 1$), despite being significant in each ($t_{11} > 3.1$; $P < 0.01$ for each task). However, while the behavioural data in Task 3 suggested that responses in the Internal phases were 967 ms slower than those in External phases, and 2% more error prone, the data in Task 2 suggested that responses in the Internal phases were 33 ms faster than in the External phases, and the difference in error rates between the two phases was below 1%. Thus, the behavioural data varied greatly between tasks, and in at least one task there was no consistent pattern suggesting a difference in difficulty between phases, yet the BOLD signal change associated with the External–Internal contrast did not differ reliably between tasks.

We additionally investigated whether signal change in the rostrolateral and rostromedial PFC regions was reliably correlated with between-subject differences in the behavioural data (i.e. whether subjects showing large behavioural effects showed correspondingly large BOLD signal effects). This analysis was conducted separately for the three tasks. Signal change in the rostromedial PFC region related to the External–Internal contrast was not reliably correlated in any task with either the difference in RTs or in error rates between these two conditions, and nor did these correlations even have a consistent sign across tasks ($-0.50 < r < 0.49$; $P > 0.05$). Similarly,

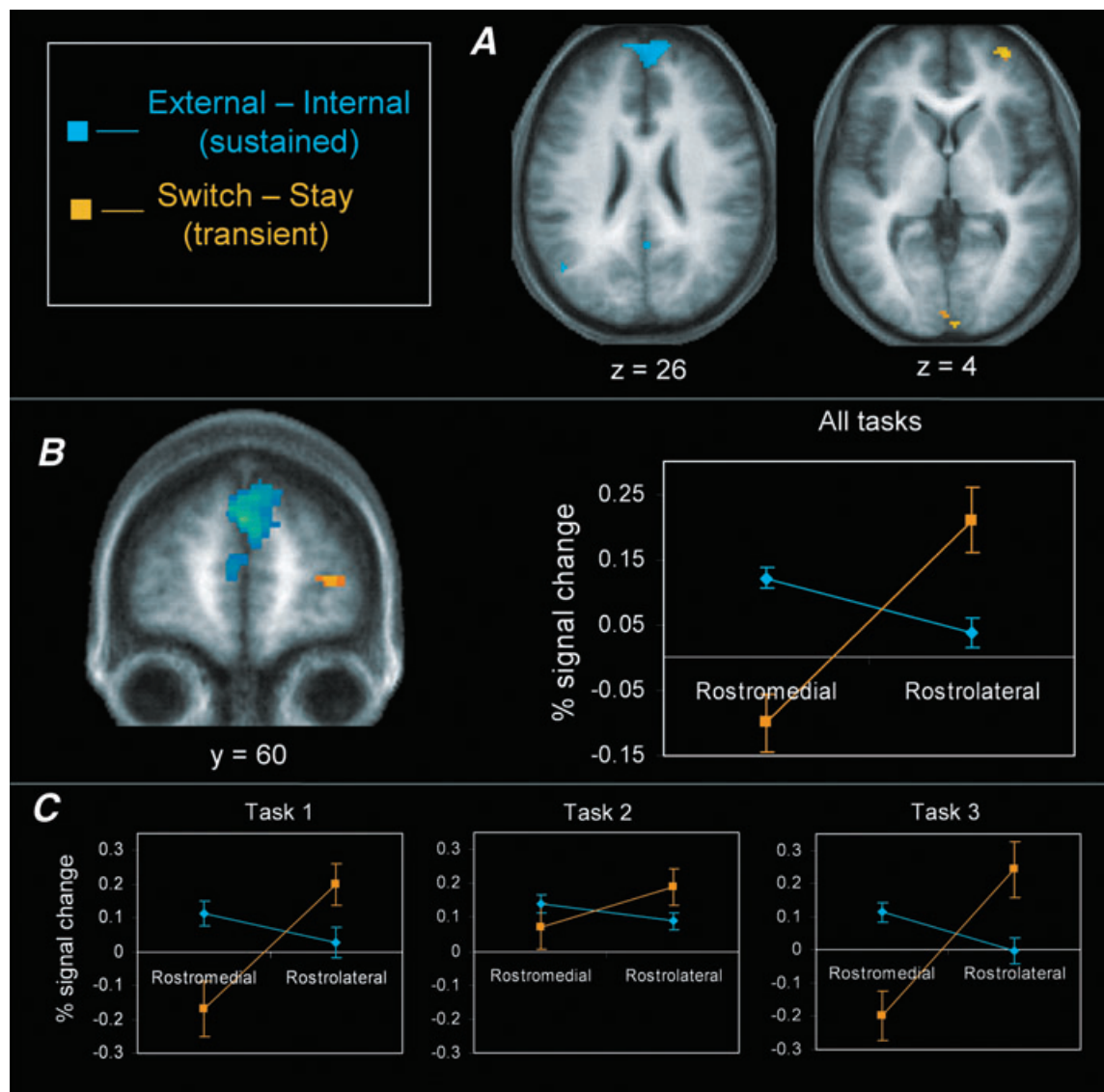


FIG. 2. (A) Areas of activation for the contrasts External-Internal (left) and Switch-Stay (right), plotted separately on axial slices of the averaged normalized structural scan of the 12 subjects. (B) Double dissociation between the rostrolateral and rostromedial PFC regions. Left image shows the two contrasts plotted together on a coronal slice of the mean structural scan. Right graph plots peak signal change related to each contrast in the two regions, averaged across subjects and tasks. (C) Signal change plotted separately for each task. All images follow neurological convention (left/right not flipped). For illustrative purposes, contrasts were thresholded at $P < 0.0001$ uncorrected, extent threshold: 5 voxels. Note: even at this relatively liberal threshold there were no areas of activation for the contrast of Internal-External. Error bars in graphs show standard errors.

signal change in the rostrolateral PFC region related to the Switch-Stay contrast was not reliably correlated with the difference in RTs or error rates between these two conditions ($-0.35 < r < 0.31$; $P > 0.2$). Thus, it is not possible to attribute the rostrolateral and rostromedial PFC activations in the present study simply to differences in difficulty between conditions, as indexed by RTs and error rates.

Discussion

Consistently, across three quite different tasks, phases that involved both stimulus-oriented and stimulus-independent thought ('external' phases) were associated with sustained activity in rostromedial PFC, compared with phases of the tasks requiring just stimulus-independent thought ('internal' phases). A right rostrolateral PFC region was functionally dissociable from this rostromedial PFC region, consistently

showing transient activation at the point of a switch between the internal and external phases. Thus, the results of this study suggest the involvement of rostral PFC in tasks requiring selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought (Burgess *et al.*, 2005a,b), with dissociable roles of lateral and medial subregions (Simons *et al.*, 2005a,b). This functional dissociation is consistent with the existence of cytoarchitectonic variation between lateral and medial regions of human BA 10 (Petrides & Pandya, 1999).

There are three obvious questions one might ask about the pattern of results presented here. This first is whether the results might be due to differences in 'task difficulty' between conditions. The second is whether the results might reflect differences between the internal and external phases in the requirement for rehearsal or maintenance of information (i.e. 'working memory'), or inhibition of conflicting information. The third concerns the degree to which the brain systems

identified here might overlap with those involved in conventional task switching paradigms, involving switching between various sets of stimulus–response mappings, rather than switching between stimulus-oriented and stimulus-independent versions of the same task.

As we have seen, there is little support in the present data for an explanation of rostral PFC activity in terms of the difficulty of the various conditions. Signal change in rostromedial PFC was unrelated to behavioural differences between the internal and external phases, and signal change in rostrolateral PFC was unrelated to the behavioural cost of switching between the two phases. Thus, these activations cannot be attributed simply to task difficulty, as indexed by RTs and error rates. The lack of association between signal change in rostrolateral PFC and the behavioural cost of task switching would be consistent with previous studies suggesting that ‘switch costs’ may be a poor indicator of the time taken by the control processes responsible for actually implementing a switch of task (Allport *et al.*, 1994; Allport & Wylie, 2000; Altmann, 2002; Gilbert & Shallice, 2002; Yeung & Monsell, 2003; Gilbert, 2005).

An explanation of the present results in terms of different working memory or inhibition demands between the two phases may also be dismissed. There were no reliable activations associated with the internal phases (contrasted with the external phases), even at an uncorrected statistical threshold (Fig. 2). Rather, greater activity was associated with the external phases of the tasks. If anything, these phases had reduced rehearsal or maintenance demands, as task-relevant information was perceptually available, and reduced inhibition demands as this perceptual information, being task-relevant, did not have to be ignored. Thus, it is implausible to suggest that the activations related to the External–Internal subtraction could be a product of differing working memory or inhibition demands between the two phases.

We now turn to the issue of overlap between the brain systems identified here and those involved in conventional task-switching paradigms. The regions that showed transient activity when subjects switched between stimulus-oriented and stimulus-independent thought – right rostrolateral PFC, right dorsolateral PFC and bilateral superior parietal cortex – have all been implicated in previous studies of task switching (e.g. DiGirolamo *et al.*, 2001; Dreher *et al.*, 2002; Braver *et al.*, 2003; see also Rushworth *et al.*, 2002). This suggests some commonality between the processes involved in conventional task-switching paradigms, involving switches between two or more sets of stimulus–response rules (Monsell, 2003), and the processes involved in the present study when subjects switched between stimulus-oriented and stimulus-independent cognitive processes. However, it is not clear from these studies what the critical factor is for eliciting rostral PFC activation, as the majority of studies investigating task switching have not reported rostral PFC activation (e.g. Dove *et al.*, 2000; Kimberg *et al.*, 2000; Sohn *et al.*, 2000; Brass & von Cramon, 2004; Ruge *et al.*, 2005). Furthermore, studies of patients with circumscribed rostral PFC lesions have demonstrated intact performance of tests involving task switching such as the Wisconsin Card Sorting Test (Shallice & Burgess, 1991; Burgess, 2000).

Two recent fMRI studies have shed light on the role of rostrolateral PFC in task switching. In a study by Braver *et al.* (2003) there were two types of block: ‘single-task blocks’, where subjects performed the same task on every trial, and ‘mixed-task blocks’ where trials of two tasks were randomly intermixed. Using a mixed blocked and event-related analysis, Braver *et al.* (2003) found that dorsolateral PFC and superior parietal regions showed transient activation at the point of a switch between two stimulus–response rules in the mixed-task blocks. By contrast, right rostrolateral PFC showed sustained activation

throughout mixed-task blocks, compared with single-task blocks, without showing transient activity when subjects actually switched between tasks in the mixed-task blocks. One interpretation of these results would be that rostrolateral PFC is involved in the process of co-ordinating an internal representation of the various tasks required with an ongoing sequence of external events, rather than the process of actually switching between task sets. Such a co-ordination process may require frequent switches between executing the stimulus-oriented cognitive processes demanded by the stimuli, and the internally oriented processes that maintain representations of the tasks required, regardless of whether each trial happens to require the same task as the previous trial. This hypothesis is supported by a recent fMRI study of task switching by Forstmann *et al.* (2005), who found that right rostrolateral PFC was not activated when subjects switched between tasks, but was activated in trials where subjects had to engage in stimulus-independent processing (inferring the appropriate task set from an indirect cue) before executing the stimulus-oriented processes prompted by the experimental stimuli.

Putting together the results of the present study and the results of Braver *et al.* (2003) and Forstmann *et al.* (2005), the most parsimonious explanation of the role of rostrolateral PFC in task switching seems to be that this region is activated by switches between stimulus-oriented and stimulus-independent thought, without necessarily being activated by the process of switching from one task set to another (see Pollmann, 2004 for a related suggestion). The critical test of this hypothesis will be to investigate directly whether switching between tasks requiring stimulus-oriented vs. stimulus-independent thought elicits greater activity in rostrolateral PFC than switching between two tasks involving stimulus-oriented (or stimulus-independent) thought alone. It is of course possible that standard task-switching paradigms may at least occasionally elicit a switch between stimulus-oriented and stimulus-independent processing at the point of a switch between tasks (e.g. if subjects need to retrieve the new task rules before switching tasks). Nevertheless, it should be possible for future studies to manipulate the degree to which task transitions require switching between stimulus-oriented and stimulus-independent thought, vs. switching between different sets of stimulus–response mappings, in order to functionally dissociate these two types of task switching. This will be an important topic for further research. The precise role of rostrolateral PFC in switching between stimulus-oriented and stimulus-independent cognition (e.g. whether this brain region is involved in activating the processes one wishes to engage, or in inhibiting the currently active processes) is another matter that requires further investigation.

Turning now to the medial aspects of the rostral PFC, it may appear surprising that rostromedial PFC activation in the present study was greater in the phases requiring stimulus-oriented thought than in the phases requiring stimulus-independent thought alone. Previous studies have implicated this region in a wide variety of tasks involving internally oriented cognitive processes such as attributing unobservable mental states to other agents (Frith & Frith, 2003) or reflecting on one’s own emotions (Gusnard *et al.*, 2001). However, these tasks also required subjects to attend to the external environment, perhaps making them more similar to the external phases of the present study than the internal phases. For example, in the study of Gusnard *et al.* (2001), the task used to induce internally oriented processing required subjects to judge the pleasantness of externally presented photographs, rather than requiring subjects to ignore all externally presented information (as in the internal phases in the present study). Thus, previous studies suggesting an involvement of rostromedial PFC in internally oriented cognitive processes (whilst subjects may also attend to perceptual information) need not be in conflict with the

present results, which demonstrate rostromedial PFC activity associated with performing tasks that involve both stimulus-oriented and stimulus-independent thought (external phases), compared with tasks involving stimulus-independent thought alone (internal phases). This result would be compatible with recent studies suggesting that rostromedial PFC may play a critical role in tasks requiring moment-to-moment perception to be linked with associated cognitive and affective representations (Janata *et al.*, 2002; Koechlin *et al.*, 2002; Small *et al.*, 2003), rather than being exclusively involved in internally oriented cognitive processes.

Several brain regions identified in the present study as being involved in selection between internally and externally driven cognitive processing have been shown previously to exhibit relatively high levels of metabolic activity during conscious rest, compared with their level of activity during various cognitive tasks (Shulman *et al.*, 1997; Raichle *et al.*, 2001). These regions include both lateral and medial rostral PFC, along with other medial frontal and parietal regions, and posterior cingulate cortex. It has therefore been suggested that this network of regions participates in a 'default mode of brain function' when no specific task is instructed (Raichle *et al.*, 2001), involving 'surveillance of the internal and external environments' (Gusnard *et al.*, 2001). The present results are consistent with this model, as such a 'surveillance' process will depend upon continual selection between the various stimulus-independent and stimulus-oriented targets for further cognitive processing, in the absence of any specified task. These results are also consistent with recent theoretical accounts that have focused specifically on the functions of rostral PFC, in terms of processing self-referential (Ruby & Decety, 2001; Johnson *et al.*, 2002; Frith & Frith, 2003) or self-generated (Christoff & Gabrieli, 2000; Christoff *et al.*, 2003; Hunter *et al.*, 2003) information, or in terms of high-level cognitive functions such as establishing linguistic coherence (Ferstl & von Cramon, 2002), cognitive branching (Koechlin *et al.*, 1999), reasoning (Christoff *et al.*, 2001) and the integration of multiple cognitive operations (Braver & Bongiolatti, 2002; Ramnani & Owen, 2004). These accounts provide an important characterization of the types of task, defined in terms of the cognitive functions required, that may rely on processes subserved by rostral PFC. The present study potentially unifies these accounts, providing a simple explanation of the results from these apparently disparate domains. Specifically, the present results suggest that a basic information processing operation – selection between stimulus-independent and stimulus-oriented cognitive processes – could underlie the involvement of rostral PFC in this wide range of cognitive tasks.

A cardinal situation involving selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought is when our ongoing engagement with external stimuli needs to be organized according to previously formed, internally represented intentions (Brandimonte *et al.*, 1996; Duncan *et al.*, 1996). Previous neuroimaging studies of tasks with such requirements (e.g. Okuda *et al.*, 1998; Burgess *et al.*, 2001, 2003) have implicated rostral PFC. Moreover, patients with rostral PFC lesions have been reported to be impaired on such tasks without necessarily being impaired on other tests of executive function (Shallice & Burgess, 1991; Burgess, 2000; Burgess *et al.*, 2000; Goel & Grafman, 2000), although patients with more extensive frontal lobe damage may often show impairments on some of these other tests (e.g. Stuss *et al.*, 2000). The current findings therefore converge with both neuropsychological and neuroimaging investigations to suggest the involvement of rostral PFC in tasks requiring selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought, and establish a dissociation between the roles of lateral and medial subregions (Burgess *et al.*, 2005a,b; Simons *et al.*, 2005a,b).

Acknowledgements

This study was supported by grant number 061171 awarded to P.W.B. by the Wellcome Trust, who also support C.D.F.; by fellowship PTA-026-27-0317 awarded to S.J.G. by the UK ESRC; and by UK MRC co-operative grant number G9900106. We thank Jon Simons for helpful comments on a previous version of this article and Daniel Glaser for statistical advice.

Abbreviations

BA, Brodmann's area; fMRI, functional magnetic resonance imaging; HRF, haemodynamic response function; PFC, prefrontal cortex; RTs, reaction times; SPMs, statistical parametric maps.

References

- Allport, D.A., Styles, E.A. & Hsieh, S. (1994) Shifting intentional set: exploring the dynamic control of tasks. In Umiltà, C. & Moscovitch, M. (Eds), *Attention and Performance XV*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 421–452.
- Allport, A. & Wylie, G. (2000) 'Task-switching', stimulus-response bindings, and negative priming. In Monsell, S. & Driver, J.S. (Eds), *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 35–70.
- Altmann, E.M. (2002) Functional decay of memory for tasks. *Psychol. Res.*, **66**, 287–297.
- Brandimonte, M., Einstein, G.O. & McDaniel, M.A. (1996) *Prospective Memory: Theory and Applications*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Brass, M. & von Cramon, D.Y. (2004) Decomposing components of task preparation with functional magnetic resonance imaging. *J. Cogn. Neurosci.*, **16**, 609–620.
- Braver, T.S. & Bongiolatti, S.R. (2002) The role of frontopolar cortex in subgoal processing during working memory. *Neuroimage*, **15**, 523–536.
- Braver, T.S., Reynolds, J.R. & Donaldson, D.I. (2003) Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, **39**, 713–726.
- Brooks, L.R. (1968) Spatial and verbal components of the act of recall. *Can. J. Psychol.*, **22**, 349–368.
- Burgess, P.W. (2000) Strategy application disorder: the role of the frontal lobes in human multitasking. *Psychol. Res.*, **63**, 279–288.
- Burgess, P.W., Gilbert, S.J., Okuda, J. & Simons, J.S. (2005b) Rostral prefrontal brain regions (area 10). A gateway between inner thought and the external world? In Prinz, W. & Sebanz, N. (Eds), *Disorders of Volition*. MIT Press, Cambridge, MA, in press.
- Burgess, P.W., Quayle, A. & Frith, C.D. (2001) Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia*, **39**, 545–555.
- Burgess, P.W., Scott, S.K. & Frith, C.D. (2003) The role of rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: a lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, **41**, 906–918.
- Burgess, P.W., Simons, J.S., Dumontheil, I. & Gilbert, S.J. (2005a) The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. In Duncan, J., McLeod, P. & Phillips, L. (Eds), *Measuring the Mind: Speed, Control, and age*. Oxford University Press, Oxford, pp. 215–246.
- Burgess, P.W., Veitch, E., Costello, A.D. & Shallice, T. (2000) The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, **38**, 848–863.
- Christoff, K. & Gabrieli, J.D.E. (2000) The frontopolar cortex and human cognition: evidence for a rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex. *Psychobiology*, **28**, 168–186.
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J.K., Holyoak, K.J. & Gabrieli, J.D.E. (2001) Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *Neuroimage*, **14**, 1136–1149.
- Christoff, K., Ream, J.M., Geddes, L.P.T. & Gabrieli, J.D.E. (2003) Evaluating self-generated information: anterior prefrontal contributions to human cognition. *Behav. Neurosci.*, **117**, 1161–1168.
- DiGirolamo, G.J., Kramer, A.F., Barad, V., Cepeda, N.J., Weissman, D.H., Milham, M.P., Wszalek, T.M., Cohen, N.J., Banich, M.T., Webb, A., Belopolsky, A.V. & McAuley, E. (2001) General and task-specific frontal lobe recruitment in older adults during executive processes: a fMRI investigation of task-switching. *Neuroreport*, **12**, 2065–2071.
- Dove, A., Pollmann, S., Schubert, T., Wiggins, C.J. & von Cramon, D.Y. (2000) Prefrontal cortex activation in task switching: an event-related fMRI study. *Cogn. Brain Res.*, **9**, 103–109.

- Dreher, J.-C., Koechlin, E., Ali, S.O. & Grafman, J. (2002) The roles of timing and task order during task switching. *Neuroimage*, **17**, 95–109.
- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R. & Freer, C. (1996) Intelligence and the frontal lobe: the organization of goal-directed behavior. *Cogn. Psychol.*, **30**, 257–303.
- Farah, M.J. (2000) The neural bases of mental imagery. In Gazzaniga, M.S. (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 965–974.
- Ferstl, E.C. & von Cramon, D.Y. (2002) What does the frontomedian cortex contribute to language processing: coherence or theory of mind? *Neuroimage*, **17**, 1599–1612.
- Forstmann, B.U., Brass, M., Koch, I. & von Cramon, D.Y. (2005) Internally generated and directly cued task sets: an investigation with fMRI. *Neuropsychologia*, **43**, 943–952.
- Friston, K.J., Glaser, D.E., Henson, R.N.A., Kiebel, S., Phillips, C. & Ashburner, J. (2002) Classical and Bayesian inference in neuroimaging: applications. *Neuroimage*, **16**, 484–512.
- Friston, K.J., Holmes, A.P., Worsley, K.J., Poline, J.-P., Frith, C.D. & Frackowiak, R.S.J. (1995) Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Hum. Brain Mapp.*, **2**, 189–210.
- Frith, U. & Frith, C.D. (2003) Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos. T. Roy. Soc. B.*, **358**, 459–473.
- Gilbert, S.J. (2005) Does task set reconfiguration create cognitive slack? *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, **31**, 92–100.
- Gilbert, S.J. & Shallice, T. (2002) Task switching: a PDP model. *Cogn. Psychol.*, **44**, 297–337.
- Goel, V. & Grafman, J. (2000) Role of the right prefrontal cortex in ill-structured planning. *Cogn. Neuropsychol.*, **17**, 415–436.
- Gusnard, D.A., Akbudak, E., Shulman, G.L. & Raichle, M.E. (2001) Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **98**, 4259–4264.
- Henson, R.N.A., Rugg, M.D., Shallice, T. & Dolan, R.J. (2000) Confidence in recognition memory for words: dissociating right prefrontal roles in episodic retrieval. *J. Cogn. Neurosci.*, **12**, 913–923.
- Hunter, M.D., Farrow, T.F.D., Papadakis, N.G., Wilkinson, I.D., Woodruff, P.W.R. & Spence, S.A. (2003) Approaching an ecologically valid functional anatomy of spontaneous 'willed' action. *Neuroimage*, **20**, 1264–1269.
- Janata, P., Birk, J.L., Van Horn, J.D., Leman, M., Tillmann, B. & Bharucha, J.J. (2002) The cortical topography of tonal structures underlying Western music. *Science*, **298**, 2167–2170.
- Johnson, S.C., Baxter, L.C., Wilder, L.S., Pipe, J.G., Heiserman, J.E. & Prigatano, G.P. (2002) Neural correlates of self-reflection. *Brain*, **125**, 1808–1814.
- Kimberg, D.Y., Aguirre, G.K. & D'Esposito, M. (2000) Modulation of task-related neural activity in task-switching: an fMRI study. *Cogn. Brain Res.*, **10**, 186–196.
- Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S. & Grafman, J. (1999) The role of anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*, **399**, 148–151.
- Koechlin, E., Danek, A., Brunod, Y. & Grafman, J. (2002) Medial prefrontal and subcortical mechanisms underlying the acquisition of motor and cognitive action sequences in humans. *Neuron*, **35**, 371–381.
- Kosslyn, S.M., Farah, M.J., Holtzman, J.D. & Gazzaniga, M.S. (1985) A computational analysis of mental image generation – evidence from functional dissociations in split-brain patients. *J. Exp. Psychol. Gen.*, **114**, 311–341.
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., Kim, I.J. & Alpert, N.M. (1995) Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, **378**, 496–498.
- McGuire, P.K., Paulescu, E., Frackowiak, R.S.J. & Frith, C.D. (1996) Brain activity during stimulus independent thought. *Neuroreport*, **7**, 2095–2099.
- Monsell, S. (2003) Task switching. *Trends Cogn. Sci.*, **7**, 134–140.
- O'Craven, K.M. & Kanwisher, N. (2000) Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *J. Cogn. Neurosci.*, **12**, 1013–1023.
- Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., Suzuki, K., Ito, M. & Fukuda, H. (1998) Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: evidence from a PET study in humans. *Neurosci. Lett.*, **253**, 127–130.
- Petrides, M. & Pandya, D.N. (1999) Dorsolateral prefrontal cortex: comparative cytoarchitectonic analysis in the human and the macaque brain and corticocortical connection patterns. *Eur. J. Neurosci.*, **11**, 1011–1036.
- Pollmann, S. (2004) Anterior prefrontal cortex contributions to attention control. *Exp. Psychol.*, **51**, 270–278.
- Price, C.J. & Friston, K.J. (1997) Cognitive conjunction: a new approach to brain activation experiments. *Neuroimage*, **5**, 261–270.
- Raichle, M.E., MacLeod, A.M., Snyder, A.Z., Powers, W.J., Gusnard, D.A. & Shulman, G.L. (2001) A default mode of brain function. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **98**, 676–682.
- Ramnani, N. & Owen, A.M. (2004) Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nat. Rev. Neurosci.*, **5**, 184–194.
- Rorden, C. & Brett, M. (2000) Stereotaxic display of brain lesions. *Behav. Neurol.*, **12**, 191–200.
- Ruby, P. & Decety, J. (2001) Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nat. Neurosci.*, **4**, 546–550.
- Ruge, H., Brass, M., Koch, I., Rubin, O., Meiran, N. & von Cramon, D.Y. (2005) Advance preparation and stimulus-induced interference in cued task switching: further insights from BOLD fMRI. *Neuropsychologia*, **43**, 340–355.
- Rushworth, M.F.S., Hadland, K.A., Paus, T. & Sipila, P.K. (2002) Role of the human medial frontal cortex in task switching: a combined fMRI and TMS study. *J. Neurophysiol.*, **87**, 2577–2592.
- Shallice, T. (1988) *From Neuropsychology to Mental Structure*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Shallice, T. & Burgess, P.W. (1991) Deficits in strategy application following frontal-lobe damage in man. *Brain*, **114**, 727–741.
- Shulman, G.L., Fiez, J.A., Corbetta, M., Buckner, R.L., Miezin, F.M., Raichle, M.E. & Petersen, S.E. (1997) Common blood flow changes across visual tasks. II. Decreases in cerebral cortex. *J. Cogn. Neurosci.*, **9**, 638–663.
- Simons, J.S., Gilbert, S.J., Owen, A.M., Fletcher, P.C. & Burgess, P.W. (2005a) Distinct roles for lateral and medial anterior prefrontal cortex in the control of contextual recollection. *J. Neurophysiol.* In press.
- Simons, J.S., Owen, A.M., Fletcher, P.C. & Burgess, P.W. (2005b) Anterior prefrontal cortex and the recollection of internally-generated thoughts. *Neuropsychologia* In press.
- Simons, J.S. & Spiers, H.J. (2003) Prefrontal and medial temporal lobe interactions in long-term memory. *Nat. Rev. Neurosci.*, **4**, 637–648.
- Small, D.M., Gitelman, D.R., Gregory, M.D., Nobre, A.C., Parrish, T.B. & Mesulam, M.M. (2003) The posterior cingulate and medial prefrontal cortex mediate the anticipatory allocation of spatial attention. *Neuroimage*, **18**, 633–641.
- Sohn, M., Ursu, S., Anderson, J.R., Stenger, V.A. & Carter, C. (2000) The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**, 13448–13453.
- Stuss, D.T., Levine, B., Alexander, M.P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., Murphy, K.J. & Izukawa, D. (2000) Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, **38**, 388–402.
- Visser, K.M., Miezin, F.M., Kelly, J.E., Buckner, R.L., Donaldson, D.I., McAvoy, M.P., Bhalodia, V.M. & Petersen, S.E. (2003) Mixed blocked/event-related designs separate transient and sustained activity in fMRI. *Neuroimage*, **19**, 1694–1708.
- Yeung, N. & Monsell, S. (2003) Switching between tasks of unequal familiarity: the role of stimulus-attribute and response-set selection. *J. Exp. Psychol. Hum.*, **29**, 455–469.

Alphabet task *by Dr. Sophie BAUDIC*

In this task, participants must classify upper-case letters of the alphabet according to whether they are composed entirely of straight lines (e.g. 'A') or contain a curve (e.g. 'B'). During stimulus-oriented (SO) phases, the appropriate letter is presented on the screen, moving forward by one letter on each trial. In stimulus-independent (SI) phases, participants must generate the sequence themselves, rather than pay attention to information on the screen.

The task can be run in two versions: distractor (D) and no-distractor (ND). In the distractor version of the task, random incorrect letters are presented in blue during the SI phases. In the no-distractor version of the task, the screen goes blank during SI phases.

We would recommend that you run both versions of the task seeing as differences in performance between the D and ND versions are potentially interesting. However, the script allows you to only present one or the other, if you prefer.

To get started, unzip the alphabet.zip file and put it in its own directory.

To run the task, you need MATLAB (version 6.5 upwards I think), Cogent (we have been using Cogent 2000, Version 1.29) and Cogent Graphics.

Cogent and Cogent Graphics may be downloaded here:

<http://www.vislab.ucl.ac.uk/cogent.php>

When Cogent and Cogent Graphics have been installed and placed in the MATLAB path, go to the alphabet task directory and start the task by typing 'alphabet'.

You will now be asked to input data in response to a series of questions:

Subject number: This is a numerical code for each subject.

Session number: Self-explanatory

Include distractors: Typing in 1 here loads the D version of the task, 0 loads the ND version of the task.

Practice: Typing in 1 here runs some practice trials before the task, 0 jumps straight into the main test.

The first three questions determine the filename for the output data. E.g. subject number 1, session number 1, distractors 0 would yield:

sub0001_ses1_alphabet_nd.res

Subject 1, session number 2, distractors 1 would yield:

sub0001_ses2_alphabet_d.res

If a results file already exists with the same filename, the program will ask if you want to continue before overwriting the existing data.

If you type 1 for practice, the first practice session will involve running through the entire alphabet twice in the SO condition. In this initial practice session (but not subsequently), the alphabet only moves on to the next letter if the correct key is pressed.

This first practice session is only run if you have inputted 1 as the session number. Otherwise, the program moves on to the next practice session, involving performance of the actual task, switching between SO and SI phases.

Before these practice trials, instructions will be presented on the screen. These instructions are worded slightly differently according to the session number. If the session number is higher than 1, the instructions assume that the participant has performed a version of the task already. Otherwise, instructions are presented assuming that this is the first time.

After the practice session, the main task will run.

The scripts are currently set up to use the left Ctrl button as the 'straight' response and the right Ctrl button as the 'curved' response. These are set up as key codes 60 and 91 respectively, however the codes may be different on your keyboard. You can find the correct codes for your keyboard with the 'getkeymap' command described in the Cogent documentation.

At any point, you can quit what you're doing by pressing the escape key (key 52 – again you may have to change this, depending on your keyboard).

If you need to change the key codes, edit lines 19-20 of alphabet.m for the left and right response buttons, and line 62 of miniblock.m for the escape key.

The program is currently set up to run 24 miniblocks (i.e. 12 blocks of SO trials and 12 blocks of SI trials), each of which consists of 5 to 8 trials. So there will be a total of 156 trials (i.e. $24 * \text{mean block length of } 6.5$), which will take around 3 minutes to perform. This seems like a sensible minimum number of trials to get relatively stable data (seeing as you will probably want to run the task twice, once in the ND condition and once in the D condition). But we have not tested this systematically and you may well want to increase (or decrease) the number of miniblocks. You can do this by editing line 14 of alphabet.m.

The output data file contains a row for each trial, with the following columns:

1. Subject number
2. Session number
3. Distractors (0 = ND; 1 = D)
4. Trial type (0 = SO; 1 = SI)
5. Miniblock number (-1 for practice trials, then starting at 1 for the real test)
6. Trial number within each miniblock (i.e. 1 = a switch trial, the first trial following a switch between the SO and SI phases)
7. Correct letter (1=A, 26=Z). This is the letter that is on the screen in the SO phase and that the participant should imagine during the SI phase.
8. Display letter (1=A, 26=Z, 0=blank). This is the letter that is actually displayed on the screen, which will conflict with column 7 in the SI D version of the task.

9. Which key was pressed on this trial (e.g. 60 = left Ctrl on our keyboard)
10. Time (in milliseconds since the task started) that the stimulus was presented on screen
11. Time (as above) of the keypress response
12. RT
13. Accuracy (1 = correct, 0 = incorrect)
14. Correct key that should have been pressed on this trial.

I have also included a script called `analyze.m` which gives an example of how the data might be analyzed. This script assumes that each participant has performed two sessions, one in the ND condition and one in the D condition. Line 4 defines the 'subjects' variable, which is a vector containing the subject codes of all participants to be analyzed. The 'nd_session' variable defines which session number corresponds with the ND condition for each participant. For example, if `subjects = [1 4 5]` and `nd_session = [1 11]`, this would mean that the three participants all undertook the ND condition first; `[1 1 2]` would mean that participants 1 and 4 performed the ND condition first, but participant 5 performed the ND condition in session 2. 'd_session' is analogous to 'nd_session' in defining the session numbers for the D condition.

When this script is run, two output variables will be created: `RT_group` and `ERR_group`, containing the mean RTs and mean proportion of errors respectively. These variables contain a row for each participant and 9 columns dividing up the different sorts of trials as follows:

1. Subject number
2. SO, non-switch (i.e. last trial was also SO), ND
3. SO, switch (i.e. last trial was SI), ND
4. SI, non-switch (i.e. last trial was also SI), ND
5. SI, switch (i.e. last trial was SO), ND
6. SO, non-switch, D
7. SO, switch, D
8. SI, non-switch, D
9. SI, switch, D

As it is currently set up, RTs on error trials are not recorded. Also, following one error in a particular SI miniblock, subsequent trials within that miniblock are not considered. This is to avoid a situation where a single mistake is made at the beginning of an SI miniblock (e.g. the participant thinks of a 'B' instead of an 'A'), which propagates to all subsequent trials ('C' instead of 'B' etc.).

The results are therefore in a form where they can be analyzed in a 2 (ND, D) x 2 (SO, SI) x 2 (non-switch, switch) ANOVA. You should reliably find that RTs on SI trials are longer than SO trials, and RTs on switch trials are longer than non-switch trials. You may also find that RTs in the D condition are slower than the ND condition, although this is a weaker effect.

Initial practice

In this task you will see letters of the alphabet.

If the letter is made completely out of straight lines, for example "A", please press the Ctrl button on the left.

If the letter has a curve in it, for example "B", please press the Ctrl button on the right.

Press any button to practice this task.

Distractor condition***If comes first***

Sometimes the letters will turn blue and go in a random order instead of following the alphabet. These blue letters are just there to distract you. Please ignore them and just keep on going through the alphabet in your head and carry on pressing the buttons.

For example, if you had just seen an "R" and then a blue "B" letter appeared on the screen, you would press the button on the right, because "S" is next, and it is curved.

Eventually the red letters will come back on the screen to help you.

When the letters are blue, we would like you to keep looking at the screen, but please just ignore what you see.

Press any button to practice this task.

If comes second:

Thank you.

In a moment we would like you to do the same task as before.

You will still see red letters going through the alphabet.

But now, instead of the screen going blank, the letters will sometimes turn blue and go in a random order instead of following the alphabet.

The blue letters are just there to distract you. Please ignore them, and carry on going through the alphabet in your head.

Eventually the red letters will come back on the screen to help you.

Press any button to practice this task.

No distractor condition

Thank you.

Sometimes the screen will go blank. When this happens, just keep on going through the alphabet in your head and carry on pressing the buttons.

For example, if you had just seen an "R" and then the screen went blank, you would press the button on the right, because "S" is next, and it is curved.

Eventually the letters will come back on the screen to help you.

Press any button to practice this task.

If comes second

In a moment we would like you to do the same task as before.

You will still see red letters going through the alphabet.

But now, instead of showing blue letters in a random order, the screen will go blank. When this happens, carry on going through the alphabet in your head and carry on pressing the buttons.

Eventually the letters will come back on the screen to help you.

Press any button to practice this task.