Traitement cognitif d'une tâche prioritaire. Déterminants et influences de l'inhibition d'un processus concurrent non prioritaire

Stéphane Ibrahime

▶ **To cite this version:**

Stéphane Ibrahime. Traitement cognitif d'une tâche prioritaire. Déterminants et influences de l'inhibition d'un processus concurrent non prioritaire. Psychologie. Université Paris Saclay (COmUE), 2016. Français. NNT : 2016SACLS516 . tel-01457158

HAL Id: tel-01457158
https://theses.hal.science/tel-01457158

Submitted on 28 Feb 2017

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

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

NNT : 2016 SACLS 516

Université Paris-Sud et Paris-Saclay

Mouvement Humain, Adaptation et Performance Sportive

Laboratoire : Complexité, Innovation et Activités Motrices et Sportives

École doctorale n° 566

THÈSE

En vue d'obtenir le grade de

Docteur en Sciences du Sport, de la Motricité, du Mouvement Humain

présentée et soutenue publiquement par

Stéphane Ibrahime

le 7 Décembre 2016

Traitement cognitif d'une tâche prioritaire. Déterminants et influences de l'inhibition d'un traitement concurrent non prioritaire.

Directeur de thèse : **François Maquestiaux,** Professeur à l'Université Bourgogne Franche-Comté & IUF

Jury présidé par : **M. Guillaume Laffaye**

M. BENGUIGUI Nicolas,	Pr., Université de Caen	Rapporteur
M. BOUQUET Cédric,	Pr., Université de Poitiers	Rapporteur
M. DIDIERJEAN André,	Pr., Université Bourgogne Franche-Comté	Examinateur
M. LAFFAYE Guillaume,	MCF HDR., Université Paris-Saclay	Examinateur
M. MARTI Sébastien,	Dr., Neurospin CEA - INSERM	Examinateur

Esse est percipi aut percipere

L'existence et l'essence de ce travail de thèse tiennent sans aucun doute tout autant de la façon dont il est, a été, et sera perçu, que de la façon dont je le perçois moi-même. En cela, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont porté et porteront un regard sur mon travail.
François Maquestiaux tout d'abord, pour avoir tant œuvré dans la réalisation de ce projet, mais également pour avoir incarné un modèle d'accomplissement professionnel, sportif, et personnel dont la portée s'étend infiniment plus loin que la réalisation de cette thèse.
André Didierjean et Eric Ruthruff ensuite, pour leurs conseils tant avisés, et leur implication dans cette thèse.
Je remercie également tout particulièrement les rapporteurs et examinateurs en charge de l'évaluation de mon travail pour le temps et l'attention que vous accorderez à la lecture de ce document, gages de son crédit scientifique.
Merci à Michael Phomsoupha pour ses multiples collaborations de fond, de forme, et sans qui l'apprentissage de LaTeX n'aurait su devenir une source d'amusement.
Merci à l'ensemble des participants indispensables à la réalisation de ces études expérimentales, pour leur temps, leur sérieux.
Merci à la direction de l'UFR STAPS de l'Université Paris-Descartes pour la confiance que vous m'avez accordé en me faisant l'honneur d'intégrer un établissement historique à la fin de mon contrat doctoral. Il va sans dire que mon travail n'aurait pu aboutir sans votre décision.
Merci à toutes les personnes qui ont participé aux relectures attentives de ce document et notamment Lucile Gruais-Ibrahime, Aboud Ibrahime, ainsi que Gilles et Joëlle Bonneau.
Enfin je remercie ma compagne, Florie Bonneau, pour son implication lors des ultimes traitement de données, relectures, et surtout sa présence et son soutien dont la valeur est inestimable.

Homo sum, et nihil humanum a me alienum puto

Table des matières

Introduction Générale **1**

I Cadre Théorique **5**

1 L'inhibition : genèse d'un concept scientifique de Descartes à nos jours **7**

1.1 Assimilation du concept d'inhibition en psychologie expérimentale . . . 10

1.2 Inhibition d'un processus en cours d'exécution 11

1.3 Modèles explicatifs 20

1.4 Conclusion sur l'inhibition de réponses motrices volontaires 36

2 Attention centrale et double tâche **39**

2.1 Etude de la période réfractaire psychologique (PRP) 41

2.2 Conséquences comportementales : mise en attente cognitive 44

2.3 Modèles explicatifs de l'interférence en double tâche 45

2.4 Conclusions sur l'attention centrale 49

3 Interruption et remplacement d'un traitement cognitif en cours **51**

3.1 Interruption d'un traitement en cours en vue de l'exécution d'un traitement subséquent 53

3.2 Conclusions sur l'interruption et le remplacement d'un traitement cognitif en cours 72

II Problématique **75**

III Études expérimentales **83**

Étude 1 **85**

Buts et prédictions . . . 86
Méthode . . . 88
Résultats . . . 90
Discussion . . . 95

Étude 2 **99**

Buts et prédictions . . . 100
Méthode . . . 102
Résultats . . . 104
Discussion . . . 110

Étude 3 **113**

Buts et prédictions . . . 114
Méthode . . . 116
Résultats . . . 118
Discussion . . . 122

Étude 4 **127**

Buts et prédictions . . . 128
Méthode . . . 131
Résultats . . . 133
Discussion . . . 139

Étude 5 **145**

Buts et prédictions . . . 146
Méthode . . . 149
Résultats . . . 151
Discussion . . . 157

Discussion Générale **161**

Sur la capacité à interrompre une réponse non prioritaire 164

Sur l'impact de la fréquence d'apparition d'un évènement prioritaire 166

Sur les conséquences du succès ou de l'échec de l'inhibition motrice sur le traitement d'un stimulus prioritaire 168

Conclusions et perspectives **173**

Bibliographie **190**

Annexe I **I**

Annexe II **III**

Bibliographie Annexes **XIII**

Introduction Générale

Vous êtes Thierry Omeyer, face à Ivan Čupić pendant la demi-finale des Jeux Olympiques de Londres en 2012. Čupić feint de déclencher son penalty sur votre côté droit... mais le ballon reste dans sa main. Vous êtes Peter Sagan, aux avants postes sur la Via Roma après la flamme rouge de Milan - San Remo 2016. Vous vous apprêtez à vous rabattre au sein du groupe de tête situé sur votre droite... mais Fernando Gaviria chute violemment devant vous. Vous êtes Sacha Ketchum, en passe de capturer un pokémon sauvage sur le Mont Selenite... mais votre institutrice vous demande de vous concentrer sur votre leçon. Vous êtes au volant de votre voiture, vous accélérez car le feu vient de passer à l'orange, mais un piéton s'engage sur la chaussée...

Que se passe-t-il ? Omeyer stoppe sa parade côté droit pour bloquer le deuxième tir côté opposé. Sagan interrompt sa courbe vers l'intérieur de la route et contourne Gaviria par l'extérieur. L'enfant distrait pourra porter attention à son institutrice, à moins qu'un trouble de déficit attentionnel ne l'en empêche. Vous relâchez l'accélérateur et pressez la pédale de frein de votre véhicule pour laisser le piéton terminer sa traversée. Quel est le point commun entre toutes ces situations ? La pensée et l'action en cours ne sont plus appropriées. Les buts changent, comme cela est le cas pour l'écolier, et la succession de deux stimuli peut apporter des informations contradictoires (comme pour Omeyer). Ces modifications entraînent de nouveaux buts (éviter la chute pour Sagan) qui prennent le pas sur les buts précédents (orienter sa trajectoire vers la corde du virage). Dans une perspective d'adaptation, il est indispensable d'arrêter la pensée et l'action en cours, procéder à son réajustement, ou la remplacer par de nouvelles actions plus appropriées afin de réaliser au mieux les nouveaux buts exigés.

Cependant, que se passe-t-il mentalement lorsqu'un stimulus commandant une tâche prioritaire apparaît ? Dans quelle mesure peut-on interrompre une réponse à une

tâche non prioritaire en vue d'exécuter la tâche prioritaire dans les meilleures conditions ? Quelles sont les conséquences du succès ou de l'échec de l'interruption de la tâche non-prioritaire sur le traitement et l'exécution de la tâche prioritaire ? Sont-elles les mêmes qu'une tâche prioritaire soit exécutée rarement ou fréquemment ? Ces différentes questions s'inscrivent dans des problématiques quotidiennes. En effet les progrès technologiques notamment d'outils de communication embarqués offrent à tout moment la possibilité de traiter simultanément deux ou plusieurs tâches (Appelbaum, Marchionni, & Fernandez, 2008). Cette possibilité est d'ailleurs renforcée par le fait que "la multiplication des ordres temporels provoque (...) la chute de certaines frontières réputées infranchissables entre les temps sociaux : le temps de travail commence à s'insinuer dans le temps libre et inversement, en mélangeant des mondes symboliques différents." (Tabboni, 2006). Ainsi, utiliser un système de navigation connecté ou téléphoner en conduisant sont des situations relativement courantes et près de la moitié des conducteurs déclarent utiliser leur téléphone au volant en 2011 selon l'expertise collective Inserm & Iffsttar (2011). Ce constat peut d'ailleurs être étendu au monde du travail comme envoyer un mail lors d'une pause déjeuner ou répondre aux consignes de son directeur sportif à l'oreillette pour un coureur cycliste professionnel.

Paradoxalement, il semblerait que l'architecture cognitive humaine soit largement limitée dans le traitement et l'exécution simultanée de plusieurs tâches et nombreux sont les signaux d'alerte lancés quant aux risques encourus lors de telles situations. Par exemple, l'usage du téléphone au volant est-il notamment interdit en France depuis 2003, et les données épidémiologiques rapportent la multiplication par 3 du risque d'accidents lors de son utilisation, elle-même impliquée dans un accident sur 10 (Inserm & Iffsttar, 2011). Et si les conséquences parfois catastrophiques de l'exécution de tâches non prioritaires semblent assez clairement identifiées avec des coûts financiers et humains considérables, les limitations cognitives sous-jacentes restent encore assez inconnues.

Au cours de cette thèse de doctorat, nous avons étudié des limites cognitives à l'interruption d'une tâche non prioritaire en cours du traitement et de l'exécution en vue de privilégier une tâche prioritaire dont le stimulus est susceptible d'apparaître. Nous questionnerons également cette limite en termes de conséquences que cette interruption pourra avoir sur la tâche prioritaire selon qu'elle soit réussie ou non.

Cette question sera traitée à travers le paradigme original de *changement de tâche* (en anglais *change-task* ou *stop-change task*) issu du pont expérimental entre les paradigmes du stop-task et du protocole de la période réfractaire psychologique.
À cette fin, nous avons mené cinq études expérimentales regroupées en trois volets. Le premier volet expérimental (Études 1 et 2) sera consacré à la réplication en laboratoire de phénomènes observés en situation de conduite automobile où une tâche prioritaire (e.g., un freinage d'urgence) est sans cesse susceptible d'être mise en concurrence avec d'autres tâches non prioritaires (comme interagir avec un stimulus de l'habitacle, voir par exemple : Levy et al., 2006; Levy & Pashler, 2008). Pour ce faire, nous répliquerons dans un premier temps l'expérience de Levy et Pashler (2008) en laboratoire en mettant en concurrence une tâche de discrimination sonore avec une tâche de freinage d'urgence, en utilisant le paradigme de changement de tâche. Il est à noter que la possibilité sera donnée aux participants d'interrompre le traitement de la tâche non prioritaire pour maintenir un temps de réaction le plus rapide possible au freinage. Dans un second temps nous nous intéresserons à quantifier le rôle que peut jouer l'incertitude relative à l'apparition d'un stimulus à venir par rapport à un environnement où la nature du stimulus à venir est prévisible.
La question centrale du deuxième volet expérimental (Études 3 et 4) sera d'étudier les limites cognitives au maintien d'un niveau de priorité maximal d'une tâche devant être effectuée plus ou moins souvent. L'enjeu sera d'observer les processus fondamentaux à l'origine de la capacité à traiter une tâche prioritaire dans un contexte où le stimulus correspondant peut apparaître fréquemment ou rarement. Pour ce faire, nous mettrons d'abord en place, un protocole expérimental utilisant le paradigme de changement de tâche au sein duquel nous manipulerons la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire (Étude 3).
Dans un second temps, nous tenterons d'identifier plus clairement les conséquences de l'interruption de la tâche non-prioritaire sur la tâche prioritaire en fonction du décalage temporel entre leurs stimuli respectifs. Il sera également question d'isoler l'influence de deux processus top-down que sont les facteurs stratégiques et le coût de permutation, potentiellement impactés par la fréquence d'apparition du stimulus non prioritaire, sur la performance. Pour ce faire, nous mettrons en place une réplication de l'étude 3 au sein de laquelle nous intègrerons une modalité de réponse à la Tâche 1 de type *go/no-go* (Étude 4).

Enfin, le dernier volet expérimental (Étude 5) nous permettra de mettre en lumière les conséquences attentionnelles des différents types de stratégies permettant de conserver un niveau de priorité maximal sur une tâche prioritaire. Nous étudierons cette question au travers d'une passation expérimentale permettant d'observer ces différentes stratégies pour chaque participant. Pour ce faire, nous mettrons en place une expérimentation permettant de comparer la performance des participants exécutant la tâche prioritaire dans un contexte de changement de tâche, de période réfractaire psychologique et de simple tâche potentiellement perturbée par des stimuli parasites. Ce faisant, nous serons également en mesure d'observer l'impact des consignes inhérentes aux différents paradigmes sur la performance des participants. Dans la Discussion Générale, nous relaterons les principaux résultats des cinq études réalisées et les mettrons en perspective avec la littérature disponible. Surtout, nous verrons comment les travaux de cette thèse contribuent à mieux cerner la nature des mécanismes cognitifs opérant en situations d'interruption.

Première partie

Cadre Théorique

Chapitre 1

L'inhibition : genèse d'un concept scientifique de Descartes à nos jours

■ *(...) puisque l'absence dévoile aussi l'être, puisque ne pas être là, c'est encore être.* ■

Sartre (1943)

Sommaire

1.1 Assimilation du concept d'inhibition en psychologie expérimentale 10

1.2 Inhibition d'un processus en cours d'exécution 11

1.2.1 Tâche 1 12

1.2.2 Tâche 2 (STOP) 13

1.2.3 Conséquences comportementales 15

1.3 Modèles explicatifs 20

1.3.1 Le horse race model 20

1.3.2 Modèles alternatifs 30

1.4 Conclusion sur l'inhibition de réponses motrices volontaires 36

Au sens large, l'inhibition peut être définie comme "l'arrêt ou le ralentissement de la fonction d'une structure ou d'un organe par l'action d'une autre structure ou organe dont la cessation de l'action inhibitrice produit la restitution de la fonction préalable" (R. Smith, 1992). Cette définition soulève la question séculaire de l'identification des processus inhibiteurs du corps humain puisqu'il faut en effet remonter au 17e siècle pour observer la genèse du concept d'inhibition en tant qu'objet scientifique. Elle fut notamment permise à travers l'intégration de mécanismes inhibiteurs au modèle de fonctionnement du corps proposé par Descartes (1662) [1].

Depuis, l'essence polysémique et allusive de cette définition n'eut de cesse d'évoluer jusqu'à nos jours en se constituant en tant qu'objet d'étude dans un vaste panel de champs scientifiques [2]. En effet, ce concept a successivement été exploré à travers les champs de la philosophie, la neurologie, et la physiologie dans le but de décrire et expliquer le fonctionnement du corps humain. Ainsi, l'histoire de l'inhibition est-elle intrinsèquement liée à l'histoire de la régulation et du contrôle, lesquels définissant un spectre très large d'investigation du corps, de l'esprit et du comportement (pour une revue de littérature complète voir R. Smith, 1992).

L'introduction progressive du concept d'inhibition dans le champ de la psychologie expérimentale jusqu'à nos jours est donc riche d'un héritage multidisciplinaire séculaire (Macleod, 2007), et il a fallu attendre la deuxième partie du 20e siècle ainsi que l'apparition et la systématisation de protocoles expérimentaux pour véritablement voir émerger une taxonomie de l'inhibition appliquée au champs de la psychologie cognitive. Le tableau I résume la proposition de classification de Nigg (2000) basée sur la nature des processus inhibés en identifiant huit processus inhibiteurs rassemblés en trois classes.

La première classe est constituée des processus d'inhibition des fonctions exécutives.

1. L'approche cartésienne, basée sur la conception dualiste de l'Homme et sur les travaux de dissection de l'époque, lui permet d'imaginer un modèle inédit explicatif du fonctionnement du corps. L'activation d'un muscle agoniste et le relâchement de l'antagoniste sont expliqués par la circulation d'influx à travers les systèmes sanguins et nerveux. Un jeu de valvules inventées règlent le passage des influx dans un muscle aux dépends d'un autre. La notion d'inhibition venait d'être inventée (De Homine, 1662).

2. 1662 : Descartes introduit le concept d'inhibition pour expliquer les antagonismes musculaires. Il présenta un modèle basé sur ses conceptions philosophique et anatomique du corps humain (De Homine, 1662).1845 : Première référence au terme concept d'inhibition par les frères Weber au meeting de sciences naturelles de Naples pour décrire l'action du nerf vague sur le rythme cardiaque. 1850 : Réplication par Charles-Edouard Brown-Séquard puis extension du concept au système nerveux central. 1863 : Développement par Sechenov avec l'association des concepts d'inhibition et de facilitation causée par la stimulation de nerfs centraux. 1932 : Premier Prix Nobel de Scherrington avec une thèse intitulée *Inhibition as a coordinative factor*.

TABLEAU I - Classification des processus inhibiteurs selon Nigg (2000)

Classe et processus inhibiteurs	Paradigmes expérimentaux
I. Inhibition de fonctions exécutives	
1. Contrôle de l'interférence issue de la compétition entre deux tâches ou stimuli.	Stroop; flankers; protocole PRP; priming
2.Inhibition cognitive (suppression de contenu non pertinent en mémoire de travail)	Priming négatif; suppression de concept et pensées intrusives
3.Inhibition comportementale (suppression de réponses en cours de préparation)	Stop-task; go/no-go
4.Inhibition oculomotrice (effort conscient de suppression de saccades réflexes)	Tâches d'antisaccades et oculomotrices
II. Inhibition motivationnelle	
1. Réponses à des indices de récompense / punition	Inhibition de réponses primaires: go/no-go de Newman; inhibition d'une réponse concurrente, Stroop émotionnel
2.Réponse à la nouveauté	
III. Inhibition de processus automatiques	
1. Suppression de stimuli récemment inspectés des processus d'attention visuelle et de saccade oculomotrice	Inhibition attentionnelle et oculomotrice
2.Suppression d'informations dont la localisation n'est pas attendue ou pertinente	Cécité attentionnelle

Il est à noter que la définition du contrôle exécutif varie selon les modèles (Lyon & Krasnegor, 1996; Meyer & Kieras, 1997a,b) et pourrait faire l'objet d'une revue de littérature à part entière (voir Bouquet, Bonnin, & Gaonac'h, 2013, pour une revue de littérature sur les fonctions exécutives). Néanmoins, la taxonomie proposée par Nigg (2000) permet de définir ladite classe comme l'ensemble des processus de contrôle intentionnel et de suppression d'une réponse au service d'un but prioritaire, ou de régulation au service de nouveaux buts assignés à la tâche.

Cette définition permet de distinguer quatre processus distincts. Le contrôle de l'interférence entre deux tâches en compétition, l'inhibition cognitive, définie comme la suppression active en mémoire de travail de contenus non appropriés par rapport aux buts poursuivis, l'inhibition comportementale, définie comme la suppression de réponses motrices engagées, et l'inhibition oculomotrice, comptant pour la suppression de saccades réflexes. Ces processus sont notamment observables respectivement par les protocoles de *période réfractaire psychologique* ou *PRP*, de *priming*, de *stop-task*, de *go/no-go*, et de tâches d'interruption de saccades oculomotrices. Notre travail de thèse portera particulièrement sur cette première classe de processus inhibiteurs.

La deuxième classe de processus inhibiteurs proposée émerge des modèles descriptifs des processus motivationnels et de traits de personnalité. Cette classe peut être reliée à des modèles cognitifs et des protocoles expérimentaux intégrant un stimulus à une valence émotionnelle comme la tâche de go/no-go discriminatives, de Stroop émotionnelle, ou encore d'évitement passif pour laquelle un système de punition / récompenses est associé aux réponses des participants (e.g., chocs électriques, rétributions monéraires : Newman et al., 1985; Patterson et al., 1987). De même, le champ scientifique portant sur les comportements motivés est large (pour une revue de littérature voir Derryberry & Tucker, 1994) et peut être amené à recouper la définition des fonctions exécutives. Néanmoins il semble possible de délimiter cette classe en inhibition motivée de pensées et de comportements possédant une valence émotionnelle.

La dernière classe définit l'inhibition des saccades oculomotrices ainsi que la suppression attentionnelle de stimuli visuels dont la localisation n'est pas pertinente avec la tâche de recherche visuelle. Cette dernière classe ne sera pas étudiée dans le cadre de notre travail de thèse.

1.1 Assimilation du concept d'inhibition en psychologie expérimentale

Si la question des capacités de régulation de l'organisme est le fruit de nombreuses recherches pluridisciplinaires, les propriétés de cette régulation en termes de comportement et de traitement d'information constituèrent l'extension de cet objet d'étude dans le champ de la psychologie. Ainsi, la question de l'inhibition fut très rapidement assimilée dans le domaine de la psychologie expérimentale qui se développa dans le milieu du 20^{e} siècle à travers un certain nombre de paradigmes d'étude de l'inhibition d'un processus en cours d'exécution.

La première mise au point d'un paradigme d'étude de l'inhibition de réponses motrices volontaires dans le champs de la psychologie cognitive est à attribuer à Vince (1948) La démarche expérimentale mise en œuvre portera en effet les germes du protocole de la période réfractaire psychologique (pour une revue complète voir Maquestiaux, 2012) ainsi que de celui du stop-task (pour une revue complète voir Logan, 1994, 2015; Verbruggen, Schneider, & Logan, 2008). Ses travaux, initialement

destinés à l'étude de l'effet de la période réfractaire psychologique (Telford, 1931), avaient pour objectif de déterminer la nature -continue ou intermittente- du mode d'ajustement à des perturbations.

Le but de la tâche utilisée pour le protocole est de conserver la pointe d'un stylet à l'aplomb d'un tracé rectiligne généré par un kymographe. Le participant doit ainsi sans cesse replacer le stylet en réaction au changement imprévisible de hauteur du tracé au moyen d'une manivelle. Ce faisant, Vince (1948) introduisit pour la première fois le concept d'inhibition dans un protocole de psychologie expérimentale. En effet, ce protocole permettait l'observation de l'interruption d'un processus cognitif de traitement d'information (i.e., ajustement de la position du stylet en réponse à un écartement du tracé).

La principale variable indépendante utilisée par Vince est la durée séparant le premier et le deuxième changement (i.e., 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 1 200, et 1 600 ms). Cette durée, appelée stop signal delay, ou SSD, fait à l'heure actuelle toujours office de variable fondamentale utilisée dans les paradigmes d'interruption de réponse motrice (Logan, 2015). Il faudra cependant attendre la fin du 20^{e} siècle pour voir se développer le paradigme du stop-task, l'un des protocoles expérimentaux les plus utilisés dans l'étude de l'inhibition motrices.

1.2 Inhibition d'un processus en cours d'exécution

Au quotidien, de très nombreuses situations sportives ou écologiques nécessitent d'interrompre des processus conduisant à l'action en cours d'exécution et rendent heuristique l'étude des processus sous-jacents. En effet, cette interruption semble contrainte par un certain nombre de limites cognitives dont la nature des contours est toujours au centre des préoccupations en psychologie expérimentale. Les réponses à ces préoccupations sont principalement alimentées par le paradigme moderne du *stop-task*[3] qui permet d'étudier de très nombreuses facettes de cette problématique. Aujourd'hui, le paradigme du stop-task peut être formellement défini par "une tâche de temps de réaction (TR), pour laquelle la présentation occasionnelle d'un signal stop indique que la réponse en cours doit être interrompue" (Band, van der Molen, & Logan, 2003).

Ce paradigme permet ainsi de tester un très grand nombre de situations nécessitant

3. D'autres appellations apparaissent dans la littératures comme le *stop-signal* ou *stop-signal task*

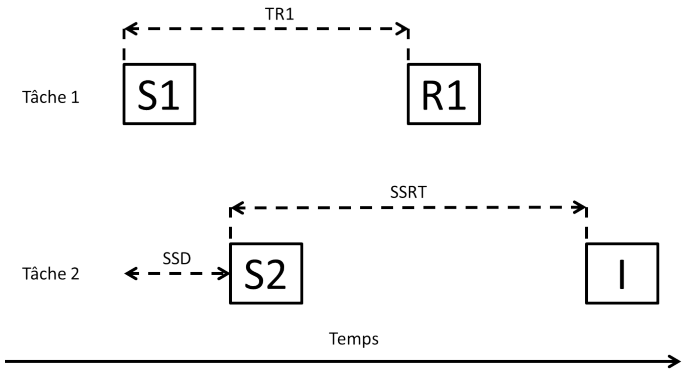

FIGURE 1.1 – Déroulement d'un essai de stop-task. La Tâche 1 est déclenchée par le stimulus S1 appelant une réponse R1. Le temps de réaction TR1 de la Tâche 1 correspond au traitement cognitif entre S1 et le début de R1. La Tâche 2 appelant l'inhibition de la Tâche 1 est déclenchée par l'apparition du stimulus S2. Le temps de réaction du processus d'inhibition motrice est le délai séparant S2 de la complétion du processus inhibiteur. Il est appelé *stop-signal reaction time* (ou *SSRT*). À noter : l'émission ou l'inhibition de R1 est dépendante du processus qui arrive en premier à son terme. Si TR1 < SSD + SSRT : le processus de réponse arrive à son terme en premier et la réponse est émise ; si TR1 > SSD + SSRT : le processus d'inhibition arrive à son terme en premier et la réponse est inhibée.

l'interruption d'actions motrices comme celles impliqués dans la conduite automobile (Levy & Pashler, 2008), les gestes sportifs comme la frappe en baseball (Gray, 2009), ou comme des procédures standardisées en laboratoire qui utilisent des tâches discrètes élémentaires (Lappin & Eriksen, 1966; Logan & Burkell, 1986; Yamaguchi, Logan, & Bissett, 2012).

Les principales variables indépendantes manipulées sont la nature de la Tâche 1 à interrompre, de la Tâche 2 commandant l'interruption de la réponse motrice et de ses conditions d'apparition (durée du SSD, fréquence d'apparition et consignes données aux participants). La Figure 1.1 illustre le déroulement d'un essai de stop-task.

1.2.1 Tâche 1

La Tâche 1 de temps de réaction constitue une variable essentielle à la mise en place du protocole stop-task. Chaque Tâche 1 doit posséder un but défini (par ex., obtenir le TR le plus court possible), et associer une réponse précise à l'apparition d'un stimulus 1 (par ex., un son, une lettre, une couleur). La réponse motrice au stimulus 1 (S1) peut cependant être discrète (par ex., appuyer sur un bouton) ou continue (par ex., déplacer le bras).

1.2.2 Tâche 2 (STOP)

La deuxième tâche est associée à un stimulus 2 (S2) également appelé stimulus *stop*. Le stimulus stop indique l'arrêt de la réponse à la Tâche 1 en cours d'exécution. La modalité sensorielle du stimulus 2 est bien souvent auditive (un son), mais peut aussi être visuelle (Lappin & Eriksen, 1966) voir tactile (Åkerfelt, Colonius, & Diederich, 2005) [4].

La manipulation du délai séparant le stimulus stop du stimulus 1 (appelé *stop-signal delay* ou *SSD*), la fréquence d'apparition du stimulus stop, et les instructions données aux participants constituent trois caractéristiques fondamentales des protocoles de stop-task (pour une revue de littérature détaillée voir Band et al., 2003; Logan, 1994).

1.2.2.1 Caractéristique 1 : La durée du SSD

La durée du SSD constitue la première variable indépendante fondamentale du protocole du stop-task. Sa durée peut être fixée de deux façons. La première consiste à utiliser des délais fixes préalablement déterminés par l'expérimentateur (Lappin & Eriksen, 1966; Logan & Cowan, 1984). La deuxième consiste au contraire, à déterminer, un délai évolutif pour chaque participant au cours de l'expérience (Levitt, 1970).

L'utilisation de SSD fixes permet de comparer l'évolution du pourcentage de réponses émises en fonction du SSD. Théoriquement, deux SSD peuvent suffire à l'estimation de la moyenne et la variance et de la *fonction d'inhibition* [5]. Néanmoins la pratique semble indiquer que trois à quatre SSD différents soient nécessaires afin d'éviter toute stratégie d'anticipation des participants (Logan, 1981).

La problématique de la durée de cette fixation provient de la nécessité d'ajuster le SSD de façon à ce que la probabilité de répondre à la tâche soit compris entre 0 et 1. Il conviendrait ainsi d'utiliser plusieurs SSD s'échelonnant entre une durée courte, pour laquelle les participants auront la possibilité d'interrompre fréquemment leur réponse, et une durée assez longue pour induire une réponse dans la majorité des essais. Cette échelle reste néanmoins à l'appréciation de l'expérimentateur car il n'existe pas de règle formalisant la répartition de ce SSD. Par exemple, le paradigme

4. Dans la variante changement de tâche, le stimulus en question commande à la fois l'arrêt de la tâche en cours et une autre réponse motrice. Nous décrirons spécifiquement cette variante au cours du chapitre 3

5. Voir partie 1.2.3.1

de Lappin et Eriksen (1966) comporte quatre délais (0, 12, 33 ou 63 ms) et Logan et Burkell (1986) utilisent six délais (80, 160, 240, 320, 400 et 480 ms).
L'utilisation d'un délai évolutif consiste à partir d'un SSD arbitraire, puis à le modifier au cours de la passation dans le but de fixer une probabilité de réponse déterminée pour chaque participant (Levitt, 1970). Cette modification du SSD peut avoir lieu à différents moments de l'expérience, après un bloc ou de façon dynamique tout au cours de l'expérience (Band et al., 2003). Cette procédure est notamment utile pour s'affranchir de la variabilité interindividuelle des participants en termes d'inhibition ainsi que pour éliminer toute anticipation stratégique due à l'anticipation des SSD. Par exemple, dans leur expérience 1, Verbruggen, Logan, et Stevens utilisent un SSD de 250 ms lors du premier essai et ajustent le SSD essai après essai de façon à obtenir pour chaque participant un pourcentage de réponse de 50%. Pour ce faire, le SSD est augmenté de 50 ms chaque fois que le participant répond à la première tâche et diminué de 50 ms chaque fois que le participant inhibe sa réponse.

1.2.2.2 Caractéristique 2 : La fréquence d'apparition

La deuxième caractéristique importante du signal stop est sa fréquence d'apparition. De la même façon que pour la durée du SSD, la fréquence d'apparition du signal stop relève d'un compromis expérimental entre une quantité maximale de données et une absence d'anticipation stratégique du signal stop par les participants. En effet, plus le signal stop apparaît fréquemment et plus nombreux seront les essais à analyser (e.g., TR lorsque la réponse est émise). Cependant, une augmentation trop importante de cette probabilité pourrait également générer une tendance des participants à réguler l'exécution de la Tâche 1 par des processus top-down dont les tenants et aboutissants sont encore mal connus (Logan, 1994; Logan et al., 2014) [6]
En pratique, une fréquence d'apparition autour de 25% permettrait d'obtenir un compromis idéal entre un nombre d'essais suffisant et la tendance au ralentissement de la Tâche 1 (Logan, 1994). En effet, le signal d'arrêt apparaîtrait assez souvent pour obtenir une quantité de données suffisantes tout en limitant le développement de stratégies de retardement de la réponse à la Tâche 1 afin d'anticiper l'apparition de S2. Cependant, la fixation de ce pourcentage reste arbitraire (Band et al., 2003) et à

6. Nous discuterons plus en détail des conséquences de la fréquence d'apparition du signal stop dans la partie 1.2.3.3.

ce jour, peu d'expériences ont exploré les conséquences de la modification de ce pourcentage (Bissett & Logan, 2011; Logan, 1981; Logan & Burkell, 1986; Ramautar et al., 2004). L'ordre d'apparition d'essais contenant un signal stop ne doit pas être prévisible et doit être randomisé avec les essais de simple tâche où aucun signal d'arrêt n'apparaît. Cette manipulation est également effectuée dans l'optique d'éviter toute stratégie d'anticipation et d'apprentissage.

1.2.2.3 Caractéristique 3 : La priorité entre les tâches

Dernière caractéristique, les consignes données aux participants, doivent permettre d'accorder une priorité égale aux deux tâches (e.g., rapidité à la tâche de réponse et performance à la tâche d'inhibition). L'enjeu est d'éviter de créer un biais de réponse qui amènerait les participants à privilégier une réponse rapide au détriment de l'inhibition motrice et vice versa.
Parmi les éléments de consignes récurrents dans les expériences utilisant le paradigme du stop-task, Logan (1994) préconise notamment la familiarisation préalable à la tâche de réponse avant d'introduire la tâche d'interruption motrice. Les participants sont généralement avisés de répondre à la tâche le plus rapidement et précisément possible sans ralentir leur réponse pour anticiper l'apparition du signal d'arrêt. L'instruction est également donnée de réaliser le plus d'effort possible pour stopper la réponse lorsque le signal stop survient. Les participants sont également avertis que le SSD sera parfois très court (ce qui permettrait de stopper la plupart des réponses) et parfois très long (qui rendrait l'arrêt impossible). Aucune règle absolue n'a cependant été établie en ce qui concerne la formulation de ces instructions, relativement peu d'études ont exploré les conséquences de la modification de ces instructions et relativement peu d'études ont exploré les conséquences de la modification de ces consignes.

1.2.3 Conséquences comportementales

Les données d'expériences utilisant le paradigme du stop-task permettent d'observer et d'inférer la capacité à interrompre une action motrice à travers une variable dépendante clef : les pourcentages d'inhibition à travers les SSD définis comme la *fonction d'inhibition* (Logan, 1994). Nous détaillerons les effets de trois variables

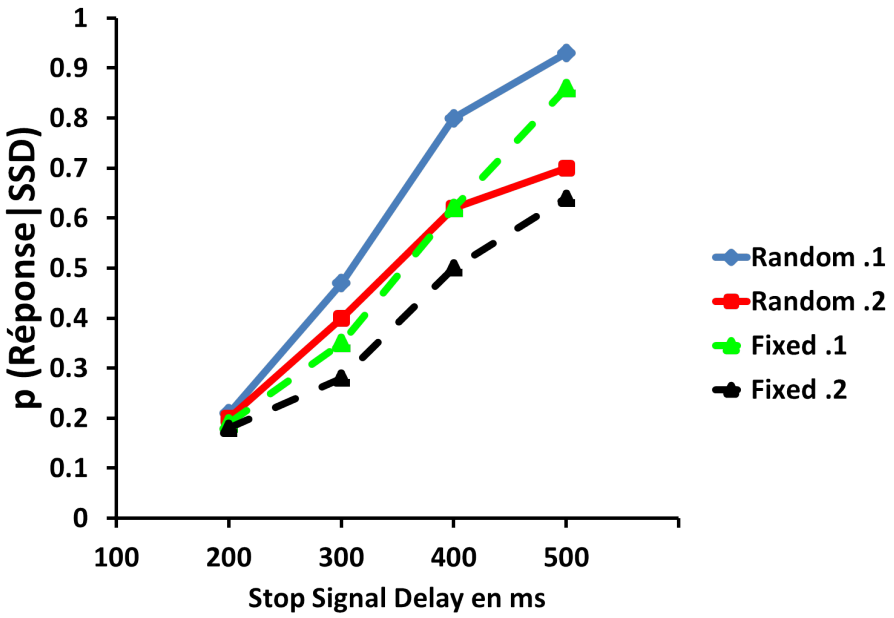

FIGURE 1.2 – Probabilité de répondre à la tâche motrice étant donné un SSD. Les valeurs .1 et .2 correspondent à la probabilité d'apparition du signal stop. Les intitulés "Random" et "Fixed" correspondent respectivement à l'utilisation de SSD variables et fixes (Logan, 1981)

indépendantes sur la fonction d'inhibition : le SSD, le TR de la réponse à interrompre et la fréquence d'apparition du signal stop.

1.2.3.1 Effet du SSD sur la fonction d'inhibition

Parmi les variables comportementales les plus généralement observées le pourcentage de réponses interrompues (correspondant à 1 – le pourcentage de réponses émises) est très largement utilisé dans l'ensemble des protocoles de stop-task. Lorsqu'au moins deux SSD sont utilisés, l'expression des pourcentages d'interruption de la réponse en fonction des SSD est appelée *fonction d'inhibition*.

Réciproquement la fonction d'inhibition est égale à 1 – le pourcentage de réponses émises. Cette variable dépendante constitue le premier niveau d'observation de l'inhibition motrice. La Figure 1.2 est prototypique des données de nombreuses études utilisant le protocole du stop-task qui convergent vers une augmentation substantielle de la probabilité de réponse (ou diminution de la probabilité d'inhibition) lorsque le SSD augmente.

De tels résultats étaient également observés par Vince (1948) en utilisant un protocole de réajustement continu. Les mesures effectuées affichent notamment une absence totale d'ajustements visibles lorsque l'intervalle entre les deux changements

de tracé (SSD) est le plus court (50 ms).

Ces résultats signifient ainsi que le processus inhibiteur du premier ajustement parvient systématiquement à son terme avant le processus d'ajustement. Lorsque l'intervalle entre les deux stimuli est plus ou moins court (e.g., entre 100 ms et 700 ms), le premier ajustement moteur peut être modifié par l'apparition du deuxième stimulus. En effet, Vince constate que les participants sont également capables d'interrompre le mouvement associé au premier stimulus et de le modifier lorsque le deuxième stimulus apparaît. Cette interruption apparaît jusqu'à 25% des essais à l'intervalle de 300 ms.

Observation corollaire : lorsqu'une réponse est émise, la réponse à la première tâche peut être initiée après l'apparition du deuxième stimulus aux intervalles les plus courts (50 et 100 ms). Aux intervalles intermédiaires (200, 300, 400 et 500 ms), une proportion substantielle de réponses émises après l'apparition du deuxième stimulus persiste alors que le TR moyen des participants est situé entre 290 ms et 340 ms. Ainsi, une réponse en cours d'exécution n'est pas instantanément révocable. En d'autres termes, il existerait donc une limite temporelle dans le traitement cognitif précédant toute réponse au-delà de laquelle un signal stop ne permettra pas d'interrompre la production de la réponse. Cette limite temporelle constitue une propriété fondamentale à l'interruption d'un processus en cours et sera définie comme un *point de non-retour* (Bartlett, 1958) [7].

Dans l'une des premières études utilisant une tâche de détection visuelle discrète, des patterns similaires confirment cette conclusion (Lappin & Eriksen, 1966). Les auteurs ont demandé à 5 participants de presser une touche à l'allumage d'une ampoule et de stopper cette réponse si une deuxième ampoule s'allume. Les résultats indiquent des pourcentages d'inhibition mesurés sont de 72%, 60%, 47% et 42% respectivement aux SSD de 0, 12, 33, et 63 ms. Des résultats équivalents sont obtenus en utilisant des tâches très diverses comme les mouvements oculaires (Åkerfelt et al., 2005; Camalier et al., 2007), des TR de choix (Logan & Burkell, 1986; Yamaguchi et al., 2012), des mouvements continus (De Jong, Coles, Logan, & Gratton, 1990; Henry & Harrison, 1961), des tâches d'anticipation (Slater-Hammel, 1960) ainsi qu'avec des tâches plus écologiques comme la frappe en baseball (Gray, 2009), le freinage d'urgence (Levy & Pashler, 2008), ou la dactylographie (Logan, 1981).

7. Voir section 1.3.1.1

1.2.3.2 Effet de la durée de traitement d'une tâche sur l'inhibition

La question des conséquences de la durée de traitement d'un processus sur son interruption s'est posée dès la mise au point des premiers paradigmes de stop-task. En effet, la durée d'exécution d'une tâche apparaît comme un facteur largement déterminant les possibilités d'interruption motrice par la suite. Par exemple, Lappin et Eriksen (1966), ont observé une probabilité d'inhibition diminuée lorsque le TR moyen de la tâche à interrompre est court. Cette observation laisse entrevoir une relation inversement proportionnelle entre le niveau de complexité d'une tâche et son interruption.

Pour tester cette hypothèse, Osman, Kornblum et Meyer (1986) ont manipulé la durée du traitement de la tâche à interrompre dans un paradigme d'interruption de réponse. Dans l'expérience 1, les participants doivent identifier si une série de quatre lettres constitue un mot ou un non-mot en pressant une touche d'un clavier avec l'index ou le majeur de la main droite et interrompre leur réponse lorsqu'un son bref apparaît dans 25% des essais. La procédure utilise l'algorithme de Levitt (1970) de façon à obtenir trois SSD (e.g., littéralement "longs", "intermédiaires" et "courts") induisant respectivement 71%, 50% et 29% de réponses motrices émises pour chaque participant.

En condition de simple tâche, un effet significatif de la nature du mot est mesuré sur le TR des participants avec une moyenne de 538 ms lorsqu'il s'agit d'un mot, et 593 ms lorsqu'il s'agit d'un non-mot, soit un allongement de 58 ms. En condition d'inhibition, les résultats montrent un ralentissement de 65 ms des réponses émises quand bien même le signal d'interruption apparaît avec un TR moyen de 373 ms en condition mot et 438 ms en condition non-mot. Un ralentissement équivalent de 63 ms du SSD est également nécessaire pour obtenir un pourcentage d'inhibition équivalent démontrant l'influence du TR moyen de la tâche motrice dans la capacité d'inhibition motrice.

Il est ainsi crucial de noter que la complexité de la Tâche 1 constitue un facteur déterminant au regard des probabilités d'interruption mesurées en cas d'apparition de signal stop à un SSD donné. En effet, une augmentation de la complexité de la Tâche 1 constitue un facteur d'augmentation du temps de traitement et par là-même des probabilités d'interruptions de réponses correspondantes. En d'autres termes, pour un

SSD donné, une tâche complexe affichera des pourcentages d'inhibition supérieurs à ceux observés pour une tâche moins complexe.
Inversement, pour obtenir un pourcentage d'inhibition équivalent, le SSD correspondant à la tâche la plus complexe devra être plus long que le SSD correspondant à la tâche la moins complexe. Une deuxième observation concerne la différence substantielle généralement mesurée entre les TR mesurés en condition d'inhibition par rapport aux mesures effectuées en condition de simple tâche. En effet, les TR en condition d'inhibition sont plus rapides que ceux mesurés en condition de simple tâche car ils correspondent aux processus moteurs arrivant à leur terme avant le processus d'inhibition et donc aux réponses les plus rapides. En d'autres termes, seuls les TR les plus rapides "échappant" au processus d'inhibition sont alors mesurés, alors que des TR plus lents sont enregistrés en condition de simple tâche.
L'ensemble de ces observations a notamment permis de développer un modèle intégrant la notion de point de non-retour [8] qui décrit la capacité à interrompre une réponse en fonction de la durée des processus centraux correspondants.

1.2.3.3 Effet de la fréquence d'apparition du signal stop

Á ce jour, relativement peu d'études ont exploré les effets de la fréquence d'apparition du signal stop (voir Logan, 1994; Logan et al., 2014). Cependant, leurs résultats mettent en lumière une augmentation de la probabilité d'inhibition et un ralentissement des TR go lorsque le pourcentage d'apparition du signal stop augmente (Bissett & Logan, 2011; Logan, 1981; Logan & Burkell, 1986; Ramautar et al., 2004). Logan (1981) observa cet effet en comparant les pourcentages d'inhibition obtenus avec 10% et 20% d'inhibition. Des observations similaires ont été effectuées avec une présentation du signal stop dans 20%, 50%, et 80% des essais (Logan & Burkell, 1986). Les analyses quantitatives démontrent une augmentation de la probabilité d'inhibition imputable au ralentissement du TR de la tâche. Il est à noter que ces ralentissements peuvent être suffisamment importants pour biaiser les mesures obtenues et notamment l'estimation du SSRT (Leotti & Wager, 2010). De plus, ces mesures semblent émerger malgré les précautions de familiarisation expérimentales préalables (e.g., familiarisation en premier lieu à la tâche go ; instructions données de ne pas ralentir la réponse motrice) visant à éviter ce ralentissement (Logan & Burkell,

8. Voir partie 1.3.1.1

1986; Ramautar et al., 2004).

1.3 Modèles explicatifs

Les données de nombreuses observations et expériences indiquent qu'une fois prise, la décision de répondre à un stimulus ne peut pas être instantanément interrompue et par là-même, une action en cours d'exécution nécessite un temps incompressible pour être arrêtée. Sur la base de ces deux observations générales, et très largement répliquées depuis Vince, furent introduits et développés deux modèles cognitifs prédisant la performance dans une tâche d'interruption de réponse motrice : le horse-race model (Logan & Cowan, 1984) et l'existence d'un point de non-retour (Bartlett, 1958).

1.3.1 Le horse race model

À partir des résultats empiriques précédemment décrits, Logan et Cowan (1984) ont développé l'idée originale d'une course entre deux processus permettant d'expliquer la performance en situation d'inhibition de réponse. Cette théorie fut formalisée sous l'expression d'une modélisation appelée *horse-race model*. Le modèle complet, illustré en Figure 1.3, constitue l'hypothèse de fonctionnement de l'inhibition motrice la plus largement utilisée à l'heure actuelle. Elle est également à la base d'une variable dépendante originale appelée *stop signal reaction time*[9] pouvant être inférée à partir des TR effectivement mesurés.

Dans l'expérience originale, trois participants ont effectué un protocole de stop-task durant six sessions d'une heure. La tâche à exécuter correspond à l'identification de deux lettres (e.g., A ou X) appelant la pression d'une touche par l'index ou le majeur de la main droite. Le signal d'arrêt correspond à un son d'une fréquence de 900 Hz et d'une durée de 500 ms. Il apparaît dans 25% des essais avec 10 SSD incrémentés par tranche de 50 ms entre 50 ms et 500 ms. Le premier processus aboutit à l'émission de la réponse motrice et le deuxième conduit à son interruption. Le processus de réponse correspond aux stades de traitement de l'information associant un stimulus sensoriel et une réponse motrice (pour une description détaillée voir Pashler, 1994).

Du fait de la réponse motrice, certaines caractéristiques de ce processus sont

9. Voir partie 1.3.1.1

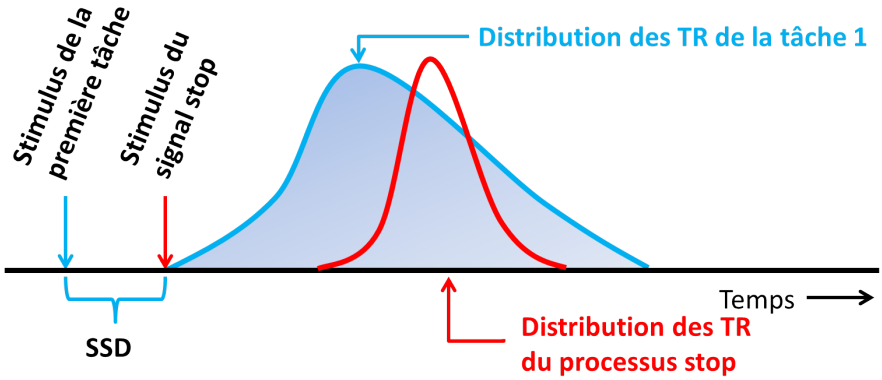

FIGURE 1.3 – Représentation graphique complète du horse-race model dans laquelle la réponse à la lettre et la réponse au signal stop sont deux variables obéissant à la loi normale (Logan & Burkell, 1986)

observables (e.g., TR). Le processus d'arrêt est quant à lui plus difficile à conceptualiser car il ne peut être directement mesuré. En effet, lorsque ce processus d'arrêt s'accompli avant le processus de réponse, aucun mouvement n'est observé. Néanmoins, le modèle permet d'inférer une relation entre les deux étant donné le fait que l'observation d'une réponse motrice atteste que le processus de réponse motrice est arrivé à son terme en premier. Inversement, si le processus d'arrêt (processus stop) arrive à son terme en premier, la réponse est interrompue.

À partir des caractéristiques de ce modèle, quatre grandes prédictions permettent d'expliquer un très grand nombre d'observations empiriques précédemment décrites. En particulier, ces prédictions permettent d'interpréter l'effet du TR et du SSD sur la fonction d'inhibition. Un présupposé formulé par les auteurs permet de simplifier la description du modèle concerne la durée du processus stop (ou stop-signal reaction time). Celui-ci sera donc assimilé à une constante lors des prochaines représentations graphiques. La Figure 1.4 décrit l'apparition des deux processus en intégrant ce présupposé.

La distribution des TR est illustrée par la courbe gaussienne bleue et la constante temporelle d'achèvement du processus d'arrêt, schématisée par la ligne verticale rouge divisant la distribution des réponses en deux parties : T_r et T_s. Celles-ci correspondent respectivement au temps d'exécution des processus de réponse et d'inhibition. t_d correspond à la durée du SSD. L'aire gauche de la courbe colorée en bleu représente les TR gagnant la course et donc mesurables. Ces TR mesurés sont donc plus rapides que la somme du TR d'arrêt et du SSD et peuvent être formalisés avec la relation

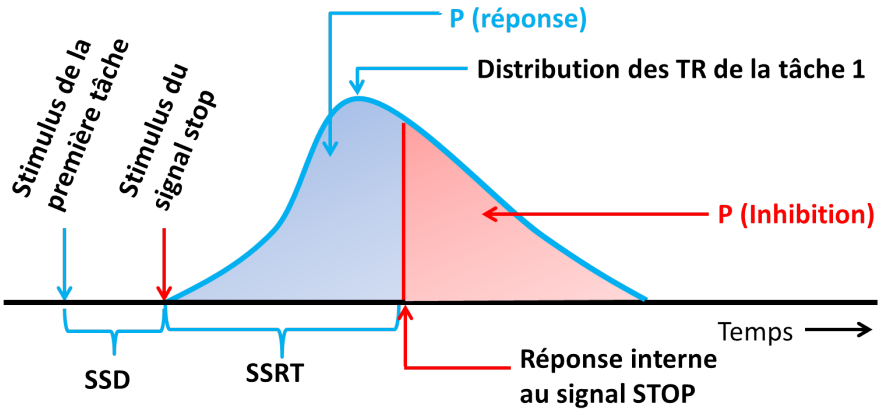

FIGURE 1.4 – Représentation graphique des prédictions du horse-race model, indiquant la façon dont la probabilité d'interrompre une réponse à un stimulus – P(INHIBITION) – et réciproquement, la probabilité de répondre à un stimulus – P(REPONSE) – dépendent de la distribution de la réponse à la tâche motrice et du SSD

$T_r < T_s + t_d$. Cette aire matérialisée en bleu représente ainsi la probabilité de répondre étant donné un SSD. L'aire droite colorée en rouge représente quant à elle les TR perdant la course. Ils sont plus lents que la somme du TR d'arrêt et du SSD et peuvent être formalisés avec la relation $T_r > T_s + t_d$. Cette aire représente ainsi la probabilité d'interrompre une réponse motrice étant donné un SSD.
Un des postulats de ce modèle est l'indépendance entre T_r et T_s. Ainsi, dans une certaine proportion des essais, le processus d'arrêt sera plus rapide que le processus de réponse et dans une autre proportion, le processus d'arrêt sera plus lent que le processus de réponse. Cette proportion est dépendante de la distribution des processus de réponse et d'arrêt ainsi que du SSD entre les stimuli de réponse et d'arrêt.
La Figure 1.5 décrit la variation de la fonction d'inhibition en fonction de la variation du SSD.

Sur cette figure, le stimulus de réponse motrice est présenté de la même façon que sur la précédente avec une distribution identique de réponses mais avec un SSD plus long. Ainsi, le processus stop est retardé dans sa course et intercepte la distribution de la tâche motrice plus tard. En comparaison avec la Figure 1.4, la probabilité de réponse (correspondant à la surface bleue) est plus importante et la probabilité d'inhibition est plus faible. Ces deux illustrations du modèle permettent d'interpréter les données précédemment observées par la très grande majorité des études, à commencer par Vince (1948), et qui montrent l'augmentation de la probabilité de réponse induite par l'augmentation du SSD. Si le stimulus stop est présenté suffisamment tôt (e.g., SSD =

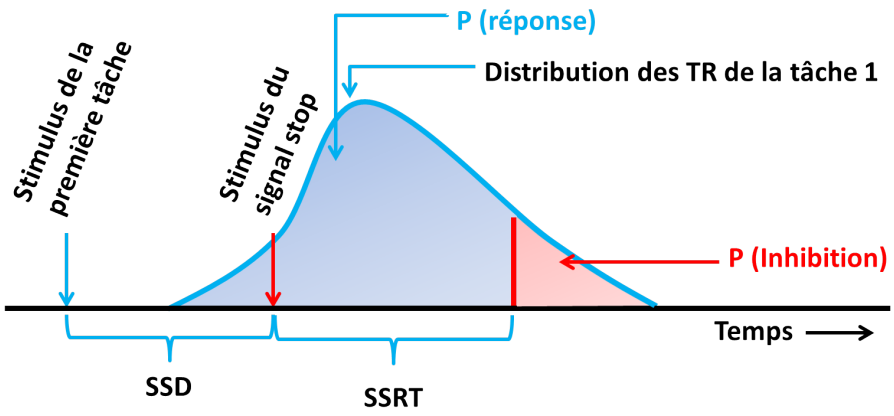

FIGURE 1.5 – Illustration de la diminution de la probabilité d'inhibition d'une réponse motrice (e.g., diminution de l'aire rouge aux dépends de l'aire bleue) avec l'augmentation du SSD.

50 ms ; c.f. Figure 1.4), la probabilité de réponse tendra vers 0 (la surface n'occupera quasiment pas la surface totale) et s'il est présenté suffisamment tard (e.g., SSD = 1,000 ms ; c.f. Figure 1.5), la probabilité de réponse approchera 1 (la surface bleue occupera la surface totale). Entre les SSD extrêmes, la probabilité de réponse augmentera à mesure que le SSD sera éloigné dans le temps. De façon formelle, il est possible de représenter l'évolution de la probabilité de réponse comme suit :

$$P_r(t_d) = \int_0^{T_d+t_d} f_g(t)dt \tag{1.1}$$

Où $P_r(t_d)$ est la probabilité de répondre étant donné un SSD t_d, T_d est *le stop signal reaction time*, et $f_g(t)$ est la distribution des TR mesurables. À noter, la forme de la fonction d'inhibition dépend indirectement de la forme de la distribution des TR. La partie médiane de la fonction d'inhibition, où la probabilité de réponse avoisine les 50%, correspond à la moyenne de la distribution des TR. La pente de la fonction d'inhibition correspond quant à elle à l'écart-type de la distribution des réponses mesurables. Plus l'écart-type est important, plus la distribution des TR sera étalée et plus la pente de la fonction d'inhibition sera proche de zéro.

La Figure 1.6 illustre les résultats d'études observant une corrélation entre la moyenne des TR mesurés et la probabilité de réponse étant donné un SSD (Lappin & Eriksen, 1966; Osman et al., 1986).

Ces résultats indiquent notamment que plus l'exécution de la tâche nécessite de temps pour arriver à son terme, plus le processus de réponse est retardé dans sa course avec le processus stop, impliquant une augmentation de la probabilité

d'inhibition motrice conjointe avec l'augmentation du TR de la tâche à interrompre. Autre observation expliquée par ce modèle, les TR moyen des réponses échappant à l'inhibition motrice sont plus lents aux SSD les plus longs que ceux mesurés aux SSD les plus courts (Logan & Burkell, 1986). Cette mesure constituerait donc une mesure artefactuelle causée par la mesure de la partie gauche de la distribution des réponses correspondant aux processus qui gagnent la course avec le processus d'inhibition. Plus le signal d'inhibition apparaît proche du signal commandant la réponse motrice, plus les réponses échappant au processus d'inhibition devront être rapides pour observer une réponse motrice.

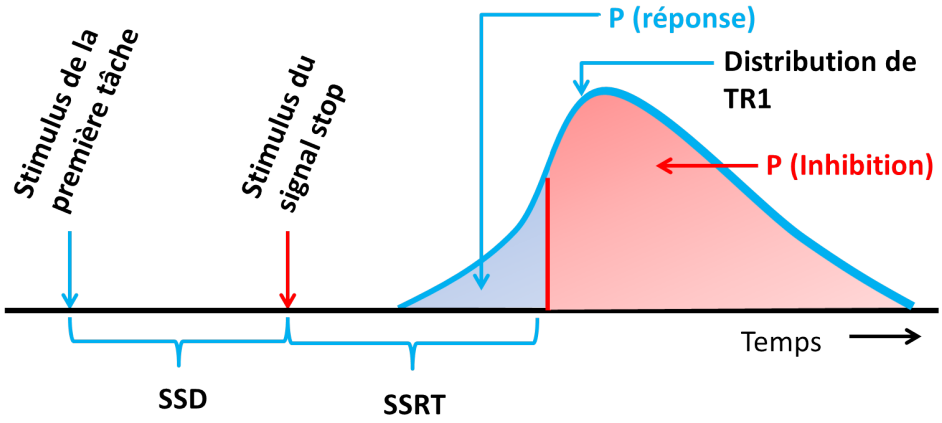

FIGURE 1.6 – Illustration de l'augmentation du pourcentage de réponses inhibées avec l'augmentation du TR initial de la tâche. Plus le TR d'une tâche est important (e.g., plus l'ensemble de la courbe est décalée vers la droite), plus le processus de traitement correspondant sera désavantagé dans sa course avec le processus stop. Ainsi, les pourcentages d'inhibition de la tâche ci-dessus seront plus importants que les pourcentages illustrés en Figure 1.4 malgré un SSD et un SSRT équivalent.

La figure 1.7 est l'illustration du fait que la valeur de la fonction d'inhibition dépend davantage du moment où les deux processus se terminent que de leur point de départ dans l'absolu.

Sur cette illustration, le processus de réponse motrice a été retardé en comparaison avec la Figure 1.4, de même que le SSD. La fin du processus d'inhibition correspond par conséquent au même point d'intersection de la distribution et la fonction d'inhibition sera identique à celle de la Figure 1.4 malgré un SSD différent.

1.3.1.1 Caractéristiques du processus d'inhibition

Le horse-race model permet d'expliquer les résultats d'expériences utilisant le paradigme du stop-task (e.g., fonction d'inhibition, TR en condition de simple tâche

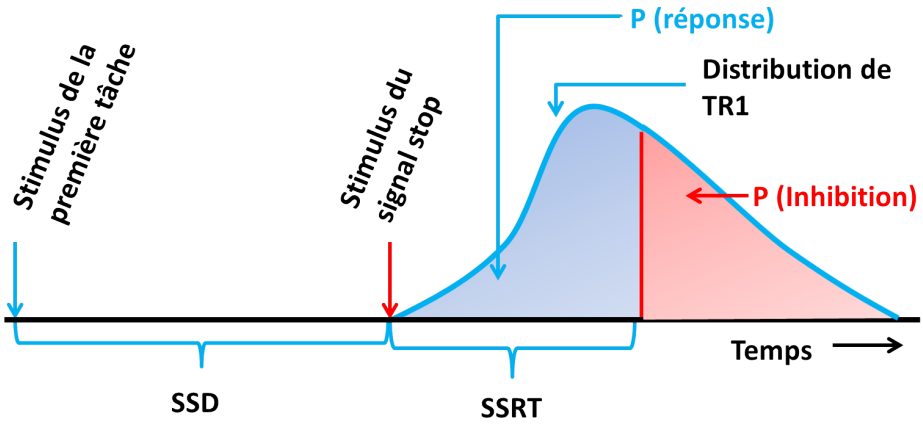

FIGURE 1.7 – Illustration de l'influence du moment d'achèvement relatif du processus moteur et du processus stop sur le pourcentage d'inhibition. Sur cette figure, les pourcentages d'inhibition de la réponse ont identiques à ceux mesurés sur la Figure 1.4 bien que le stimulus stop soit présenté plus tard. En effet, le TR de la tâche illustrée ci-dessus est plus important que sur la Figure 1.4 "compensant" l'allongement du SSD de façon à obtenir des pourcentages d'inhibition équivalent.

et en condition d'inhibition). Ces explications sont basées sur le horse-race model qui implique un processus stop possédant deux propriétés majeures. La propriété d'*indépendance* avec le processus de réponse, et la propriété de conservation d'une durée relativement stable quels que soient les processus de réponse à interrompre.

Propriété d'indépendance

Afin de simplifier le modèle formel et le rendre opérationnel, le modèle classique propose généralement le postulat d'indépendance entre les processus d'émission et d'inhibition motrice (voir Logan et al., 1984). Cette indépendance peut être divisée en deux parties : une indépendance contextuelle (ou indépendance de signal) et une indépendance stochastique.

L'indépendance contextuelle part du postulat selon lequel la distribution des réponses motrices est la même quelle que soit la nature de l'essai (simple tâche ou inhibition). L'indépendance stochastique correspond au postulat que la variabilité inter-essais du TR motrice est indépendante de la variabilité inter-essais du TR d'inhibition. Le horse-race model peut être testé à partir des prédictions découlant de ces deux postulats. Ces prédictions, peuvent être testées quantitativement en analysant les moyennes des TR et de manière plus qualitative sous l'angle de l'analyse des distributions des réponses motrices des essais dans la condition "signal d'arrêt". Quantitativement, le modèle prévoit l'observation de TR moyen en condition de

simple tâche plus longs que la moyenne des réponses en présence du signal stop. En effet, la moyenne des réponses motrices sans signal stop correspond à la moyenne de toutes les réponses (i.e., incluant les réponses les plus longues) alors que la moyenne des réponses motrices en présence du signal d'arrêt représente les réponses assez rapides pour se terminer avant le processus d'inhibition. Cette prédiction a été testée par Osman et al. (1986) avec une différence allant jusqu'à 80 ms entre les TR échappant à l'inhibition aux SSD courts et les TR moyens en condition de simple tâche.

Qualitativement, le modèle prévoit un décalage de la distribution des TR plus tard dans le temps à mesure que le SSD augmente (voir Figure 1.4 pour les SSD courts et la Figure 1.5 pour les SSD longs). Les résultats de Osman et al. (1986) vont également dans ce sens en révélant un décalage caractéristique de la distribution des TR en accord avec la propriété d'indépendance contextuelle du horse-race model. Un très large panel d'études a par ailleurs renforcé cette hypothèse et l'a étendue à différentes populations, tâches, et conditions expérimentales en utilisant des SSD fixes et des SSD dynamiques (De Jong et al., 1990; Logan & Cowan, 1984; Osman et al., 1986; Van Boxtel et al., 2001; Verbruggen et al., 2004).

Une deuxième prédiction concerne les TR qui échappent au processus d'inhibition à partir du SSD. Etant donné le TR moyen en condition de simple tâche et la probabilité de réponse à un SSD donné, il est possible d'estimer cette moyenne en rapportant la probabilité de réponse à la distribution sans signal stop (voir Logan & Cowan, 1984; Logan, 1994; Verbruggen & Logan, 2009b, pour une description plus complète).

Quelques études ont testé cette prédiction et ont rapporté de faibles différences entre les TR observés et prédits (e.g., De Jong et al., 1990; Logan & Cowan, 1984), ce qui suggère une indépendance contextuelle effective entre les processus de réponse et d'inhibition. D'autres études ont permis l'observation de différences significatives entre les TR prédits et observés (Colonius et al., 2001; Van Boxtel et al., 2001; Verbruggen et al., 2004). Ces différences ont notamment été observées pour les expériences utilisant des SSD courts et fixes (voir Colonius et al., 2001).

Ces observations sont néanmoins à nuancer par de récents modèles qui intègrent des processus top-down (voir Leotti & Wager, 2010) et qui indiquent que la distribution des réponses motrices pourrait être influencée par la variabilité de celle du processus

stop (SSRT), généralement considérée comme une constante dans la plupart des modèles.

Propriété de durée du processus stop ou SSRT

Un certain nombre d'études qui utilisent le paradigme du stop-task établissent la durée du processus stop (en anglais *stop signal reaction time* ou *SSRT*) comme un indice de contrôle de l'inhibition. En effet, cette variable conditionne les capacités d'inhibition et donc de régulation motrice du système nerveux. Cependant, contrairement au processus de réponse, le processus d'inhibition n'est pas directement mesurable. De nombreuses techniques d'estimation se basant sur les caractéristiques du horse-race model, existent pour inférer sa durée.

La technique de calcul la plus simple consiste à inférer sa durée à partir de la distribution des TR en l'absence de signal d'arrêt (e.g., en condition de simple tâche). En pratique, il s'agit de sélectionner le n-ième TR de la distribution où n est obtenu en multipliant le nombre de TR dans la distribution par la probabilité de répondre étant donné le SSD. Pour estimer le SSRT, le SSD est alors soustrait au n-ième TR. Par exemple, dans le cas d'une expérience où la probabilité de réponse serait de 0.24 à un SSD de 100 ms, l'estimation du SSRT correspondrait à la différence entre le 24^{e} percentile de la distribution des TR sans signal d'arrêt (exemple 331 ms) et le SSD (ici 100 ms), soit SSRT = 331 – 100 = 231 ms. Cette opération est répétée pour chaque SSD et chaque participant. Les résultats sont ensuite moyennés pour l'ensemble des SSD (voir Logan, 1994).

Les données de nombreuses expériences semblent converger vers une durée moyenne du SSRT de 200 ms pour une population de jeunes adultes sains (Logan, 2015; Verbruggen, Logan, & Stevens, 2008). Ces similitudes pourraient être interprétées comme étant une preuve d'une caractéristique du processus stop, qui, contrairement au processus de réponse motrice, associe un stimulus à une réponse, serait un processus générique susceptible de stopper l'ensemble des réponses motrices (De Jong, 1995; Logan, 1994). Néanmoins ce processus apparaît variable au regard du développement ainsi que de certaines situations pathologiques [10].

10. Les données de psychologie du développement décrivent notamment une relation en U inversée entre le SSRT et l'âge similaire à celle des processus de réponse motrice (Williams et al., 1999). Le SSRT est plus long chez les jeunes enfants (environ 300 ms), décroît avec le développement normal (généralement 200 ms) avant d'augmenter chez une population de séniors (environ 250 ms). Le SSRT est également généralement augmenté de manière significative dans un très grand nombre de psy-

Le point de non-retour

La Figure 1.8 schématise la présence du point de non-retour en intégrant cette notion au horse-race model (Osman et al., 1986).

Les inférences à propos du SSRT ont permis de développer l'idée d'un point au-delà duquel toute réponse motrice serait irrévocable. Notamment, les 200 ms précédant une réponse pourraient correspondre à une limite temporelle au-delà de laquelle toute réponse serait obligatoirement émise. À ce propos, Bartlett (1958) décrivit l'idée d'un point de non-retour des actions motrices comme un aspect fondamental de la capacité de contrôle d'une action en cours. Osman, Kornblum et Meyer (1986) furent les premiers à enrichir le horse-race model sur la base de ce point de non-retour.

D'après leur modèle, le processus de traitement d'une réponse se diviserait en deux parties, à savoir en un processus contrôlé et un processus balistique. Le processus balistique précède nécessairement un mouvement ou une activité musculaire mesurable. En d'autres termes, une fois amorcé, le processus balistique est exécuté jusqu'à la fin, et cette fin correspond au début de la production motrice. Le processus balistique serait assimilé aux efférences motrices (Osman et al., 1986).

Le processus contrôlé précèderait le processus balistique et n'impliquerait pas nécessairement de mouvement. En effet, ce processus peut être interrompu par le processus d'inhibition. Il correspond aux commandes nécessitant des ressources centrales afin de programmer la réponse adéquate. Finalement, la limite temporelle séparant les deux processus correspondrait au "point de non-retour" (Bartlett, 1958) de la réponse motrice.

Le point de non-retour matérialise ainsi la ligne d'arrivée de la course entre le processus contrôlé d'une tâche et le processus d'inhibition lors des essais de stop-task. Par là-même, si le processus contrôlé atteint le point de non-retour en premier (1), une réponse motrice ou une activité musculaire sont mesurées. Inversement, si le processus stop atteint le point de non-retour avant le processus contrôlé (2), la réponse motrice est inhibée. Par conséquent, le phénomène d'augmentation des pourcentages d'inhibition associé à l'augmentation du TR de la tâche motrice observé

chopathologies comme les *troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité* (TDAH)(voir Lijffijt, Kenemans, Verbaten, & Van Engeland, 2005; Nigg, 2001, pour des revues de littérature sur les TDAH), la schizophrénie (Thakkar, Schall, Boucher, Logan, & Park, 2011) ainsi que de maladies neurologiques comme les lésions frontales (Ornstein et al., 2014) ou la maladie de Parkinson (Gauggel, Rieger, & Feghoff, 2004).

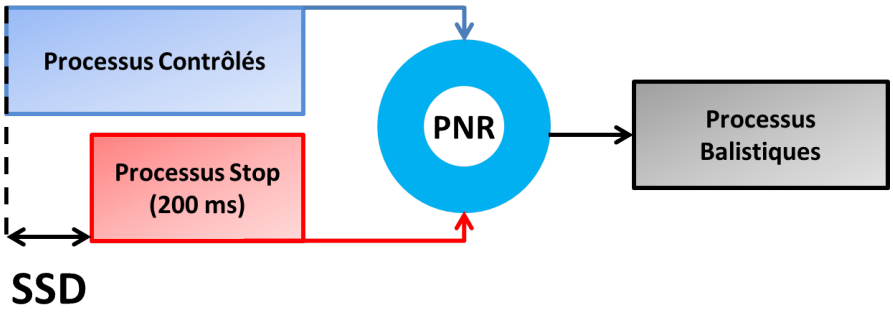

FIGURE 1.8 – Illustration du Horse-race model matérialisant le point de non-retour (PNR) comme la ligne d'arrivée de la course entre le processus de traitement de l'information pouvant être interrompu (processus contrôlé) et le processus d'inhibition séparé par un SSD donné. Le processus balistique d'émission de la réponse est déclenché dans le cas où le processus contrôlé arrive à son terme avant le processus d'inhibition

par Osman et al. (1986) serait imputable à l'augmentation de la durée du stade contrôlé de la tâche [11].

Le modèle proposé par Osman et al. (1986) prévoit notamment que tout facteur agissant uniquement sur le processus contrôlé devrait produire les mêmes changements dans la moyenne des réponses en condition de simple tâche et en condition d'inhibition. Inversement, un facteur impactant le processus balistique devrait modifier la moyenne des essais en condition de simple tâche sans modifier la moyenne des réponses émises en condition d'inhibition. Les résultats montrant une différence équivalente des moyennes en condition de simple tâche et d'inhibition (respectivement 65 ms et 58 ms) sont ainsi un argument expérimental validant ce modèle.

Le développement de techniques de mesure ont permis d'enrichir ce modèle. De Jong et al. (1990) ont utilisé des mesures psychophysiologiques pour confronter ce modèle. Plus spécifiquement, six participants ont réalisé trois sessions de 18 blocs comportant 100 essais d'une tâche de TR de choix consistant à identifier quatre lettres (e.g., M, N, V et W) appelant une réponse d'une main (e.g., V et M) ou d'une autre (e.g., W et N).

Le signal stop utilisé est un son de 1000 Hz d'une durée de 50 ms qui apparaît dans 39% des essais. Le SSD est programmé grâce à l'algorithme de Levitt (1970) de façon à obtenir des pourcentages d'inhibition de 71%, 50%, et 29%. L'originalité de cette expérience réside dans l'utilisation de poignées dynamométriques pour répondre au stimulus visuel. Les auteurs ont également effectué des enregistrements EEG et EMG

11. Voir partie 1.3.1.1

pour chaque réponse ce qui permet de délimiter un seuil entre réponses partielles et réponses complètes qui correspond à 25% de la force maximale appliquée sur le dynamomètre.
Les résultats montrent des TR et des SSRT en accord avec les conclusions du horse-race model, avec notamment un SSRT relativement constant à travers les SSD. En revanche, les mesures EEG et EMG et dynamométriques enrichissent les conclusions du modèle du point de non-retour. En effet, les résultats démontrent la présence de réponses pouvant être interrompues en cours d'initiation dans une proportion allant jusqu'à 36% des essais.
Il est à noter que le nombre de ces réponses partielles augmente avec le SSD indiquant que l'augmentation du SSD entraîne une diminution de l'inhibition de la première commande motrice centrale et excluant la possibilité d'une anticipation. Cette observation des potentiels d'action et d'activation musculaire semble indiquer qu'une réponse motrice puisse être interrompue au niveau central mais également au niveau périphérique, c'est-à-dire dans les tous derniers moments qui précèdent le début de son exécution.
Les conclusions de De Jong et al. (1990) indiquent qu'il n'existerait non pas un mais plusieurs processus balistiques présents tout au long de la cascade d'évènements entre un stimulus et une réponse associée. Le déclenchement de processus au niveau des organes perceptifs, par exemple, peut être considéré comme étant balistique, de même que certains processus neurocognitifs automatiques comme la transmission synaptique.

1.3.2 Modèles alternatifs

À l'heure actuelle, le horse-race model fait toujours office de référence pour étudier l'inhibition motrice et est corroboré par la grande majorité des observations utilisant le paradigme du stop-task. Cependant, la question des effets de la fréquence d'apparition du signal stop sur la performance ainsi que les biais motivationnels et stratégiques semble toujours en attente d'expérimentations. Cette attente constitue un vide théorique et empirique d'autant plus pertinent à envisager que les fonctions exécutives sont largement questionnées dans le champ de l'interférence en

double-tache [12] et celui des paradigmes de permutation de tâche [13].

Bien que la possibilité d'un contrôle inhibiteur de type top-down ait été envisagée depuis les débuts du développement du horse-race model (Logan, 1981; Logan & Cowan, 1984; Logan & Burkell, 1986), sa prise en compte ne fut que tardivement et partiellement intégrée et reste en attente de confirmations expérimentales (Logan et al., 2014).

Les quelques études ayant proposé cette intégration se sont principalement inspirées des théories décrivant la prise de décision par des modèles d'accumulation d'information (Ratcliff & Smith, 2004; Ratcliff, 1985, 1988; Usher & McClelland, 2001). Notamment, l'intégration de ces théories aux thématiques d'inhibition a permis d'expliquer et prédire la modulation du contrôle inhibiteur par la modification du seuil de déclenchement de la réponse motrice ou de la vitesse d'accumulation d'informations conduisant à la réponse (voir Logan et al., 2014).

Ainsi, la modulation sous influence top-down du traitement de la Tâche 1 pourrait être influencée par la fréquence d'apparition du stimulus stop en ralentissant le seuil de déclenchement de la réponse. Le cas échéant, cette modulation conduirait alors à une augmentation du temps de réaction à la Tâche 1 en l'absence de stimulus stop lorsque la probabilité de ce stimulus augmente.

Néanmoins, très peu de modèles formalisés sur cette base ne permettent encore de formuler de prédictions suffisamment précises, notamment sur la façon dont les processus top-down intègrent les informations nécessaires à la modulation du comportement inhibiteur. De même, la nature des informations prises en compte reste à l'heure actuelle une question ouverte (Logan et al., 2014).

Parmi ces très rares théories, un modèle propose l'intégration des facteurs motivationnels et la probabilité perçue de voir un stimulus stop apparaître au cours d'un essai en vue de prédire le comportement inhibiteur (Leotti & Wager, 2010). La Figure 1.9 illustre cette proposition qui permet notamment d'expliquer les effets du pourcentage d'apparition du signal stop sur la fonction d'inhibition et sur les TR observés.

Leotti et Wager (2010) axiomatisent ainsi la probabilité de réponse sous la forme de l'équation :

12. Voir chapitre 2
13. (Voir partie 3.1.6)

$$P(R)_t = \int_{i=1}^{t} P(go)_i - \int_{i=1}^{t} P(stop)_i - \int_{i=t}^{\tau} P(Stop)_i \quad (1.2)$$

où $P(R)$ représente la probabilité perçue que l'essai en cours soit un essai go, go représente la probabilité réelle d'apparition d'un signal go basée sur les essais précédents, stop représente la probabilité réelle d'apparition d'un signal stop basée sur les essais précédents, et Stop représente la probabilité subjective de voir un signal stop apparaître avant la fin de l'essai en cours (τ).

En d'autres termes, Leotti et Wager (2010) intègrent à leur modèle un contrôle exécutif top-down menant à la décision de répondre ou non au sein d'un essai. Ce mode de contrôle pourrait expliquer le comportement stratégique conduisant à un ralentissement de la réponse motrice en cas de forte probabilité réelle ou perçue d'apparition d'un signal stop. Il fournit également une hypothèse explicative selon laquelle la présence de biais motivationnels inciterait certains participants à davantage s'engager dans la vitesse de traitement de la réponse motrice plutôt que dans l'interruption de la tâche.

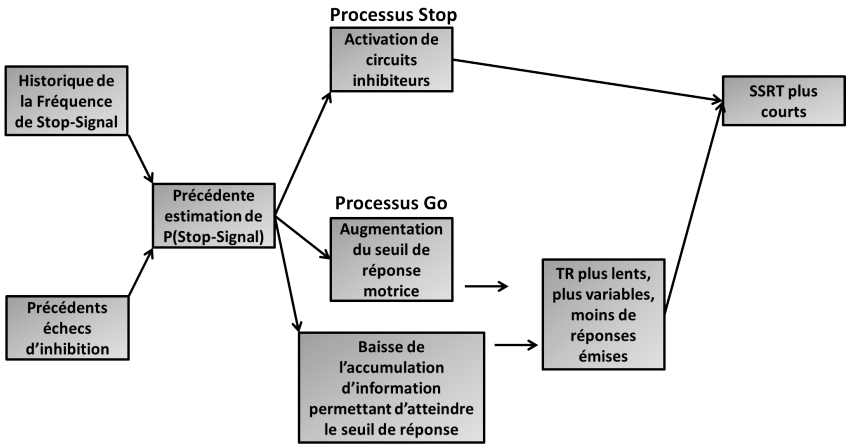

FIGURE 1.9 – Modèle théorique explicatif des influences motivationnelles sur l'inhibition d'une réponse motrice. Le contexte motivationnel influence la probabilité perçue d'apparition d'un signal stop. Cette probabilité peut être influencée directement, par une manipulation expérimentale de la probabilité réelle d'apparition du signal stop, ou indirectement, en modifiant les probabilités subjectives. Cette influence indirecte peut être sous-tendue par des facteurs internes, comme la priorité initiale accordée à l'inhibition, ou externes à travers les pénalités et récompenses. L'augmentation de la probabilité d'apparition du signal stop pourrait altérer le contrôle de l'inhibition de la réponse soit directement, en sollicitant le processus stop, soit de manière indirecte, en changeant le seuil de décision (ou le temps nécessaire pour franchir ce seuil) d'émettre une réponse motrice. La conséquence de cette altération serait ainsi à l'origine de l'allongement des TR lorsqu'aucun signal stop n'apparaît, et des valeurs de SSRT plus courtes. SSRT = Stop Signal Reaction Time (Voir Partie 1.3.1.1).

Leotti et Wager (2010) décrivent les influences motivationnelles sur la performance en

stop-task sous la forme d'une prise de décision conditionnée par une question posée sous la forme suivante : "Quelle est la nature de cet essai –stop ou go ?".
Lorsqu'un essai débute et qu'un stimulus go est présenté, $P(go)$ augmente. Cependant la valeur de $P(go)$ n'atteindra jamais la valeur maximale de 1 (e.g., certitude qu'aucun signal stop ne sera présent). En effet, l'information donnée aux participants qu'un signal stop puisse apparaître dans n% des essais constitue un seuil plafonnant $P(go)$.
Si un signal stop est présenté, le signal constitue la preuve tangible que l'essai en cours nécessite l'interruption de la réponse, et aucune réponse n'est émise : $P(stop) = 1$ et $P(R) = 0$. Si un signal stop n'est pas présenté, $P(go)$ augmente au cours de l'essai, cependant le seuil de déclenchement de la réponse conserve une valeur élevée jusqu'à ce qu'une valeur plausible du SSD se soit écoulée (basée sur les expériences précédentes). Si trop de temps est écoulé, le seuil de déclenchement de la réponse chute, la probabilité $P(R)$ augmente largement et la réponse est déclenchée.
La particularité de ce modèle tient dans le fait que la probabilité perçue que l'essai en cours soit un essai go ou stop, $P(R)$, n'est pas seulement influencée par la présentation du stimulus durant l'essai (comme pour le horse-race model), mais également par la probabilité subjective qu'un signal stop puisse apparaître à un moment avant la fin de l'essai. Cette probabilité perçue est alors sujette à un apprentissage par les participants et qui dépend à la fois de la probabilité objective connue et des expériences de voir apparaître un signal stop, et de la probabilité subjective qui possède une action modulatrice. Cette notion semble donc congruente avec la notion d'attente stratégique en tant que facteur top-down permettant l'anticipation active de l'apparition d'un stimulus (Ruthruff, Remington, & Johnston, 2001) [14].
Ce modèle permet ainsi d'expliquer pourquoi les TR sont substantiellement plus lents dans les blocs hétérogènes où les essais stop et go sont entremêlés que dans les essais composés de blocs "purs" où seuls des essais go sont présentés. D'autres explications sont également faites à propos de stratégies de ralentissement observées malgré les protocoles utilisant un SSD dynamique et pourquoi certaines études observent une diminution de l'inférence du SSRT en cas de biais motivationnel orienté vers la capacité à interrompre un grand nombre de réponses, et une augmentation en cas de biais orienté vers la rapidité de réponse.

14. Voir chapitre 3

Par exemple, pour les blocs homogènes où seuls les essais go sont présents, le seuil de déclenchement de la réponse motrice est proche de zéro et permet le déclenchement de réponses rapides sans délais car la probabilité réelle et perçue de voir un signal stop apparaître est également nulle. Inversement, pour les blocs hétérogènes, où les essais go et stop sont entremêlés, le seuil de déclenchement de la réponse motrice est non nul car la probabilité réelle et perçue de rencontrer un signal stop est également non nulle. Un délai supplémentaire est alors nécessaire avant que la probabilité de voir apparaître un signal stop ne décroisse suffisamment pour permettre le déclenchement de la réponse. Ce faisant, les TR mesurés sont augmentés même lorsqu'aucun signal stop n'apparaît.

Leotti et Wager (2010) décrivent également l'influence du contexte motivationnel par la construction d'un compromis subjectif entre les bénéfices et les risques encourus par la réponse ou l'inhibition de la réponse motrice. Les facteurs motivationnels peuvent influencer (1) le seuil de déclenchement de réponse pour $P(R)$; (2) la vitesse à laquelle les informations sont accumulées suite à la présentation de stimuli go ou stop ou (3) la probabilité subjective qu'un signal stop puisse apparaître lors d'essais suivants. Ces facteurs pourront vraisemblablement impacter les variables dépendantes généralement mesurées comme les TR et la fonction d'inhibition. Le poids de ces facteurs pourra à son tour dépendre (1) des différences interindividuelles d'interprétation des buts à accomplir lors de la passation et de la signification du "succès" lors d'une tâche de stop-task ; (2) des récompenses et pénalités allouées aux performances d'inhibition ou de rapidité ainsi que la représentation que les participants se font de ces récompenses et pénalités ; et (3) des informations imposées par les instructions d'adopter une stratégie spécifique de compromis.

Il est à noter que d'autres hypothèses relatives aux mécanismes de ralentissement de la Tâche 1 par des processus bottom-up et top-down, conditionnés par la fréquence d'apparition du stimulus stop, semblent émerger sans toutefois aboutir à des modèles assez robustes faute d'études suffisamment nombreuses à avoir manipulé cette variable.

Un allongement du temps de la réponse causé par une stratégie mise en place dans le but d'augmenter la probabilité d'interruption de la réponse lorsque la fréquence d'apparition du signal stop est trop importante fut la première hypothèse envisagée (Logan, 1981; Logan & Burkell, 1986). En somme, une fréquence d'apparition de S2

"trop" importante aurait tendance à inciter les participants à accorder davantage d'importance à l'inhibition de la réponse (Logan, 1994). L'idée préssentie d'une inhibition sous contrôle exécutif top-down avait émergé dès les premières études observant l'interruption de réponses motrices volontaires. Cependant, cette intégration ne fut pas directement modélisée en l'état ne permettant pas d'interpréter précisément des observations (Logan & Cowan, 1984).

Plus tard, l'intégration des modèles d'accumulation d'information (voir Ratcliff, 1985, 1988) au horse-race model conduira à préciser la cause de cette anticipation par un mode de contrôle top-down permettant notamment la modulation du seuil de déclenchement de la réponse ou de la vitesse d'accumulation d'informations (voir Logan et al., 2014, pour une revue). Néanmoins, l'association de ces théories au modèle princeps en vue d'expliquer le comportement inhibiteur reste actuellement un débat ouvert. En effet, il n'existe pas de théorie permettant de prédire la variabilité de la vitesse d'accumulation d'information conduisant à la réponse motrice ni de prédictions concernant le paramétrage top-down. Notamment, aucune théorie ne permet d'affirmer avec certitude quelles informations sont prises en compte par les processus top-down en vue d'adapter le comportement à la situation nécessitant l'inhibition.

1.3.2.1 After-effect, ajustements et théories mnésiques

Une autre hypothèse décrit cet allongement par un phénomène d'inhibition résiduelle ou *after-effect* (Logan, 1994). Rieger et Gauggel (1999) proposent une explication du ralentissement de la réponse motrice causé par un phénomène d'inhibition persistante d'un essai à l'autre ce qui augmente le TR à la réponse go jusqu'à plus de 50 ms lorsque l'essai précédent comportait un signal stop. Ainsi, suite à un essai pour lequel la réponse a été interrompue, le TR d'une réponse motrice devrait être augmenté. Une élévation de la fréquence d'apparition de signal stop pourrait donc augmenter le temps de traitement de l'essai suivant en augmentant le nombre de réponses motrices ralenties par le phénomène d'inhibition résiduelle.

D'autres recherches suggèrent que les stratégies de réponses puissent être déclenchées par un mécanisme d'ajustement seulement lorsque l'inhibition de l'essai précédent a échoué (Schachar et al., 2004; Verbruggen & Logan, 2008a) ou après une inhibition réussie sous certaines conditions. En effet, la répétition du stimulus apparaissant lors

d'un essai comportant un signal stop pourrait engendrer un ralentissement en agissant sur des associations en mémoire à long terme (Verbruggen & Logan, 2008b,c). Ces études ont en effet mis en évidence le phénomène de ralentissement de la Tâche 1 après un essai où l'inhibition a été réussie mais uniquement lorsque le stimulus (ou un stimulus de la même catégorie) était présenté lors de l'essai précédent. Ces résultats ont conduit à l'hypothèse d'une influence de la mémoire à long terme sur l'after-effect. Le stimulus de la Tâche 1 serait alors associé au phénomène d'inhibition lors d'essais de stop-task. Par la suite, la répétition de ce stimulus (ou catégorie de stimulus) engendrerait une association avec l'inhibition de la réponse motrice ralentissant la réponse à la Tâche 1 et ce jusqu'à 20 essais après la présentation du signal ce qui conduisit les auteurs à proposer l'hypothèse d'une influence de la mémoire à long terme (Verbruggen & Logan, 2008b). Cette association pourrait conduire à l'hypothèse future d'un phénomène d'inhibition automatique pilotée par des facteurs bottom-up associant un stimulus aux mécanismes d'inhibition motrice (Verbruggen & Logan, 2008c).

Somme toute, si la question de l'influence de facteurs bottom-up et top-down semble relativement ouverte, celle-ci apparaît consubstantielle à la variable de la répétition ou de la fréquence d'apparition du stimulus stop. La manipulation de cette variable sera donc un point central dans notre travail de thèse, particulièrement au regard de la quantité de données expérimentales disponibles dans la littérature demeurant trop réduite pour permettre d'en dégager des prédictions assez précises et par extension un modèle prédictif robuste (Logan et al., 2014).

1.4 Conclusion sur l'inhibition de réponses motrices volontaires

Au cours de ce chapitre, nous venons de décrire les principaux processus conduisant à l'inhibition d'une action en cours. À ce jour, le modèle influent du horse-race model décrit cette inhibition comme une course entre un processus go dont l'achèvement précède l'émission d'une réponse, et un processus stop, dont l'achèvement précède l'arrêt de la réponse en court.

La majorité des études ayant alimenté le horse-race model semblent converger vers certaines particularités du processus stop. En effet, ce processus apparaît comme

indépendant de la réponse à émettre et d'une durée relativement constante d'environ 200 ms. En d'autres termes, il semblerait que les 200 ms précédant une réponse motrice constituent un "point de non-retour" (voir Figure 1.3.1.1) au-delà duquel une commande motrice sera nécessairement émise (Osman et al., 1986). Ainsi, les possibilités d'interrompre une réponse motrice semblent d'autant plus faibles que le signal stop est présenté tardivement et d'autant plus élevées que celui-ci est présenté tôt.

Cependant, la question de l'impact de la fréquence d'apparition d'un signal stop sur l'inhibition de la réponse associée reste toujours ouverte. En particulier, bien que d'emblée définie comme une fonction exécutive de contrôle cognitif (Logan & Cowan, 1984), l'intégration d'un contrôle de type top-down sur l'interruption d'une réponse fut cependant proposée assez tard (Logan et al., 2014; Leotti & Wager, 2010) et reste en attente de données expérimentales complémentaires.

Une des raisons de cette difficulté de modélisation tiendrait possiblement du fait que relativement peu d'expérimentations utilisant le paradigme de stop-task ont à ce jour manipulé la fréquence d'apparition du signal stop. Cette fréquence d'apparition, arbitrairement comprise entre 10% et 25% du total des essais, constitue vraisemblablement un facteur expérimental qui diminue l'impact des processus top-down sur le comportement inhibiteur. La manipulation de la fréquence d'apparition du signal commandant l'interruption d'une réponse non prioritaire en cours formera donc un des principaux axes expérimentaux de notre travail de thèse. Il s'agira en particulier d'augmenter le poids des processus top-down sur le comportement inhibiteur, via une augmentation de la fréquence d'apparition du signal stop, afin d'en évaluer les conséquences sur l'inhibition.

Néanmoins, beaucoup de situations quotidiennes ne conduisent pas à la simple interruption d'une réponse mais impliquent également un ou plusieurs réengagements. Ainsi, la question de l'exécution d'une tâche prioritaire alors qu'une réponse non prioritaire est susceptible d'être émise ne peut être interprétée sans un deuxième volet théorique décrivant les phénomènes d'interférences entre deux processus indépendants. Le chapitre suivant nous permettra de décrire les limitations cognitives lorsque deux tâches indépendantes doivent être traitées simultanément.

Chapitre 2

Attention centrale et double tâche

■ *Nous ne nous arrêtons guère de penser à ce que nous écrivons pour prendre de l'encre.* ■

(Paulhan, 1887)

Sommaire

2.1 Etude de la période réfractaire psychologique (PRP) . . . 41

2.1.1 Nature des tâches 42

2.1.2 Afférence et efférence des signaux sensitifs et moteurs 43

2.1.3 Espacement temporel entre les stimuli 43

2.1.4 Consignes 43

2.2 Conséquences comportementales : mise en attente cognitive 44

2.2.1 Effet du SOA sur la Tâche 2 44

2.3 Modèles explicatifs de l'interférence en double tâche . . . 45

2.3.1 Le modèle du goulet d'étranglement central 45

2.3.2 Le modèle du controle exécutif adaptatif (EPIC) 47

2.3.3 Peut-on contourner le goulet d'étranglement ? 48

2.4 Conclusions sur l'attention centrale 49

La question des limites cognitives lors de l'exécution simultanée de deux tâches indépendantes remonte à la fin du 19e siècle. À l'époque, Frédéric Paulhan (1887) eut l'idée originale d'élaborer probablement la première étude utilisant une procédure de double tâche.

Pour ce faire, le philosophe mis au point un paradigme introspectif lui permettant d'observer les conséquences relatives à l'exécution simultanée de deux tâches complexes. Il observa notamment que le temps nécessaire à la réalisation d'un calcul mental complexe comme "multiplier 7 897 654 987 896 687 786 par 7" était plus court de 36 secondes lorsqu'il était réalisé individuellement que lorsqu'il était effectué "avec récitation de 25 vers de 12 pieds (...) de Leconte de Lisle" (Paulhan, 1887, p.686). Ces observations lui ont alors permis de mettre en évidence "la possibilité de la mise en activité simultanée de deux systèmes psychiques" (p.686, 687). Cependant, ce premier protocole ne sera pas sans comporter un certain nombre de biais méthodologiques qui limitent alors la portée des conclusions de Paulhan (1887). La méthode introspective comporte en effet l'inconvénient de l'objectivité des observations recueillies sur soi-même. Paulhan (1887) concèdera d'ailleurs qu'il est "un fait à considérer, c'est la nécessité de s'observer soi-même pendant la double opération, et non seulement de s'observer, mais de se préparer à voir le moment où l'opération finira, et de ne pas oublier celui où elle a commencé" (p.687).

La complexité des tâches utilisées constituera un autre biais méthodologique dans l'étude de Paulhan (1887). L'utilisation de calculs complexes ou la récitation de poèmes rend difficile de quantifier la durée exacte de réalisation ainsi que d'identifier le nombre et la nature des opérations mentales mises en place pour les exécuter.

Il a fallu attendre le début du 20e siècle et le développement de méthodes expérimentales plus rigoureuses pour voir apparaître le protocole permettant de s'affranchir de ces biais méthodologiques. Cette période a notamment vu les protocoles de psychologie abandonner l'utilisation de tâches d'introspection complexes pour se diriger vers l'usage de tâches extrêmement simplifiées faisant intervenir la mesure expérimentale par un tiers.

Il était alors question d'identifier de façon reproductible les liens de cause à effet sous-tendus entre un stimulus clairement identifié appelant une réponse elle-même clairement identifiée. Cette démarche a notamment été empruntée au champ expérimental de la physiologie. C'est d'ailleurs dans le but de découvrir si le

phénomène d'inexcitabilité tissulaire physiologique, démontré par Etienne-Jules Marey en 1876, était applicable dans le cadre des réponses motrices volontaires chez l'homme, que Charles Witt Telford construisit les fondements du paradigme PRP ou période réfractaire psychologique moderne (Telford, 1931).

L'expérience menée a consisté en la réalisation de 100 essais dont le but était de détecter deux signaux sonores séparés d'un intervalle randomisé parmi 6 durées (e.g., 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 3 500, et 4 000 ms), et appelant deux réponses motrices distinctes (e.g., main gauche et main droite). Telford (1931) observa en outre un ralentissement pouvant aller au-delà de 100 ms lorsque l'intervalle est de 500 ms en comparant la même mesure à un intervalle de 1 000 ou 2 000, où les TR sont les plus rapides.

L'observation de ces résultats conduisit Telford (1931) à valider l'hypothèse selon laquelle la phase réfractaire physiologique observée suite à une contraction musculaire était équivalente au niveau cognitif suite à une réponse motrice. Il existerait donc une phase réfractaire cognitive suivant chaque réponse volontaire, qui a le potentiel d'augmenter le TR suivant. Cette phase constitue une limitation cognitive fondamentale appelée *période réfractaire psychologique* est aujourd'hui étudiée au moyen d'un protocole original portant le même nom.

2.1 Etude de la période réfractaire psychologique (PRP)

Tout comme la capacité à interrompre une action en cours [1], la capacité à traiter simultanément deux processus cognitifs constitue un objet d'étude fondamental et appliqué très fécond depuis les premières interrogations de Fréderic Paulhan. En effet, la diversité des situations pour lesquelles deux ou plusieurs tâches doivent être effectuées dans un laps de temps très court ne cesse de croitre.

Ainsi, depuis Telford (1931), la question des causes et des conséquences attentionnelles de l'interférence en double tâche a-t-elle largement été posée à travers une quantité considérable d'études. Parmi ces études, très nombreuses sont celles à avoir mobilisé le protocole de la période réfractaire psychologique (PRP) qui présente la particularité d'observer l'interaction des processus attentionnels de traitement de

1. Voir chapitre 2

l'information.

Nous développerons dans un premier temps les caractéristiques de ce paradigme avant de décrire les phénomènes d'interférence en double tâche généralement observés à travers ce protocole. Nous décrirons également les principales hypothèses explicatives qui en découlent.

La Figure 2.1 illustre le déroulement temporel d'un essai du protocole PRP tel qu'il est utilisé de nos jours. Par définition, le protocole PRP consiste à exécuter deux tâches distinctes au cours du même essai (Pashler, 1994) [2]. Pour rendre compte d'une telle appellation, quatre grandes caractéristiques doivent être respectées.

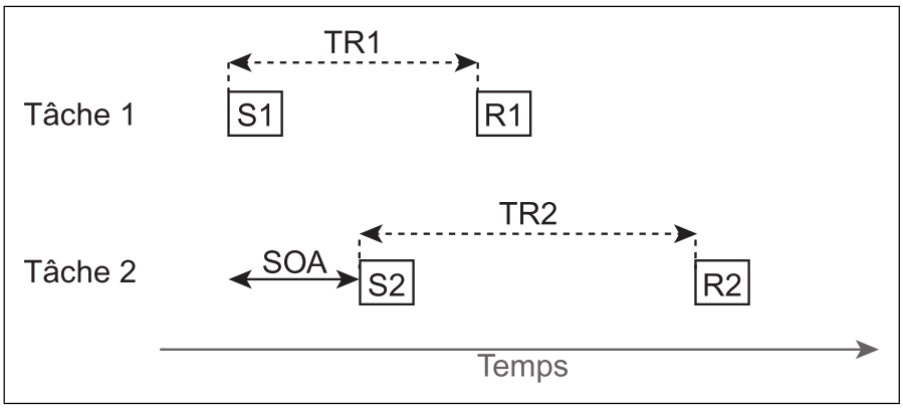

FIGURE 2.1 – Illustration du protocole PRP

2.1.1 Nature des tâches

Premièrement, la nature des tâches doit être élémentaire, c'est-à-dire être déclenchée par un stimulus S précis et identifié par le participant (très souvent un son ou une lettre) qui appelle une réponse motrice discrète (une réponse vocale ou une pression sur une touche). Cette première caractéristique a pour vocation d'identifier de façon précise les processus mis en jeu lors de la réalisation de la tâche en se basant sur le modèle sériel du traitement de l'information de Welford (1959).

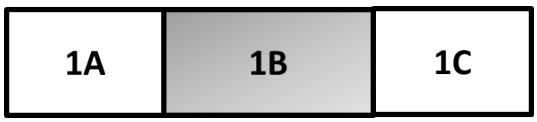

FIGURE 2.2 – Illustration du modèle sériel de Welford (1959)

D'après ce modèle, toute tâche de TR est structurée en trois stades de traitement successifs précédant l'exécution motrice. Le stade pré-central (ou A) correspond au

2. Pour une revue en français, voir Maquestiaux (2012)

temps d'afférence sensorielle et à l'identification du stimulus, le stade central (ou B) correspond au traitement central de l'information et à la sélection de la réponse, et le stade post-central (ou C) correspond aux temps de génération, de planification et d'émission de la réponse ainsi que d'efférence motrice.

2.1.2 Afférence et efférence des signaux sensitifs et moteurs

Deuxièmement, les stimuli des deux tâches doivent généralement emprunter des canaux sensoriels différents, comme un signal auditif et un signal visuel. De même, les réponses motrices emprunte généralement des canaux de sorties motrices différents, comme une réponse vocale et une réponse manuelle. Cette deuxième caractéristique a pour vocation la réduction de conflits perceptifs et moteurs.

2.1.3 Espacement temporel entre les stimuli

La troisième caractéristique porte sur un contrôle précis de la durée séparant le premier stimulus S (S1) du deuxième (S2). Cette durée, appelée *stimulus onset asynchrony* ou SOA, constitue une variable indépendante fondamentale dans l'étude de l'interférence en double tâche et varie généralement de quelques millisecondes (e.g., 15 ms) à quelques centaines de millisecondes (e.g., à 1 000 ms).
Un SOA court (e.g., 15 ms) implique un chevauchement temporel important entre les traitements des deux tâches et le stimulus S2 apparaît avant la réponse R1 (associée au stimulus S1). Inversement, un SOA long (e.g., 1 000 ms) suppose un chevauchement temporel faible voire absent si la réponse R1 survient avant la présentation de S2. La durée et le nombre des SOA sont fixes au cours d'une expérience PRP cependant, leur ordre d'apparition est aléatoire afin d'éviter tout phénomène d'anticipation. La différence des TRs mesurés en fonction de la condition SOA court (e.g., lorsque les tâches se chevauchent le plus) et SOA long (e.g., en l'absence de chevauchement) permet de quantifier l'interférence entre les deux tâches.

2.1.4 Consignes

La dernière caractéristique a trait aux consignes données aux participants quant à la réalisation des deux tâches. Les participants sont informés de la nécessité de répondre le plus vite et précisément possible aux deux tâches tout en accentuant la vitesse de

réponse à la Tâche 1. L'objectif de ces instructions est de fixer le découlement temporel de traitement central des deux tâches.
Ainsi, en accentuant la vitesse de réponse à la Tâche 1, les ressources centrales sont d'abord allouées à la Tâche 1, qui permet d'observer les conséquences de cette occupation sur le traitement de la Tâche 2. Il n'est cependant jamais spécifié de hiérarchisation entre les deux tâches et celles-ci sont présentées comme revêtant une importance équivalente.

2.2 Conséquences comportementales : mise en attente cognitive

Les données de très nombreuses expériences utilisant le protocole PRP permettent de dresser un pattern très stable de réponses. Ce pattern de réponses est observable en mesurant les TR des deux tâches (voir Pashler, 1994, pour une revue des recherches menées entre 1959 et 1994).

2.2.1 Effet du SOA sur la Tâche 2

La partie droite de la Figure 2.3 illustre les effets du SOA sur la Tâche 2. Dans l'immense majorité des expérimentations, le TR à la Tâche 2 est plus long au SOA court comparé à la condition SOA long dans des proportions pouvant aller jusqu'à 400 ms (Pashler, 1994). Ce ralentissement, appelé effet PRP, a été observé en utilisant un panel de tâches très diversifiées en termes d'entrées sensorielles (e.g., visuelles, auditives, haptiques) et de sorties motrices (e.g., vocales, manuelles, saccades oculaires) et de combinaisons entre elles (Hazeltine, Ruthruff, & Remington, 2006). L'effet PRP ne serait donc pas lié à une propriété des canaux d'entrée et sortie motrices mais aux traitements centraux.
L'effet PRP est également robuste et résiste généralement à l'entraînement intensif. Un certain nombre d'études ont montré la présence d'un effet PRP persistant (bien que réduit à 40 ms) suite à une pratique intensive en laboratoire de plusieurs dizaines de milliers d'essais répartis sur des dizaines de sessions expérimentales (Van Selst, Ruthruff, & Johnston, 1999). Certaines études utilisant un protocole immersif en simulateur automobile ont également permis de montrer un effet PRP présent pour des conducteurs détenant leur permis de conduire depuis plus de 52 mois en moyenne

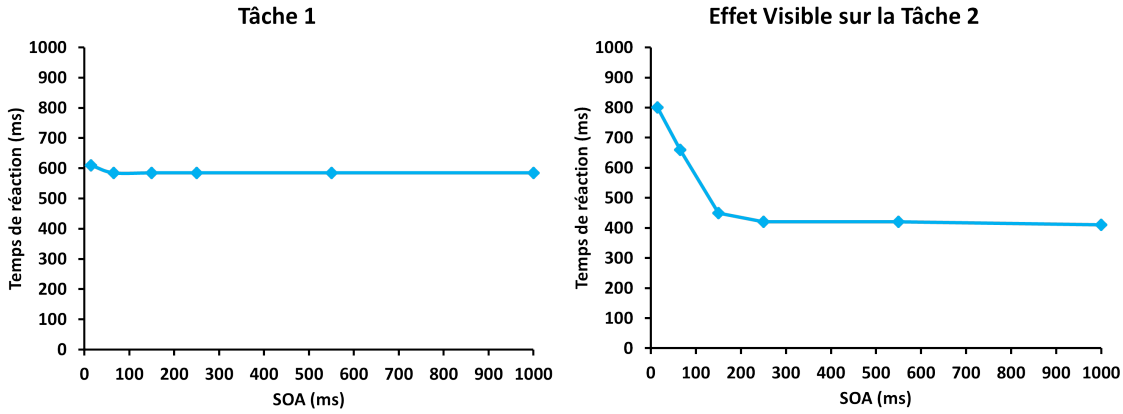

FIGURE 2.3 – Illustration de l'effet du SOA sur la Tâche 1 et la Tâche 2 lors d'un protocole PRP.

(Levy, Pashler, & Boer, 2006). Les résultats montrent un ralentissement du TR au freinage lorsque l'attention est brièvement détournée par une autre tâche de discrimination auditive.

2.3 Modèles explicatifs de l'interférence en double tâche

À l'heure actuelle, deux modèles théoriques rendent compte de l'effet PRP. Le premier modèle suppose une origine structurale constituant un goulet d'étranglement central (Pashler, 1984). Le deuxième modèle propose une explication des limitations cognitives en double tâche par un contrôle adaptatif d'origine stratégique (Meyer & Kieras, 1997b). Ces modèles se rejoignent sur la localisation centrale de la limitation cognitive mais s'opposent quant à sa nature, à savoir si elle est d'origine structurale ou stratégique.

2.3.1 Le modèle du goulet d'étranglement central

La Figure 2.4 illustre le modèle du goulet d'étranglement central. En se basant sur les travaux des premières études de la phase réfractaire chez l'homme (Telford, 1931; Vince, 1949), Welford (1952) a noté que l'effet PRP n'est pas dû à un conflit d'entrée (perception du stimulus) ou de sortie motrice. La proposition qui en découle est alors que l'effet PRP est causé par l'incapacité du système nerveux central à traiter les opérations centrales (e.g., sélection de la réponse) de plus d'une tâche à la fois. Cette proposition est connue sous le nom de goulet d'étranglement central (ou goulet

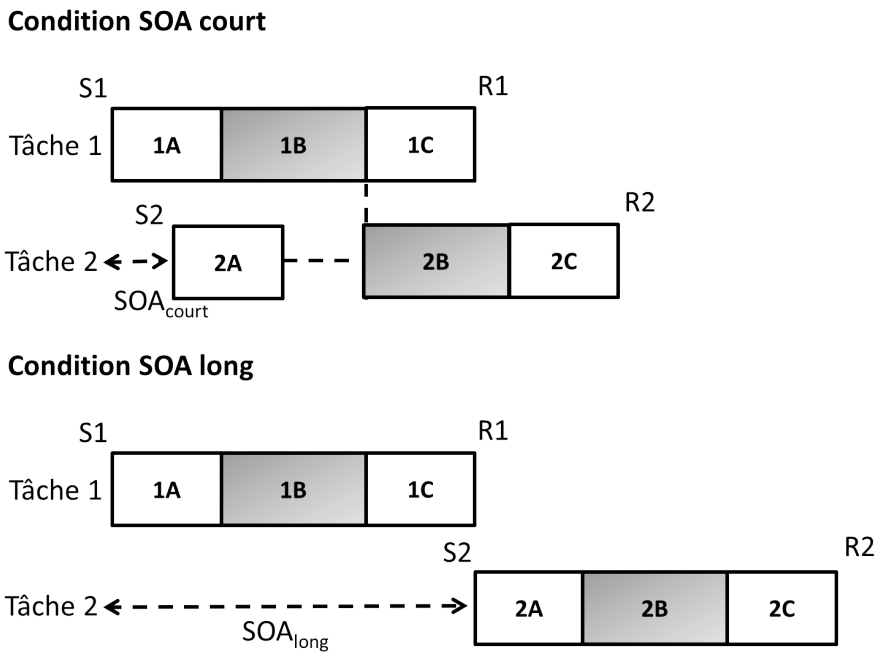

FIGURE 2.4 – Représentation du modède du goulet d'étranglement central (Pashler, 1984).

central), modélisé pour la première fois par Pashler (1984). Ce modèle postule que les stades centraux des deux tâches nécessitent l'accès à un mécanisme attentionnel dont la capacité est limitée à la prise en charge d'une seule opération centrale à la fois. Ce modèle s'appuie sur le modèle sériel de Welford (1959) qui décompose tout TR en trois stades précentraux, centraux et postcentraux [3].

Le modèle du goulet central suppose que le stade précentral et le stade post central de toute tâche peuvent être effectués en parallèle avec n'importe quel autre stade sans interférence. À l'inverse, un seul stade central ne peut être initié à la fois de façon à ce que deux stades centraux ne peuvent pas être traités simultanément. En somme "deux durées d'organisation centrale ne peuvent se chevaucher, de sorte qu'une information issue d'un stimulus, survenant pendant qu'une information issue d'un stimulus précédant est prise en charge, doit être "mise en réserve" jusqu'à ce que les mécanismes centraux soient disponibles" (Welford, 1952, p.18). Par là même, lorsque le SOA est court, le traitement central de la Tâche 1 provoque une mise en attente du traitement central de la Tâche 2, ce qui interrompt le traitement de la Tâche 2, le temps que le traitement central de la Tâche 1 soit achevé.

Formellement, il est possible de décrire l'effet PRP sous la forme d'une équation en tenant compte des durées des stades de traitement (Ruthruff, Johnston, & Van Selst,

3. Voir Figure 2.2

2001).

Ainsi :

$$Effet\ PRP = 1A + 1B - 2A - SOA_{court} \tag{2.1}$$

Avec un TR de la Tâche 2 égal à :

$$RT2 = max(1A + 1B, SOA + 2A) + 2B + 2C - SOA \tag{2.2}$$

De plus, étant donné que TR1 = 1A + 1B + 1C, il est possible d'écrire que 1A + 1B = TR1 – 1C, et de simplifier l'équation sous la forme :

$$Effet\ PRP = TR1 - 1C - 2A - SOA_{court} \tag{2.3}$$

Ici nous pouvons observer l'impact de la durée de TR1 sur la taille de l'effet PRP, où plus TR1 sera long, plus l'effet PRP sera élevé (Ruthruff, Johnston, & Van Selst, 2001). Par voie de conséquence, plus la Tâche 1 sera complexe, plus l'effet PRP qui impactera la Tâche 2 sera important. Inversement, une réduction du temps de traitement de la Tâche 1, comme cela peut être le cas suite à une pratique intensive ou l'utilisation d'une tâche moins complexe, est susceptible de réduire l'effet PRP en cas de conflit avec une tâche apparaissant ensuite.

Il est à noter que parmi les stades de la Tâche 1, seule la manipulation des stades précentraux et centraux de la Tâche 1 entraînera un report de cette manipulation sur l'effet PRP (voir Pashler, 1994, pour une revue de littérature et Maquestiaux (2012) pour une revue en français). Par conséquent, la difficulté de discrimination du stimulus de la Tâche 1 (e.g., contraste) et la durée de la sélection de la réponse (e.g., nombre d'alternatives) sont des paramètres clefs dans la construction de prédictions sur le TR de la Tâche 2.

2.3.2 Le modèle du controle exécutif adaptatif (EPIC)

Une autre proposition de modèle d'architecture cognitive a été proposée en se basant sur le postulat d'une limitation cognitive causée par la mise en place de prises de décisions stratégiques pilotées par les processus exécutifs (Meyer & Kieras, 1997a,b, 1999). Ce modèle expliquerait le ralentissement observé sur les TR à la Tâche 2 par une stratégie de prudence qui consiste à paramétrer les processus exécutifs de façon à

mettre le traitement central de la Tâche 2 en attente durant la période nécessaire au traitement central de la première tâche. Inversement, une stratégie dite audacieuse pourrait en théorie permettre de paramétrer les fonctions exécutives de façon à autoriser le traitement en parallèle des stades centraux des deux tâches.
Ainsi, les conditions expérimentales telles que l'ordre de présentation séquentiel des stimuli et les consignes données aux participants d'accentuer la vitesse de réponse à la première tâche ont une grande influence sur les comportements observés. D'après ce modèle, il serait donc en théorie possible d'effectuer simultanément deux tâches sans mesurer d'interférence à la condition de respecter un certain nombre de prérequis : (1) les participants sont encouragés à accorder une priorité équivalente aux deux tâches ; (2) les participants doivent exécuter rapidement les deux tâches ; (3) aucune contrainte relative à l'ordre sériel des réponses ou d'apparition des stimuli ne doit être présente ; (4) les tâches doivent emprunter des processeurs perceptifs et moteurs distincts ; (5) la quantité de pratique doit être suffisante pour que les participants puissent compiler en totalité l'ensemble des règles de production nécessaires à la réalisation de chaque tâche. C'est précisément ces conditions expérimentales que nous allons manipuler au cours de notre travail de thèse afin de comprendre les mécanismes responsables de l'inhibition d'une réponse.

2.3.3 Peut-on contourner le goulet d'étranglement ?

À ce jour, quelques études semblent avoir permis l'observation de la réalisation de deux tâches en parallèle (e.g., Hazeltine, Teague, & Ivry, 2002; Schumacher et al., 2001; Van Selst, Ruthruff, & Johnston, 1999). Schumacher et al. (2001) ont notamment mis en place une procédure où l'interférence sur la deuxième tâche était négligeable (moins de 10 ms).
En termes méthodologiques, il s'agit de coupler une tâche auditive-vocale (prononcer une monosyllabe en réponse à un son de 220, 880 ou 3 529 Hz) et une tâche visuo-manuelle (presser un bouton en réponse à un cercle présenté à gauche, au centre, ou à droite de l'écran). La procédure affiche également la particularité de comporter des blocs hétérogènes au sein desquels des essais de simple tâche (auditive ou visuelle) sont entremêlés avec des essais de double tâche (*mixed blocks*). En condition de double tâche, les deux stimuli sont présentés simultanément (SOA = 0 ms) et les instructions donnent une importance équivalente aux deux tâches.

Les auteurs relèvent une interférence en double tâche de 9 ms pour la tâche auditive-vocale avec un TR de 456 ms en condition de double tâche (lorsque la réponse est émise en second) et de 447 ms en condition de simple tâche. La même observation est faite concernant la tâche visuo-manuelle où les auteurs enregistrent un TR de 283 ms en condition de double tâche et de 282 ms en condition de simple tâche. Il est à noter que ces résultats sont obtenus suite à une quantité de pratique relativement réduite comportant 2 000 essais par tâche. Les auteurs concluent en validant l'hypothèse de l'élimination du goulet allant dans le sens du modèle de contrôle exécutif adaptatif.
Des études ultérieures limiteront cette conclusion en invoquant la possibilité d'une autre interprétation : le goulet serait présent à l'état latent (Ruthruff et al., 2003). En d'autres termes, les durées centrales des deux tâches seraient suffisamment courtes pour que des stades centraux des deux tâches puissent ne pas se chevaucher.

2.4 Conclusions sur l'attention centrale

Dans ce chapitre, nous venons de décrire les limites cognitives à l'exécution simultanée de processus indépendants conduisant à deux réponses volontaires. Ces apports théoriques, notamment permis grâce au protocole PRP, rendent compte d'un pattern comportemental spécifique observable dans les situations impliquant le traitement de deux tâches indépendantes.
À de très rares exceptions près, la présence d'un goulet d'étranglement robuste serait donc à l'origine de l'interférence en double tâche observée sur la deuxième tâche aux SOA courts. Cette interférence est la mesure d'un coût attentionnel d'une tâche très pratiquée nécessitant un traitement cognitif. Une partie de notre travail de thèse consistera à questionner la mesure dans laquelle il est possible de contrôler le traitement d'une tâche, en agissant sur son déroulement de façon à l'interrompre, ou en lui donnant une priorité maximale.
Dans une perspective écologique, la présence du goulet d'étranglement central constitue donc un facteur de risque pouvant contribuer à expliquer l'importante corrélation entre le nombre d'accident de la circulation et l'utilisation du téléphone portable au volant (Inserm & Iffsttar, 2011). En effet, que son utilisation soit vocale ou manuelle (e.g., lors d'une conversation ou un échange de sms), toute réponse sera

potentiellement susceptible d'engendrer un ralentissement allant jusqu'à 400 ms si une tâche concurrente se présentait séparée d'un intervalle court. Un tel ralentissement correspondrait en situation écologique à un allongement de la distance de freinage de 24 mètres en cas de déplacement à 130 km/h.
Néanmoins, trois points limitent l'extension directe des observations émanant des études utilisant le protocole PRP aux situations écologiques. Premièrement, le risque encouru lors d'une collision potentielle en situation de conduite automobile par exemple, implique *de facto* l'assignation d'une faible priorité à toute tâche concurrente. Cette hiérarchisation des ordres de priorité n'est cependant pas intégrée dans la mise en place de protocoles PRP. Deuxièmement, le protocole PRP implique obligatoirement une réponse de la part des participants ce qui, en situation écologique, n'est pas nécessairement le cas. En effet, le choix de répondre ou non à une tâche concurrente moins prioritaire constitue une alternative présente en permanence et qui peut potentiellement permettre de protéger la tâche prioritaire d'interférence. Enfin, l'ordre d'apparition des tâches, prédéterminé par les nécessités du protocole PRP, n'est pas nécessairement connu en situation écologique.
Bien que relativement peu utilisé, un protocole original permet cependant de questionner ces trois points de limite en constituant un "pont expérimental" (Logan & Burkell, 1986) mais également théorique entre le paradigme de la PRP qui alimente le modèle du goulet d'étranglement central et celui du stop-task qui alimente le horse-race model : le paradigme de *changement de tâche*.

Chapitre 3

Interruption et remplacement d'un traitement cognitif en cours

■ *Life is just what happens to you, while you are making other plans.* ■

(Saunders, 1957)

Sommaire

3.1 Interruption d'un traitement en cours en vue de l'exécution d'un traitement subséquent 53

3.1.1 Tâche 1 et Tâche 2 54

3.1.2 L'expérience princeps 54

3.1.3 Inhibition pure, traitement simultané, inhibition avec réengagement : différences et similitudes comportementales 55

3.1.4 Peut-on protéger une tâche prioritaire d'interférence en inhibant une tâche non prioritaire ? 59

3.1.5 Protège-t-on aussi efficacement une tâche prioritaire apparaissant rarement ou fréquemment ? 62

3.1.6 Facteurs top-down et bottom-up : quelles conséquences en situation de changement de tâche ? 66

3.1.7 Modèles explicatifs du comportement en changement de tâche 70

3.2 Conclusions sur l'interruption et le remplacement d'un traitement cognitif en cours 72

L'évolution des situations extérieures et de nos états mentaux internes implique très souvent que nous abandonnions des actions obsolètes, planifiées ou en cours d'exécution en vue d'adapter notre comportement à de nouvelles contingences existantes ou perçues. Que nous soyons au volant d'un véhicule, pratiquant une activité sportive, ou lors d'interactions sociales, nous devons fréquemment composer avec ces évolutions afin de maintenir une certaine adéquation entre notre comportement et le but de la tâche en cours.

À ce jour, la question de l'adaptabilité de nos processus mentaux aux situations changeantes en vue d'exécuter une tâche prioritaire a principalement été investiguée sous deux angles analytiques. Cet objet d'étude a principalement été questionné via l'étude de l'interruption d'un processus conduisant à une réponse en cours d'exécution [1] et celle du traitement simultané de deux processus [2].

En revanche, peu de travaux semblent se détacher de la question de l'interruption totale d'une réponse ou de l'exécution les deux tâches. Paradoxalement, peu de situations quotidiennes réclament la supression complète de toute action en cours, comme cela est le cas au cours d'une passation utilisant les paradigmes traditionnels d'inhibition (e.g., go-no-go et stop-task).

De la même façon, la possibilité de donner la priorité à une tâche plutôt qu'une autre ou de choisir de ne répondre qu'à un seul stimulus constituent des alternatives décisionnelles qui existent dans toutes les situations de double tâche. Cette alternative n'est pas non plus questionnable par le protocole PRP. De ce fait, interrompre une réponse en cours à une tâche prioritaire lorsque son stimulus apparaît est souvent possible contrairement au déroulement d'un essai de protocole PRP classique pour lequel les deux tâches doivent être exécutée. Ainsi, la question de l'étude des limites cognitives opérant en situation de multi-tâches ne semble que partiellement traitée en se limitant à l'utilisation de ces deux paradigmes malgré l'apport déterminant qu'ils constituent.

La nécessité de l'utilisation d'un paradigme qui intègre la possibilité d'interrompre un processus attentionnel en cours d'exécution en vue de traiter un nouveau stimulus est donc cruciale en vue de répondre aux phénomènes de multi-tâche. Bien que beaucoup plus rarement utilisé, le paradigme de changement de tâche permet cependant

1. Voir chapitre 1
2. Voir chapitre 2

d'envisager la question de l'interruption d'un processus en cours en vue de favoriser une tâche subséquente. Par là même, ce paradigme rend possible la création d'un véritable "pont expérimental" (Logan & Burkell, 1986) et théorique entre les paradigmes de stop-task et PRP.

3.1 Interruption d'un traitement en cours en vue de l'exécution d'un traitement subséquent

La question du réengagement d'un traitement en cours, associée à celle de l'interruption d'une réponse précédente, a conduit à la nécessité d'intégrer ces deux possibilités au sein d'un même paradigme expérimental. Cette réunion permit de développer le protocole de changement de tâche au sein duquel qui comporte à la fois des essais pour lesquels une réponse est requise en situation de simple tâche, mais également des essais de double tâche pour lesquels la première réponse doit être interrompue dans le but de privilégier la réponse au deuxième stimulus.
L'origine du protocole de changement de tâche remonte d'ailleurs au début des années 80 avant même la mise au point du horse-race model. À ce moment, Logan (1982) conduit une série d'expérimentations utilisant les paradigmes de stop-task et de changement de tâche avec comme objectif principal de comprendre les possibilités d'inhibition de mouvements complexes comme la dactylographie.
À ce moment, le paradigme de changement de tâche fut utilisé en tant que condition expérimentale contrôle permettant d'effectuer des comparaisons avec les résultats obtenus en situation de stop-task. Plus tard, la proximité conceptuelle entre le protocole du stop-task et celui de la PRP rendra possible la mise en place d'une expérience comparant les performance dans les trois conditions : stop-task, changement de tâche, et double tâche (Logan & Burkell, 1986). En effet, de très nombreux points communs caractéristiques rendent possible de rapprocher et comparer les résultats obtenus dans ces différentes configurations. Les protocoles PRP et de stop-task utilisent en effet généralement des tâches de TR de choix discrètes séparées par une durée variable (appelée SOA dans le cadre de la PRP, ou SSD dans le cadre du stop-task). Ils divergent cependant concernant les variables dépendantes utilisées (TR ou pourcentage de réponse).
Avant de discuter des particularités comportementales et des intérêts théoriques

soulevés par cette question, nous allons décrire plus en détail les caractéristiques expérimentales du protocole de changement de tâche.

3.1.1 Tâche 1 et Tâche 2

Il est d'usage de considérer le paradigme de changement de tâche comme une "complexification du paradigme du stop-task" (Logan, 1994). En effet, les stimuli commandant les deux tâches sont identiques et ne diffèrent que par l'ajout d'un traitement cognitif supplémentaire appelé par le deuxième stimulus. La description des variables indépendantes généralement utilisées en situation de changement de tâche nous renvoie donc aux parties 1.2.1 et 1.2.2.

3.1.2 L'expérience princeps

La question de la première expérience ayant conduit à l'utilisation du paradigme de changement de tâche était de définir si la composante balistique opérant lors de l'écriture d'un mot était localisée à l'échelle du mot ou de la lettre (Logan, 1982). En d'autres termes, il s'est agi de savoir si un dactylographe expert est capable d'interrompre l'écriture d'un mot en cours. Cette étude fut la première en date à investiguer les conséquences d'un réengagement moteur suivant l'interruption d'un processus précédant. Pour ce faire, il a notamment été question d'utiliser la condition de changement de tâche comme une condition contrôle à comparer avec les données observables dans la condition de stop-task. Cette étude a donc permis d'introduire la notion de réengagement moteur contigüe à l'inhibition d'un processus devant être interrompu.

Dans l'expérience 4, les participants devaient réaliser trois tâches différentes : durant la condition stop, les participants devaient arrêter d'écrire lorsque le signal stop apparaît, dans la condition change, les participants devaient arrêter d'écrire le mot en cours et de le remplacer par un autre. Pour la dernière condition qui consistait à écrire les deux mots, les participants devaient terminer le mot en cours malgré le signal stop et écrire le second mot ensuite. Les résultats pour la tâche go (e.g., TR entre le stimulus de la première lettre tapée et la durée d'écriture) étaient comparables à travers les trois conditions.

Du fait que le horse-race model n'était pas encore développé, la variable dépendante

alors utilisée était le nombre de lettres tapées après le signal stop. Un résultat important était alors que les participants étaient en mesure de stopper leur écriture au milieu d'un mot en cours indiquant que l'unité balistique du processus d'exécution en stop-task et changement de tâche était matérialisable à l'échelle de la lettre ou d'un cluster de lettre (groupement de 2 ou 3 lettres et pas le mot dans son intégralité). Autre résultat probant, le nombre de lettres tapées après la présentation du signal stop était équivalent dans les deux conditions indépendamment de la longueur du mot ou du délai entre les deux stimuli. Ce dernier résultat fut interprété comme une indication montrant que l'arrêt de la réponse opérait de la même façon indépendamment d'un éventuel réengagement moteur ultérieur.
Il apparait donc que les conséquences comportementales en termes de fonction d'inhibition soient équivalentes entre les paradigmes stop-task et changement de tâche. L'observation de la capacité d'inhibition des participants en fonction du délai séparant le stimulus de la première tâche (la Tâche 1) et le stimulus de la deuxième (Tâche 2) peut ainsi être effectué de la même façon que pour le stop-task. Les études ultérieures utilisant le protocole de changement de tâche confirmeront que plus le délai séparant les deux stimuli est long, plus la probabilité d'inhiber la Tâche 1 diminue (Levy & Pashler, 2008; Logan, 2015; Verbruggen & Logan, 2009b).

3.1.3 Inhibition pure, traitement simultané, inhibition avec réengagement : différences et similitudes comportementales

Suite à l'expérience princeps, et après la mise au point du horse-race model, Logan et Burkell (1986) soulevèrent la question des possibilités et des conséquences de l'interruption d'un processus en cours pour traiter un stimulus qui apparait en second. Plus spécifiquement, les auteurs se sont intéressés aux différents types d'interférences susceptibles d'émerger lorsque les stimuli de deux tâches sont présentés de façon plus ou moins proches. Pour ce faire, ils mirent au point un protocole qui présente l'originalité de faire converger l'éclairage théorique des deux paradigmes majeurs permettant d'étudier la question du traitement de deux stimuli (i.e., le stop-task et le paradigme PRP). Elle est également toujours à l'heure actuelle une des très rares à poser la question de l'influence de la fréquence d'apparition de la Tâche 2.

Dans l'expérience 1, des participants ont été répartis aléatoirement dans l'une des conditions expérimentales : double tâche, stop-task, changement de tâche ou réponse uniquement au deuxième son. Quelle que soit la condition 6 blocs de 120 essais ont été réalisés. Pour la première tâche, l'apparition d'une lettre (A, B, C ou D) appelle la pression d'une touche parmi quatre de la main droite. Dans la deuxième tâche, l'apparition d'un son de 900 Hz durant 500 ms appelle une pression de la main gauche. Tous les essais commencent par l'apparition de la lettre, suite à laquelle le son apparaissait de façon randomisée à une fréquence "rare" (20% des essais), "intermédiaire" (50% des essais) ou "fréquente" (80% des essais). Lorsque le signal sonore apparaît, 6 délais séparant la lettre du son sont utilisés (e.g., 80, 160, 240, 320, 400, et 480 ms). En condition intergroupe, différentes instructions sont données après l'information du déroulement temporel d'un essai.

Les participants du groupe de double tâche reçoivent l'instruction de répondre le plus rapidement et précisément possible aux deux tâches. Pour le groupe stop-task, les participants reçoivent l'instruction de répondre le plus vite et précisément possible à la lettre tout en essayant d'interrompre leur réponse si le son apparaît. Ils étaient aussi invités à ne pas attendre l'arrivée du son pour répondre à la lettre en raison du délai permettant une interruption aisée lors de certains essais et une interruption impossible dans d'autres. Pour le groupe changement de tâche, les participants ont dans un premier temps reçu l'instruction de répondre à la lettre le plus vite et précisément possible et d'essayer d'interrompre leur réponse à la lettre si le son apparaît sans attendre l'apparition du son. Puis il leur était demandé de répondre au son aussi vite et précisément que possible lorsqu'il apparaît, indépendamment de l'émission ou de l'inhibition de la réponse à la lettre. Le groupe son correspond à douze participants qui constituent un groupe contrôle en simple tâche. Ils furent exposés aux mêmes stimuli que les autres groupes mais reçurent l'instruction d'ignorer la lettre et de répondre uniquement aux sons le plus vite et précisément possible.

L'observation des TR à la lettre semble mettre en évidence deux patterns comportementaux différents. Pour le groupe de double tâche le pattern est relativement proche de celui observé dans le cadre du protocole PRP avec un TR à la lettre identique en condition de simple et double tâche. En condition de stop-task et changement de tâche les TR mesurés semblent également compatibles avec le horse-race model avec des TR plus rapides en condition lettre + son qu'en condition

lettre seule avec une différence moyenne de 134 ms imputable à l'indépendance entre les processus go et stop. En effet, les TR mesurés en condition de lettre simple correspondent à la totalité de la distribution alors que ceux mesurés en présence du son, correspondent à la partie la plus rapide de la distribution échappant à l'inhibition[3].

Inversement, aucune différence de TR à la lettre n'est observée en condition de double tâche selon que la lettre apparaît seule ou précédant le son. Conformément aux résultats mesurés lors d'expériences utilisant le protocole PRP, ce résultat suggère que le processus de traitement de la lettre soit relativement protégé aux dépends du processus de traitement du son ralenti jusqu'à 200 ms.

Il est à noter qu'un effet d'interaction est mesuré entre la fréquence d'apparition du son et le ralentissement causé par l'absence du son. En d'autres termes, plus le son apparaît fréquemment, plus lents sont les TR à la lettre en condition de simple tâche. Ces résultats ne sont pas supportés par le horse-race model et sont probablement imputables à un biais stratégique mis en place par les participants. Les auteurs évoquent alors l'hypothèse d'un compromis entre vitesse de réponse à la Tâche 1 et inhibition de cette même tâche. Ce compromis entraîne un phénomène d'attente du stimulus de la Tâche 2 par le ralentissement des TR de la Tâche 1 en cas de forte probabilité d'apparition du stimulus de la Tâche 2.

La Figure 3.1 illustre l'évolution du TR au son en fonction du SOA et de l'émission de la lettre. En condition de double tâche, la réaction au son affiche une interférence substantielle aux SOA courts (environ 200 ms). Le même pattern est observé en condition de changement de tâche. Un effet principal du facteur SOA est mesuré et les TR au son sont qualitativement plus lents (environ 200 ms) lorsque la réponse à la lettre est émise aux SOA courts par rapport aux SOA longs.

Il est à préciser que les auteurs ne purent effectuer d'ANOVA conventionnelle en raison du nombre d'observation différent dans cette condition à travers les SOA . En revanche, une quasi-absence d'interférence est mesurée lorsque les participants parviennent à interrompre la réponse à la lettre. Les auteurs concluent alors en un ralentissement causé par une course au goulet d'étranglement lorsque la réponse à la lettre est émise, ce qui crée un effet PRP. Cet effet PRP n'est en revanche pas présent lorsque les participants parviennent à interrompre leur réponse, ce qui suggère que les

3. Voir chapitre 1

ressources centrales n'ont pas été mobilisées pour le traitement de cette tâche. Il apparaît donc que l'interruption d'un processus en cours de traitement puisse diminuer l'amplitude de l'interférence susceptible de ralentir la tâche suivante.

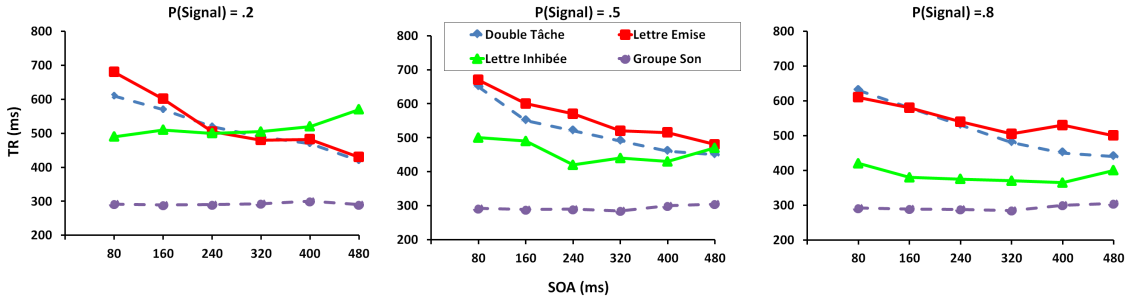

FIGURE 3.1 – Représentation graphique des temps de réaction à Tâche 2 en fonction de la fréquence d'apparition du son (de gauche à droite), du SOA (en abscisse sur chaque graphique) et des conditions expérimentales de réponse à la Tâche 1 (matérialisé par les différentes couleurs) (Logan & Burkell, 1986).

Les auteurs mesurent également un TR au son plus rapide pour le groupe devant ignorer la réponse à la lettre (environ 200 ms). Ce résultat met en évidence la présence d'un coût attentionnel persistant malgré l'interruption de la réponse à la lettre diminuant. Somme toute, les TR au son enregistrés lorsque la réponse à la lettre est interrompue sont plus rapides que les TR mesurés lorsque la réponse à la lettre est émise mais plus lents que les TR enregistrés lorsque l'apparition de la lettre est totalement ignorée.

La conclusion d'un ralentissement causé par le niveau de préparation des participants est alors avancée (Navon & Gopher, 1979). Les participants du groupe de réponse unique au son sont ainsi mieux préparés en raison du maintien d'une seule modalité de stimulus-réponse en mémoire de travail, quel que soit l'essai à venir. Par conséquent, l'abandon d'une Tâche 1 en cours d'exécution pourrait prémunir la Tâche 2 d'interférence causée par le goulet d'étranglement central mais pas de l'interférence causée par le manque de préparation ralentissant la réponse 2.

Les résultats concernant la fonction d'inhibition affichent globalement une compatibilité avec le horse-race model. La probabilité d'inhiber la réponse à la lettre diminue avec le délai séparant la lettre du son et cet effet semble plus important pour le groupe stop-task. En revanche, la probabilité de répondre à la lettre semble également d'autant plus importante que le son apparaît rarement, et ce, davantage pour le groupe changement de tâche. Les auteurs proposent une hypothèse basée sur un phénomène d'attente du signal sonore permettant d'augmenter les chances

d'interruption de la tâche visuelle en cas d'augmentation de la fréquence d'apparition du son. Un compromis serait alors établi entre la vitesse de réponse à la tâche visuelle et une inhibition maximale en cas d'apparition du son. Les auteurs n'intègrent cependant pas cette supposition au horse-race model existant.
Cette expérience constitue à ce jour un des rares points de comparaison entre les paradigmes. Elle permit l'introduction du paradigme de changement de tâche qui sera par la suite davantage utilisé chez des patients atteints de psychopathologie comme les troubles de déficit attentionnel, les syndromes bipolaires ou les patients atteints d'autisme (voir Boecker, Gauggel, & Drueke, 2012, pour une revue complète).

3.1.4 Peut-on protéger une tâche prioritaire d'interférence en inhibant une tâche non prioritaire ?

Plus tard et par extension avec l'investigation de l'interférence en double tâche posée par Logan et Burkell (1986), la question de l'opportunité d'abandonner une tâche au profit d'une autre fut à nouveau posée par Levy et Pashler (2008). Il est à noter que les auteurs sont alors les premiers à intégrer la notion de hiérarchisation d'ordre de priorité entre les tâches en utilisant le protocole de changement de tâche. L'enjeu supplémentaire soulevé par cette étude est d'étudier les possibilités d'interruption d'une tâche non prioritaire (e.g., répondre à un stimulus sonore) au profit d'une tâche prioritaire (e.g., réaliser un freinage d'urgence). En effet la possibilité est donnée d'interrompre l'exécution d'un processus non prioritaire lorsqu'un processus prioritaire requiert d'être exécuté.
Pour ce faire, quarante participants réalisèrent une étude d'une heure menée sur un simulateur automobile dans lequel ils furent confrontés à deux tâches discrètes ajoutées à la conduite avec un véhicule situé devant. La première tâche, non prioritaire, consiste à presser un bouton situé sur le volant avec le pouce gauche en réponse à un stimulus sonore. Le stimulus auditif est un son d'une fréquence de 400 Hz présenté selon deux modalités : une fois durant 100 ms ou deux fois durant 100 ms avec un intervalle de 100 ms entre les deux sons. Les participants ont pour consigne de répondre par une pression si le son apparaît une fois et par deux pressions successives si le son apparaît deux fois . La deuxième tâche consiste à réaliser un freinage d'urgence au moyen d'une pédale placée sur le plancher du simulateur. Les

participants recevaient la consigne de freiner le plus vite possible en cas d'allumage des feux de la voiture située devant.

Les deux variables indépendantes manipulées étaient la présence ou non d'un signal de vibration supplémentaire lors de l'allumage des feux de freinage du véhicule situé devant et le SOA. Concernant le SOA, trois niveaux ont été utilisés : le SOA 150 ms où le son est suivi de l'allumage des feux de 150 ms ; un SOA 0 où le son et l'allumage des feux sont présentés simultanément, et un SOA -150 ms où l'allumage des feux est suivi de l'apparition du son de 150 ms.

Le tableau II illustre la répartition des différents types d'essais rencontrés par les participants. Trois types d'essais ont été randomisés à travers les blocs. Les participants pouvaient rencontrer deux types d'essais en condition de simple tâche constitués de la tâche sonore (36 essais) ou de la tâche de freinage (16 essais séparés en 8 essais avec vibration et 8 essais sans vibration). Les participants pouvaient également rencontrer des essais de double tâche (36 essais) où les deux stimuli apparaissent séparés par un SOA randomisé parmi les trois possibles. Chaque bloc contenait ainsi 88 essais dont l'ordre d'apparition est hétérogène. Au total et les participants effectuèrent autant de blocs que possible en une heure.

TABLEAU II - Répartition des différents types d'essais au sein d'un bloc

ESSAI	**NOMBRE**	**POURCENTAGE**
SON (simple tâche)	36 essais	41%
FREINAGE (simple tâche)	16 essais (8 avec et 8 sans vibration)	18% (9% avec et 9% sans vibration)
DOUBLE TÂCHE	36 essais	41%

Les participants recevaient également la consigne de répondre au son et au freinage le plus vite possible mais d'accorder une priorité maximale au freinage en cas d'apparition des deux stimuli :

> *'Occasionally... the lead car will brake right around the time the beeps occur. When this happens, you should give high priority to the breaking task. That is, you should not even bother to make the response to the tone task but instead make every effort to step on the brake as fast as possible. In other words, you should abort carrying out the tone task and step on the*

> *brakes. Thus, we are asking you to drive in the simulator as you would in real-life (i.e. avoid rear-ending the lead car)'*

Les résultats de Levy et Pashler (2008) furent parmi les premiers à clairement identifier la présence de comportements stratégiques parmi les participants. Ainsi, en condition de double tâche, plus de 60% des participants émirent la réponse manuelle dans plus de 80% des essais (appelés high-responders), 20% des participants émirent la réponse à la lettre dans 40% à 80% des essais (mid-responders) et 20% des participants émirent moins de 40% des réponses manuelles (low-responders). Les participants diffèrent donc clairement en termes de probabilités d'inhibition de la tâche non prioritaire bien que les auteurs n'émettent pas d'hypothèse claire à propos de ces différences stratégiques.

Les observations montrent que plus le stimulus commandant une tâche apparaît tôt, plus la probabilité d'y répondre en premier augmente. En effet, les pourcentages d'essais de double tâche où le freinage est émis en premier sont de 46%, 35% et 19% respectivement aux SOA -150 ms, 0 ms et SOA 150ms [4]. Bien que compatibles avec le horse-race model, les auteurs interprètent cette décroissance dans la fonction d'inhibition à une course au goulet d'étranglement central entre les deux processus.

Les auteurs ont ensuite analysé les résultats en séparant les données en fonction de l'ordre de réponse. Conformément au modèle du goulet d'étranglement central, les résultats montrent un ralentissement substantiel causé par l'ordre d'émission. Aux SOA les plus courts, les auteurs enregistrent un ralentissement du TR au freinage de 300 ms environ lorsque la réponse au son est émise en premier, et un ralentissement de la réponse au son d'environ 400 ms lorsque le freinage est émis en premier.

Levy et Pashler (2008) confirment donc la notion de course au goulet d'étranglement au sein duquel deux processus de sélection de la réponse seraient en compétition. Les conclusions de Logan et Burkell (1986) semblent donc rejoindre celles de Levy et Pashler (2008) concernant la notion de course au goulet d'étranglement. Cependant les deux modèles divergent en ce qui concerne la prise en compte de la présence d'un processus stop nécessaire à l'inhibition de la première réponse.

4. Il est à noter que ces analyses ont été menées uniquement sur la population des "high responders"

3.1.5 Protège-t-on aussi efficacement une tâche prioritaire apparaissant rarement ou fréquemment ?

La Figure 3.2 illustre la probabilité d'inhibition de la réponse à la Tâche 1 en fonction du SOA et de la fréquence d'apparition du stimulus 2 dans l'expérience de Logan et Burkell (1986). Tout comme cela a été montré en stop-task [5], la manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus 2 semble jouer un rôle clé dans la capacité à interrompre la réponse à la Tâche 1 en situation de changement de tâche (Logan & Burkell, 1986; Logan, 1981).

Notamment, une augmentation de la fréquence d'apparition du stimulus 2 semble accompagnée d'une augmentation de la fréquence d'interruption de la réponse à la Tâche 1 . Cette augmentation est par ailleurs plus importante en situation de changement de tâche qu'en situation de stop-task. Il est à noter que cette augmentation s'accompagne également d'un ralentissement de la réponse à la Tâche 1 comme cela est le cas en situation de stop-task. L'hypothèse d'un ralentissement stratégique sous contrôle exécutif influencé par la fréquence d'apparition du stimulus, pressentie par Logan et Cowan (1984) et modélisé plus tard par Leotti et Wager (2010), semble donc confirmée par ces résultats.

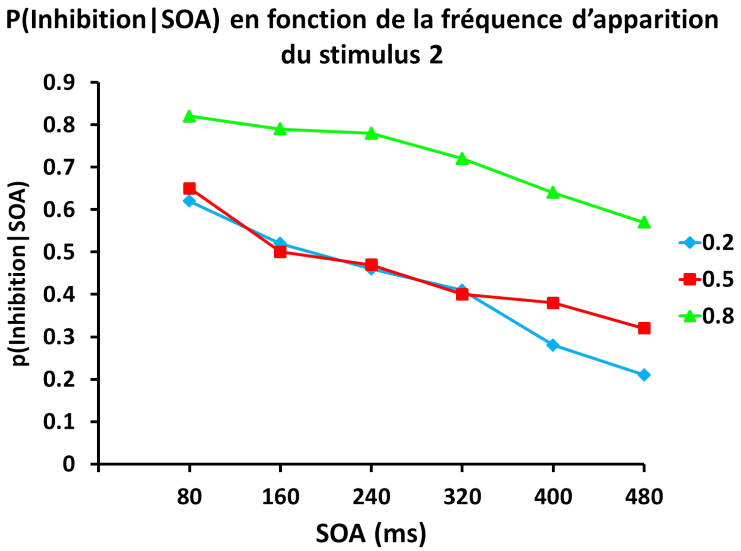

FIGURE 3.2 – Représentation graphique des temps de réaction à Tâche 2 en fonction de la fréquence d'apparition du son (de gauche à droite), du SOA (en abscisse sur chaque graphique) et des conditions expérimentales de réponse à la Tâche 1 (matérialisé par les différentes couleurs) (Logan & Burkell, 1986).

5. Voir chapitre 1

Malgré la quantité d'expérimentations demeurant trop restreintes pour tirer des conclusions suffisamment robustes sur l'effet de la fréquence d'apparition du stimulus 2 en situation de changement de tâche, les données de certaines études issues de la PRP et notamment des protocoles de permutation de tâche semblent apporter un éclairage utile à cette question. En effet, ces deux paradigmes semblent partager l'hypothèse explicative de l'influence du niveau de préparation sur la performance en situation de multitâche.

Ainsi, la question de la nature préparatoire de l'interférence en double tâche a-t-elle été questionnée et expérimentée à travers le paradigme de la PRP. Parmi les premières études, Gottsdanker (1979, 1980) proposa notamment une explication de l'effet PRP causé exclusivement par le niveau de préparation des participants. Cette hypothèse fut testée en omettant l'apparition du stimulus 1 dans des essais de PRP classique. En effet, l'hypothèse du goulet d'étranglement central suppose que les processus de la Tâche 2 ne soient pas ralentis car aucun autre processus ne recrute les ressources centrales à ce moment (Gottsdanker, 1979). Inversement, si des facteurs préparatoires sont responsables de l'effet PRP, un effet de ralentissement similaire devrait être observé.

Pour ce faire, Gottsdanker (1979) mit au point un protocole PRP de 300 essais parmi lesquels 5% étaient composés de l'apparition du stimulus 2 uniquement. Les participants étaient informés en début d'expérience de ce nombre réduits d'essais randomisés avec la consigne d'y répondre le plus vite possible. Les résultats mirent en évidence un ralentissement de TR2 plus important pour les 5% d'essai où seul le stimulus 2 est présenté (plus de 200 ms) que pour les essais de double tâche classique (100 ms environ).

Les auteurs conclurent en faveur d'un ralentissement de la réponse au stimulus 2 causé par l'état préparatoire réduit des participants. Le ralentissement supplémentaire où seul le stimulus 2 est présenté par rapport aux essais de double tâche classiques fut expliqué en évoquant notamment la notion de priming facilitant le traitement de tâches attendues (bénéfice) mais également inhibant le traitement de tâches inattendues (coût) jusqu'à 300 ms (Posner & Snyder, 1975).

Ces observations furent à nouveau questionnées par De Jong (1995) qui démontra par la suite que les performances observées en situation de double tâche indiqueraient une incapacité fondamentale à maintenir un niveau de préparation maximal pour

deux tâches indépendantes.

Pour ce faire, l'auteur mis au point un protocole de type PRP au sein duquel des essais de simple tâche et de double tâche sont entremêlés (e.g., hétérogènes). Pour les essais de double tâche, l'ordre de présentation et le SOA (e.g., 100 et 350 ms) sont randomisés. Une particularité marquante de ce protocole tient dans le fait qu'un indice est fourni aux participants concernant l'ordre d'apparition des stimuli (en double tâche) ou le type d'essai (en simple tâche). Cet indice peut être neutre, ou comporter une information qui n'est valable que dans 80% des essais. Cette indication constitue alors une variable permettant de manipuler le niveau préparatoire des participants à un ordre de tâche donné.

Plus spécifiquement, lors d'essais comportant un indice valide, les participants devraient se préparer à un ordre d'apparition de tâches défini avant l'arrivée du stimulus. Inversement, lors d'essais comportant un indice invalide, les participants devraient se préparer à la mauvaise tâche ou un mauvais ordre de tâches et ainsi ne pas tirer de bénéfice de leur état préparatoire initial. Lors d'essais neutres, les participants devraient se préparer tantôt à un ordre de tâches correspondant au prochain essai, tantôt non correspondant, voire ne mettre en place aucun état préparatoire spécifique.

Deux prédictions émergent alors. En ce qui concerne les essais de simple tâche, si la préparation affecte la performance, les TR lors d'essais de simple tâche devraient être plus rapides lorsque ceux-ci comportent un indice valide suivis d'essais comportant un indice neutre, puis des essais comportant un indice erroné. Concernant les essais de double tâche, en cas d'indice invalide, les ressources centrales ne devraient pas être préparées à l'apparition du stimulus 1 lorsque celui-ci est présenté et nécessitera une inversion active de l'état préparatoire (e.g., *switch*). Aux SOA courts, le stimulus 2 atteindra fréquemment les ressources centrales avant que cette inversion ait eu le temps d'être effectuée. Le biais préparatoire initial devrait dans ce cas induire une exécution prioritaire du processus correspondant à la Tâche 2 et les participants devraient fréquemment inverser leurs réponses motrices.

Les résultats confirmèrent ces deux prédictions avec une différence allant jusqu'à 61 ms entre les essais de simple tâche neutres et valides et jusqu'à 86 ms entre les essais invalides et les essais neutres. En condition de double tâche, comportant des indices invalides, les pourcentages d'inversion des réponses atteignent 64% ce qui

confirme le traitement prioritaire du stimulus 2 attendu par les participants aux dépends du stimulus 1 effectivement présenté en premier.

Ainsi, les participants semblent préparés à l'exécution d'une tâche (ou un ordre de tâches) à un moment donné. Ce niveau de préparation améliore la performance lorsque l'attente des participants est congruente avec la nature effective de l'essai et détériore la performance lorsque les participants se préparent à la mauvaise tâche. Inversement, il ne semble pas possible de maintenir un niveau de préparation pour deux tâches simultanément (ou un ordre de tâches), auquel cas l'apparition d'un stimulus inattendu ne devrait pas affecter la performance. Dans l'expérience 3, De Jong (1995) démontra qu'en situation de double tâche, les participants se préparent pour une séquence de tâches (e.g., Tâche 1 puis Tâche 2) plutôt qu'à l'exécution de la première tâche.

Il semblerait donc qu'une fréquence faible d'apparition d'un stimulus impacte sa vitesse de traitement en situation de simple tâche et de double tâche, vraisemblablement en raison d'un manque de préparation des participants (De Jong, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004). L'extension de cette hypothèse au paradigme de changement de tâche, pour lequel la manipulation de la fréquence d'apparition est également susceptible d'influencer ce niveau de préparation, constituera une partie centrale de notre travail de thèse.

Ainsi, la notion de coût de permutation (ou *switch cost*), principalement étudiée à travers les travaux issus du paradigme de permutation de tâche (ou *task-switching*) semble constituer une base théorique tangible sur laquelle il est possible de s'appuyer pour nuancer voir interpréter la performance en situation multitâche comme l'effet PRP (voir Kiesel et al., 2010, pour une revue ; voir Bouquet, Bonnin, & Gaonac'h (2013) pour une revue en français). Cette base apparaît également comme un cadre de lecture de la performance dans des situations nécessitant une inhibition motrice comme le stop-task et le changement de tâche.

En particulier, les travaux dans le domaine de la permutation de tâche semblent fournir des outils expérimentaux et théoriques permettant de manipuler et d'interpréter les conséquences de la fréquence d'apparition d'une simple tâche. Notamment, Logan et Burkell (1986, étude 1) ont observé un ralentissement allant jusqu'à 200 ms entre les TR au stimulus 2 lorsque les participants inhibent la réponse à la Tâche 1 lors d'essais de changement de tâche et les réponses au son lorsque les

participants doivent ignorer la réponse à la lettre. Cette différence est d'ailleurs réduite dans la condition où le stimulus 2 apparaît fréquemment. Les auteurs invoquent alors un coût préparatoire causé par la préparation de la réponse à la lettre apparaissant en début de chaque essai (Navon & Gopher, 1979).

Plus récemment, Miller et Durst (2014) proposèrent une nouvelle interprétation des résultats de Levy et Pashler (2008) observant la difficulté à accorder une priorité maximale à la tâche de freinage notamment lorsque le processus de la tâche non prioritaire occupe les ressources centrales en premier. Les auteurs évoquent la possibilité que cette difficulté soit causée par l'entremêlement des essais de simple tâche et de double tâche ainsi que l'incertitude d'ordre d'apparition des stimuli en condition de double tâche. Ainsi, lorsqu'un son non prioritaire est présenté, les participants sont susceptibles d'entamer le traitement du stimulus sonore de deux façons. En effet le son est susceptible d'apparaître soit en condition de simple tâche, soit en condition de double tâche. En condition de simple tâche, le processus non prioritaire est immédiatement enclenché et correspond à un pattern de réponse classique. Inversement, en condition de double tâche, le processus non prioritaire pourrait être différé de manière stratégique en vue d'optimiser le traitement prioritaire du freinage (Miller & Durst, 2014).

Les auteurs évoquent également l'hypothèse que la tâche prioritaire aurait pu ne pas souffrir d'interférence dans un paradigme où la consigne aurait été donnée de ne pas entamer le traitement de la tâche non prioritaire tant que le traitement de la tâche prioritaire n'est pas achevé. Nous voyons émerger ici un point de convergence des questions posées par les études de la performance en multi tâche. En effet, la question d'une composante exécutive modulant la performance semble toujours ouverte pour questionner les problématiques d'inhibition motrice ou d'interférence en double tâche.

3.1.6 Facteurs top-down et bottom-up : quelles conséquences en situation de changement de tâche ?

De la même façon que la question du poids des facteurs bottom-up et top-down est adressée lorsqu'une réponse doit être interrompue (Leotti & Wager, 2010; Logan et al., 2014), celle-ci apparaît également pertinente lorsqu'une deuxième réponse doit être engagée. Notamment, cette question semble indissociable de celle des facteurs

motivationnels ainsi que de la fréquence d'apparition du stimulus 2 (Logan, 1994; Logan et al., 2014). Cependant, le panel relativement réduit d'études mettant en valeur la modulation des facteurs top-down à travers l'utilisation du paradigme du stop-task[6] est a fortiori bien plus mince dans le champs de changement de tâche.

Néanmoins, au vu de la seule étude manipulant la fréquence d'apparition en comparant la performance dans les deux paradigmes, l'extension des hypothèses relatives à la modulation de la performance à la Tâche 1 devant être interrompue semble pertinente (Logan & Burkell, 1986). En effet, les auteurs observent un pattern de réponses à la Tâche 1 similaire en condition de stop-task et de changement de tâche lorsque la fréquence d'apparition du stimulus 2 augmente. Par là même, la possibilité d'une modulation de la performance à la Tâche 1 par des facteurs top-down d'une nature proche de ceux sollicités lors d'un essai de stop-task apparaît comme une hypothèse cohérente. La grande majorité des questions adressées lors du chapitre 1 semble ainsi potentiellement prolongeable au champs du changement de tâche.

Cependant, à la différence du paradigme de stop-task, un essai de changement de tâche nécessite le réengagement moteur d'une seconde tâche motrice, elle-même potentiellement sous-tendue par des processus automatiques et contrôlés. Par là même, chaque processus moteur est susceptible d'être modulé par des facteurs top-down et bottom-up en fonction des variables expérimentales et notamment de leurs fréquences d'apparition respectives. Ainsi, la notion d'alternance entre deux processus concurrents à la fois au cours d'un essai mais également d'un essai à l'autre apparaît comme une problématique nouvelle dans ce dernier cas de figure expérimental.

Les données issues du paradigme de permutation de tâche peuvent nous permettre de développer plus en détail les notions de processus bottom-up et top-down nécessaires à la compréhension de la performance en changement de tâche. Notamment, Ruthruff, Jonhston et Van Selst (2001) se sont penchés sur la nature des fonctions exécutives modulant le niveau de préparation et par extension, la capacité à s'adapter à des environnements changeants. Dans cette étude, la distinction est faite entre les facteurs *top-down* (e.g., le degré de préparation délibérée, en amont de la tâche à réaliser) ou *bottom-up* (e.g., la durée des processus enclenchés pendant le traitement de la tâche). Le rôle de ces deux facteur lors du traitement d'une simple

6. Voir chapitre 1

tâche est illustré en Figure 3.3.

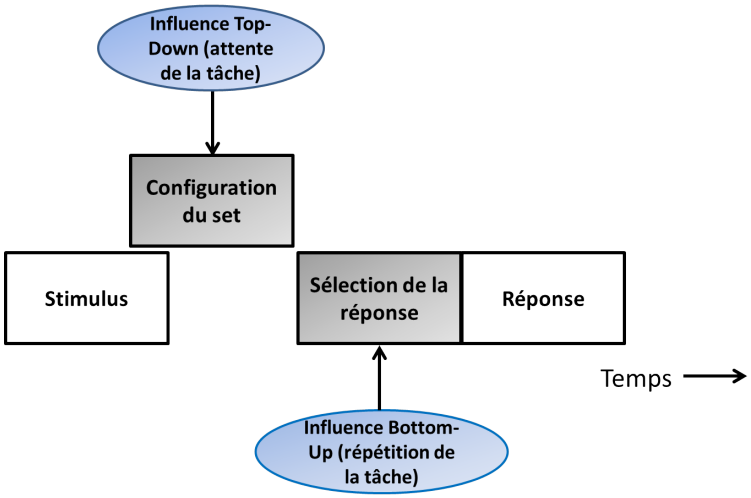

FIGURE 3.3 – Illustration de l'influence de facteurs bottom-up et top-down dans la réalisation d'une simple tâche. La sélection de la réponse ne débute que lorsque la configuration du set (e.g., modalités de réponses associées à une modalité de stimuli) est effectuée. Les facteurs top-down correspondent à la préparation active du traitement de la tâche et sont influencés par l'attente dans la tâche à venir (e.g., manipulée par la présence d'indices).Les facteurs bottom-up correspondent aux influences causées par la répétition d'une tâche sur la rapidité de la sélection. Cette influence permet notamment de diminuer la durée du stade de sélection d'une réponse exécutée fréquemment (Ruthruff, Johnston, & Van Selst, 2001).

Ces deux types de facteurs seraient sollicités différemment en fonction des contingences expérimentales. Par exemple, la présence d'informations concernant l'essai à venir (comme cela est le cas dans l'expérience de De Jong, 1995) solliciterait des facteurs top-down en permettant une programmation anticipée des modalités de réponses à venir. Ces facteurs top-down permettraient ainsi la préparation active d'une configuration (ou *set*) des ressources centrales en vue du traitement d'un stimulus ou plusieurs stimuli. Ce faisant, le traitement d'une tâche attendue (suivant un indice valide) est effectué plus rapidement que le traitement d'une tâche inattendue (suivant un indice invalide). Ce ralentissement observé pour des tâches inattendues est notamment expliqué par le temps nécessaire à la reconfiguration d'un nouveau set permettant de répondre au stimulus auquel les participants ne sont pas préparés. Le *coût de permutation* (ou *switch-cost*) peut être ainsi modulé par une préparation active et volontaire du set correspondant à la tâche suivante et inversement, augmenté en cas d'erreur de préparation.

À l'heure actuelle, ces hypothèses semblent expérimentalement confirmées dans le champ des paradigmes de permutation de tâche, de la PRP. Dans le champ du paradigme du stop-task, cette notion de contrôle top-down semble également

congruente avec celle de modulation active de déclenchement de la réponse (Leotti & Wager, 2010; Logan et al., 2014). Ce faisant, le contexte motivationnel ou la probabilité subjective d'apparition du stimulus stop peuvent être assimilés à des facteurs top-down régulant la performance en situation de stop-task au regard de la définition proposée par Ruthruff, Jonhston et Van Selst (2001). Néanmoins, la question de l'extension de cette notion de contrôle top-down dans le domaine du changement de tâche reste en attente de données expérimentales. Cette question constituera un axe problématique central dans notre travail de thèse.

Par opposition aux facteurs top-down, mis en place en cas d'attente d'un stimulus spécifique, les facteurs bottom-up peuvent être définis en tant que processus influençant les mécanismes plus en aval de sélection de la réponse. Ces processus ont été mis en évidence par Rogers et Monsell (1995) observant un coût de permutation résiduel y compris lorsque les participants disposent de temps pour préparer la tâche suivante. Cette composante du coût de permutation qui ne peut pas être éliminée par un effort de préparation délibéré suggère qu'il existe une influence de facteurs bottom-up et non pas uniquement top-down dans l'exécution d'une tâche motrice. Cette influence permettrait notamment d'optimiser les mécanismes de sélection d'une réponse plus rapide en cas de tâche répétée fréquemment indépendamment des fonctions exécutives.

Ici encore, le lien entre la fréquence d'apparition d'un évènement et son mode de contrôle est à questionner en vue d'interpréter les résultats des paradigmes de PRP et de stop-task. En effet, ces deux paradigmes présentent la particularité d'exposer les participants à une tâche (e.g., Tâche 1 pour le stop-task) ou un couple de tâche (e.g., Tâche 1 et Tâche 2 pour le protocole PRP) dont les stimuli sont présentés selon une séquence stable ou très fréquente (e.g., 75% de simple tâche en stop-task). Ces deux standards expérimentant pourraient ainsi induire un mode de traitement sous l'influence de facteurs bottom-up et ne permettrait pas de questionner la nature des processus exécutifs top-down éventuellement mis en jeux dans des situations à forte incertitude. L'extension de cette hypothèse au paradigme de changement de tâche sera effectuée au cours de ce travail de thèse à travers la manipulation des pourcentages d'apparition des différents stimuli.

3.1.7 Modèles explicatifs du comportement en changement de tâche

Les modèles du goulet d'étranglement central et du horse-race model semblent tous deux constituer une base théorique expliquant la performance. Celle-ci serait ainsi potentiellement imputable à une course entre deux processus de réponse (GO1 et GO2) (Levy & Pashler, 2008) ou entre deux processus de réponse combinés au processus stop (GO1, stop et GO2) (Logan, 2015; Verbruggen & Logan, 2009b). Le nombre relativement réduit de protocoles utilisant ce paradigme rendent cependant difficile la possibilité de trancher en faveur d'un modele plutôt qu'un autre en utilisant des données comportementales.

Du point de vue des variables observables, les comportements mesurés en situation de changement de tâche sont relativement similaires à ceux mesurés en situation de stop-task (i.e., fonction d'inhibition) mais également via le paradigme PRP (i.e., interférence aux SOA courts). Ces résultats ambivalents constituent la base d'un débat toujours ouvert concernant la modélisation des processus intervenants lors de la réalisation de tâches en situation de changement de tâche.

L'utilisation de la méthode d'inférence du SSRT appliquée au paradigme de changement de tâche (le CSRT) semble révéler des valeurs généralement supérieures au SSRT d'environ 100 ms (voir Boecker et al., 2012, pour une revue détaillée de plusieurs études). Cette observation fut le point de départ de quelques études interrogeant l'éventuelle différence de processus impliqués dans l'inhibition en situation de changement de tâche. La première d'entre elles, en continuité avec l'expérience de De Jong et al. (1990), fut organisée sur la base d'une déclinaisons du paradigme du stop-task en trois versions, utilisant des stimuli et réponses identiques (De Jong, Coles, & Logan, 1995).

Ainsi, les participants furent testés sur trois variantes du paradigme du stop-task, à savoir le paradigme stop-task classique, le paradigme de changement de tâche et le paradigme de stop-task sélectif (i.e., n'inhiber qu'un seul stimulus). De plus, De Jong et al. (1995) ont ajouté à leur protocole une mesure psychophysiologique grâce à l'observation de *LRP* (*lateralized readiness potential* ou potentiel de préparation) des participants, qui constitue une observation de l'activation motrice centrale. Ainsi, de la même façon que pour l'expérience de De Jong et al. (1990) qui vise à localiser un

éventuel point de non-retour, les auteurs ont été en mesure de tester l'hypothèse d'une distinction entre les processus inhibiteurs impliqués en situation de stop-task et de changement de tâche.

En se basant sur les résultats de De Jong et al. (1990) et du modèle d'un contrôle central et périphérique des membres (Bullock & Grossberg, 1988, 1991), De Jong et al. (1995) testèrent deux prédictions basées sur le postulat de l'existence d'un processus d'inhibition central et périphérique.

La première prédiction est basée sur le fait que l'inhibition périphérique est un processus plus rapide que l'inhibition centrale et donc davantage utilisé que les processus d'inhibition centrale (De Jong et al., 1990). Ce processus interviendrait dans le cas où le processus d'inhibition central s'achèverait après le processus de réponse afin de bloquer les afférences motrices au niveau musculaire afin de constituer un deuxième point de non-retour.

La deuxième prédiction concerne la relation entre l'activité corticale enregistrée et la présence ou non de mouvement. Pour que l'inhibition soit effective au moyen de processus d'inhibition centrale, il est crucial que le niveau d'activation cortical des participants n'excède pas le seuil critique au-delà duquel la commande central est déclenchée. Ainsi, lors d'une réponse correctement interrompue, l'activation centrale enregistrée sera bien en-deçà de celle observée lors d'un essai où la réponse est produite. Inversement, si l'inhibition est réalisée au moyen de processus périphérique, les niveaux d'activation centrale pourraient excéder ceux normalement observés lors d'essais où la réponse est émise, comme l'observaient De Jong et al. (1990).

Les résultats de l'étude validèrent l'hypothèse selon laquelle deux mécanismes distincts interviendraient dans les paradigmes de stop-task et de changement de tâche. De Jong (1995) proposa ainsi un modèle expliquant l'inhibition en situation de stop-task constitué d'une inhibition périphérique rapide bloquant temporairement l'exécution de toutes les commandes motrices de façon indifférenciée. Inversement, l'inhibition réalisée en condition de changement de tâche serait causée par un processus d'inhibition plus central et donc plus lent, mais permettant d'interrompre l'émission d'une commande motrice précise afin de permettre à la commande suivante d'être correctement exécutée. Ainsi la question de l'inhibition centrale d'un processus via un protocole de changement de tâche semblerait se distinguer de l'inhibition périphérique visant à interrompre une réponse de façon générique comme cela est le

cas en situation de stop-task.

3.2 Conclusions sur l'interruption et le remplacement d'un traitement cognitif en cours

La multiplication des situations quotidiennes susceptibles d'évoluer pose aujourd'hui la question de la capacité à traiter certaines tâches de façon prioritaire au dépends d'autres tâches secondaires. Depuis leur apparition, le horse-race model (Logan & Cowan, 1984; Logan et al., 1984) et le modèle du goulet d'étranglement central (Pashler, 1994) constituèrent un apport considérable permettant d'interpréter la question du comportement en situation de multitâche. Le horse-race model permet d'interpréter la performance en situation où l'interruption d'une réponse est requise tandis que le goulet d'étranglement central fournit une hypothèse explicative du comportement lorsque deux réponses motrices sont émises. Les apports théoriques de ces deux modèles sont essentiellement alimentés par deux paradigmes majeurs que sont le stop-task et le protocole PRP.

Pour autant, relativement peu de tâches exécutées en situation écologique exigent un arrêt complet de toute réponse (comme cela est étudié au moyen du stop-task) ou au contraire, l'émission de deux réponses motrices (comme cela est étudié via le protocole PRP). Bien que relativement peu utilisé, le paradigme du changement de tâche permet de contourner ces limites en tendant un véritable "pont expérimental" (Logan & Burkell, 1986) entre le stop-task et le protocole PRP. Le protocole de changement de tâche permet ainsi de questionner la capacité à interrompre le traitement d'une tâche non prioritaire en vue d'exécuter une tâche prioritaire. Néanmoins, le horse-race model et le modèle du goulet d'étranglement central sont-ils compatibles en vue de fournir des interprétations pertinentes aux données recueillies ? Le double éclairage potentiellement proposé par ces deux modèles soulève en effet le problème de la compatibilité des interprétations respectivement fournies.

Longtemps considéré comme "une complication du paradigme stop signal" (Logan, 1994), le protocole de changement de tâche a dans un premier temps constitué une condition contrôle permettant de tester les prédictions du horse-race model. En effet, les données des études utilisant le protocole de changement de tâche affichent des résultats très proches de celles observées grâce au stop-task. Notamment,

quel que soit le paradigme utilisé, l'augmentation du délai séparant les deux stimuli impacte la fonction d'inhibition en entrainant une diminution de la capacité à interrompre la réponse en cours.

De même, les TR échappant au processus d'inhibition et les inférences du TR du processus inhibiteur basés sur le protocole de changement de tâche semblent générer des patterns identiques. Ces observations ont ainsi alimenté les conclusions du horse-race model d'une course entre un processus de réponse et un processus inhibiteur. La distinction entre les TR du processus inhibiteur en condition de changement de tâche (CSRT) ou en situation de stop-signal (SSRT) se révèle d'ailleurs souvent floue voir absente avec une utilisation indifférenciée dans deux revues de littérature portant sur l'inhibition chez l'enfant atteint de TDAH (Lijffijt et al., 2005; Oosterlaan et al., 1998). Est-ce à dire que les processus impliqués dans les deux paradigmes sont strictement identiques ?

Bien que la conclusion ne soit pas tranchée, les interprétations semblent converger vers l'existence d'un processus inhibiteur unique opérant dans les deux protocoles (pour une revue de littérature, voir Boecker et al., 2012). Du fait de la proximité des mesures comportementales enregistrées en changement de tâche et stop-task, les données de futures études associant les deux protocoles à des mesures électrophysiologiques pourraient apporter un certain nombre d'éléments de réponses à cette question. Néanmoins, le horse-race model constitue à l'heure actuelle un cadre théorique indispensable à la compréhension de l'inhibition en situation de changement de tâche.

En termes de processus moteurs impliqués dans les réponses motrices des deux tâches, le paradigme du changement de tâche semble également opérationnel au regard du modèle du goulet d'étranglement central (Pashler, 1994). En effet, l'observation des conséquences (succès ou échec) de l'inhibition de la réponse à interrompre semble systématiquement compatible avec la théorie du goulet d'étranglement central. L'émission de la réponse à interrompre entraîne un ralentissement de la deuxième réponse qui n'est pas observé en cas d'inhibition de la réponse.

Ici encore, le modèle du goulet d'étranglement central propose une explication de l'interruption de la première tâche motrice différente de celle du horse-race model. Levy et Pashler (2008) avancent ainsi l'hypothèse d'une course au goulet d'étranglement central entre les processus moteurs des deux tâches dont l'issue

correspondrait à l'émission ou à l'inhibition de la réponse de la première tâche. De la même façon, la similitude des prédictions comportementales fournies par l'hypothèse d'une course entre deux processus moteurs ou de deux processus moteurs plus un processus stop ne permet pas de trancher en faveur d'un modèle ou de l'autre concernant la cause de l'inhibition. Cependant, cette proximité rend possible la cohabitation des deux théories et permet notamment la complémentarité du modèle du goulet d'étranglement central à celui du horse-race model s'agissant d'interpréter la performance de la deuxième tâche.

Ainsi, le paradigme de changement de tâche permet-il de solliciter les apports complémentaires de deux modèles fondamentaux questionnant chacun la performance en situation de multitâche avec un éclairage différent. Cette jonction théorique est notamment rendue possible au moyen d'un paradigme original pouvant s'étendre à un très grand nombre de situations écologiques. Toutefois, le nombre relativement restreint d'études utilisant le paradigme du changement de tâche rend heuristique la confrontation de nouveaux résultats à ces deux modèles théoriques. Cette confrontation est à la base du travail de thèse effectué.

Deuxième partie

Problématique

Aujourd'hui, les situations nécessitant de multiples réponses semblent se multiplier. En particulier, les récentes avancées technologiques –particulièrement dans le domaine de la communication- créent de nombreuses situations conduisant au traitement simultané de deux ou plusieurs tâches (Appelbaum et al., 2008; Rosen, 2008). Néanmoins, il semblerait que la capacité à traiter efficacement plusieurs tâches simultanément soit largement limitée comme en témoignent les données épidémiologiques en termes de sécurité routière impliquant conduite et usage de téléphones mobiles (Inserm & Iffsttar, 2011).

D'un point de vue théorique, l'explication des limitations est essentiellement alimentée par la théorie du *horse-race model*, décrivant la capacité à interrompre une tâche motrice (Logan & Cowan, 1984; Logan, 1994), du modèle du *goulet d'étranglement central* expliquant les limitations cognitives en situation de double tâche (Pashler, 1984). Ces modèles fournissent un certain nombre d'hypothèses opérationnelles qui peuvent être testées grâce aux protocoles expérimentaux majeurs que sont le paradigme *stop-task* et le *protocole PRP*. Néanmoins les caractéristiques de ces protocoles constituent également un certain nombre de limites qui circonscrivent l'extension des conclusions fournies à des situations plus écologiques .

En effet, rares sont les situations quotidiennes qui appellent à la suppression complète d'un processus en cours telle qu'elle est étudiée avec le traditionnel paradigme du stop-task. Dans la plupart des cas, les changements environnementaux incitent davantage à abandonner une action obsolète planifiée ou en cours d'initiation pour la remplacer par une nouvelle action, plus appropriée, comme le soulignent Boecker et al. (2012). Observation corrolaire, le comportement tel qu'il est étudié au moyen du protocole PRP implique obligatoirement l'émission de deux réponses motrices de la part du participant.

Pourtant, la possibilité d'interrompre une action en cours pour se focaliser sur une action prioritaire est toujours existante dans n'importe quelle situation. Ainsi, les apports théoriques essentiels constituent-ils un cadre d'interprétation efficace du comportement en situation de multitâche sans toutefois rendre compte de l'ensemble des possibilités comportementales de façon exhaustive.

Une autre limite commune à ces deux paradigmes concerne le niveau de hiérarchisation des tâches. En effet, la réalisation d'un protocole de stop-task requiert de conserver un niveau de priorité équivalent entre la tâche de temps de réaction et la

tâche d'inhibition (Logan, 1994). Le protocole PRP nécessite quant à lui un niveau de priorité généralement égal entre la Tâche 1 et la Tâche 2 ou équivalent entre les deux. Or, beaucoup de situations requièrent l'attribution de différents niveaux de priorité dans le cadre de la conduite automobile où l'exécution d'un freinage d'urgence prend nécessairement le pas sur n'importe quelle action planifiée ou en cours de réalisation (Janssen, Brumby, & Garnett, 2012; Levy & Pashler, 2008; Miller & Durst, 2014). Par conséquent, la question du poids de la hiérarchisation prioritaire consubstantielle à l'exécution de la plupart de nos actions reste ainsi en suspens malgré les apports théoriques de ces deux modèles.

Enfin, la question de la fréquence d'apparition de stimuli commandant l'exécution de tâches concurrentes reste à ce jour un point d'interrogation théorique et empirique. En effet, les données issues du paradigme du stop-task proviennent dans la très grande majorité d'études utilisant un pourcentage d'apparition du signal stop arbitrairement situé autour de 25% (Band et al., 2003).

Cette caractéristique soulève la question de la nature et de la mesure des processus potentiellement sollicités lors de l'interruption d'une réponse en cours. Quelques études qui ont manipulé la fréquence d'apparition du signal stop mettent en évidence des patterns de réponses différents, et parfois en contradiction avec les prédictions du horse-race model (Leotti & Wager, 2010). Ces patterns de réponse renforcent l'hypothèse selon laquelle des processus de type top-down sont à l'origine d'une modulation du comportement inhibiteur (voir Logan et al., 2014). Pourtant, la question de la nature des processus sollicités ainsi que des informations prises en compte par ces mêmes processus reste ouverte notamment en raison des données empiriques relativement restreintes.

De la même façon, les études utilisant le paradigme PRP ne manipulent généralement pas la fréquence d'apparition respective des stimuli commandant les tâches à exécuter pour les participants. Ce constat nous invite donc à poser la question de l'impact de la fréquence d'apparition d'une tâche sur la capacité à exécuter efficacement cette tâche. Cette question constituera par là-même un point central dans ce travail de thèse.

Ainsi, notre problématique peut-être articulée en trois nouvelles questions : dans quelle mesure peut-on interrompre une tâche peu importante lorsqu'un stimulus prioritaire apparaît ? La fréquence d'apparition du stimulus prioritaire constitue-t-elle

un facteur impactant son exécution ainsi que l'interruption de la réponse non prioritaire ? Enfin, quelles sont les conséquences du succès ou de l'échec de cette interruption sur l'exécution des processus prioritaires ?

Cette problématique sera traitée via le paradigme de changement de tâche qui constitue un outil fonctionnel rendant possible la jonction expérimentale entre les protocoles de stop-task et PRP. Ce faisant, il sera également possible d'apporter les éléments de réponse aux questions précédemment laissées en suspens.

Le protocole de changement de tâche constitue ainsi un outil qui permet de questionner les deux limites contingentes aux protocoles PRP et du stop-task que sont 1) la possibilité d'abandonner une tâche en cours et 2) la possibilité du réengagement vers une autre tâche. L'utilisation du paradigme de changement de tâche permet également de questionner l'impact de hiérarchisation de la priorité entre deux tâches à exécuter. À notre connaissance, une seule étude semble explorer l'effet de l'ordre de priorité entre les deux tâches (Levy & Pashler, 2008) en situation de changement de tâche quand bien même ces variables le seraient à travers le paradigme de permutation de tâche (Kiesel et al., 2010; Miller & Durst, 2014). L'intégration de la hiérarchisation de l'ordre de priorité entre deux tâches au moyen d'un paradigme de type changement de tâche permettrait ainsi d'apporter des éléments de réponse à une question peu traitée jusqu'à présent. Cette variable sera au cœur de notre travail de thèse.

Enfin, le protocole de changement de tâche nous permettra de situer du poids de la fréquence d'occurrence d'un évènement prioritaire qui constitue une variable peu investiguée dans la littérature. En effet, à notre connaissance, parmi les très rares expériences utilisant le changement de tâche chez des sujets sains, une seule utilisant un couple de tâches discrètes a fait varier le pourcentage d'apparition du stimulus de la Tâche 2 (Logan & Burkell, 1986). L'influence de la fréquence d'apparition de la Tâche 2, généralement fixée à 25% des essais en situation de stop-task (Band et al., 2003; Logan, 1994) est ainsi une question toujours ouverte concernant le paradigme de changement de tâche. Pour questionner cette problématique, nous mobiliserons un certain nombre d'apports issus des paradigmes de permutation de tâche pour lesquels la fréquence d'apparition de stimuli ou d'indices est généralement manipulée (De Jong, 1995; Miller & Durst, 2014; Rogers & Monsell, 1995; Ruthruff, Johnston, & Van Selst, 2001)). Nous questionnerons également nos résultats au regard des modèles d'accumulation d'information appliqués au horse-race model classique proposant

certaines descriptions de la modulation du comportement inhibiteur sous contrôle top-down (Logan et al., 2014; Leotti & Wager, 2010). Ce faisant, nous tenterons d'élargir ces prédictions au contexte expérimental du changement de tâche. La manipulation de cette variable sera ainsi au cœur de notre travail de thèse.

Pour traiter cette problématique nous croiserons donc principalement les apports théoriques et expérimentaux issus des deux grands paradigmes rendant compte de la première classe de processus inhibiteurs selon, Nigg (2000), que sont le stop-task (Logan et al., 1984; Logan & Cowan, 1984) et le protocole PRP (Welford, 1952) via le paradigme de changement de tâche (Logan & Burkell, 1986). En termes d'interprétations théoriques, ce croisement permettra notamment de confronter les prédictions des modèles du goulet d'étranglement central (Pashler, 1984) et du horse-race model (Logan & Cowan, 1984) qui seront ainsi au cœur des interprétations de nos résultats.

En termes de déroulement expérimental, nous séparerons nos passations en trois grands volets. Dans un premier volet expérimental (Étude 1 et 2) la question de l'impact de la hiérarchisation du niveau de priorité sera posée à travers la réplication de l'étude de Levy et Pashler (2008) en condition de laboratoire. En effet, l'expérience princeps, avait pour objectif d'étudier l'interférence entre deux tâches dont le niveau de priorité est semblable à celui d'une situation de conduite automobile réelle. L'enjeu était alors d'utiliser un couple de tâches pour lesquelles la valence prioritaire est explicite (e.g., réaliser un freinage d'urgence vs. réaliser une tâche auditive-manuelle) dans un contexte où leur ordre d'apparition est inconnu. Nous nous baserons donc sur un protocole exploratoire similaire afin d'étendre les résultats de Levy et Pashler (2008) et de disposer de premiers résultats utilisant des stimuli similaires en situation de laboratoire.

Au cours du deuxième volet expérimental (Étude 3 et 4) nous envisagerons d'apporter des éléments de réponse à la question du poids de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire sur la capacité à exécuter la tâche prioritaire). Pour ce faire, nous utiliserons un couple de tâches élémentaire (e.g., auditif – manuel et visuel – manuel) plus proche de ceux généralement utilisés dans les protocoles de stop-task et PRP appliqué cette fois-ci au changement de tâche (Étude 3). Nos résultats bénéficieront ainsi de nombreux points de comparaisons théoriques et empiriques au regard des précédentes études menées en stop-task et en PRP. La différence originale

que nous proposerons sera cependant centrée sur la manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire afin d'en mesurer le poids en termes de processus de traitement impliqués dans l'exécution de cette tâche prioritaire.

Dans un second temps (Étude 4), nous tenterons d'identifier plus clairement les conséquences de l'interruption de la tâche non-prioritaire sur la tâche prioritaire en fonction du décalage temporel entre leurs stimuli respectifs. Il s'agira notamment de limiter les biais stratégiques des participants afin de déterminer plus exactement le coût de l'interruption d'une réponse sans modulation stratégique. Cette possibilité sera permise notamment en répliquant le second volet expérimental, en utilisant une Tâche 1 non prioritaire de type go/no-go. Ainsi, nous conserverons les mêmes caractéristiques en termes de processus inhibiteurs (Nigg, 2000; Logan et al., 2014), de hiérarchisation prioritaire, et de fréquence d'apparition du stimulus prioritaire, tout en limitant les possibilités de variations soumises aux biais stratégiques potentiellement observables lors du second volet. La caractéristique de l'alternative go/no-go nous permettra en outre d'isoler la part stratégique des processus top-down sollicités par la manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire du coût de permutation causant potentiellement des effets similaires.

Enfin, le troisième volet expérimental (Étude 5) aura pour but d'affiner les rôles et conséquences des différentes stratégies potentiellement conditionnées par la nature et les consignes expérimentales. Pour ce faire, nous comparerons la performance réalisée en situation de changement de tâche à celle réalisée via différentes niveaux d'inhibition et de traitement attentionnel de la tâche non prioritaire (absence de traitement vs traitement en double tâche). Ce faisant, nous serons en mesure d'identifier plus finement le poids des différents types de stratégies conduisant à privilégier une réponse aux dépends d'une autre ainsi que certains artefacts expérimentaux émergeant des paradigmes utilisés.

Dans la partie suivante, les différentes études expérimentales seront présentées en détail :

Au cours de l'Étude 1 nous nous sommes intéressés à la réplication exploratoire de l'expérience de Levy et Pashler (2008) en laboratoire.

L'Étude 2 constitue ensuite une extension de l'Étude 1 qui nous a permis de quantifier le poids de l'incertitude relative à l'ordre d'apparition des stimuli en intégrant des blocs de simple tâche homogènes.

L'Étude 3 aborde la question de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire dans un protocole de changement de tâche usuel.

L'Étude 4 porte sur conséquences de l'émission ou de l'inhibition de la réponse non prioritaire à travers un paradigme en continuité avec l'Étude 3 pour au sein duquel la tâche non prioritaire possède une alternative de type go/no-go.

Enfin, l'Étude 5 nous a permis de nous intéresser aux effets de la consigne sur le traitement du stimulus prioritaire via un paradigme fixant trois modalités différentes de traitement cognitif de la tâche non prioritaire pour l'ensemble des participants.

Troisième partie

Études expérimentales

Étude 1

Sommaire

Buts et prédictions **86**

Méthode **88**

Participants 88

Tâches 88

Dispositif expérimental 88

Procédure 88

Résultats **90**

Inhibition de la réponse non prioritaire 90

Performance en simple tâche 91

Performance en double tâche 91

Ordre d'apparition des réponses 92

Temps de réaction au freinage en fonction du SOA et de l'ordre d'émission 92

Temps de réaction au son en fonction du SOA et de l'ordre d'émission 93

Comparaison des temps de réaction en condition de simple tâche et en condition de double tâche 93

Discussion **95**

Buts et prédictions

Le but de cette étude est d'explorer les conséquences de l'interruption d'une tâche non-prioritaire sur la réalisation d'une tâche prioritaire dans un contexte où l'ordre d'apparition des stimuli n'est pas connu. Pour ce faire nous avons répliqué dans un contexte de laboratoire l'expérience de Levy et Pashler (2008), initialement réalisée en simulateur automobile.

À cette fin, nous avons manipulé le SOA entre deux tâches de façon à ce que chaque stimulus puisse être émis en premier ou que les deux puissent être émis simultanément. L'objectif est d'éviter la systématisation de l'ordre d'apparition des stimuli dans les expériences de double tâche classique où la Tâche 1 précède systématiquement la Tâche 2. Ce faisant nous mettons en place les conditions d'incertitude inhérentes à la plupart des situations écologiques en vue de mettre en lumière les conséquences comportementales qui en découlent.

La nature de l'essai à réaliser est également inconnue pour le participant car des essais de simple tâche et de pseudo double tâche sont mélangés dans le même bloc, ce qui minimise également l'état préparatoire des participants quant à la nature de l'essai à venir (De Jong, 1995; Gottsdanker, 1979, 1980; Tombu & Jolicoeur, 2004).

Enfin, les deux tâches présentent également la particularité d'être hiérarchisées entre elles. En effet, une des tâches consiste en une identification de la fréquence d'un son (haut vs. bas) en pressant une touche de clavier correspondante ; l'autre en un freinage à réaliser sur une pédale lorsque le stimulus visuel l'indique (feux stop allumés sur une voiture présentée à l'écran). Le freinage est ainsi présenté comme la tâche prioritaire via les instructions transmises aux participants de répondre le plus vite possible aux deux tâches avec la possibilité d'ignorer la tâche auditive non-prioritaire. La réalisation de la tâche de freinage suite à l'allumage de feux stop constitue également un facteur de hiérarchisation supplémentaire de par le fait que la réalisation d'un freinage constitue une tâche fortement prioritaire en condition écologique.

Au vu de nombreux travaux notamment relatifs aux paradigmes du stop et changement de tâche (voir Lappin & Eriksen, 1966; Logan, 1981; Logan & Cowan, 1984) appliqués à un nombre relativement important de tâches (dactylographie, mouvements oculomoteurs, temps de réaction de choix…), ainsi qu'aux résultats

obtenus par Levy et Pashler (2008), nous devrions observer une incidence du SOA sur l'inhibition de la tâche non-prioritaire.

Ainsi, en cas de course au goulet d'étranglement, plus la tâche non-prioritaire sera émise en amont de la tâche prioritaire plus le processus d'exécution de la tâche non-prioritaire aura de temps pour arriver à complétion. La conséquence observable sera une diminution du taux d'inhibition de la tâche non-prioritaire à travers les SOA. Le taux d'inhibition sera ainsi maximal lorsque le stimulus non prioritaire suit le stimulus prioritaire de 150 ms (e.g., SOA -150 brake first) et minimal lorsque le stimulus prioritaire suit le stimulus non prioritaire de 150 ms (e.g., SOA 150 tone first). Néanmoins, les données théoriques nous permettent de prédire que les participants ne seront pas en mesure d'interrompre la totalité de leurs réponses y compris au SOA -150 brake first notamment en raison de l'indépendance stochastique des processus de réponse et d'inhibition motrice (Logan & Cowan, 1984; Logan et al., 1984).

Nous devrions aussi observer des taux d'inhibition de la tâche non-prioritaire plus importants que ceux enregistrés par Levy et Pashler (2008) dans leur expérience en simulateur. En effet, la tâche utilisée par les auteurs (une ou deux pressions successives en réponse à un ou deux "beeps") se rapproche probablement plus d'un processus de détection sans sélection de réponse appropriée, contrairement la tâche utilisée dans notre expérience nécessitant une réponse différente pour chaque son. Ainsi, le rallongement de la durée contrôlée du processus de traitement de la tâche non-prioritaire devrait vraisemblablement augmenter la probabilité d'interruption (Osman et al., 1986).

Concernant les TR à la Tâche 2, le modèle du goulet d'étranglement central nous permet de prédire un rallongement des temps de réaction des deux tâches conditionné par leur ordre d'apparition (Welford, 1952; Pashler, 1984). En effet, la réponse émise en premier implique que de l'attention centrale ait été sollicitée par cette tâche en premier lieu en mettant en attente le processus d'exécution de la tâche suivante laquelle devrait, de fait, souffrir de ralentissement. Les TR à la première tâche émise devraient ainsi être relativement proche des temps de réaction en simple tâche mesurés dans les blocs hétérogènes de notre expérience sans effet du SOA. Inversement, la réponse émise en deuxième, mise en attente, devrait être retardée le temps que le stade central de la première tâche arrive à sa fin. Le ralentissement des

TR devrait ainsi être d'autant plus important que le SOA est court.

Méthode

Participants

Quinze étudiants (M = 19.2 ans, SD = 1.0 ans ; amplitude = 18 - 22 ; 12 femmes) de l'Université du Nouveau-Mexique ont participé à une session d'une heure en échange de crédits de validation d'acquis. Tous ont une expérience en conduite automobile d'au minimum de 1 an. En moyenne, ils possèdent leur permis de conduire depuis 3 ans (SD = 1.4. ans, étendue : 4 ans).

Tâches

Le but de la Tâche 1 non prioritaire est d'identifier une fréquence sonore de 400 Hz (bas) ou de 1800 Hz (haut) de 100 ms de durée en répondant sur les touches "o" ou "k" d'un clavier. Le but de la Tâche 2 prioritaire est de freiner le plus rapidement possible à l'allumage des feux stop de la voiture présentée à l'écran en pressant une pédale placée au sol avec le pied droit.

Dispositif expérimental

Les passations se sont déroulées dans des box individuels où les participants furent testés. Le programme a été réalisé sous le logiciel E-Prime 2.0. La présentation des stimuli et la collecte des réponses sont réalisées sur un ordinateur portable DELL E5500. Un ordinateur couplé à une SR Box génère l'environnement de réponse, la collecte et la sauvegarde des données. Les participants portent un casque d'écoute standard connecté à l'ordinateur, à travers lequel les participants entendent les stimuli sonores.

Procédure

Les participants répondent au stimulus non prioritaire (le son aigu ou grave) en pressant l'une des deux touches (O, K) avec le majeur ou l'index de la main droite. Les participants répondent au stimulus prioritaire (l'allumage des feux stop de la voiture présentée à l'écran) en pressant une pédale située sous le bureau.

L'assistant de recherche lit clairement les instructions pendant que le participant suit les instructions en lisant une copie de celles-ci. Il était demandé aux participants de conduire les tâches de freinage et de choix le plus rapidement et précisément possible. Il était non seulement souligné que le freinage devait être rapide (contrairement à la décélération graduelle, comme cela peut être réalisé dans un environnement réel de conduite), mais également de lui donner la priorité la plus importante :

> *'Occasionally... the lead car will brake right around the time the beeps occur. When this happens, you should give high priority to the breaking task. That is, you should not even bother to make the response to the tone task but instead make every effort to step on the brake as fast as possible. In other words, you should abort carrying out the tone task and step on the brakes.'*
>
> [De temps à autre... la voiture de devant freinera au moment où le son apparaîtra. Lorsque cela se produira, vous devrez donner priorité à la tâche de freinage. Ceci étant, vous ne devrez même pas vous préoccuper de produire une réponse au son mais, à la place, faites l'effort de presser la pédale de frein aussi vite que possible. En d'autres termes, vous devrez arrêter de traiter la tâche sonore et freiner.]

Chaque essai commence par une croix de fixation pendant 500 ms au centre de l'écran. Puis, une image de l'arrière d'une voiture feux éteints est introduite durant 250 ms, suivie de la présentation du son ou de l'allumage des feux présentés seuls en condition de simple tâche.

Dans cette condition, les participants disposent de 2, 500 ms pour répondre, temps au-delà duquel le feedback : "No response detected" apparaît. En condition de pseudo double tâche, l'allumage des feux apparaît soit 150 ms avant le son (SOA -150 brake first), soit 150 ms après le son (SOA 150 tone first), soit simultanément avec le son (SOA 0).

En condition de pseudo double tâche, les participants disposent de 2, 500 ms après l'apparition de l'allumage des feux pour répondre, temps au-delà duquel le feedback "No braking Detected" apparaît. Dans les deux conditions, les participants sont également renseignés à propos de leur réussite dans la réponse au son en condition de simple tâche avec les feedbacks "Correct Tone" et "Incorrect Tone". Dans

les deux conditions, l'extinction des feux de la voiture leur signale que le freinage a correctement été effectué.

Chaque bloc contient un mélange randomisé de trois types distincts d'essai. Les essais de simple tâche pour lesquels les participants réalisent soit la tâche sonore (18 essais) soit la tâche de freinage (8 essais). Dans les essais de double tâche (18 essais), les deux stimuli sont présentés et espacés des 3 SOA soit 6 essais pour chaque SOA. Ainsi, un bloc comporte 44 essais au total à réaliser 8 fois. Le protocole expérimental correspond ainsi au déroulement de l'étude de Levy et Pashler (2008) à l'exception de freinage redondant comportant une dimension haptique [7].

Résultats

Les temps de réaction inférieurs à 100 ms et supérieures à 2500 ms ont été exclus des analyses (3% des essais). Les essais pour lesquels les pour lesquels les participants ont répondu incorrectement au stimulus non prioritaire ont été exclus des analyses. Cette exclusion correspond à 8% des essais.

Inhibition de la réponse non prioritaire

En termes de profils, de responders tels que l'analysent Levy et Pashler (2008) [8], 80% des participants (12 sur 15) ont émis moins de 40% des réponses sonores (e.g., low responders), 13% des participants (2 sur 15) ont émis entre 40% et 80% des réponses sonores (e.g., middle responders), et 7% des participants (1 sur 15) ont émis une réponse au son dans plus de 80% des essais (e.g., high responders). Ainsi, l'inhibition de la tâche sonore semble réalisable pour la majorité des participants, contrairement aux prédictions issues de l'expérience de Levy et Pashler (2008) où 60% des participants faisaient partie des high responders.

Nous avons également analysé les pourcentages d'inhibition en fonction du SOA. La capacité à inhiber la réponse au son décroit significativement à travers les SOA. Les pourcentages d'inhibition mesurés sont de 82, 78 et 69% (SD = 8.5, 8.7 et 9%) respectivement aux SOA -150 brake first , SOA 0, et SOA 150 tone first, $F(2, 28) = 8.71$, $p < .001$, $\eta^2 = 0{,}38$.

7. Voir partie 3.1.4.
8. Voir partie 3.1.4

Performance en simple tâche

Le temps de réaction moyen à la réponse sonore est de 615 ms (SD = 128 ms). Le temps de réaction au freinage moyen est de 511 ms (SD = 130 ms).

Performance en double tâche (Analyse quantitative)

Analyse quantitative

Nous avons dans un premier temps réalisé une ANOVA sur les temps de réaction moyens au freinage et au son avec le facteur SOA en condition intra-groupe.

Les temps de réaction moyens au freinage sont de 520 ms, 511 ms et 528 ms (SD = 137, 125 et 125 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first sans effet principal du facteur SOA, F (2, 28) = .51.

Les temps de réaction au son moyens sont de 571, 593 et 553ms (SD = 164, 182, et 159ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first sans effet principal du facteur SOA, F (2, 28) = .51 [9].

Ces deux résultats peuvent sembler incohérents avec le modèle de Pashler (1984) prédisant un effet du SOA sur le temps de réaction. Cependant, ces résultats souffrent d'un artefact statistique. En effet, l'ensemble des moyennes de temps de réaction a été utilisé sans tenir compte de l'ordre d'émission des réponses motrices. Bien que ne constituant pas une variable expérimentale à proprement parler, ce facteur est néanmoins prépondérant quant à l'analyse des performances en double tâche. Nous avons donc réalisé une deuxième analyse statistique des temps de réaction au son et au freinage en séparant les performances par ordre d'émission.

Analyse qualitative

De la même façon que Levy et Pashler (2008) et en continuité avec le modèle de Welford (1952) prédisant un rallongement de la deuxième tâche lorsque la première est émise, nous avons réalisé une deuxième analyse en séparant les temps de réaction en fonction de l'ordre des réponses émises. Nous présenterons donc successivement l'analyse de la probabilité d'ordre d'apparition des deux tâches, puis l'analyse des temps de réaction aux deux tâches partitionnées en fonction de l'ordre de réponse.

9. Il est à noter que certaines observations étaient manquantes en raison de l'inhibition de la totalité des réponses au son dans au moins une condition de SOA pour quatre participants.

Il est à noter que contrairement aux résultats de Levy et Pashler (2008) comportant une quantité prépondérante de high-responders, la majorité des participants ont interrompu une proportion substantielle de réponses à la Tâche non prioritaire. Ce faisant, la quantité de données disponible est insuffisante pour effectuer une ANOVA à partir des données partitionnées en fonction de l'ordre d'apparition des réponses. Nous présenterons ainsi une analyse qualitative de l'ordre d'apparition et les temps de réactions conditionnés par cet ordre d'apparition.

Ordre d'apparition des réponses

La probabilité de voir une réponse au freinage émise en premier est de 65, 56, et 35% respectivement aux SOA -150 brake first , SOA 0 et SOA 150 tone first (SD = 30, 32 et 23%). Nous réalisons bien évidemment une observation inverse concernant les probabilités de voir une réponse au son émise en premier, à savoir 35, 44 et 65% respectivement aux SOA de SOA -150 brake first , SOA 0 et SOA 150 tone first.

Temps de réaction au freinage en fonction du SOA et de l'ordre d'émission

La Figure 3.4 illustre les temps de réaction au freinage en fonction de l'ordre d'émission et du SOA .

Lorsque le freinage est émis en premier (avant la réponse au son), nous n'observons pas d'influence du SOA sur les TR. Ceux-ci sont de 506, 507 et 499 ms (SD = 174, 111, et 133 ms) respectivement aux SOA -150 brake first , SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 8 ms.

Lorsque la réponse au freinage est émise en deuxième (après la réponse au son), nous observons une influence du SOA sur le TR au freinage de 918, 733 et 590 ms (SD = 150, 133, et 160 ms) soit une amplitude allant jusqu'à 328 ms.

Lorsque la réponse au son est interrompue (le freinage est émis seul), les temps de réaction au freinage semblent constants avec des valeurs de de 493, 495 et 519 ms (SD = 135, 149 et 117 ms) soit une amplitude maximale de 26 ms.

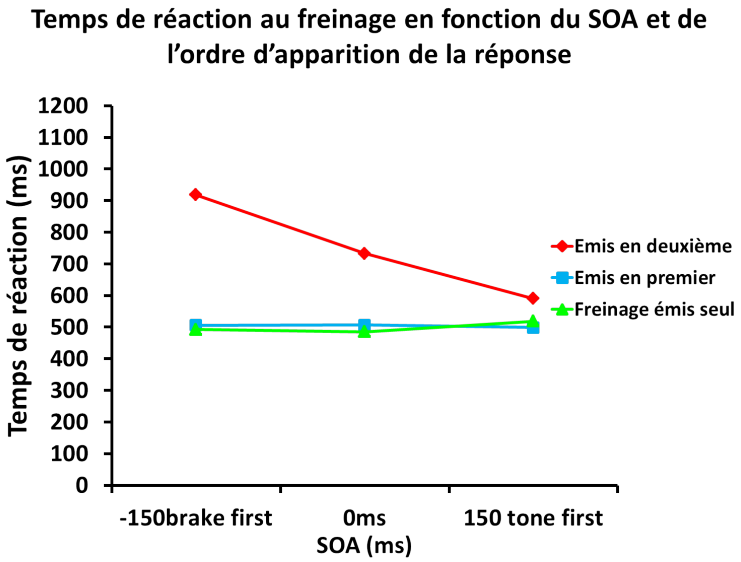

FIGURE 3.4 – Temps de réaction au freinage en fonction de l'ordre d'apparition de la réponse et du SOA. La courbe en vert matérialise les TR lorsque la réponse au son est interrompue, la courbe en bleu représente les TR lorsque le freinage est émis en premier, la courbe en rouge illustre les TR lorsque le freinage est émis en second.

Temps de réaction au son en fonction du SOA et de l'ordre d'émission

La Figure 3.5 illustre les temps de réaction au son en fonction de l'ordre d'émission et du SOA.

Lorsque la réponse au son est émise en premier (avant le freinage), les temps de réaction semblent identiques quel que soit le SOA. Ceux-ci sont de 518, 487 et 475 ms (SD = 155, 152, et 120 ms) respectivement aux SOA -150 brake first , SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 43 ms.

Lorsque la réponse au son est émise en deuxième (après le freinage), les TR semblent fortement influencés par le SOA. Ceux-ci sont de 622, 734 et 880 ms (SD = 181, 156, et 151 ms) soit une amplitude allant jusqu'à 258 ms.

Comparaison des temps de réaction en condition de simple tâche et en condition de double tâche

Les temps de réaction dépendent fortement de l'ordre de réponse, c'est-à-dire si la réponse est émise en premier ou en second. En effet, un ralentissement important est systématiquement observé lorsque la réponse est émise en second quelle que soit la tâche. Comparer directement les deux conditions (simple tâche vs double tâche) n'est

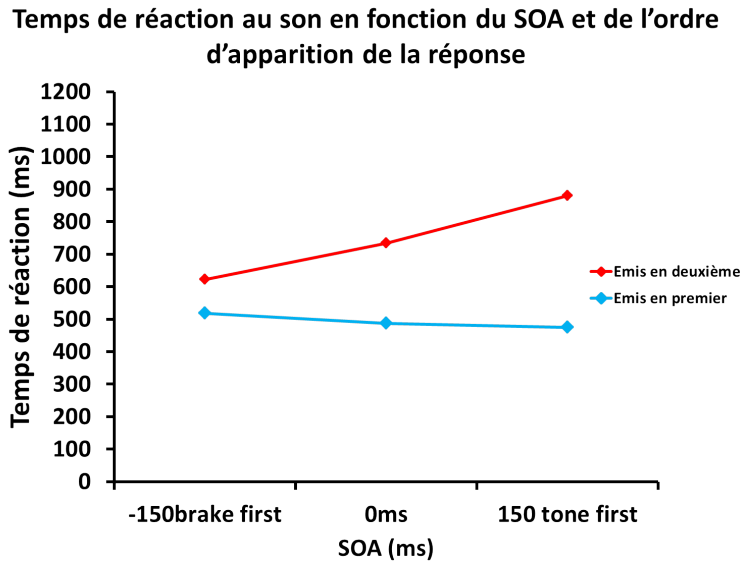

FIGURE 3.5 – Temps de réaction au son en fonction de l'ordre d'apparition de la réponse et du SOA. La courbe en bleu représente les TR lorsque la réponse au son est émise en premier, la courbe en rouge illustre les TR lorsque la réponse au son est émise en second.

donc pas nécessairement faisable sans précautions. En effet, regrouper les réponses émises sans tenir compte de l'ordre d'émission reviendrait à analyser de la même façon deux processus aux déroulements différents. Néanmoins, séparer les réponses en fonction de l'ordre d'émission n'est pas non plus sans biais car cela nous conduit notamment à partitionner les données selon une classification qui ne constitue pas une variable expérimentale. Les différents pourcentages d'émission/inhibition de chaque participant peuvent alors entraîner des biais statistiques notamment au niveau du nombre d'observations effectuées.

Néanmoins, nous avons choisi ce mode de comparaison de la même façon que Levy et Pashler (2008) car cette séparation possède l'avantage d'apporter des informations plus précises sur les différences entre les temps de réaction en simple tâche comparés aux temps de réaction en double tâche contenant des réponses lentes et rapides (i.e : premières et secondes réponses). Ainsi, nous avons réalisé une analyse comparative des TR moyens en simple et double tâche en séparant les TR en double tâche en fonction de l'ordre d'apparition.

Freinage

Dans les essais où le freinage est émis en premier, le TR est équivalent en double tâche (M = 504 ms, SD = 117 ms) qu'en simple tâche (M = 511 ms, SD = 130 ms) t (24) < 1. Dans les essais où le freinage est émis en deuxième, le TR est plus lent en

double tâche (M = 747 ms, SD = 215 ms) par rapport à la condition de simple tâche (M = 511 ms, SD = 130 ms), $t(27) = 4.96$, $p < .001$. Dans les essais où le freinage est émis seul (e.g., réponse non prioritaire interrompue), le TR au freinage est équivalent en double tâche (M = 499 ms, SD = 136 ms) à celui observé en condition de simple tâche (M = 511 ms, SD = 130 ms), $t(27) < 1$.

Son

Lorsque la réponse au son est émise en premier, les TR au son sont équivalents en condition de double tâche (M = 503 ms, SD = 147 ms) par rapport à la condition de de simple tâche (M = 615 ms ; SD = 128 ms), à la limite de la significativité $t(27) = 2.05$, $p = .81$. Lorsque la réponse au son est émise en deuxième, le TR moyen au son est plus lent en condition de double tâche (M = 793 ms, SD = 120 ms) qu'en condition de simple tâche (M = 615 ms ; SD = 128 ms), $t(25) = 2.53$, $p < .01$ soit une différence de 178 ms.

Discussion

Le but de cette étude était d'éclaircir les opportunités et conséquences de l'interruption d'une tâche non prioritaire sur l'exécution d'une tâche prioritaire dans un contexte où l'ordre d'apparition des stimuli est incertain. Pour ce faire, 15 jeunes adultes ont réalisé 8 blocs où furent mélangées une tâche non prioritaire (réponse manuelle à un son), une tâche prioritaire (freinage) en condition de simple tâche (8 pour le freinage ; 18 pour le son) et en condition de pseudo double tâche séparés par 3 SOA différents (SOA -150 brake first où le stimulus du freinage apparaît en premier, SOA 150 tone first où le stimulus du son apparaît en premier, et SOA 0 où les deux stimuli apparaissent en même temps).

Afin de hiérarchiser les deux tâches, les instructions ont été données aux participants d'abandonner l'exécution de la tâche non-prioritaire pour donner la priorité à la tâche prioritaire en cas de situation de double tâche lorsque le stimulus visuel apparaît. Nous avons également utilisé une tâche prioritaire signifiante (e.g., freinage d'urgence), à laquelle les participants ont de surcroît 3 années d'expérience en moyenne.

Concernant la première prédiction relative à l'inhibition, nos résultats semblent valider notre hypothèse. En effet, nous observons une diminution significative de la

capacité à interrompre la réponse au son lorsque le SOA augmente avec des pourcentages de 82, 78 et 69% respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first $F(2, 28) = 8.71$, $p < .001$. Cette observation nous permet de soulever trois principaux points.

Premièrement, il semblerait que les processus en concurrence lors d'une situation de pseudo double tâche effectuent une "course au goulet d'étranglement". Ainsi, plus le stimulus commandant la tâche non prioritaire apparaît tôt plus son interruption sera difficile car le processus concurrent sera d'autant plus retardé par le SOA. Ce premier point est en accord avec la théorie du horse-race model (Logan & Cowan, 1984) ainsi qu'avec celle de la "course au goulet d'étranglement" (Levy & Pashler, 2008).

Deuxièmement, il semblerait que la hiérarchisation prioritaire des tâches à exécuter n'ait pas une influence totale sur la capacité à interrompre une tâche. En effet, nous aurions pu nous attendre, notamment au SOA -150 brake first pour lequel le stimulus commandant le freinage apparait avant le stimulus sonore, que la totalité des réponses au son soient inhibées. Or, des réponses sont émises encore dans 18% des essais, montrant que les participants n'ont pas un accès systématique et instantané à leurs capacités inhibitrices comme le soulignent également Logan et Cowan (2008).

Ces résultats sont également confirmés lorsque l'on se penche sur l'ordre des réponses quand les deux réponses sont émises. En effet, au SOA -150 brake first la réponse au freinage n'est émise en premier que dans 65% des essais. Ce pourcentage étant d'ailleurs en accord avec l'expérience princeps, pour laquelle seule 46% des réponses au freinage sont émises en premier au même SOA (Levy & Pashler, 2008). Ne devrait-t-on pas observer 100% du freinage émis en premier au SOA le plus court ? Cette observation semble nous indiquer que la course au goulet d'étranglement soit également régie par la vitesse de traitement du processus menant à la réponse plus que l'organisation hiérarchique de la tâche.

Enfin, l'observation de certains profils de responders semble indiquer que les participants développent des stratégies dans l'optique de favoriser la vitesse de freinage. En effet, 4 participants inhibent entre 90% et 100% des réponses sans diminution de la fonction d'inhibition à travers les SOA. Inversement, 2 participants interrompent entre 0 et 3% des réponses quel que soit le SOA. Ces comportements extrêmes entraînant une fonction d'inhibition constante sont caractéristiques de la

mise en place de mécanismes stratégiques (Logan, 1994) [10].

Ces mécanismes sont d'ailleurs exposés par Leotti et Wager (2010) comme une propension influencée par des facteurs motivationnel induisant des comportements tendant à privilégier une réponse rapide à la tâche non prioritaire ou au contraire à favoriser des pourcentages d'inhibitions importants. Selon ces auteurs, cette propension pourrait notamment être influencée par la fréquence d'apparition du stimulus commandant l'interruption de la réponse. Nous manipulerons cette fréquence afin d'en déterminer les conséquences dans les études 3 et 4.

La capacité d'interruption de la tâche non prioritaire mesurée dans notre expérience semble constituer le seul résultat en rupture avec l'étude originale. En effet, nous pouvons constater que les taux d'inhibition obtenus dans notre expérience sont en moyenne plus élevés que dans l'expérience princeps (Levy & Pashler, 2008). En effet, notre panel de participants comporte 80% de *low-responders* contre moins de 40% dans l'étude de Levy et Pashler (2008), et nous observons 7% de *high-responders* dans notre expérience contre 80% pour Levy et Pashler (2008).

Nous pouvons néanmoins expliquer notre résultat par la vitesse du processus d'exécution de la tâche non-prioritaire utilisée. En effet, dans l'expérience de Levy et Pashler (2008), la tâche non-prioritaire consiste en une identification d'un ou deux "beeps" auxquels les participants doivent répondre par une ou deux pressions par le pouce. Ainsi, la vitesse de traitement de la tâche non-prioritaire peut être assimilée à celle d'un temps de réaction en détection, notamment dans la condition où un seul "beep" n'apparaît. Dans notre expérience, nous avons demandé aux participants de répondre à deux sons pouvant apparaître en pressant deux boutons. Cette différence a vraisemblablement augmenté le temps de traitement de la tâche non-prioritaire et par là-même favorisé son interruption.

Notre deuxième prédiction relative aux temps de réactions mesurés est également confirmée par nos résultats. Ainsi, quel que soit le SOA, nous pouvons observer une augmentation du temps de réaction au freinage due à l'ordre des réponses émises allant jusqu'à 412 ms pour le SOA le plus court. Le fait d'interrompre la tâche non prioritaire semble également prémunir la tâche prioritaire d'interférence car les temps de réaction à la tâche prioritaire paraissent stables et similaires aux temps de

10. Il est à noter qu'une fonction d'inhibition constante peut également révéler une déficience des mécanismes inhibiteurs

réactions mesurés lorsque le freinage est émis en premier.

Les mesures des temps de réaction de la tâche prioritaire lorsque la réponse est émise en premier sont également proches des temps de réactions enregistrés en condition de simple tâche ($M = 511$ ms). Cette similitude laisse à penser que l'incertitude relative à la nature de l'essai pourrait ici induire un ralentissement de la tâche prioritaire en condition de simple tâche notamment de par le fait que cette condition apparaît relativement peu souvent (De Jong, 1995; Gottsdanker, 1979, 1980; Posner & Snyder, 1975).

D'un point de vue empirique, ces résultats permettent donc de confirmer le coût attentionnel susceptible de ralentir le traitement d'informations apparaissant en milieu ouvert (e.g., conduite, sports collectifs). En revanche, les présentes données ne permettent pas d'isoler avec certitude les processus à l'origine de ces ralentissements. Notamment, le poids respectif du coût induit par l'effet PRP ou par un éventuel coût de permutation reste à évaluer. D'autre part, il n'est pas non plus possible de quantifier les effets potentiellement causés par l'apparition plus ou moins fréquente du stimulus prioritaire.

Afin de répondre à ce questionnement, nous avons réalisé une deuxième expérience pour laquelle nous avons intégré des blocs de simple tâche "purs". Ce faisant, nous serons en mesure de répliquer les résultats obtenus et de quantifier le poids du coût de permutation susceptible d'opérer en simple tâche en milieu ouvert. Nous avons également construit une deuxième vague d'expérimentation en vue de tester plus directement les effets consécutifs à une fréquence d'apparition du stimulus prioritaire plus ou moins importante.

Étude 2

Sommaire

Buts et prédictions **100**

Méthode **102**

Participants 102

Tâches 103

Dispositif expérimental 103

Procedure 103

Résultats **104**

Inhibition de la réponse non prioritaire 105

Performance en simple tâche 105

Performance en double tâche 105

Ordre d'apparition des réponses 106

Temps de réaction au freinage en fonction du SOA et de l'ordre d'émission 107

Temps de réaction au son en fonction du SOA et de l'ordre d'émission 108

Comparaison des temps de réaction en condition de simple tâche et en condition de double tâche 109

Discussion **110**

Buts et prédictions

Le but de cette étude est de répliquer les résultats de l'étude 1 et d'éclaircir le rôle et les conséquences de l'incertitude relative à l'apparition d'un stimulus sur la vitesse de réponse associée. En effet, au regard de l'Étude 1, il semblerait que l'émission ou l'inhibition d'une première réponse conditionne la performance de la deuxième tâche, conformément à la théorie du goulet d'étranglement central (Welford, 1952; Pashler, 1994).

Néanmoins, et conformément à l'Étude de Levy et Pashler (2008) dont elle est la réplication laboratoire, l'Étude 1 présente la particularité d'utiliser exclusivement des blocs d'essais hétérogènes entremêlant simple tâche et double tâche. Or, Tombu et Jolicoeur (2004), reprenant la démonstration de De Jong (1995), émirent l'hypothèse selon laquelle la présentation de stimuli dans un ordre inattendu engendre un coût de préparation, y compris en situation de simple tâche.

Ce coût de préparation pourrait en effet causer un ralentissement général ralentissant le stimulus susceptible d'apparaître notamment en condition de simple tâche si cet essai est réalisé dans un bloc hétérogène.

Pour tester cette hypothèse, nous avons ajouté plusieurs séquences de blocs homogènes permettant d'établir une condition contrôle pour laquelle l'ordre d'apparition des différents stimuli est prévisible. Les participants ont ainsi alterné séquentiellement des blocs hétérogènes, similaires à ceux réalisés lors de l'Étude 1, et des blocs de simple tâche homogènes où seul un stimulus est présenté.

Les prédictions concernant les blocs hétérogènes en condition de double tâche sont ainsi identiques à celles de l'Étude 1 et les temps de réaction et pourcentages d'inhibition de la réponse non prioritaire devraient être similaires entre les deux études.

En revanche, la manipulation de l'incertitude relative à l'ordre d'apparition d'un stimulus nous amène à formuler des prédictions concernant les temps de réaction en simple tâche observés condition de blocs homogènes par rapport à la condition de blocs hétérogènes (De Jong, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004).

En termes de processus impliqués, la répétition d'essais de simple tâche en condition de blocs homogènes devrait engendrer la prédominance de facteurs bottom-up qui favoriseraient l'exécution rapide du processus de sélection de la

réponse sans modification du *set* correspondant (Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001). Inversement, l'alternance des essais en condition de blocs hétérogènes devrait favoriser la sollicitation de facteurs top-down, nécessaires à la sélection du *set* lors l'exécution de la tâche suivante. Cette prédominance de facteurs top-down devrait ainsi occasionner un ralentissement des temps de réaction en condition de simple tâche dans les blocs hétérogènes.

L'objectif de cette deuxième étude est également de déterminer de façon plus précise le rôle de la hiérarchisation prioritaire entre deux tâches susceptibles d'apparaître sur leur vitesse de traitement. Notamment, les observations devraient nous permettre de trancher en faveur de la possibilité ou l'impossibilité de maintenir un niveau de priorité maximal sur une tâche hautement prioritaire.

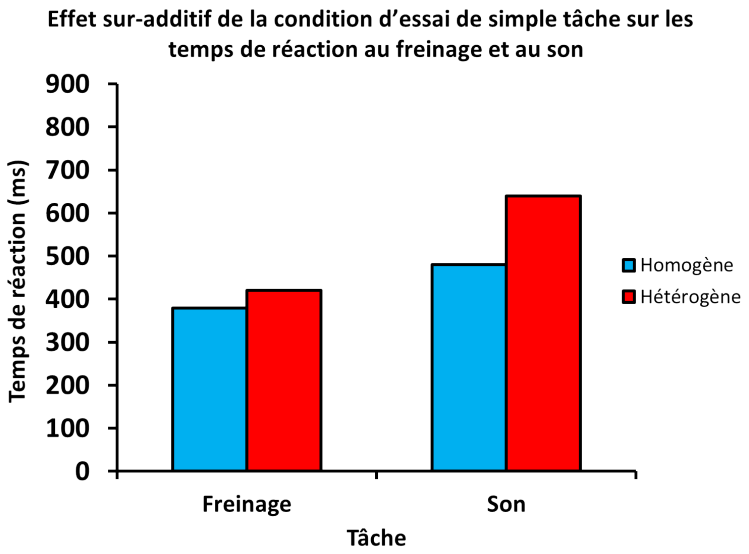

FIGURE 3.6 – Illustration de l'effet sur-additif du facteur bloc (e.g., homogène vs. hétérogène) sur les temps de réaction à la tâche prioritaire et non prioritaire. Les colonnes en bleu matérialisent les temps de réaction en condition de blocs homogènes, les colonnes en rouge matérialisent les temps de réaction en condition de blocs hétérogènes. L'effet sur-additif est observable par un effet d'interaction entre les deux facteurs témoignant d'un effet du facteur bloc plus important pour la tâche non prioritaire que pour la tâche prioritaire.

En cas d'influence du niveau de priorité initialement fixé sur la vitesse de traitement, nous devrions observer un effet d'interaction sur-additif du facteur bloc (e.g., homogène vs. hétérogène) sur les temps de réactions enregistrés pour les deux tâches (e.g., freinage vs. son). Cet effet sur-additif serait l'expression d'un ralentissement causé par la nature du bloc moins important pour la tâche non prioritaire que pour la tâche prioritaire. Le cas échéant, la présence de cette observation constituerait un élément de réponse en faveur de la possibilité de

maintenir un niveau de priorité maximal dans le traitement cognitif d'une tâche hautement prioritaire.

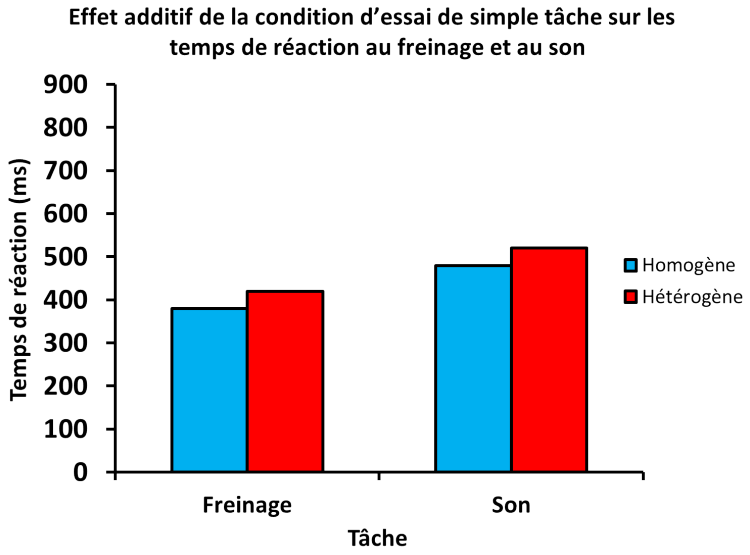

FIGURE 3.7 – Illustration de l'effet additif du facteur bloc (e.g., homogène vs. hétérogène) sur les temps de réaction à la tâche prioritaire et non prioritaire. Les colonnes en bleu matérialisent les temps de réaction en condition de blocs homogènes, les colonnes en rouge matérialisent les temps de réaction en condition de blocs hétérogènes. L'effet additif est observable par une absence d'effet d'interaction entre les deux facteurs, témoignant d'un effet du facteur bloc équivalent pour la tâche non prioritaire que pour la tâche prioritaire.

Inversement, sans influence du niveau de priorité élevé sur la tâche de freinage, nous devrions observer un effet additif du facteur bloc sur les temps de réactions au freinage et au son. Cet effet additif témoignerait d'un ralentissement causé par la nature du bloc équivalent pour les deux tâches, et par là-même, indépendamment du niveau de priorité initial alloué aux deux tâches. Le cas échéant, cette observation constituerait un élément de réponse en faveur de l'impossibilité de conserver un niveau de priorité maximal dans le traitement d'une tâche malgré un haut niveau de priorité attribué à celle-ci.

Méthode

Participants

Neuf étudiants de l'Université du Nouveau-Mexique (M = 21 ans, SD = 3 ans ; amplitude = 18 – 28 ans) ont participé à une session d'une heure en échange de crédits de validation d'acquis. Tous ont une expérience en conduite automobile d'au minimum 1 an. En moyenne, ils possèdent leur permis de conduire depuis 5 ans (SD

= 2.1. ans, amplitude : 7 ans).

Tâches

Le but des tâches est identique à celui de l'Étude 1.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est identique à celui de l'Étude 1.

Procédure

Les stimuli et réponses des tâches prioritaires et non prioritaires sont identiques à l'Étude 1. Au total, les participants effectuent 4 blocs de simple tâche non prioritaire homogènes (essais de tâche sonore), 4 blocs de simple tâche prioritaire homogène (essais de tâche de freinage), et 6 blocs hétérogènes (identiques aux blocs de l'Étude 1).

L'assistant de recherche lit clairement les instructions pendant que le participant suit les instructions en lisant une copie de celles-ci. Il était demandé aux participants de conduire les tâches de freinage et de choix le plus rapidement et précisément possible. Il était non seulement souligné que le freinage devait être rapide (contrairement à la décélération graduelle, comme cela peut être réalisé dans un environnement réel de conduite), mais également de lui donner la priorité la plus importante :

> *'Occasionally... the lead car will brake right around the time the beeps occur. When this happens, you should give high priority to the breaking task. That is, you should not even bother to make the response to the tone task but instead make every effort to step on the brake as fast as possible. In other words, you should abort carrying out the tone task and step on the brakes.'*
>
> [De temps à autre... la voiture de devant freinera au moment où le son apparaîtra. Lorsque cela se produira, vous devrez donner priorité à la tâche de freinage. Ceci étant, vous ne devrez même pas vous préoccuper de produire une réponse au son mais, à la place, faites l'effort de presser la pédale de frein aussi vite que possible. En d'autres termes, vous devrez arrêter de traiter la tâche sonore et

freiner.]

En condition de simple tâche, chaque essai commence par une croix de fixation pendant 500 ms au centre de l'écran. Puis, une image de l'arrière d'une voiture feux éteints est introduite durant 250 ms, suivie de la présentation du son ou de l'allumage des feux.

Dans cette condition, les participants disposent de 2, 500 ms pour répondre, temps au-delà duquel le feedback : "No response detected" apparaît. En condition de pseudo double tâche, l'allumage des feux apparaît soit 150 ms avant le son (SOA -150 brake first), soit 150 ms après le son (SOA 150 tone first), soit simultanément avec le son (SOA 0).

En condition de double tâche, les participants disposent de 2, 500 ms après l'apparition de l'allumage des feux pour répondre, temps au-delàs duquel le feedback "No braking Detected" apparaît. Dans les deux conditions, les participants sont également renseignés à propos de leur réussite dans la réponse au son en condition de simple tâche avec les feedbacks "Correct Tone" et "Incorrect Tone". Dans les deux conditions, l'extinction des feux de la voiture leur signale que le freinage a correctement été effectué.

Chaque bloc de simple tâche homogène contient 18 essais de tâche prioritaire ou non-prioritaire.

Chaque bloc hétérogène contient un mélange randomisé de trois types distincts d'essai. Les essais de simple tâche pour lesquels les participants réalisent soit la tâche sonore (18 essais) soit la tâche de freinage (8 essais). Dans les essais de double tâche (18 essais), les deux stimuli sont présentés et espacés des 3 SOA soit 6 essais pour chaque SOA. Ainsi, un bloc comporte 44 essais au total à réaliser 6 fois.

Une session commence avec la réalisation de deux blocs de simple tâche prioritaire puis non prioritaire. S'ensuit une alternance entre un bloc hétérogène et un bloc de simple tâche homogène.

Résultats

Les temps de réaction inférieurs à 100 ms et supérieures à 2500 ms ont été exclus des analyses (3% des essais) de même que les essais comportant des réponses incorrectes à la tâche de son non prioritaire (3% des essais).

Inhibition de la réponse non prioritaire

En termes de profils de *responders* tels que l'analysent Levy et Pashler (2008) [11], 67% des participants (6 sur 9) ont émis moins de 40% des réponses sonores (*low responders*), aucun participant ne se situe dans la fourchette d'émission entre 40% et 80% des réponses sonores (*middle responders*), et 33% des participants (3 sur 9) ont émis une réponse au son dans plus de 80% des essais (*high responders*).

Nous observons une diminution significative du pourcentage d'inhibition à travers les SOA. Ceux-ci sont en moyenne de 64, 60 et 51% (SD = 42, 42 et 35%) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first $F(2, 16) = 3.71$, $p < .05$, η^2 *partiel* = 0,32.

Performance en simple tâche

La Figure 3.8 illustre les temps de réaction au son en condition de simple tache en fonction de la nature de l'essai (homogènes ou hétérogènes). Nous avons réalisé une ANOVA sur les temps de réaction en simple avec le facteur type d'essai (homogène vs. hétérogènes) et le facteur type de tâche (freinage vs. son) comme facteur intergroupes.

En moyenne, le temps de réaction au freinage (M = 466 ms, SD = 203) est plus rapide que le temps de réaction au son (M = 602 ms, SD = 190 ms), $F(1, 8) = 38{,}93$, $p < .001$ η^2 *partiel* = 0,83. En moyenne, les temps de réactions sont plus rapides en condition d'essais homogènes (M = 430 ms, SD = 125 ms) qu'en condition d'essai hétérogènes (M = 638 ms, SD = 220 ms), $F(1, 8) = 35{,}85$, $p < .001$ η^2 *partiel* = 0,82. Une absence d'interaction indique que le ralentissement induit par la condition hétérogène est équivalent pour le temps de réaction au son et au freinage, $F(1, 8) = .23$.

Performance en double tâche

Analyse quantitative

Nous avons dans un premier temps réalisé une ANOVA sur les temps de réaction moyens au freinage d'une part et au son d'autre part avec le facteur SOA en condition intra-groupe.

11. Voir partie 3.1.4

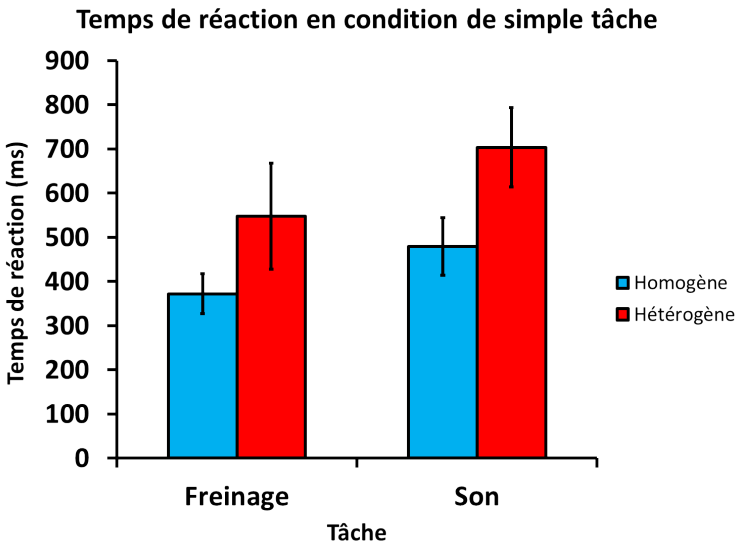

FIGURE 3.8 – Temps de réaction au freinage et au son en condition de simple tâche homogènes et hétérogènes.

En moyenne, les temps de réaction au freinage sont de 579 ms, 603 ms et 632 ms (SD = 221, 225 et 204 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first sans effet principal du facteur SOA, $F(2, 16) = 3.40$.

En moyenne, les temps de réaction au son moyens sont de 805, 838 et 824 ms (SD = 167, 264, et 824 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first, sans effet principal du facteur SOA $F(2, 12) = .36$ [12].

Analyse qualitative

En continuité avec l'Étude 1, nous avons réalisé une analyse de l'ordre des réponses ainsi que des temps de réaction conditionnés par ledit ordre d'apparition. Les pourcentages d'interruption de la réponse non prioritaire nous limitant de la même façon dans l'analyse statistique de ces résultats, nous présenterons nos résultats sous un angle qualitatif.

Ordre d'apparition des réponses

La probabilité de voir une réponse au freinage émise en premier est de 62, 48, et 48% respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first. (SD = 34, 35 et 35%). Nous réalisons bien évidemment une observation inverse concernant

12. Il est à noter qu'un participant a interrompu la totalité des réponses motrices non prioritaires sur l'ensemble des SOA ainsi qu'un autre participant dans la condition en condition SOA = -150 brake first.

les probabilités de voir une réponse au son émise en premier, à savoir 38, 52, 52% respectivement aux SOA de SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first. Tout comme l'Étude 1, la quantité d'observations partitionnées en fonction de l'ordre d'apparition des réponses ne permet pas d'effectuer une analyse statistique conventionnelle..

Temps de réaction au freinage en fonction du SOA et de l'ordre d'émission

La Figure 3.9 illustre les temps de réaction au freinage en fonction de l'ordre d'émission et du SOA.

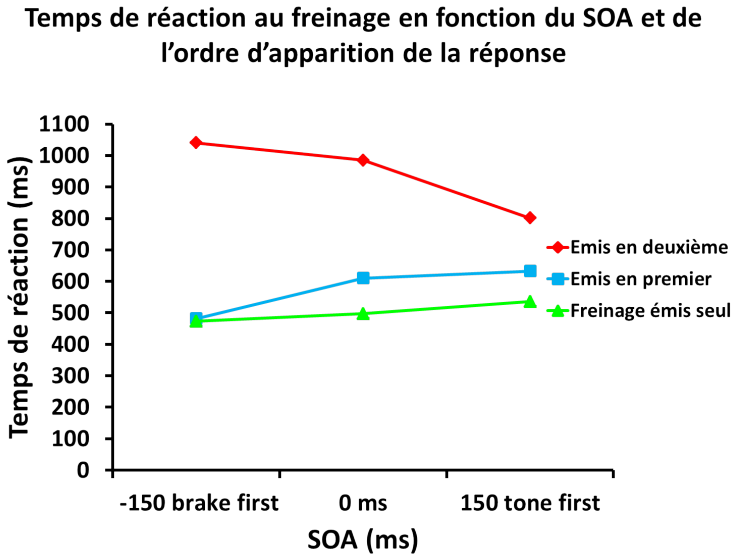

FIGURE 3.9 – Temps de réaction au freinage en fonction du SOA et de l'ordre d'apparition de la réponse. La courbe en vert matérialise les TR lorsque la réponse au son est interrompue, la courbe en bleu représente les TR lorsque le freinage est émis en premier, la courbe en rouge illustre les TR lorsque le freinage est émis en second.

Lorsque le freinage est émis en premier (avant la réponse au son), les temps de réaction semblent constants à travers SOA. Ceux-ci sont de 482, 610 et 633 ms (SD = 145, 276, et 192 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 51 ms.

Lorsque la réponse au freinage est émise en deuxième (après la réponse au son), nous observons une influence du SOA sur les TR. Ceux-ci sont de 1,040, 985 et 801 ms (SD = 374, 263 et 265) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 239 ms.

Lorsque la réponse au son est interrompue (freinage émis seul), les temps de réaction au freinage semblent constants à travers les SOA. Ceux-ci sont de 473, 497 et 536 ms (SD = 142, 233 et 254ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 63 ms.

Temps de réaction au son en fonction du SOA et de l'ordre d'émission

La Figure 3.10 illustre les temps de réaction au son en condition de double tâche.

Lorsque la réponse au son est émise en premier, les temps de réaction semblent peu influencés par le SOA. Ceux-ci sont de 718, 704 et 628 ms (SD = 212, 263, 216 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first soit une amplitude maximale de 90 ms.

Lorsque la réponse au son est émise en deuxième, les temps de réaction moyens semblent fortement influencés par le SOA. Ceux-ci sont de 939, 932 et 1114 ms (SD = 207, 236, 322 ms) respectivement aux SOA -150 brake first, SOA 0 et SOA 150 tone first soit une différence allant jusqu'à 258 ms entre les deux SOA extrêmes.

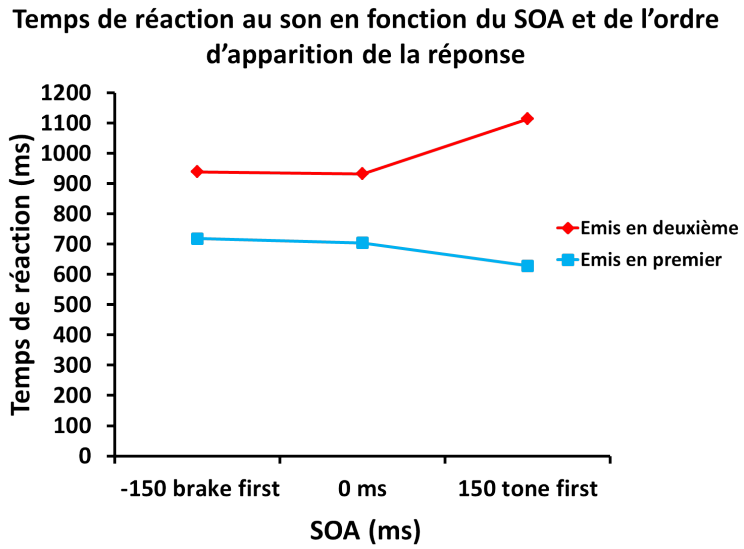

FIGURE 3.10 – Temps de réaction au son en fonction de l'ordre d'apparition de la réponse et du SOA. La courbe en bleu représente les TR lorsque la réponse est émise en premier, la courbe en rouge illustre les TR lorsque la réponse est émise en second.

Comparaison des temps de réaction en condition de simple tâche et en condition de double tâche

En continuité avec l'Étude 1, nous avons réalisé une analyse comparative entre les TR moyens enregistrés en condition de double tâche et les TR enregistrés en condition de simple tâche. Pour ce faire, nous avons comparé chaque TR observé en condition de double tâche avec les TR observés en condition de simple tâche, homogènes et hétérogènes.

Freinage

Dans les essais où le freinage est émis en premier le TR est plus lent en double tâche ($M = 621$; $SD = 221$ ms) que les TR observés en condition de simple tâche en condition hétérogène ($M = 548$; $SD = 241$) et en condition de simple tâche homogènes ($M = 372$ ms, $SD = 91$ ms) F (2, 10) = 4.33, $p < .05$ η^2 *partiel* = 46. Un test post hoc de Bonferroni ne révèle aucune différence localisée parmi les trois conditions.

Dans les essais où le freinage est émis en deuxième, le TR est plus lent en double tâche ($M = 942$ ms, $SD = 271$) que les TR observés en condition de simple tâche hétérogènes ($M = 548$; $SD = 241$) et en condition de simple tâche homogènes ($M = 372$ ms, $SD = 91$ ms) F (2, 14) = 25,51, $p < .001$ η^2 *partiel* = 0,93. Un test post hoc de Bonferroni indique une différence localisée entre la condition de double tâche et les deux autres.

Dans les essais de double tâche où le freinage est émis seul, le TR est plus lent en double tâche ($M = 498$; $SD = 121$ ms) que les TR observés en condition de simple tâche en condition hétérogènes ($M = 548$; $SD = 241$) et en condition de simple tâche homogènes ($M = 372$ ms, $SD = 91$ ms) F (2, 14) = 9.53, $p < .01$ η^2 *partiel* = 58. Un test post hoc de Bonferroni nous indique que la différence est localisée entre la condition homogène et les deux autres.

Son

Dans les où la réponse au son est émise en premier, le TR est plus rapide en double tâche ($M = 681$ ms, $SD = 205$ ms) que les temps de réaction en condition de simple tâche hétérogènes ($M = 704$ ms, $SD = 225$ ms) et plus lent que les essais de

simple tâche homogènes (M = 479 ms, SD = 179 ms) F (2, 14) = 15,30, $p < .001$, η^2 *partiel* = 69. Un test post hoc de Bonferroni indique une différence localisée entre la condition de simple tâche homogène et les deux autres.

Dans les essais de double tâche où la réponse au son est émise en deuxième, les temps de réaction au son (M = 961 ms, SD = 142 ms) sont significativement plus lents que les TR en condition d'essai de simple tâche hétérogènes (M = 704 ms, SD = 225 ms) et de simple tâche homogènes (M = 479 ms, SD = 179 ms) F (2, 10) = 59,92, $p < .001$, η^2 *partiel* = .92. Un test post hoc de Bonferroni indique que les trois conditions sont respectivement différentes l'une par rapport à l'autre.

Discussion

Le but de l'Étude 2 était d'explorer le poids de l'incertitude d'ordre d'apparition des stimuli sur le temps de réaction ainsi que du niveau de priorité initialement fixé entre les tâches.

Pour ce faire, 9 participants ont effectué 14 blocs comportant 8 blocs de simple tâche homogènes et 6 blocs hétérogènes comportant une répartition d'essais de simple tâche et de double tâche hétérogènes que l'étude de Levy et Pashler (2008). Les blocs homogènes comportent 4 blocs de tâche non-prioritaire (réponse manuelle à un son) et 4 blocs de simple tâche prioritaire (freinage) pour lesquels les participants réalisent 18 essais en condition de simple tâche.

Chaque bloc hétérogène contient un mélange randomisé de trois types distincts d'essais. Les essais de simple tâche pour lesquels les participants réalisent soit la tâche sonore (18 essais) soit la tâche de freinage (8 essais). Dans les essais de double tâche (18 essais), les deux stimuli sont présentés et espacés des 3 SOA soit 6 essais pour chaque SOA avec la consigne de donner la priorité au freinage lorsque le stimulus correspondant apparaît.

Les résultats enregistrés sur les blocs hétérogènes montrent un pattern de réponse similaire aux observations faites dans l'Étude 1. Concernant la prédiction relative à l'inhibition, nous observons un effet significatif du SOA sur la capacité à interrompre une tâche non-prioritaire, en accord avec la notion de course au goulet d'étranglement (Levy & Pashler, 2008). Ce constat est d'ailleurs corroboré par l'analyse intergroupe entre les deux études dont les résultats affichent un effet principal du facteur SOA $F(2, 44) = 11,35$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .34 sans effet principal causé par le type

d'étude (Étude 1 vs. Étude 2) ni d'effet d'interaction. Ainsi, la décroissance dans la capacité d'interruption de la réponse non prioritaire semble similaire dans l'Étude 1 (e.g., 82%, 78%, 69%), que dans l'Étude 2 (e.g., 64%, 60%, et 51%).

Comme dans l'Étude 1, les participants manifestent visiblement deux grandes stratégies consistant à massivement interrompre la réponse à la tâche non prioritaire ou au contraire répondre à la tâche non prioritaire. En effet, 6 participants sur 9 ont répondu à la tâche non prioritaire dans moins de 40% des essais (e.g., *low responders*) et 3 participants sur 9 ont répondu à la tâche non prioritaire dans plus de 80% des essais (e.g., *high responders*). Ces différences confirment la présence de biais motivationnels proposés par Leotti et Wager (2010) en situation de stop-task. En effet, deux participants ont émis plus de 96% des réponses à la tâche non prioritaire quel que soit le SOA, inversement un participant a interrompu 100% des réponses au son en situation de double tâche quel que soit le SOA.

Ces régularités dans la fonction d'inhibition indiquent ainsi vraisemblablement la présence de stratégies de réponses de la part des participants (Logan, 1994). Ainsi, certains participants sont probablement davantage enclins soit à privilégier une réponse rapide à la tâche non prioritaire ou au contraire à adopter une stratégie permettant de maximiser les pourcentages d'inhibition de la réponse (Leotti & Wager, 2010). Nous tenterons d'influencer cette propension en influençant le contexte motivationnel via la manipulation des pourcentages d'apparition du stimulus prioritaire dans les Études 3 et 4.

En termes de conséquences de l'ordre d'émission de la réponse, les résultats montrent également un pattern de réponse en accord avec la théorie de la course au goulet d'étranglement central, avec un ralentissement substantiel des temps de réaction de la tâche émise en second notamment lorsque le SOA est court.

La présence d'un coût attentionnel supplémentaire, induit par l'incertitude relative à l'ordre d'apparition des essais, semble cependant révélé par l'analyse des temps de réaction aux deux tâches en condition de blocs homogènes. En effet, le ralentissement occasionné par la condition hétérogène par rapport à la condition homogène est de 176 ms pour le temps de freinage et de 225 ms pour le temps de réaction au son, $F(1, 8) = 35{,}85$, $p < .001$. Ce résultat confirme le poids du surcoût attentionnel causé par l'incertitude relative à l'apparition du prochain stimulus (De Jong, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004). De plus, un effet additif engendré par la

nature des essais (e.g., homogènes vs. hétérogènes) sur les temps au freinage et au son est mis en lumière par l'absence d'interaction du facteur bloc sur les temps au son et au freinage. Ainsi, le niveau de priorité initialement fixé ne constitue pas une condition nécessaire et suffisante pour prémunir une tâche hautement prioritaire de ralentissement notamment lorsque d'autres tâches sont susceptibles d'être exécutées.

Ce résultat pourrait constituer une base explicative du comportement dans des situations où les environnements sont particulièrement incertains comme les sports collectifs ou encore les situations de circulation urbaine. En effet, un environnement comportant une quantité importante de stimuli pouvant survenir aléatoirement (e.g., traversée de piétons, pressing ou geste technique d'un adversaire en sport collectif) sera également susceptible d'induire un coût attentionnel global pouvant affecter le temps de réaction y compris en situation de simple tâche.

En termes de processus impliqués, la répétition d'une tâche semble favoriser la mise en place de facteurs de type bottom-up permettant l'exécution rapide d'une tâche fréquemment rencontrée que celle-ci soit prioritaire ou non (e.g., principe de *task-recency*, Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001). Inversement, l'alternance entre les tâches ou l'incertitude relative à l'ordre d'apparition des stimuli à venir engagerait vraisemblablement des facteurs de type top-down nécessaires à la sélection active du set approprié à l'exécution d'une tâche n'ayant pas été exécutée précédemment.

La réalisation de blocs de simple tâche homogènes nous permet de disposer de certains éléments de réponse confirmant l'impact de processus bottom-up et top-down conditionné par l'incertitude expérimentale. Néanmoins, relativement peu de situations quotidiennes requièrent l'exécution de tâches sans alternance. De plus la question de la part de la fréquence d'apparition d'une tâche prioritaire n'est pas traitée par les deux précédentes études.

Afin de poursuivre dans cette direction, nous avons mis en place un couple d'étude dont l'enjeu sera de déterminer l'impact de la fréquence d'apparition d'une tâche hautement prioritaire sur sa vitesse de traitement.

Étude 3

Sommaire

Buts et prédictions **114**

Méthode **116**

Participants 116

Tâches 116

Dispositif expérimental 116

Procédure 116

Résultats **118**

Inhibition de la réponse non prioritaire 118

Tâche 1 non prioritaire 118

Tâche 2 prioritaire 120

Analyse quantitative 120

Pourcentage d'erreur 122

Discussion **122**

Buts et prédictions

Cette étude vise à comprendre la capacité des individus à traiter un stimulus prioritaire selon sa fréquence d'apparition. Pour cela, nous avons manipulé la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire dans une expérience de changement de tâche. Plus précisément, nous avons demandé à des participants de répondre à un stimulus prioritaire qui apparait fréquemment (dans 80% des essais) ou peu fréquemment (dans 20% des essais).

La manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire a pour objectif d'examiner de façon sélective le rôle des influences top-down et des influences bottom-up dans la capacité à interrompre un traitement en cours en faveur d'un traitement prioritaire. Sur la base de données empiriques antérieures (Bissett & Logan, 2011; Logan, 1981; Logan & Burkell, 1986; Ramautar et al., 2004), et de modèles intégrant la fréquence d'apparition sur la fonction d'inhibition (Leotti & Wager, 2010), nous faisons l'hypothèse que l'interruption est davantage régie par des processus top-down lorsque le stimulus prioritaire apparaît fréquemment mais que l'interruption est davantage régie par des processus bottom-up lorsque le stimulus prioritaire apparaît peu fréquemment.

Le traitement prioritaire sous contrôle top-down, devrait être accompagné d'un ralentissement des temps de réaction de la Tâche 1 non prioritaire, dans le but d'attendre la survenue du stimulus prioritaire lorsque celui-ci apparaît fréquemment (Logan, 1994; Logan et al., 2014). Cette préparation active permettant un contrôle cognitif de l'interruption de la réponse non prioritaire devrait être associée à une augmentation des probabilités d'interruption de la Tâche 1 non prioritaire. Inversement, une faible fréquence d'apparition du stimulus prioritaire devrait engendrer un contrôle à dominante bottom-up, ce qui permettrait d'exécuter plus rapidement la Tâche 1 non prioritaire très fréquemment répétée (e.g., principe de récence ou task recency, Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001). Ce mode de contrôle devrait être associé à une diminution du pourcentage d'interruption comparativement à la condition où le stimulus prioritaire est fréquent.

Il est à préciser que les stimuli des deux tâches sont davantage "épurés" en comparaison avec les Études 1 et 2 avec l'utilisation de sons et de lettres. L'utilisation de ce type de stimuli est notamment effectuée en vue d'identifier le plus finement

possible des processus impliqués dans la performance des participants, et également, d'être en mesure de comparer les résultats obtenus à ceux de la littérature utilisant des stimuli équivalents.

Les participants de cette Étude 3 ont réalisé des essais dans une situation entremêlant des essais de simple tâche et des essais de double tâche. La consigne générale est de répondre au stimulus visuel non prioritaire le plus vite possible (en condition de simple tâche), sauf lorsqu'il est suivi d'un stimulus auditif prioritaire (en condition de double tâche), auquel cas il s'agit de répondre en priorité au stimulus auditif. Les participants sont explicitement informés que le stimulus visuel est non prioritaire alors que le stimulus auditif est prioritaire.

Pour manipuler la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire, 96 essais en condition de double tâche ont été entremêlés avec 24 essais de simple tâche -**le stimulus prioritaire apparaît alors dans 80% des essais**- pour un groupe de participants appelé groupe rare et avec 384 essais de simple tâche -**le stimulus prioritaire apparaît alors dans 20% des essais**- pour un autre groupe de participants appelé groupe fréquent. Les deux groupes réalisent donc le même nombre d'essais de double tâche ce qui permet de comparer les comportements en double tâche à travers les groupes.

Que le stimulus prioritaire apparaisse rarement ou fréquemment, le degré de chevauchement entre les tâches sera déterminé par la manipulation du SOA séparant le stimulus non prioritaire du stimulus prioritaire. Cette manipulation nous permettra de tester les prédictions du modèle du goulet d'étranglement central. En effet, les temps de réaction à la tâche prioritaire devraient être ralentis aux SOA courts par rapport aux SOA longs, par analogie avec le phénomène de la période réfractaire psychologique.

Si le ralentissement de la tâche prioritaire est uniquement imputable à la présence d'un goulet d'étranglement central (Pashler, 1984), la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire devrait avoir peu d'influences sur son traitement. Comme pour les deux études précédentes, l'émission ou l'inhibition de la réponse au stimulus non prioritaire devrait quant à elle avoir une grande influence sur la performance à la tâche prioritaire(Logan, 1994; Levy & Pashler, 2008).

En revanche, en cas d'influence du niveau de préparation sur l'interférence en double tâche, un ralentissement de la tâche prioritaire indépendant de l'émission ou

de l'inhibition de la tâche non prioritaire devrait être observé notamment pour le groupe rare, en accord avec les observations de De Jong (1995).

Méthode

Participants

Quarante adultes (M = 23.6 ans, SD = 5.7 ans ; amplitude = 18 – 41 ans ; 23 femmes) ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés et testés à l'Université Paris-Saclay (Orsay, France).

Tâches

Tâche 1 visuelle non prioritaire

Le but est d'identifier une lettre parmi quatre lettres possibles (A, B, C, D), affichées en caractères Times New Roman au centre de l'écran. L'angle visuel occupé par les lettres est d'environ 1.49° vertical sur 1.04° horizontal pour un participant situé à 46 cm de l'écran. La lettre est présentée en noir sur un fond d'écran blanc.

Tâche 2 auditive prioritaire

Le but est d'identifier si un son de 150 ms est aigu (1800 Hz) ou grave (400 Hz).

Dispositif expérimental

La présentation des stimuli et la collecte des réponses sont réalisées sur un ordinateur portable DELL E5500. L'expérience a été programmée avec E-Prime version 2.0.

Procédure

Les participants répondent au stimulus non prioritaire (la lettre A, B, C, ou D) avec l'auriculaire (A), l'annulaire (B), le majeur (C) ou l'index (D) de la main gauche. Les participants répondent au stimulus prioritaire (le son aigu ou grave) en pressant l'une des deux touches (O, K) avec le majeur (O) et l'index (K) de la main droite, respectivement.

Il est demandé aux participants de répondre le plus rapidement possible au stimulus visuel non prioritaire et de réaliser le plus d'effort possible pour interrompre la réponse au stimulus visuel non prioritaire lorsque le stimulus auditif prioritaire apparaît. Il est également demandé aux participants de ne pas retarder l'émission de la réponse au stimulus non prioritaire, et donc de ne pas mettre en place une stratégie d'attente du stimulus auditif prioritaire.

En condition de simple tâche, chaque essai commence avec la présentation d'une croix de fixation noire pendant 500 ms au centre de l'écran. Suite à un écran blanc de 250 ms, le stimulus visuel non prioritaire apparaît et reste à l'écran durant 2,500 ms ou jusqu'à la réponse du participant. Le feedback "trop lent" apparaît si aucune réponse n'est émise. Les participants sont informés de l'exactitude de leur réponse avec le feedback "correct lettre" ou "erreur lettre" qui s'affiche après chaque essai durant 500 ms.

En condition de double tâche, le stimulus visuel non prioritaire est suivi du stimulus auditif prioritaire, avec un SOA variable entre les deux stimuli (150, 300, 450, 600, 750, ou 900 ms). Un délai de 2,500 ms est autorisé pour répondre. Le feedback "trop lent son" apparaît si aucune réponse au son n'est émise. Les participants sont également informés de leur réussite dans l'interruption de la réponse au stimulus non prioritaire. Le feedback "arrêt lettre" est affiché en bleu durant 500 ms à la fin de l'essai lorsque le participant a réussi à interrompre la réponse au stimulus non prioritaire et "réponse à tort" en rouge lorsque la réponse au stimulus non prioritaire a été émise.

Avant de démarrer l'expérience, les participants ont effectué quelques dizaines d'essais de familiarisation avec les tâches expérimentales, au cours desquelles les consignes leur ont été répétées à plusieurs reprises. Ensuite, ils ont effectué 96 essais expérimentaux de double tâche qui ont été entremêlés avec 384 essais de simple tâche pour le groupe rare (480 essais au total) et 24 essais pour le groupe fréquent (120 essais au total). L'apparition du stimulus prioritaire apparaît donc dans 20% des essais pour le groupe rare mais dans 80% des essais pour le groupe fréquent. La durée de l'expérience est plus longue pour le groupe rare (environ 45 minutes pour effectuer 480 essais) que pour le groupe fréquent (environ 15 minutes pour effectuer 120 essais).

Résultats

Les temps de réaction inférieurs à 150 ms et supérieurs à 2,000 ms ont été exclus des analyses (soit moins de 0.1% des essais). Les essais pour lesquels les participants ont répondu incorrectement au stimulus non prioritaire en condition de simple tâche ou au stimulus prioritaire en condition de double tâche ont été exclus des analyses de temps de réaction. Ces essais représentent 3.2% des données en condition de simple tâche et 7.6% en condition de double tâche pour le groupe rare, et 5.2% des données en condition de simple tâche et 6.5% en condition de double tâche pour le groupe fréquent.

Inhibition de la réponse non prioritaire

La Figure 3.11 montre le pourcentage d'inhibition de la réponse au stimulus non prioritaire en fonction des SOA pour les deux groupes. Une ANOVA a été réalisée sur le pourcentage d'inhibition avec le facteur SOA (150, 300, 450, 600, 750, 900 ms) comme facteur intra-groupe et le facteur fréquence d'apparition du stimulus auditif prioritaire (20% ou 80%) comme facteur inter-groupes.

La capacité d'interruption de la réponse non prioritaire est nettement plus grande pour le groupe fréquent ($M = 51\%$; $SD = 29\%$) que pour le groupe rare ($M = 27\%$; $SD = 16\%$), $F(1, 38) = 18.50$, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .33$. Le pourcentage d'inhibition diminue graduellement du SOA le plus court ($M = 74\%$; $SD = 27\%$) au SOA le plus long ($M = 10\%$; $SD = 9\%$), $F(5, 190) = 108.36$, $p < .001$, η^2 *partiel* $=.74$. La diminution du pourcentage d'inhibition de la réponse au stimulus non prioritaire est plus rapide pour le groupe rare que pour le groupe fréquent, comme en atteste l'interaction SOA x fréquence d'apparition du stimulus prioritaire, $F(5, 190) = 3.65$, $p < .01$ (η^2 *partiel* $= .74$).

Tâche 1 non prioritaire

La Figure 3.12 représente les temps de réaction à la lettre non prioritaire pour les deux groupes en fonction du type d'essai. Nous avons réalisé une ANOVA sur les TR à la lettre avec le facteur type d'essai en condition intragroupe et le facteur fréquence d'apparition du son en facteur intergroupe.

En moyenne, les TR à la lettre non prioritaire sont plus rapides pour le groupe

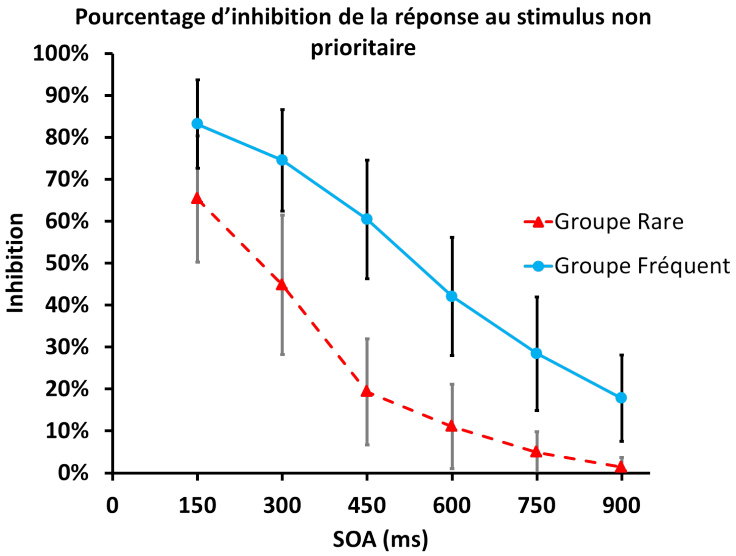

FIGURE 3.11 – Pourcentage d'inhibition de la réponse à la Tâche 1 non prioritaire.

rare ($M = 552$ ms, $SD = 98$ ms) que pour le groupe fréquent ($M = 737$ ms, $SD = 165$ ms) $F(1, 38) = 22.07$, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .37$. Les TR à la lettre non prioritaire sont également plus lents en condition de simple tâche ($M = 683$ ms, $SD = 190$ ms) qu'en condition de double tâche ($M = 606$ ms, $SD = 120$ ms) $F(1, 38) = 39.80$, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .51$. L'effet d'interaction indique que l'augmentation de la fréquence d'apparition du son prioritaire ralenti davantage les TR non prioritaires en simple tâche qu'en double tâche $F(1, 38) = 15.35$, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .29$. En d'autres termes, le ralentissement des TR observés en simple tâche est davantage prononcé pour les participants du groupe fréquent que pour les participants du groupe rare.

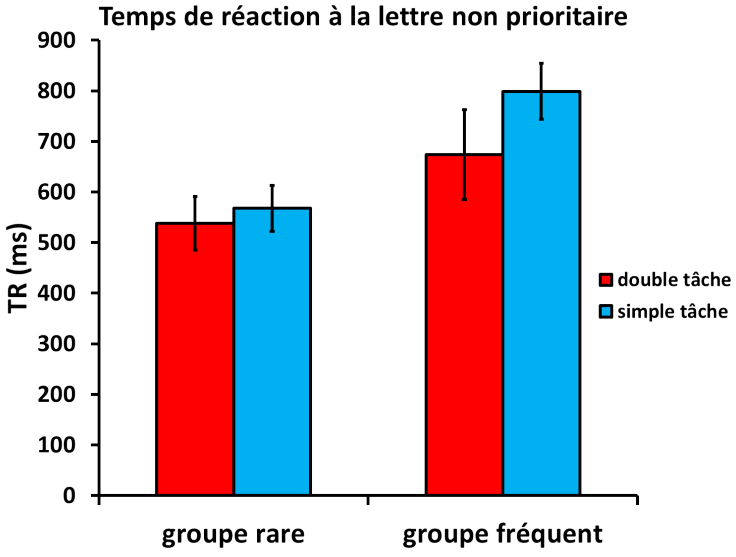

FIGURE 3.12 – Temps de réaction à la lettre non prioritaire en fonction du groupe et de la nature de l'essai.

Tâche 2 prioritaire

Analyse quantitative

En moyenne, les participants du groupe rare répondent plus lentement (M = 717 ms, SD = 230 ms) que les participants du groupe fréquent (M = 645 ms, SD = 228 ms), $F(1, 38) = 4.84$, $p < .05$ (η^2 *partiel* = .11).

Les participants répondent également en moyenne plus lentement à la Tâche 2 prioritaire lorsque le SOA est court (M = 753 ; SD = 131 ms) que lorsque le SOA est long (M = 673 ms, SD = 135 ms), $F(5, 190) = 13.95$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .27.

Un effet d'interaction indique que les réponses à la Tâche 2 prioritaire augmentent plus vite avec le SOA pour les participants du groupe rare que pour les participants du groupe fréquent $F(5, 190) = 4.25$ $p < .01$, η^2 *partiel* = .09.

Pour le groupe rare, une décomposition nous indique que le TR à la tâche sonore prioritaire augmente de 124 ms entre le SOA le plus long (M = 675 ms, SD = 156 ms) et le SOA le plus court (M = 799 ms, SD = 171 ms), $F(5, 95) = 13.95$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .66. Un test post-hoc de Bonferroni indique une différence entre le SOA 150 ms le plus court et tous les autres.

Une augmentation quantitativement similaire de 114 ms est observable pour le groupe fréquent. Néanmoins, la différence maximale est observable entre le SOA le plus court (M = 707 ms, SD = 115 ms) et le SOA intermédiaire 450 ms (M = 593 ms, SD = 88 ms). Une différence de 77 ms est également observée entre le SOA 450 ms et le SOA le plus long, (M = 670 ms, SD = 109 ms) $F(5, 95) = 6.53$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .25. Un test post-hoc de Bonferroni indique une différence localisée entre le SOA le plus court et les trois SOA suivant (e.g., 300, 450, 600) ainsi qu'entre le SOA 450 ms et le SOA 900 ms. Cette augmentation est plus élevée pour le groupe rare (augmentation de 124 ms) que pour le groupe fréquent (augmentation de 37 ms).

Pour savoir si l'inhibition de la réponse non prioritaire impacte le traitement prioritaire, nous avons sélectionné pour chacun des deux groupes le SOA pour lequel le pourcentage d'inhibition de la réponse non prioritaire est proche de 50%. Les résultats sont illustrés en Figure 3.13. Ce pourcentage d'inhibition correspond au SOA de 300 ms pour le groupe stimulus prioritaire rare (44.8 % d'inhibition) et aux SOA de 450 et 600 ms pour le groupe stimulus prioritaire fréquent (respectivement 60.0% et 42.0% d'inhibition, soit 51.0% d'inhibition en moyenne).

À environ 50% d'inhibition des réponses, les participants sont en moyenne aussi rapides à la Tâche 2 prioritaire lorsque la réponse à la Tâche 1 non prioritaire est émise (M = 694 ms, SD = 125 ms) ou interrompue (M = 655 ms, SD = 144 ms) $F(1, 30) = 2.62$, $p > .05$.

Les participants du groupe fréquent sont également en moyenne plus rapides dans leur réponse à la Tâche 2 prioritaire (M = 627 ms, SD = 131 ms) que les participants du groupe rare (M = 722 ms, SD = 127 ms) à 50% d'inhibition, $F(1, 30) = 5.75$, $p < .05$, η^2 *partiel* = .16.

Il n'y a pas d'interaction significative entre les facteurs groupe et le facteur d'émission de la réponse, ce qui indique que le ralentissement causé par l'émission de la réponse non prioritaire est équivalent pour le groupe rare et le groupe fréquent, $F(1, 30) = 0.22$.

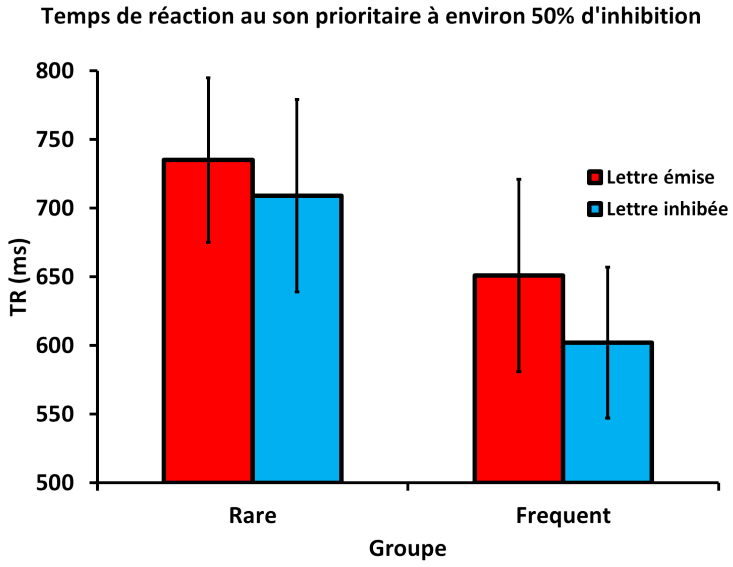

FIGURE 3.13 – Temps de réaction à la Tâche 2 prioritaire au SOA correspondant à environ 50% d'inhibition de la réponse à la Tâche 1 non prioritaire (SOA = 300 ms pour le groupe rare vs SOA = 450 et 600 ms pour le groupe fréquent).

Analyse qualitative)

La Figure 3.14 montre les TR à la Tâche 2 prioritaire en fonction du SOA et de l'émission de la réponse non prioritaire. Il n'est pas possible d'effectuer une ANOVA sur les TR au son en fonction de l'émission de la lettre non prioritaire en raison du pourcentage d'inhibition variable à travers les SOA. En effet, le nombre de mesure diffère dans chacune des deux conditions d'émission ou d'inhibition de la réponse à la tâche non prioritaire et certaines observations sont manquantes pour certains

participants inhibant ou émettant parfois la totalité des réponses motrices. Néanmoins, en termes de pattern de réponses, il semblerait que l'amplitude du ralentissement causé par l'émission de la réponse non prioritaire soit plus important pour le groupe fréquent que pour le groupe rare.

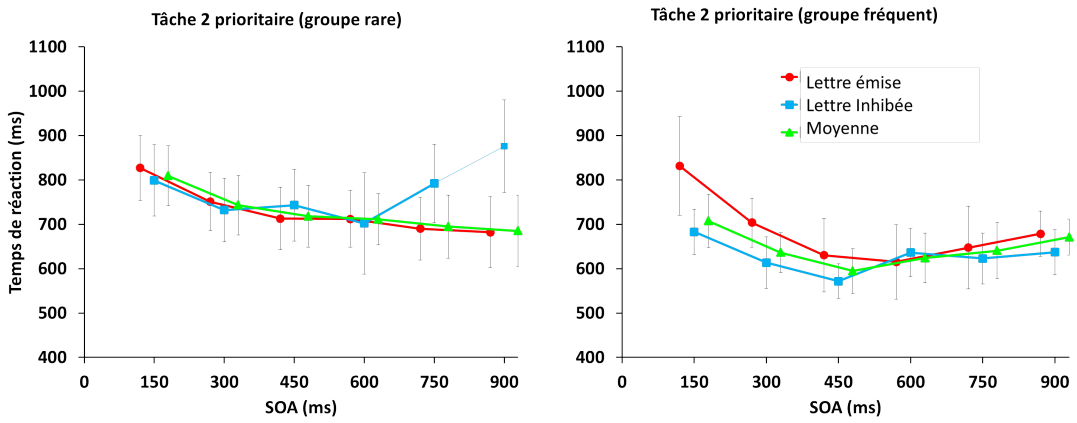

FIGURE 3.14 – Temps de réaction à la Tâche 2 prioritaire au SOA correspondant à environ 50% d'inhibition de la réponse à la Tâche 1 non prioritaire (SOA = 300 ms pour le groupe rare vs SOA = 450 et 600 ms pour le groupe fréquent).

Pourcentage d'erreur

En condition de simple tâche, le pourcentage d'erreur à la Tâche 1 non prioritaire ne diffère pas significativement entre le groupe rare ($M = 3.2\%$, $SD = 1.9\%$) et le groupe fréquent ($M = 5.1\%$, $SD = 3.9\%$), $t(38) = 1.60$. En condition de double tâche, le pourcentage d'erreur à la Tâche 2 prioritaire ne diffère pas significativement entre le groupe rare ($M = 7.8\%$, $SD = 3.8\%$) et le groupe fréquent ($M = 6.5\%$, $SD = 5.1\%$), $t(38) = .88$.

Discussion

Le but de cette expérience était de déterminer les possibilités de traitement d'un stimulus prioritaire qui apparait rarement ou fréquemment, ainsi que les conséquences de l'interruption d'un traitement non prioritaire sur le traitement prioritaire. Pour cela, 40 participants ont réalisé 96 essais de double tâche où le stimulus non prioritaire est séparé du stimulus prioritaire par 6 SOA différents (150, 300, 450, 600, 750, 900 ms), avec la consigne d'abandonner le traitement non prioritaire pour donner toute la priorité au traitement du stimulus prioritaire. Ces essais sont mélangés à 384 essais de simple tâche pour le groupe rare (soit 20% d'apparition du stimulus 2

prioritaire) ou à 24 essais de simple tâche pour le groupe fréquent (soit 80% d'apparition du stimulus 2 prioritaire). Cette variable permet de manipuler le niveau de contrôle (top-down vs bottom-up) de l'inhibition du traitement non prioritaire afin d'en mesurer les conséquences comportementales.

Les résultats montrent un impact considérable de la fréquence du stimulus prioritaire sur la capacité d'inhibition du traitement non prioritaire, avec une moyenne de plus de 60% de réponses interrompues pour le groupe fréquent contre moins de 20% pour le groupe rare au même SOA, $t(38) = 4.85$, $p < .001$. Cet impact fait écho aux résultats de Logan et Burkell (1986) qui montrent que respectivement 64% et 28% des réponses sont interrompues en utilisant des pourcentages identiques d'apparition du son, ce qui confirme le rôle crucial de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire.

Bien qu'incompatibles avec le horse-race model qui ne formalise pas en l'état d'effet de la fréquence d'apparition du stimulus 2, nos résultats sont en accord avec l'explication d'un ralentissement stratégique de la Tâche 1. Ce ralentissement est vraisemblablement modulé par un paramétrage de type top-down (Logan, 1994; Logan et al., 2014). Ces résultats sont également en accord avec le modèle de Leotti et Wager (2010), selon lequel une importante estimation subjective de la probabilité d'apparition du stimulus 2 pourrait solliciter la mise en place d'un contrôle exécutif de l'inhibition de la Tâche 1 non prioritaire.

Ce contrôle exécutif pourrait notamment moduler le seuil décisionnel de déclenchement de la réponse non prioritaire ou encore la vitesse d'accumulation d'information conduisant au déclenchement de la réponse (Logan et al., 2014). La différence substantielle de 228 ms des temps de réaction à la Tâche 1 non prioritaire entre le groupe rare et le groupe fréquent, $t(38) = 4.76$, $p < .001$, valide d'ailleurs cette explication [13]. La capacité d'interruption de la Tâche 1 non prioritaire semble donc vraisemblablement modulée par un processus top-down qui permet l'anticipation active de la survenue du stimulus prioritaire lorsque celui-ci apparaît fréquemment.

Inversement, la répétition du traitement de la tâche non prioritaire pour le groupe rare favoriserait la mise en place d'un processus de type bottom-up qui permettrait l'exécution rapide de la Tâche 1 non prioritaire. Ce processus serait ainsi mis en place pour faire face au traitement de la Tâche 1 non prioritaire malgré

13. Voir Annexe II pour une analyse qualitative plus détaillée

l'importance accordée à la tâche prioritaire. Plus généralement, la fréquence d'apparition d'une tâche impacterait donc sa vitesse de traitement au-delà du niveau de priorité initial perçu par le participant.

Quelle que soit la fréquence d'apparition du stimulus 2 prioritaire, la capacité à interrompre le traitement non prioritaire diminue à mesure que le SOA augmente. Ces résultats obtenus sont en accord avec ceux généralement observés dans le cadre des paradigmes changement de tâche et stop-task (Logan, 2015).

Les résultats montrent également un ralentissement moyen du temps de réaction à la Tâche 2 prioritaire causé par le SOA, pour les deux groupes. Ainsi, le goulet central pourrait avoir été engagé par l'attention allouée au traitement central de la Tâche 1 non prioritaire, bien qu'aucune réponse n'ait été émise, comme le suggère la stabilité des temps de réaction à la Tâche 1 non prioritaire en condition de simple tâche. Ce résultat est compatible avec la théorie d'un goulet d'étranglement (Welford, 1952; Pashler, 1984).

Autre fait marquant, les temps de réaction moyens à la Tâche 2 prioritaire sont significativement plus rapides pour le groupe fréquent que pour le groupe rare. Cette meilleure capacité du groupe fréquent à traiter la tâche en priorité pourrait être due à un niveau de préparation plus élevé à la Tâche 2 prioritaire. Le niveau initial de priorité seul n'est donc pas suffisant pour garantir que le traitement soit véritablement traiter de façon prioritaire. Ces résultats sont compatibles avec la théorie d'un ralentissement causé par le niveau de préparation des participants à l'apparition du stimulus prioritaire (e.g., De Jong, 1995; Gottsdanker, 1979, 1980; Posner & Snyder, 1975; Rogers & Monsell, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004).Cette théorie est par ailleurs également compatible avec le principe de *task recency* (Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001) selon lequel une quantité de répétition importante de la Tâche 2 prioritaire solliciterait un processus de traitement de type bottom-up permettant son exécution rapide au détriment de son contrôle actif.

Nos résultats montrent également, pour le groupe fréquent, un ralentissement équivalent entre les TR moyens à la Tâche 2 prioritaire au SOA 450 ms intermédiaire et les deux SOA les plus extrêmes. La différence entre le SOA 450ms et le SOA 150 ms peut être expliquée par la présence d'un goulet d'étranglement central. Or, la différence avec le SOA le plus long n'est pas explicable via l'effet PRP.

Dans la perspective d'une modulation comportementale sous influence top-down

(Leotti & Wager, 2010), le SOA le plus long pourrait entraîner une diminution de la probabilité perçue de voir le stimulus prioritaire apparaître à mesure que le SOA augmente entre les deux stimuli. Ce faisant, l'effort consenti afin de maintenir un niveau préparatoire maximal en faveur de la Tâche 2 prioritaire (Tombu & Jolicoeur, 2004) est susceptible d'être limitée par un délai trop important entre les deux stimuli. L'utilisation d'essais pour lesquels aucun stimulus non prioritaire n'est présenté, ou avec un SOA plus important, permettrait de tester cette hypothèse.

Il est à noter que lorsque la réponse non prioritaire est émise, un faible ralentissement non significatif de 27 ms pour le groupe rare et de 39 ms pour le groupe fréquent est observé aux SOA où les participants inhibent 50% de leur réponse non prioritaire. Cette observation pourrait à nouveau confirmer l'implication du niveau de préparation dans le ralentissement moyen causé par l'entremêlement des essais (De Jong, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004). En effet, le mélange d'essais de simple tâche et de changement de tâche a possiblement entrainé une diminution du niveau de préparation à la Tâche 2 prioritaire indépendamment de l'émission ou de l'inhibition de la réponse à la Tâche 1 non prioritaire. Cette diminution devrait par la même davantage ralentir le groupe rare où le stimulus prioritaire apparaît peu, ce qui est le cas dans nos résultats.

Un point d'interrogation persiste cependant quant aux conséquences effectives de l'inhibition de la réponse non prioritaire à travers l'ensemble des SOA. En effet, l'importante variabilité des TR à la tâche prioritaire semble indiquer que plusieurs stratégies puissent être mises en place par les participants en vue de d'accorder toute la priorité à la Tâche 2. Cette observation est par ailleurs en accord avec les résultats obtenus lors d'études réalisées en stop-task qui manipulent la fréquence d'apparition du signal stop (Logan, 1994). Ces données vont dans le sens du modèle de Leotti et Wager (2010) qui décrit le rôle de certains profils motivationnels ou de certaines caractéristiques expérimentales qui inciteraient les participants à davantage privilégier la rapidité des réponses à la performance inhibitrice ou inversement.

Cette étude comporte cependant quelques limitations. Notamment, la diminution de la capacité à interrompre le traitement non prioritaire ne permet pas d'observer les conséquences directes de l'inhibition de la réponse non prioritaire sur le traitement prioritaire à tous les SOA. En effet, le nombre d'observations disponibles diffère dans la condition où la tâche non prioritaire est émise ou inhibée à travers les SOA. Ainsi il

n'est pas possible d'analyser statistiquement les effets de l'inhibition ou de l'émission au-delà des SOA pour lesquels les participants interrompent plus ou moins de 50% de leurs réponses. Afin d'éclairer ce point d'interrogation, nous avons réalisé une extension de cette étude dans un contexte où la prise de décision relative à la tâche non prioritaire est expérimentalement fixée par une tâche de type *go/no-go*.

Étude 4

Sommaire

Buts et prédictions **128**

Méthode **131**

Participants 131

Tâches 131

Tâche 1 non prioritaire 131

Tâche 2 prioritaire 131

Dispositif expérimental 131

Procédure 132

Résultats **133**

Tâche 1 non prioritaire 133

Tâche 2 prioritaire 135

Pourcentage d'erreur 138

Discussion **139**

Buts et prédictions

Le but de cette étude est d'identifier plus précisément l'impact de l'inhibition d'une réponse sur le traitement d'une tâche prioritaire apparaissant plus ou moins souvent, ce que ne permettait pas l'étude 3 au regard de la partition des observations en fonction de l'inhibition du traitement non prioritaire. Pour ce faire, nous avons demandé à des étudiants de répondre à un stimulus prioritaire qui apparaît fréquemment (dans 80% des essais) ou peu fréquemment (dans 20% des essais). Afin de compléter les résultats de l'Étude 3 nous avons de plus remplacé la Tâche 1 par une tâche de type de go/no-go. Cette manipulation présente un double intérêt au regard de la question de de l'inhibition d'une tâche non prioritaire en vue du traitement d'une tâche prioritaire.

D'un point de vue théorique, le processus inhibiteur impliqué dans une tâche de type go/no-go est généralement considérée comme équivalent au stop-task pour lequel les signaux go et stop sont présentés simultanément (Logan & Cowan, 1984). De plus, la similitude en termes de processus sollicités par ces deux types de situations expérimentales rend opérationnelle la comparaison entre les modalités de tâches non prioritaires go/no-go et de changement de tâche (Nigg, 2000). Ce faisant, l'utilisation du go/no-go nous permettra d'étudier les conséquences de l'inhibition d'une tâche non prioritaire sans le problème des différences d'observations dues aux différentes capacités d'inhibition interindividuelles. L'ensemble des questions adressées lors de l'Étude 3 seront par là-même étendues à l'Étude 4.

D'un point de vue expérimental, l'utilisation d'une tâche de type go/no-go permet de plus une analyse plus fine des conséquences de l'émission ou de l'inhibition d'une tâche non prioritaire en vue de donner toute la priorité à une tâche subséquente. En effet, cette modalité de réponse rend possible la séparation des données pour lesquelles la réponse à la tâche non prioritaire est interrompue ou émise en nombres d'observations égales. Ce faisant, la condition d'émission ou d'inhibition de la tâche non prioritaire est conditionnée a priori par la répartition des essais go et no-go et non plus basée sur le comportement des participants a posteriori. En d'autres termes, cette manipulation expérimentale nous permet de nous placer dans une configuration expérimentale nous permettant d'analyser les conséquences de l'inhibition ou de l'émission d'une réponse pour chaque SOA et fréquence d'apparition.

Par ailleurs, et dans une perspective intégrant les théories d'accumulation d'information à la Tâche 1, l'utilisation d'une tâche go/no-go nous permettra de mieux isoler la modulation top-down causée par le coût de permutation (i.e., configuration du set) du ralentissement stratégique potentiellement causé par la modification du seuil de déclenchement de la réponse 1 ou de la vitesse d'accumulation d'information. En effet, l'information d'émission ou d'inhibition de la réponse non prioritaire est d'emblée présentée par le stimulus 1 (e.g., go ou no-go), ce qui exclu toute hypothèse de modulation causé par une fluctuation des phénomènes d'accumulation d'information. Cette comparaison nous permettra en outre d'apporter des éléments de comparaison au regard du second volet expérimental concernant la nature des processus top-down potentiellement sollicités.

Les prédictions sont cependant relativement similaires à celles de l'Étude 3. En effet, nous devrions observer un effet du SOA qui devrait ralentir le TR2 prioritaire notamment pour les durées de chevauchement les plus courtes. Le ralentissement causé par le SOA devrait être notamment observé en condition d'essais go. En effet, la réalisation d'essais de type go nécessite l'ensemble des différents stades de traitement de l'information pour les deux tâches comme cela est le cas dans un essai de protocole PRP classique. Ce faisant, le modèle du goulet central prédit un ralentissement du TR de la Tâche 2 prioritaire aux SOA courts causé par le phénomène période réfractaire psychologique (Pashler, 1994).

Inversement, les essais de type no-go ne nécessitent pas de réponse. La plupart des études intégrant une condition no-go à la Tâche 1 à un protocole PRP classique observent un ralentissement du TR de la Tâche 2 y compris quand la Tâche 1 est un essai no-go (Bertelson & Tisseyre, 1969; De Jong, 1993; Kerr, 1983; M. C. Smith, 1967; Van Selst & Johnston, 1992). L'observation d'un tel ralentissement pourrait indiquer la présence d'un effet PRP malgré l'interruption de la réponse non prioritaire. Cependant, Van Selst et Johnston (1992) observent un ralentissement moins important dans la condition no-go (e.g., environ 200 ms) que dans la condition go (environ 400 ms). Cette différence serait attribuée au fait que le traitement central engagé lors d'essais no-go soit moins long que celui conduisant à l'émission d'une réponse en condition go.

Il est à noter que l'intégration d'une Tâche 1 de type no-go permet en outre de tester l'hypothèse concernant la nature stratégique du goulet d'étranglement central

(Meyer & Kieras, 1997a,b). En effet, la théorie du report stratégique suppose que la réponse de la Tâche 2 soit retardée le temps que la réponse à la Tâche 1 soit exécutée. En admettant cette supposition vraie, l'émission de la réponse à la Tâche 2 ne devrait pas être reportée lors d'essais de double tâche comprenant une Tâche 1 no-go en raison de l'absence de réponse observable (Van Selst & Johnston, 1992). Somme toute, la confirmation d'un ralentissement du temps de réaction à la Tâche 2 constituerait un argument en faveur d'une limitation structurale et réciproquement.

La manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire devrait induire un certain nombre d'observations similaires à celles de l'Étude 3 concernant les tâches prioritaires et on prioritaires.

Concernant la tâche non prioritaire, la manipulation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire ne devrait pas induire de ralentissement du temps de réaction à la tâche non prioritaire d'après les prédictions du modèle du goulet central (Pashler, 1984). En effet, la présence ou l'absence de stimulus prioritaire ne devrait pas retarder le traitement du stimulus non prioritaire auquel les participants doivent répondre le plus rapidement possible. Ainsi, le traitement du stimulus non prioritaire devrait solliciter les ressources centrales de la même façon, quel que soit le SOA et quelle que soit la condition expérimentale (e.g., simple et double tâche).

Néanmoins, dans le cas d'une incidence du coût de permutation entre les tâches, nous pourrions observer un ralentissement des temps de réaction à la tâche non prioritaire causé par la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire. En effet, la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire conditionne nécessairement la fréquence à laquelle les participants doivent remplacer le set correspondant à la tâche non prioritaire, par le set correspondant à la tâche prioritaire afin d'assurer son traitement. Ainsi, une fréquence élevée de stimulus prioritaire devrait ralentir les TR moyens à la tâche non prioritaire du groupe fréquent par rapport aux TR du groupe rare. Cette observation pourrait indiquer que les participants du groupe fréquent alternent également fréquemment entre set non prioritaire et set prioritaire contrairement aux participants du groupe rare conservant davantage le set correspondant à la tâche non prioritaire. Il est à noter que ce ralentissement devrait être équivalent en condition de simple tache et de double tâche.

Concernant la tâche prioritaire, la théorie d'un ralentissement uniquement occasionné par le goulet d'étranglement central ne prévoit pas l'observation d'un

ralentissement occasionné par la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire. En revanche, en cas d'implication du niveau de préparation sur la performance à la tâche prioritaire, la manipulation de la fréquence d'apparition du son devrait occasionner un ralentissement moyen des TR. Ce ralentissement devrait par ailleurs affecter de façon équivalente les essais réalisés en condition go comme en condition no-go. En effet, ce ralentissement devrait être causé par le phénomène observé lors de l'Étude 3 occasionnant un ralentissement indépendant de l'émission ou de l'inhibition de la réponse à la tâche non prioritaire.

Méthode

Participants

Quarante-deux adultes (M = 20.0 ans, SD = 1.1 ans ; amplitude = 19 – 23 ans ; 23 femmes) ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés et testés à l'Université de Franche-Comté (Besançon, France).

Tâches

Tâche 1 non prioritaire

Le but est d'identifier une lettre parmi huit lettres possibles (A, B, C, D, E, F, G, H), affichées en caractères Times New Roman au centre de l'écran. L'angle visuel occupé par les lettres est d'environ 1.49° vertical sur 1.04° horizontal pour un participant situé à 46 cm de l'écran. La lettre est présentée en noir sur un fond d'écran blanc.

Tâche 2 prioritaire

Le but est d'identifier si un son de 150 ms est aigu (1800 Hz) ou grave (400 Hz).

Dispositif expérimental

La présentation des stimuli et la collecte des réponses sont réalisées sur un ordinateur portable DELL E5500. L'expérience a été programmée avec E-Prime version 2.0.

Procédure

Les participants répondent au stimulus non prioritaire lorsque la lettre appelle une réponse (la lettre A, B, C, ou D) avec l'auriculaire, l'annulaire, le majeur ou l'index de la main gauche (à l'exception du pouce). Il est demandé aux participants de ne pas répondre au stimulus non prioritaire lorsque la lettre n'appelle pas de réponse (la lettre E, F, G, H). Les participants répondent au stimulus prioritaire (le son aigu ou grave) en pressant l'une des deux touches (O, K) avec le majeur et l'index de la main droite, respectivement. Il est demandé aux participants de répondre le plus rapidement possible au stimulus visuel non prioritaire sans erreur et de répondre le plus rapidement et précisément possible au stimulus prioritaire lorsque celui-ci apparaît.

En condition de simple tâche, chaque essai commence avec la présentation d'une croix de fixation noire pendant 500 ms au centre de l'écran. Suite à un écran blanc de 250 ms, le stimulus visuel non prioritaire apparaît à l'écran. En condition de stimulus non prioritaire appelant une réponse, la lettre reste jusqu'à la réponse du participant ou que 2,500 ms se soient écoulées. Le feedback "trop lent" apparaît si aucune réponse n'est émise. Les participants sont informés de l'exactitude de leur réponse avec le feedback "correct lettre" ou "erreur lettre" qui s'affiche après chaque essai durant 500 ms. En condition de stimulus non prioritaire n'appelant pas de réponse, la lettre reste à l'écran durant une durée randomisée comprise entre 750, 1000 et 1,250 ms ou jusqu'à la réponse du participant. Le feedback "erreur lettre" ou "correct lettre" s'affiche après chaque essai durant 500 ms.

En condition de double tâche, le stimulus visuel non prioritaire est suivi du stimulus auditif prioritaire, avec un SOA variable entre les deux stimuli identique à ceux utilisés lors de l'Étude 3 (150, 300, 450, 600, 750, ou 900 ms). Un délai de 2,500 ms est autorisé pour répondre. Le feedback "trop lent son" apparaît si aucune réponse au son n'est émise. Les participants sont également informés de leur réussite dans l'interruption de la réponse au stimulus non prioritaire. Le feedback "arrêt lettre" est affiché en bleu durant 500 ms à la fin de l'essai lorsque le participant a réussi à interrompre la réponse au stimulus non prioritaire et "réponse à tort" en rouge lorsque la réponse au stimulus non prioritaire a été émise.

Avant de démarrer l'expérience, les participants ont effectué quelques dizaines

d'essais de familiarisation avec les tâches expérimentales, au cours desquels les consignes leur ont été répétées à plusieurs reprises. Ensuite, ils ont effectué 96 essais expérimentaux de double tâche qui ont été entremêlés avec 384 essais de simple tâche pour le groupe rare (480 essais au total) et 24 essais pour le groupe fréquent (120 essais au total).

Les essais de simple tâche et de double tâche étaient séparés en deux conditions pour chaque participant. La première condition correspondait aux essais où est présenté un stimulus non prioritaire appelant une réponse et la deuxième correspondait aux essais où est présenté un stimulus non prioritaire n'appelant pas de réponse. L'apparition du stimulus prioritaire apparaît dans 20% des essais pour le groupe rare mais dans 80% des essais pour le groupe fréquent. La durée de l'expérience est plus longue pour le groupe rare (environ 45 minutes pour effectuer 480 essais) que pour le groupe fréquent (environ 15 minutes pour effectuer 120 essais).

Résultats

Les temps de réaction inférieurs à 150 ms et supérieurs à 2,000 ms ont été exclus des analyses (soit moins de 0.1% des essais). Les essais pour lesquels les participants ont répondu incorrectement au stimulus non prioritaire en condition de simple tâche ou au stimulus prioritaire en condition de double tâche ont été exclus des analyses de temps de réaction.

Pour le groupe rare ces essais représentent 3.0% des données en condition de simple tâche go et moins de 0.1% des essais en condition de simple tâche no-go. En situation de double tâche 9.1% des essais ont été exclus en condition de Tâche 1 non prioritaire go, et 3.9% des données en condition de tâche non prioritaire no-go.

Pour le groupe fréquent ces essais représentent 2.2% des données en condition de simple tâche go et 0% des données en condition de simple tâche no-go. En situation de double tâche, 8.3% des données ont été exclues en condition de Tâche 1 non prioritaire go et 4.4% des données ont été exclues en condition de Tâche 1 non prioritaire no-go.

Tâche 1 non prioritaire

La Figure 3.15 illustre les temps de réactions moyens à la Tâche 1 non prioritaire. Nous avons conduit une ANOVA sur les temps de réactions moyens à la lettre non prioritaire avec le facteur essai (simple tâche vs double tâche) en condition

intragroupe et le facteur fréquence d'apparition du stimulus prioritaire en facteur intergroupe.

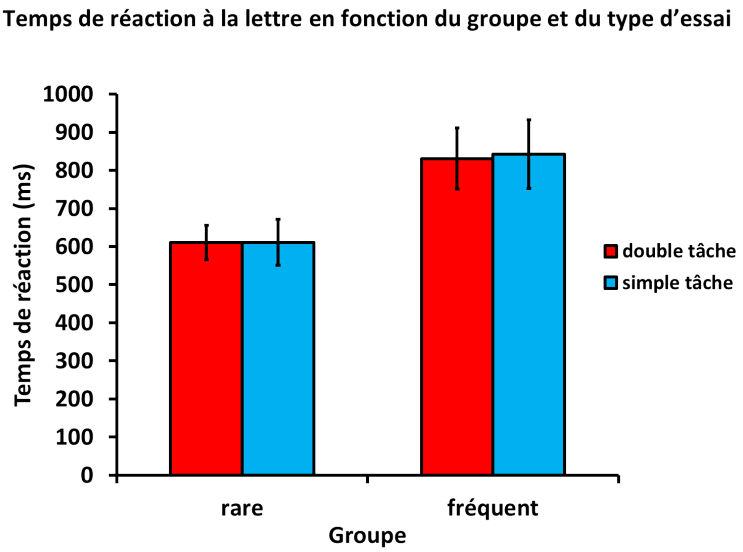

FIGURE 3.15 – Temps de réaction à la lettre non prioritaire en condition de simple et de double tâche. Les colonnes en rouge matérialisent les TR en conditions de double tâche, les colonnes en bleu matérialisent les TR en condition de simple tâche.

En moyenne, le temps de réaction à la tâche non prioritaire est plus lent de 217 ms pour le groupe stimulus prioritaire fréquent (M = 835 ms, SD = 173 ms) que pour le groupe stimulus prioritaire rare (M = 615 ms, SD = 84 ms) $F(1, 40) = 31.04$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .44. Une absence d'effet principal du facteur essai indique que la nature de l'essai n'impacte pas le temps de réaction à la lettre, $F(1, 40) = .07$. Une absence d'effet d'interaction indique un effet additif de fréquence d'apparition sur le ralentissement des TR à la lettre non prioritaire lors des essais de simple tâche comme de double tâche, $F(1, 40) = .18$.

La Figure 3.16 illustre les TR à la lettre en condition de double tâche à travers les SOA. En condition de double tâche, le TR moyen à la tâche non prioritaire est constant du SOA le plus court (M = 734 ms, SD = 195 ms) au SOA le plus long (M = 725 ms, SD = 231 ms), $F(5, 200) = .97$. L'absence d'interaction entre le facteur SOA et le facteur fréquence indique que le TR à la tâche non prioritaire est plus lent pour le groupe fréquent que pour le groupe rare quel que soit le SOA $F(5, 200) = 1.86$.

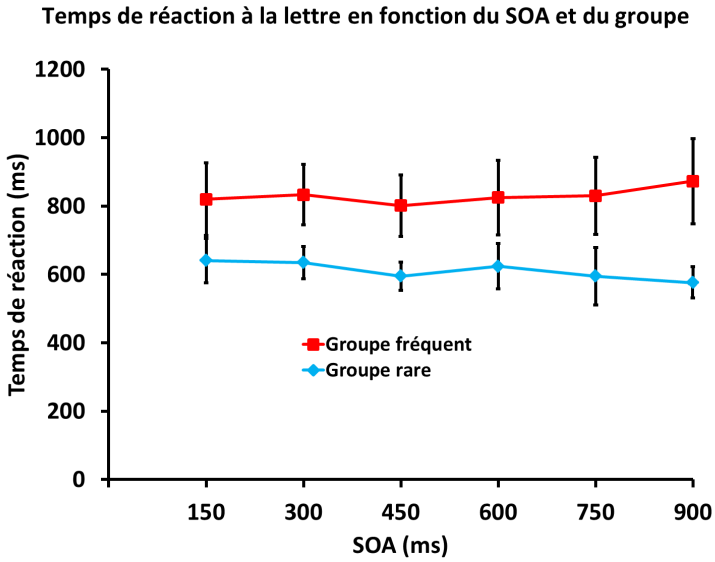

FIGURE 3.16 – Temps de réaction à la lettre non prioritaire en condition de double tâche en fonction du SOA. La courbe bleue représente les TR du groupe rare, la courbe rouge représente les TR du groupe fréquent.

Tâche 2 prioritaire

Analyse quantitative

Nous avons réalisé une ANOVA sur les temps de réaction à la tâche prioritaire avec le SOA et le type d'essai en comme facteurs intragroupes et la fréquence d'apparition comme facteur intergroupe.

En moyenne, le TR à la Tâche 2 prioritaire est équivalent pour le groupe rare (M = 724 ms, SD = 130 ms) et le groupe fréquent (M = 690 ms, SD = 200 ms), $F(1, 40) = 1.09$. En moyenne, le TR à la Tâche 2 prioritaire est ralenti de 171 ms du SOA le plus long (M = 673 ms, SD = 136 ms) au SOA le plus court (M = 843 ms, SD = 200 ms), $F(5, 200) = 76{,}80$, $p < .001$ η^2 *partiel* = .66). Un test post hoc de Bonferroni indique une différence localisée entre les deux SOA les plus courts et tous les autres.

Un effet d'interaction entre le facteur SOA et le facteur fréquence d'apparition indique que les participants du groupe fréquent sont en moyenne plus lents aux SOA courts (M = 879 ms, SD = 201 ms) que les participants du groupe rare aux SOA courts que les participants du groupe rare (M = 808 ms, SD = 125 ms) $F(5, 200) = 16{,}75$, $p < .001$ η^2 *partiel* = .30. Inversement, les participants du groupe fréquent semblent plus rapides en moyenne aux SOA longs (M = 632 ms, SD = 116 ms) que les participants du groupe rare (M = 717 ; SD = 137 ms).

Le TR moyen à la Tâche 2 prioritaire est plus rapide de 99 ms lorsque celui-ci est

précédé d'une tâche non prioritaire no-go (M = 653 ms, SD = 142 ms) comparativement aux TR suivant une tâche non prioritaire go (M = 761 ms, SD = 174 ms) $F(1, 40) = 97{,}80$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .71.

La Figure 3.17 illustre les TR moyens au son prioritaire conditionnés par la nature de la lettre non prioritaire (e.g., go ou no-go).

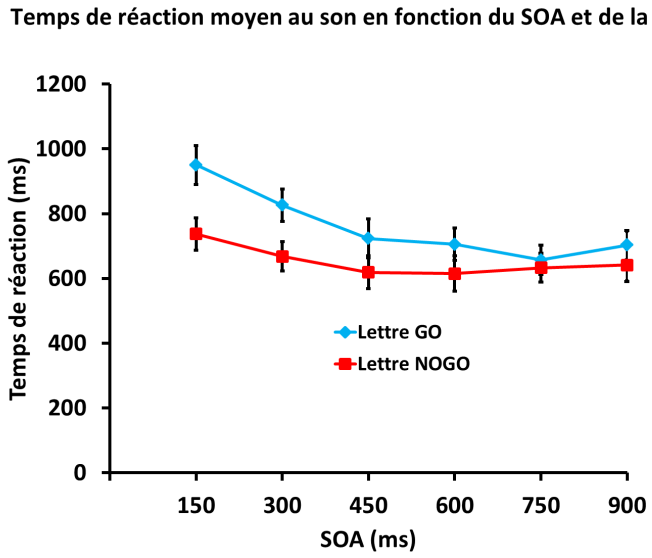

FIGURE 3.17 – Temps de réaction moyen au son en fonction du SOA et de la lettre. La courbe bleue matérialise les TR suivant une lettre go, la courbe rouge matérialise les TR suivant une lettre no-go.

L'effet d'interaction entre le facteur SOA et le facteur type d'essai indique un ralentissement du TR moyen à la Tâche 2 prioritaire plus important lorsque la lettre est un stimulus go par rapport à la condition où la lettre est un stimulus no-go. En condition go, le TR2 est ralenti de 247 ms entre le SOA le plus long (M = 703 ms, SD = 114 ms) au SOA le plus court (M = 950 ms, SD = 191 ms). En condition no-go, le TR2 est ralenti de 95 ms entre le SOA le plus long (M = 642 ms, SD = 129) et le au SOA le plus court (M = 737 ms, SD = 148 ms) $F(5, 200) = 13{,}02$, $p < .001$ η^2 *partiel* = .25.

Analyse qualitative

La Figure 3.18 illustre les TR à la tâche prioritaire en condition de double tâche pour les groupes rares et fréquents en fonction du type d'essai à la Tâche 1.

Pour savoir si l'inhibition de la réponse en condition no-go impacte le traitement prioritaire, nous avons réalisé une décomposition pour le groupe rare et le groupe fréquent en séparant les données mesurées en condition d'essai go et no-go.

Pour le groupe rare, le temps de réaction moyen est plus lent aux SOA courts (M = 808 ms, SD = 141 ms) qu'aux SOA longs (M = 714 ms, SD = 128 ms), $F(5, 105)$ = 20, 80 ; $p < .001$, η^2 *partiel* = .50). Le TR est également en moyenne plus lent lorsque la réponse à la tâche prioritaire est précédée d'un essai go (M = 749 ms, SD = 127 ms) que lorsqu'elle est précédée d'un essai no-go (M = 699 ms, SD = 130 ms) F (1, 21) = 16, 65 ; $p < .001$, η^2 *partiel* = .44. Un effet d'interaction entre le facteur SOA et le facteur type d'essai indique que le ralentissement mesuré aux SOA courts est plus important lorsque la réponse prioritaire est précédée d'un essai go que d'un essai no-go $F(5, 105) = 7{,}40$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .26.

Nous avons ensuite réalisé une décomposition en fonction de la nature de l'essai précédent.

Lorsque le stimulus non prioritaire est un stimulus go, les données indiquent un ralentissement de 129 ms entre les SOA courts (M = 878 ms, SD = 122 ms) et les SOA longs (M = 749 ms, SD = 115 ms) $F(5, 105) = 20{,}64$, p < .001 ; η^2 *partiel* = .49. Un test post hoc de Bonferroni indique que le ralentissement est localisé aux deux SOA les plus courts. Lorsque le stimulus non prioritaire est un stimulus no-go, les données indiquent un ralentissement de 22 ms entre le SOA le plus long (M = 718 ms, SD = 142 ms) et le SOA le plus court (M = 738 ms, SD = 125 ms) avec un effet du SOA sur le TR $F(5, 105) = 4{,}51$, $p < .001$ η^2 *partiel* = .19. Le test post hoc de Bonferroni indique que cette différence est localisée entre le SOA intermédiaire de 450 ms (M = 655 ms, SD = 196 ms) et les deux SOA les plus extrêmes soit un ralentissement respectivement de 80ms par rapport au SOA cout et de 58 ms par rapport au SOA long.

Ainsi, il semblerait que, lorsque la réponse à la lettre est inhibée, les TR les plus rapides sont localisés aux SOA intermédiaires tandis que les deux SOA les plus extrêmes semblent générer un ralentissement équivalent.

Pour le groupe fréquent, le temps de réaction est plus lent aux SOA courts (M = 880 ms, SD = 245 ms) qu'aux SOA longs (M = 632 ms, SD = 133 ms) $F(5, 95) = 57{,}28$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .70). Le temps de réaction est également en moyenne plus lent lorsque la réponse à la tâche prioritaire est précédée d'un essai go (M = 773 ms, SD = 234 ms) que lorsqu'elle est précédée d'un essai no-go (M = 606 ms, SD = 140 ms) $F(1, 19) = 80{,}24$, $p < .001$, η^2 *partiel* = 0.81. Un effet d'interaction indique que le ralentissement mesuré aux SOA courts est plus important lorsque la réponse

prioritaire est précédée d'un essai go que d'un essai no-go $F(5, 95) = 6{,}38$, $p < .001$; η^2 *partiel* $= .26$.

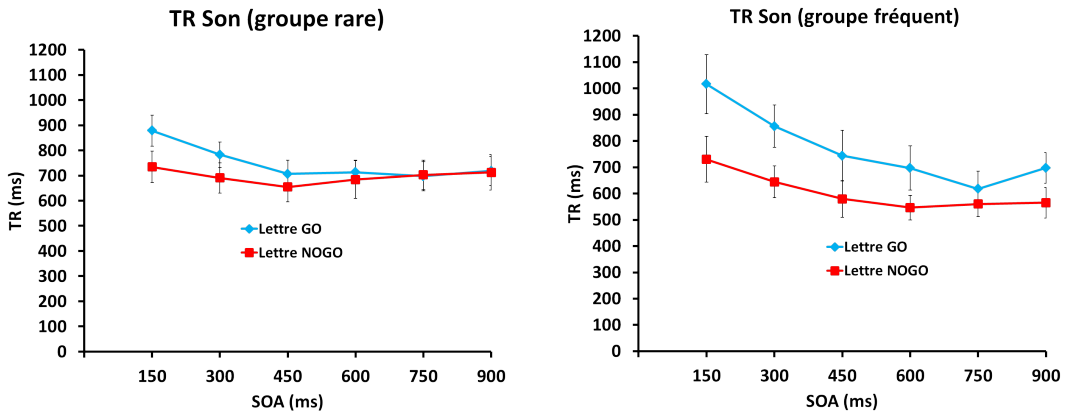

FIGURE 3.18 – Temps de réaction à la Tâche 2 prioritaire en fonction du groupe, du SOA, et de la nature de la Tâche 1 non prioritaire.

Une décomposition indique un ralentissement maximal de 411 ms entre le SOA le plus court ($M = 1{,}023$ ms, $SD = 225$ ms) et le deuxième SOA le plus long ($M = 612$ ms, $SD = 116$ ms) lorsque le stimulus non prioritaire est un simulus go $F(5, 95) = 33{,}81$, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .64$. Un test post hoc de Bonferroni indique que le ralentissement est localisé aux deux SOA les plus courts.

Lorsque la réponse est précédée d'un essai no-go la décomposition indique un ralentissement du TR à la tâche prioritaire allant jusqu'à 191 ms entre le deuxième SOA le plus long ($M = 547$ ms, $SD = 117$ ms) et le SOA le plus court ($M = 737$ ms, $SD = 173$ ms) $F(5, 95) = 18{,}98$, $p < .001$ η^2 *partiel* $= .51$. Un test post hoc de Bonferroni indique que cette différence est localisée entre les deux SOA les plus courts et tous les autres.

Pourcentage d'erreur

En condition de simple tâche, le pourcentage d'erreur à la tâche non prioritaire ne diffère pas significativement entre le groupe rare ($M = 2.7\%$, $SD = 1.8\%$) et le groupe fréquent ($M = 2.5\%$, $SD = 4.7\%$), $t(40) = .25$, $p = .80$.

En condition de double tâche nous avons réalisé une ANOVA sur les pourcentages d'erreurs avec le facteur type de stimulus non prioritaire en condition intragroupe et le facteur fréquence d'apparition du stimulus prioritaire en condition intergroupe.

Le pourcentage d'erreur à la tâche prioritaire ne diffère pas significativement entre le groupe rare ($M = 6.8\%$, $SD = 4.2\%$) et le groupe fréquent ($M = 5.6\%$, $SD =$

3.9%), $F(1, 40) = .55$, $p = .461$. Lorsque le stimulus non prioritaire est un essai go, les pourcentages d'erreurs sont plus importants ($M = 8.7\%$; $SD = 3.6\%$) que lorsque le stimulus non prioritaire est un stimulus no-go ($M = 3.8\%$; $SD = 2.9\%$) $F(1, 40) =$ 42,58, $p < .001$, η^2 *partiel* $= .53$.

L'absence d'interaction indique que l'augmentation des pourcentages d'erreurs pour les essais go est similaire pour les deux groupes $F(1, 40) = 1{,}61$, $p = .219$.

Discussion

Cette étude visait à répliquer l'Étude 3 en identifiant plus précisément l'impact de l'inhibition d'une réponse observable sur l'exécution d'une tâche prioritaire apparaissant plus ou moins souvent.

Pour cela, 42 participants ont réalisé 96 essais de double tâche où le stimulus de la tâche non prioritaire est séparé du stimulus de la tâche prioritaire par 6 SOA échelonnés de 150 à 900 ms. Nous avons également manipulé la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire en les mélangeant à 384 essais de simple tâche pour le groupe rare (soit 20% d'apparition du stimulus 2 prioritaire) ou à 24 essais de simple tâche pour le groupe fréquent (soit 80% d'apparition du stimulus 2 prioritaire).

Afin de répondre aux limites des trois précédentes études pour lesquelles la séparation des données en fonction de l'inhibition est effectuée a posteriori, nous avons remplacé la Tâche 1 par une tâche de type de go/no-go. Cette manipulation nous a ainsi permis de contrôler expérimentalement a priori les essais pour lesquelles les participants inhibent ou émettent la réponse à la tâche non prioritaire (e.g., 50%). Ce faisant, il est possible d'analyser les conséquences de l'inhibition ou de l'émission d'une réponse pour chaque SOA selon fréquence d'apparition.

Comme pour les études précédentes, les résultats confirment le rôle crucial du SOA sur le traitement la tâche prioritaire. Ainsi, l'émission d'une réponse non prioritaire engendre un ralentissement substantiel du TR de la tâche prioritaire allant jusqu'à plus de 170 ms en moyenne, quelle que soit sa fréquence d'apparition. Ces observations sont en accord avec l'hypothèse d'un goulet d'étranglement central qui ralentit la vitesse de traitement d'une tâche prioritaire lorsque celle-ci est précédée d'un traitement non prioritaire (Pashler, 1984).

Autre fait marquant, l'inhibition de la réponse non prioritaire ne semble pas prémunir le TR prioritaire de ralentissement bien que l'effet d'interférence soit

considérablement réduit. Cette dernière mesure, particulièrement observable pour le groupe fréquent corrobore les résultats d'études similaires observant un pattern d'interférence similaire malgré l'inhibition de la réponse 1 (Van Selst & Johnston, 1992).

Le traitement cognitif d'une tâche non prioritaire semble donc engager les ressources centrales des participants qui ne permet pas d'isoler la tâche prioritaire d'interférence en cas de SOA court en raison d'une limitation très probablement structurale. L'amplitude réduite de l'interférence causée par l'inhibition de la réponse lors d'essais no-go est vraisemblablement causée par un engagement central réduit comparativement à un traitement central incluant la sélection d'une réponse motrice.

L'observation de l'effet du facteur groupe s'inscrit également en continuité avec l'étude précédente concernant la tâche non prioritaire. En effet, la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire semble largement moduler les performances en simple et double tâche, malgré la réduction expérimentale des alternatives stratégiques. Ainsi, les temps de réaction en condition de simple tâche sont en moyenne plus lents de 217 ms pour le groupe fréquent que pour le groupe rare $F(1, 40) = 31.04$, $p < .001$. La très grande similitude avec le ralentissement de la tâche non prioritaire observé lors de l'étude 3 (e.g., 228 ms) semble préciser la mise en place de processus top-down lors du traitement d'une tâche non-prioritaire lorsqu'un stimulus prioritaire apparaît fréquemment.

Nous nuancerons néanmoins nos résultats au regard des études interprétant des résultats semblables par une inhibition sous-tendue par une association bottom-up entre la catégorie du stimulus non prioritaire go et no-go et un phénomène d'inhibition automatique (Verbruggen & Logan, 2008c). D'autres études associant des couples de stimuli de catégories différentes seraient susceptibles d'appuyer notre hypothèse.

Par ailleurs, l'observation d'un tel ralentissement malgré une tâche non prioritaire de type go/no-go constitue un argument en faveur d'un ralentissement causé par la présence d'un coût de permutation et non pas par un report stratégique de la réponse. En effet, l'alternative go/no-go ne permet pas la mise en place de stratégique d'attente du stimulus stop qui est directement présenté lors de l'apparition d'un stimulus no-go. Ainsi, la probabilité perçue que l'essai en cours nécessite une inhibition ou une réponse est ainsi maximale dès la présentation du stimulus, ce qui exclut de fait la possibilité d'une modulation comportementale causée par une

modification de la vitesse d'accumulation d'information ou du seuil de déclenchement de la réponse non prioritaire (Logan et al., 2014).

De ce fait, les participants du groupe fréquent reconfigurent vraisemblablement fréquemment le paramétrage du set sous influence top-down en alternant entre set prioritaire et non prioritaire. Cette reconfiguration est très certainement à l'origine du ralentissement intergroupe observé en condition de simple tâche. Inversement, le groupe rare effectue très fréquemment et de façon répétée la tâche non prioritaire en situation de simple tâche. Cette répétition implique une alternance de reconfiguration de set beaucoup plus rare, et par là même, la mise en place de processus de type bottom-up conduisant à une mesure des TR non prioritaires plus rapide que pour le groupe fréquent.

De la même façon, que pour la tâche non prioritaire, la tâche prioritaire semble largement influencée par la fréquence d'apparition du stimulus correspondant. Bien qu'aucun effet principal du facteur fréquence d'apparition ne soit observé, l'analyse de l'impact de l'inhibition en fonction du groupe permet de mettre en valeur deux patterns de réponse distincts. Pour le groupe fréquent, les temps de réaction prioritaires enregistrés en condition go constituent un pattern d'interférence très proche du comportement généralement observé lors d'études de PRP classiques. En effet, nous observons un ralentissement de plus de 400 ms occasionné par l'émission de la réponse non-prioritaire aux SOA les plus courts contre seulement 129 ms pour le groupe rare.

L'amplitude importante de l'interférence enregistrée pour le groupe fréquent est probablement causée par le mode de contrôle top-down de la tâche non-prioritaire. Ce mode de contrôle, plus lent, rallongerait de fait la durée pendant laquelle les ressources centrales sont allouées par la tâche non prioritaire et augmenterait l'effet PRP mesuré par un mécanisme additif. En d'autres termes, le traitement de la tâche non prioritaire sous influence top-down retarderait davantage l'accès de la tâche prioritaire aux ressources centrales pour le groupe fréquent que pour le groupe rare, sous influence bottom-up prédominante.

L'analyse des temps de réactions prioritaires précédés d'un essai no-go révèle également deux types de patterns distincts. En effet, les participants du groupe fréquent affichent un ralentissement d'autant plus important que le SOA est court . Ce pattern de réponse indique de façon tangible que les ressources centrales des

participants ont été engagées par le traitement de la tâche non prioritaire malgré l'absence de réponse. Il s'agirait donc d'un phénomène PRP dont l'amplitude est réduite en comparaison avec l'effet mesuré en condition go en raison de la réduction de la durée du stade central nécessaire à la sélection d'une absence de réponse.

La présence de ce ralentissement en condition no-go va à l'encontre l'hypothèse d'un ralentissement stratégique. En effet, ce postulat entraîne notamment une explication du ralentissement de la Tâche 2 lors d'un essai de type PRP par un report stratégique de l'émission de la réponse 2 (Meyer & Kieras, 1997b,a). Un essai de type no-go ne nécessitant pas de réponse motrice, aucun ralentissement ne devrait être observé en cas d'effet PRP d'origine stratégique, ce qui est infirmé par nos résultats.

Les participants du groupe rare affichent inversement un pattern différent de réponse à la tâche prioritaire en condition no-go. En effet, nous pouvons observer un ralentissement en forme de "U" du temps de réaction à la tâche prioritaire aux SOA courts et longs de respectivement 80 ms et 58 ms par rapport au SOA intermédiaire. Le ralentissement causé par le SOA court est supporté par la théorie d'une allocation de l'attention centrale vers la tâche non prioritaire. Inversement, le ralentissement observé au SOA long n'est pas explicable par la théorie du goulet d'étranglement central. Deux hypothèses complémentaires permettraient d'expliquer ce ralentissement.

Comme pour l'Étude 3, la perspective des modèles issus des paradigmes de permutation de tâche, nous renvoie à la démonstration de De Jong (1995) permettant d'expliquer ce ralentissement pas un coût préparatoire causé par l'incertitude relative à l'essai à venir. Ainsi, le traitement du stimulus prioritaire auquel les participants ne sont pas préparés a sans doute été ralenti y compris aux SOA les plus longs et y compris lorsque la réponse à la tâche non prioritaire est inhibée. En effet, l'émission ou l'inhibition de la réponse non prioritaire semble particulièrement peu impacter le temps de réaction à la tâche prioritaire aux SOA intermédiaires (respectivement 93 ms et 52 ms aux SOA de 300 et 450 ms). Cette observation semble en accord avec les observations de l'Étude 3 pour laquelle aucun impact significatif causé par l'émission ou l'inhibition n'avait été observé particulièrement pour le groupe rare.

Dans une perspective intégrant la probabilité perçue de voir apparaître le deuxième stimulus, inspirée du modèle de Leotti & Wager (2010), ce ralentissement pourrait être induit par la faible probabilité perçue de voir apparaître le stimulus

prioritaire particulièrement aux SOA les plus longs. En effet, cette probabilité perçue est à la fois influencée par la probabilité réelle ainsi que par le délai séparant potentiellement les deux stimuli. Par conséquent, les essais du groupe rare pour lesquels le SOA est le plus important représentent sans doute la condition expérimentale pour laquelle la probabilité subjective d'une apparition future de la tâche prioritaire est la plus faible.

Étude 5

Sommaire

Buts et prédictions **146**

Méthode **149**

Participants 149

Tâches 149

Dispositif expérimental 149

Procédure 149

Résultats **151**

Inhibition de la réponse non prioritaire 152

Tâche 1 non prioritaire 152

Tâche 2 prioritaire 155

Cas particulier de stratégies extrêmes 156

Pourcentage d'erreur 157

Discussion **157**

Buts et prédictions

Cette étude a pour but d'affiner les rôles et conséquences des différentes stratégies engendrées par les consignes expérimentales. En effet, au regard des Études 1, 2 et 3, il semblerait que certains comportements stratégiques extrêmes émergent lors de la réalisation d'un essai de changement de tâche.

Notamment, nos précédents résultats mettent en évidence un certain nombre de patterns de réponses conduisant à privilégier une réponse rapide à la Tâche 1 non prioritaire, probablement sous contrôle de facteurs bottom-up. Au contraire, une seconde gamme de patterns comportementaux semble conduire les participants à ralentir la vitesse de réponse en reportant le déclenchement de la réponse, vraisemblablement par un contrôle stratégique de type top-down.

Ces patterns observés en situations de changement de tâche sont par ailleurs en accord avec la plupart des résultats obtenus en utilisant le protocole de stop-task (Logan et al., 2014). Notamment, la plus ou moins grande fréquence d'apparition du stimulus prioritaire ou les facteurs motivationnels semblent inciter les participants à interrompre ou au contraire émettre la totalité des réponses motrices non prioritaires (Leotti & Wager, 2010).

Néanmoins, nos précédentes observations ne nous permettent pas d'établir en l'état la nature et les conséquences de ces stratégies à l'échelle du participant, en particulier en raison de l'absence de conditions expérimentales contrôles fixant lesdites stratégies.

Au regard de ce constat, nous avons réalisé une étude visant à comparer la performance réalisée en situation de changement de tâche la performance potentiellement observable lors de comportements extrêmes vis-à-vis du traitement de la Tâche 1 non prioritaire (absence de traitement vs traitement en double tâche). Ce faisant, nous serons en mesure d'identifier plus finement le poids des différents types de stratégies conduisant à privilégier une réponse aux dépends d'une autre ainsi que certains artefacts expérimentaux émergeant des paradigmes utilisés (e.g., systématisation des réponses à la Tâche 1 en PRP, report de la réponse en changement de tâche ou stop-task).

Pour ce faire, chaque participant a réalisé 360 essais expérimentaux randomisés parmi 180 essais de simple tâche où seul le stimulus de la Tâche 1 non prioritaire est

présenté et 180 essais de double tâche où le stimulus non prioritaire est suivi du stimulus prioritaire. Ces essais ont été divisés en trois types de blocs expérimentaux qui se distinguent en termes de consignes de traitement de la Tâche 1 non prioritaire en cas de présentation du stimulus prioritaire.

Le premier type de bloc nécessite un traitement exclusif du son prioritaire en ignorant la lettre non prioritaire (bloc de Consigne-Ignorer), un deuxième type de bloc requiert le traitement des deux stimuli sans possibilité d'interruption de la Tâche 1 non prioritaire (bloc de Consigne-Double), enfin le troisième bloc est réalisé en condition de changement de tâche classique (bloc de Consigne-Changement).

Somme toute, les conditions Consigne-Ignorer et Consigne-Double constituent deux conditions contrôle permettant la comparaison plus fine de la performance issue des blocs de Consigne-Changement. Notamment, la question des mécanisme cognitifs conduisant aux comportements extrêmes rencontrés lors des Études 1, 2, et 3 (e.g., absence ou réponses systématiques à la Tâche non prioritaire) seront analysés au regard de conditions expérimentales fixant un comportement équivalent (e.g., ignorer ou répondre obligatoirement au stimulus non prioritaire) sous-tendus par des processus identifiés.

En termes de prédictions, les caractéristiques du horse-race model (Logan & Cowan, 1984) nous permet de prédire un impact du facteur bloc sur les TR à la tâche non prioritaire en condition de simple tâche.

En cas de modulation d'origine stratégique, les TR observés au sein des blocs Consigne-Changement devraient être plus lents en comparaison avec toutes les autres conditions (Logan, 1994; Logan et al., 2014). Le cas échéant, une analyse qualitative de la distribution des TR lors des blocs de Consigne-Changement et Consigne-Double condition de simple tâche nous permettra de tester notre prédiction sur la nature stratégique de ce ralentissement. L'observation d'une une distribution plus étalée, voire bimodale dans les blocs de Consigne-Changement en comparaison avec les blocs de Consigne-Double serait en effet, une confirmation de cette hypothèse comme le suggèrent les travaux de Leotti et Wager (2010).

En cas d'effet causé par l'interruption de la réponse non prioritaire par un processus concurrent, nous devrions observer des TR plus rapides lors des blocs Consigne-Changement lors des essais de double tâche en comparaison avec les temps mesurés en condition de simple tâche (Logan, 1994). En effet, seuls les TR les plus

rapides échapperont aux processus d'interruption de la réponse non prioritaire dans cette condition expérimentale. Ce phénomène devrait induire un moyenne d'observation plus rapide dans cette condition que dans les autres conditions où la moyenne des TR comprend la totalité de la distribution des réponses motrices.

La fonction d'inhibition de la Tâche 1 non prioritaire dans les blocs de Consigne-Changement devrait être en congruence avec les résultats précédents. Ainsi, nous devrions observer une diminution de la capacité à interrompre la réponse non prioritaire avec l'augmentation du SOA. Par ailleurs, l'utilisation d'un couple de SOA extrêmes (e.g., 75 ms et 900 ms) devrait nous permettre de disposer de valeurs de fonction d'inhibition proches de 100% et 0%. Par ailleurs, les SOA intermédiaires (e.g., entre 300 et 600 ms) devraient également nous permettre de disposer de valeurs pour lesquelles les participants inhiberont environ 50% des réponses motrices non prioritaires.

Les performances lors d'essais de double tâche (où les deux stimuli seront présentés) devraient être largement impactés par la condition de bloc. Par ailleurs, les succès ou les échecs dans l'émission ou l'inhibition de la réponse dans les blocs de Consigne-Changement devraient conditionner la performance à la Tâche 2 prioritaire.

En condition de bloc de Consigne-Ignorer, les TR à la tâche prioritaire devraient être constants et indépendants du SOA conformément aux résultats de Logan et Burkell (1986) obtenus dans des conditions relativement proches. Ainsi, cette condition devrait constituer une condition contrôle permettant d'évaluer plus directement le poids des interférences potentiellement mesurées dans les autres blocs pour chaque participant.

En condition de bloc Consigne-Double et Consigne-Changement, le SOA devrait avoir un effet de ralentissement sur les TR moyen à la Tâche 2 prioritaire notamment en raison de la présence d'un goulet d'étranglement central (Pashler, 1984). Particulièrement, en condition de bloc Consigne-Double, les deux SOA extrêmes nous permettront de calculer l'effet PRP occasionné par le traitement de la Tâche 1 non prioritaire sur la Tâche 2 prioritaire.

En condition de Consigne-Changement les prédictions concernant l'impact de l'émission ou de l'inhibition de la réponse sont similaires à ceux de l'Étude 3.

Méthode

Participants

Vingt-deux adultes (M = 19.9 ans, SD = 4.7 ans ; amplitude = 18 – 26 ans ; 11 femmes) ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés et testés à l'Université de Franche-Comté (Besançon, France).

Tâches

Tâche visuelle non prioritaire

Le but est d'identifier une lettre parmi quatre lettres possibles (A, B, C, D), affichées en caractères Times New Roman au centre de l'écran. L'angle visuel occupé par les lettres est d'environ 1.49° vertical sur 1.04° horizontal pour un participant situé à 46 cm de l'écran. La lettre est présentée en noir sur un fond d'écran blanc.

Tâche auditive prioritaire

Le but est d'identifier si un son de 150 ms est aigu (1800 Hz) ou grave (400 Hz).

Dispositif expérimental

La présentation des stimuli et la collecte des réponses sont réalisées sur un ordinateur portable DELL E5500. L'expérience a été programmée avec E-Prime version 2.0.

Procédure

Les participants répondent au stimulus non prioritaire (la lettre A, B, C, ou D) avec l'auriculaire, l'annulaire, le majeur ou l'index de la main gauche (à l'exception du pouce), respectivement. Les participants répondent au stimulus prioritaire (le son aigu ou grave) en pressant l'une des deux touches (O, K) avec le majeur et l'index de la main droite, respectivement.

Au cours de l'expérience, les participants rencontrent deux types d'essais (e.g., simple tâche et double tâche) qui apparaissent de façon randomisée chacun avec une probabilité de .50. En condition de simple tâche, chaque essai commence avec la

présentation d'une croix de fixation noire pendant 500 ms au centre de l'écran. Suite à un écran blanc de 250 ms, le stimulus visuel non prioritaire apparaît et reste à l'écran durant 2,500 ms ou jusqu'à la réponse du participant. En condition d'essais de double tâche, le stimulus visuel non prioritaire est suivi du stimulus auditif prioritaire, avec un SOA variable entre les deux stimuli (75, 150, 300, 450, ou 900 ms).

Les participants réalisent deux fois trois types de blocs (e.g., Consigne-Ignorer, Consigne-Double et Consigne-Changement) auxquels correspondent trois consignes de traitement de la Tâche 1 non prioritaire.

Lors des blocs de Consigne-Double, la consigne est donnée aux participants de répondre à la lettre non prioritaire le plus vite possible et de répondre au son prioritaire le plus vite possible lorsque celui-ci apparaît.

Lors des blocs de Consigne-Ignorer, la consigne est donnée aux participants de répondre le plus vite possible au son prioritaire et d'ignorer la présentation de la lettre, y compris lorsqu'aucun son n'apparaît.

Lors des blocs de Consigne-Changement, il est demandé de répondre à la lettre et de répondre au son prioritaire le plus vite possible si celui-ci apparaît. Il est précisé qu'il est possible d'interrompre la réponse à la lettre si nécessaire.

À la fin de chaque bloc, un score est fourni aux participants indiquant la performance à la tâche prioritaire ainsi que la condition de bloc à venir et un rappel des consignes.

En condition de simple tâche, chaque essai commence avec la présentation d'une croix de fixation noire pendant 500 ms. Suite à un écran blanc d'une durée variable de 150, 200 ou 250 ms, le stimulus visuel non prioritaire apparaît. Lors des blocs de Consigne-Double et Consigne-Changement, le stimulus visuel reste à l'écran durant 2,500 ms ou jusqu'à la réponse du participant. Le feedback "trop lent" apparaît si aucune réponse n'est émise.

Les participants sont informés de l'exactitude de leur réponse avec le feedback "correct lettre" ou "erreur lettre" qui s'affiche après chaque essai durant 500 ms. En condition Ignore, le stimulus visuel reste affiché à l'écran durant une durée variable (e.g., 1,000, 1500, et 2,000 ms) à l'issue de laquelle le stimulus disparaît. Les participants sont informés de leur réussite dans la non prise en compte de la lettre avec le feedback "correct lettre" "ou erreur lettre" qui s'affiche après chaque essai durant 500 ms.

En condition de double tâche un délai de 2,500 ms est autorisé pour répondre. Le feedback “trop lent son” apparaît si aucune réponse au son n’est émise. Les participants sont également informés de leur réussite dans l’interruption de la réponse au stimulus non prioritaire avec le feedback “correct son” et “erreur son”.

Avant de démarrer l’expérience, les participants ont complété un didacticiel décrivant l’ensemble des consignes et permettant de réaliser plusieurs dizaines d’essais de familiarisation dans chaque condition. Ensuite, ils ont effectué 180 essais expérimentaux de double tâche randomisés avec 180 essais de simple tâche. L’ensemble des essais étaient répartis en 6 blocs de 60 essais correspondant à la réalisation de deux blocs de 60 essais dans chacune des trois conditions de blocs. L’alternance des conditions de blocs a été réalisée suivant la séquence (D-I-C-C-I-D). La durée de l’expérience était de 30 minutes.

Résultats

Les TR inférieurs à 150 ms et supérieurs à 2,000 ms ont été exclus des analyses (soit moins de 0.1% des essais).

Les essais pour lesquels les participants ont répondu incorrectement au stimulus non prioritaire en condition d’essais de simple tâche ou au stimulus prioritaire en condition d’essais de double tâche ont été exclus des analyses de TR.

Lors des blocs de Consigne-Double, les erreurs de réponse à la lettre constituent respectivement 2% des données en essais de simple tâche, 2% des données essais en double tâche, et les erreurs de réponse au son constituent 7% des données.

Lors des blocs de Consigne-Ignorer, les réponses à la lettre représentent moins de 1% des données en essais de simple tâche, et les erreurs de réponse au son représentent 3% des données.

Lors des blocs de Consigne-Changement, les erreurs de réponse à la lettre constituent respectivement 2% des données en essais de simple tâche, 2% des essais à la lettre en essais de double tâche et les erreurs de réponse au son représentent 4% des données.

Il est à noter que 1.6% des réponses à la lettre ont été omises en condition de simple tâche. Ces essais représentent 3.2% des données en condition de simple tâche et 7.6% en condition de double tâche pour le groupe rare, et 5.2% des données en condition de simple tâche et 6.5% en condition de double tâche pour le groupe

fréquent.

Inhibition de la réponse non prioritaire

La Figure 3.19 illustre les pourcentages d'inhibition à la lettre non prioritaire en fonction des SOA.

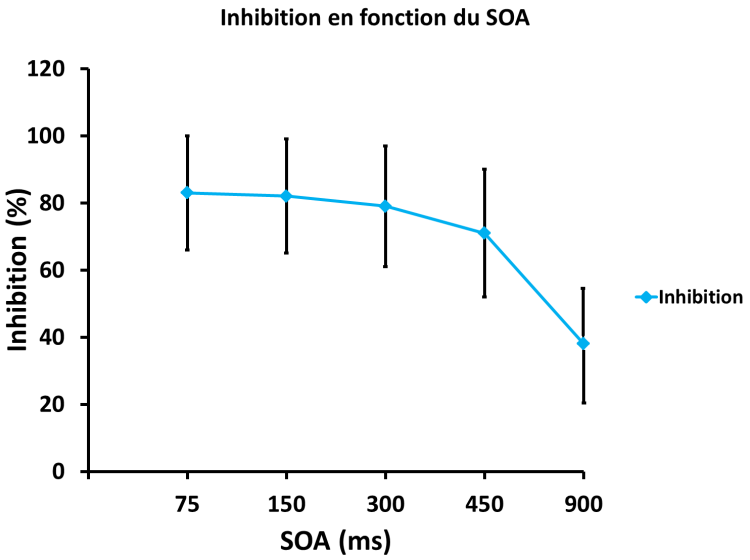

FIGURE 3.19 – Pourcentages d'inhibition de la réponse à la tâche non prioritaire en fonction du SOA lors des blocs de changement de tâche.

Une ANOVA conduite sur les pourcentages d'inhibition avec le SOA comme facteur intragroupe indique une diminution de la capacité d'inhibition du SOA le plus court ($M = 83\%$; $SD = 34\%$) au SOA le plus long ($M = 37\%$; $SD = 38\%$) $F(4, 84) = 25{,}20$, $p < .001$ η^2 *partiel* $= .54$. Un test post hoc de Bonferroni indique une différence localisée sur le dernier SOA. Il est à noter que 4 participants ont inhibé entre 90% et 100% des réponses à la lettre quel que soit le SOA et inversement, 3 participants ont émis 100% des réponses à la lettre quel que soit le SOA.

Tâche 1 non prioritaire

Analyse quantitative

La Figure 3.20 illustre les temps de réactions moyens à la Tâche 1 non prioritaire lors d'essais de simple tâche et de double tâche lorsque la réponse est émise.

Nous avons conduit une ANOVA sur les TR moyens à la lettre non prioritaire avec le type d'essai(e.g., simple tâche vs double tâche) et consigne de bloc

(Consigne-Double vs Consigne-Changement) comme facteurs intragroupes.

Le TR à la tâche non prioritaire est équivalent lors des essais de simple tâche, où seule la lettre est présentée (M = 751 ms, SD = 229 ms) et d'essais de double tâche où la lettre est suivie du son (M = 709 ms, SD = 150 ms), $F(1, 18) = 1.05$. Le TR à la tâche non prioritaire est plus rapide dans les blocs de Consigne-Double (M = 650 ms, SD = 113 ms) que dans les blocs de Consigne-Changement (M = 818 ms, SD = 226 ms), $F(1, 18) = 21.28$, $p < .001$ η^2 partiel = .54.

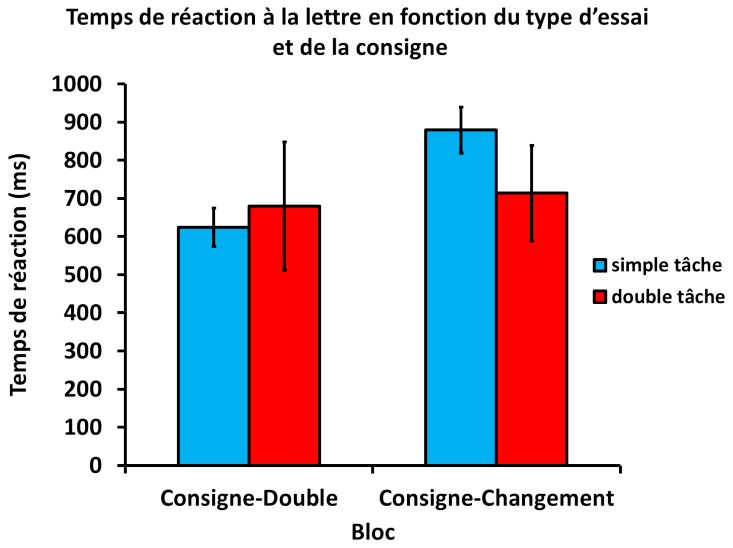

FIGURE 3.20 – Temps de réaction à la Tâche 1 non prioritaire. La partie gauche de l'histogramme illustre les mesures effectuées au sein des blocs Consigne-Double (e.g., avec la consigne de répondre aux deux stimuli). La partie droite de l'histogramme illustre les mesures effectuées au sein des blocs de Consigne-Changement (e.g., avec la possibilité d'interrompre la réponse à la Tâche 1 non prioritaire). Les colonnes en bleu matérialisent les mesures effectuées en condition d'essais de simple tâche (e.g., seule la lettre est présentée), les colonnes en rouge matérialisent les mesures effectuées en condition de d'essais de double tâche (e.g., où les deux stimuli sont présentés

Un effet d'interaction indique que la condition de simple tâche engendre un ralentissement plus important dans les blocs de Consigne-Changement par rapport aux blocs de Consigne-Double $F(1, 18) = 11{,}06$, $p < .01$, η^2 *partiel* = .38. En effet, lors des blocs de Consigne-Changement les TR enregistrés en condition de simple tâche (M = 879 ms, SD = 336 ms) sont ralentis de 199 ms par rapport aux TR mesurés lors essais de double tâche (M = 714 ms, SD = 310 ms).

Comparativement, lors des blocs de Consigne-Double, les TR à la lettre en condition d'essais de simple tâche (M = 624 ms, SD = 203 ms) sont plus rapides de 56 ms par rapport à la condition d'essais de double tâche (M = 680 ms, SD = 247 ms).

Analyse qualitative

Afin d'identifier les stratégies mises en place par les participants, nous avons réalisé une analyse qualitative de la distribution des TR en simple tâche mesurés en condition de blocs Consigne-Double et de Consigne-Changement.La Figure 3.21 illustre ces deux distributions.

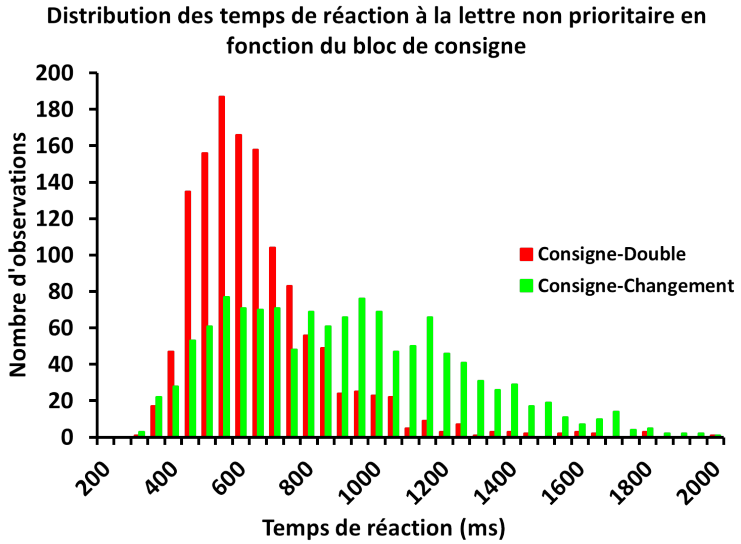

FIGURE 3.21 – Distribution des TR à la lettre non prioritaire en condition d'essais de simple tâche en fonction de la condition de blocs. Les barres en rouge matérialisent les mesures effectuées lors des blocs de Consigne-Double où l'instruction est donnée de répondre aux deux stimuli. Les barres en vert matérialisent les mesures effectuées lors des blocs de Consigne-Changement où la possibilité est donnée d'interrompre la réponse à la lettre pour donner la priorité au son.

L'observation qualitative des TR à la lettre non prioritaire montre une distribution beaucoup plus étalée en condition de Consigne-Changement expliquant l'importance des écarts-type observés dans cette condition. De plus, cette distribution semble comporter deux modes. Le premier, constituant un pattern de réponses rapides correspond au mode de distribution des TR en condition de bloc Consigne-Double et aux alentours de 600 ms. Le second, constituant un pattern de réponses plus lent dont le mode est situé aux alentours de 900 ms [14].

14. Voir Annexe II pour une analyse qualitative complémentaire

Tâche 2 prioritaire

Analyse quantitative

Nous avons dans un premier temps réalisé une ANOVA sur les TR moyens au son prioritaire avec le facteur SOA et le facteur bloc en conditions intragroupe.

Les résultats montrent une diminution moyenne du TR au son prioritaire du SOA le plus court (M = 781 ms, SD = 196 ms) au SOA le plus long (M = 661 ms, SD = 132 ms) $F(4, 100) = 52{,}64$, $p < 0.001$; η^2 *partiel* = .68. Un test post-hoc de Bonferroni indique que les TR mesurés aux deux SOA les plus courts sont différents de tous les autres.

Les résultats montrent également une différence significative du TR au son prioritaire entre les blocs de Consigne-Ignorer (M = 575 ms, SD = 194 ms), de Consigne-Double (M = 791 ms, SD = 288 ms) et Consigne-Changement (M = 729 ms, SD = 249 ms), $F(2, 50) = 81{,}50$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .76. Un test post-hoc de Bonferroni indique que les trois blocs sont différents les uns par rapport aux autres.

Un effet d'interaction indique que TR au son prioritaire semble davantage ralenti lors des blocs de Consigne-Double et de Consigne-Changement que dans les blocs de Consigne-Ignorer, $F(8, 200) = 23{,}75$, $p < 0.001$, η^2 *partiel* = .49.

Analyse qualitative

La Figure 3.22 illustre les TR à la tâche prioritaire en fonction du SOA pour les consignes de bloc. Nous avons réalisé pour chaque consigne de bloc, une ANOVA à mesure répétée sur les TR au son prioritaire le SOA comme facteur intragroupe.

Dans les blocs de Consigne-Ignorer, le SOA reste constant du SOA le plus court (M = 573 ms, SD = 104) au SOA le plus long (M = 579 ms, SD = 114), $F(4, 84)$= 1.16.

Dans les blocs de condition Consigne-Double, le TR au son prioritaire est nettement ralenti par la réponse à la lettre non prioritaire aux SOA courts (M = 936 ms, SD = 150 ms) par rapport au SOA long (M = 674 ms, SD = 116 ms) soit un effet PRP de 262 ms $F(4, 84) = 50{,}96$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .70. Un test post hoc de Bonferroni indique que toutes les conditions de SOA sont différentes entre elles excepté pour les deux SOA extrêmes adjacents l'un par rapport à l'autre.

Dans les blocs de condition Consigne-Changement, le TR au son prioritaire est

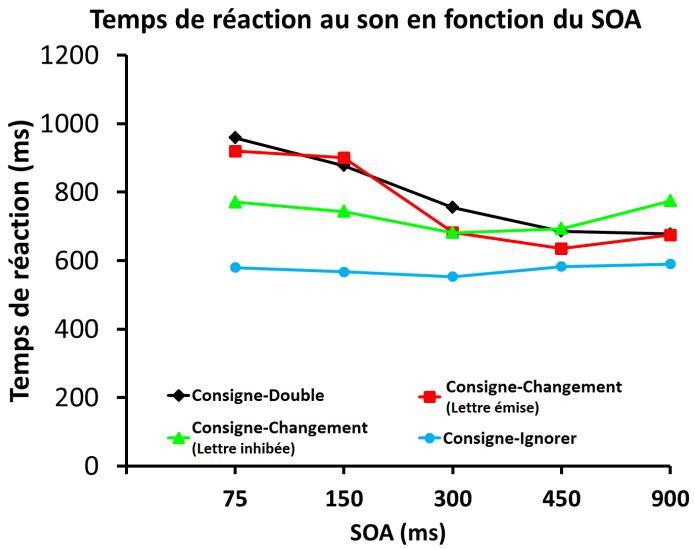

FIGURE 3.22 – Temps de réaction au son en fonction du SOA et des blocs expérimentaux.

ralenti par la présence du stimulus lettre non prioritaire du SOA le plus courts (M = 792 ms, SD = 259 ms) au SOA le plus long (M = 712 ms, SD = 233 ms) avec un ralentissement maximal de 118 ms par rapport au deuxième SOA le plus long (M = 674 ms, SD = 222 ms). $F(4, 84) = 12{,}56$, $p < .001$; η^2 *partiel*= .37. Un test post hoc de Bonferroni indique que le TR au son est plus élevé au SOA le plus court par rapport aux trois SOA les plus longs.

Cas particulier de stratégies extrêmes

En raison des deux populations comportant les deux stratégies opposées nous avons réalisé une ANOVA sur les TR au son prioritaire pour 4 participants ayant inhibé entre 90% (1 participant) et 100% (3 participants) des réponses à la lettre non prioritaire quels que soient les SOA ainsi que les participants ayant émis 100% des réponses à la lettre non prioritaire (3 participants). En effet, ces comportements constituent un indicateur de la mise en place de stratégies sous contrôle top-down (Logan, 1982; Logan & Cowan, 1984; Schachar & Logan, 1990) [15].

Pour le groupe ayant inhibé 100% des réponses à la lettre non prioritaire, les résultats montrent un ralentissement allant jusqu'à 139 ms du deuxième SOA le plus long (M = 679 ms, SD = 116 ms) au SOA le plus court (M = 817 ms, SD = 196), $F(4, 12) = 4{,}48$, $p < .05$, η^2 *partiel* = .50. Il est à noter que le TR mesuré au SOA le

15. Il est à noter que ces patterns de réponse, notamment concernant les participants ayant émis la totalité des réponses à la lettre prioritaire peuvent également être associés à un déficit des fonctions inhibitrices (Logan, 1982; Schachar & Logan, 1990).

plus long est identique à celui mesuré pour le SOA le plus court (M = 819 ms, SD = 293 ms). Le test post hoc de Bonferroni ne nous indique pas de différences respectives.

Pour le groupe ayant émis 100% des réponses à la lettre non prioritaire, le TR au son prioritaire diminue du SOA le plus court (M = 853 ms, SD = 221 ms) au SOA le plus long (M = 649 ms, SD = 132 ms) $F(4, 8) = 7{,}18$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .78. Le test post-hoc de Bonferroni n'indique pas de différences respectives.

Il est à noter qu'aucune différence significative n'est observable concernant les TR à la tâche prioritaire entre les participants inhibant ou émettant la totalité des réponses motrices non prioritaires au SOA le plus court $t(5) = .64$, $p = .55$.

Pourcentage d'erreur

En condition d'essai de simple tâche, les pourcentages d'erreur à la lettre sont plus élevés en condition de blocs Consigne-Changement (M = 3.4% ; SD = 3.1%) qu'en condition de blocs Consigne-Double (M = 1.7% ; SD = 1.6%) t(42) = 2.21, $p < .05$.

Nous avons réalisé une ANOVA sur les pourcentages d'erreur en condition d'essais de double tâche, avec le facteur type de bloc en condition intragroupe. Le facteur bloc génère des différences de pourcentages d'erreurs au son prioritaire $F(2, 42) = 8{,}06$, $p < .001$, η^2 *partiel* = .27. Un test post hoc de Bonferroni indique que le pourcentage d'erreurs commises lors des blocs de Consigne-Ignorer (M = 3.1% ; SD = 3.5%) est moins important que les pourcentages d'erreurs mesurés lors des blocs Consigne-Double (M = 6.6% ; SD = 4.0%) et de Consigne-Changement (M = 6.1% ; SD = 4.5%).

Discussion

Le but de cette étude était d'affiner le rôle et les conséquences des différentes stratégies susceptibles d'être mobilisées afin de traiter une tâche en priorité. Cette dernière expérimentation avait notamment pour but d'identifier le poids des contraintes relatives au traitement cognitif de la Tâche 1 non prioritaire sur l'exécution d'une Tâche 2 prioritaire.

Pour ce faire, vingt-deux adultes ont effectués 360 essais expérimentaux randomisés parmi 180 essais de simple tâche (i.e., où seul le stimulus non prioritaire est présenté) et de double tâche (e.g., où le stimulus non prioritaire est suivi par le stimulus prioritaire séparé par 5 SOA).

Afin de manipuler la nature du processus de traitement du stimulus non prioritaire, chaque participant a réalisé de façon séquentielle 3 types de blocs expérimentaux différents. Deux blocs correspondent à une non prise en compte du stimulus non prioritaire (e.g., blocs de Consigne-Ignorer), une réponse systématique au stimulus prioritaire (e.g., blocs Consigne-Double) et constituent deux conditions contrôle pour lesquelles l'engagement cognitif est respectivement minimal ou systématique. Ces conditions contrôle avaient pour objectif de permettre la comparaison des temps de réactions lors des blocs Consigne-Changement pour lesquels la principale consigne donnée était de donner la priorité maximale au traitement du stimulus prioritaire.

La stabilité des TR à la tâche prioritaire lors des blocs de Consigne-Ignorer à travers les SOA confirmer la possibilité de protéger un processus prioritaire par un mécanisme de blocage des ressources attentionnelles empêchant le traitement d'un stimulus non prioritaire. Inversement, l'effet PRP de plus de 260 ms mesuré en condition de Consigne-Double corrobore la présence d'un goulet d'étranglement reportant de façon substantielle le traitement attentionnel d'un stimulus prioritaire en cas de réponse à un stimulus prioritaire particulièrement si les deux stimuli sont proches (Welford, 1952; Pashler, 1984). Un pattern similaire de réponses avait notamment été observé dans des conditions relativement équivalentes (Logan & Burkell, 1986).

En situation de Consigne-Changement, les TR mesurés semblent confirmer la présence d'un coût attentionnel ralentissant le traitement de la Tâche 2 prioritaire. En effet, les temps de réaction moyen lors des blocs de Consigne-Changement indiquent un ralentissement substantiel de 84 ms entre le SOA long et le SOA court. Par ailleurs, nous observons que ce ralentissement est similaire à celui mesuré en condition de Consigne-Double lorsque la réponse non prioritaire est émise (e ;g., 281 ms lors des blocs de Consigne-Double et 245 ms lors des blocs de Consigne-Changement lorsque la réponse non prioritaire est émise).

Il est à noter que les pourcentages d'interruption de la tâche non prioritaire sont relativement élevés et stables aux SOA courts et intermédiaires. Cette caractéristique de la fonction d'inhibition serait caractéristique de la mise en place de stratégies d'attente visant à augmenter les chances d'interrompre la réponse non prioritaire en cas d'apparition du stimulus prioritaire (Logan, 1982, 1994). Ces résultats sont

vraisemblablement à mettre en perspective avec la notion de probabilité perçue de voir le stimulus prioritaire apparaître (Leotti & Wager, 2010) qui pourrait conduire les participant à retarder leur réponse non prioritaire (voir également Logan et al., 2014).

Cette hypothèse est par ailleurs confirmée par l'observation de la distribution des TR lors des blocs de Consigne-Changement en condition de simple tâche. En effet, la présence d'un deuxième mode de réponses à la tâche non prioritaire pourrait correspondre à la mise en place d'un pattern de réponses motrices pour lesquelles les participants se sont basés sur une probabilité subjective élevée de voir apparaître un stimulus prioritaire. De prochaines études intégrant des données phénoménologiques pourraient permettre d'identifier la nature des processus stratégiques top-down employés ainsi que sur la probabilité subjective d'apparition d'un stimulus prioritaire, comme cela a déjà été fait dans le domaine de la PRP (voir Marti et al., 2010). Notamment, la question d'une éventuelle identification subjective du mécanisme de report de la réponse non prioritaire par les participants pourrait constituer un élément d'analyse complémentaire.

Nos résultats semblent également mettre un lumière un ralentissement du TR à la Tâche 2 prioritaire aux SOA les plus longs qui, bien que non significatif, entraîne un ralentissement de 38 ms entre le SOA 450 ms (M = 674 ms, SD = 125 ms) et le SOA 900 ms (M = 712 ms, SD = 140 ms). Cette observation est par ailleurs davantage marquée lorsque la réponse non prioritaire est inhibée. En effet, les TR observés aux SOA courts (M = 771 ms, SD = 222 ms) et longs (M = 775 ms, SD = 250 ms) sont extrêmement proches et ralentis par rapport au SOA 300 ms (M = 682 ms, SD = 190 ms).

Ce ralentissement semble incompatible avec la possibilité d'un contrôle de la Tâche 2 de type bottom-up, auquel cas les TR les plus rapides seraient localisés au SOA le plus long en l'absence d'interférence avec la Tâche 1. En revanche, cette observation pourrait témoigner d'une probabilité subjective d'apparition du stimulus prioritaire réduite aux SOA les plus longs, en continuité avec la théorie de Leotti & Wager (2010) ou bien d'un manque de préparation à la Tâche 2 prioritaire (De Jong, 1995). De futurs travaux de recherche utilisant des SOA longs avec ou sans omission de stimulus non prioritaire (e.g., essais où seul le stimulus prioritaire est présenté) permettraient de tester ces hypothèses.

Enfin, malgré la tendance globale des participants à augmenter la proportion de

réponses interrompues pour traiter la Tâche 2 en priorité, 3 participants semblent avoir conservé une stratégie de réponse rapide à la Tâche 1 non prioritaire. Cette alternative stratégique confirme la pluralité des processus top-down potentiellement mis en place lors du traitement prioritaire d'une tâche. En revanche, l'absence de différence des TR observés en comparaison avec les valeurs enregistrées pour le groupe ayant inhibé la totalité des réponses motrices non prioritaires ne permet pas de quantifier les éventuels bénéfices inhérents à une stratégie au regard de l'autre.

Discussion Générale

■ *Dans la science, les convictions n'ont pas droit de cité, voilà ce que l'on dit à juste titre : ce n'est que lorsqu'elles se décident à s'abaisser modestement au niveau d'une hypothèse, à adopter le point de vue provisoire d'un essai expérimental, que l'on peut leur accorder l'accès.* ■

Nietzsche (1882)

L'objectif de cette thèse de doctorat était d'étudier les limites cognitives à l'interruption d'un traitement non prioritaire en cours d'exécution en vue de privilégier une tâche prioritaire dont le stimulus est susceptible d'apparaître. Cet objectif s'inscrit dans un contexte où les possibilités d'interactions avec des environnements physiques et virtuels sont en expansion considérable notamment grâce au développement d'outils de communication et de navigation de plus en plus perfectionnés (Appelbaum et al., 2008).

Cette problématique s'est principalement articulée en trois grandes questions. La première portait sur la capacité à interrompre une tâche non prioritaire en vue d'allouer le maximum de ressources attentionnelles au traitement d'un stimulus prioritaire. La deuxième question interrogeait le rôle de la fréquence d'apparition d'un évènement prioritaire sur cette capacité d'interruption ainsi que sur le traitement attentionnel des deux tâches. Enfin, notre troisième axe de questionnement portait sur l'impact du succès ou de l'échec de l'interruption d'un traitement non prioritaire sur le traitement d'un stimulus prioritaire.

Afin de répondre à ces questions, nous avons mis en place cinq études expérimentales regroupées sous trois volets expérimentaux pour lesquels la possibilité d'abandonner un traitement non prioritaire, afin de privilégier un traitement prioritaire, a systématiquement été donnée aux participants. À cette fin, nous avons utilisé de façon transversale le paradigme de *changement de tâche* (Logan, 1981; Logan & Burkell, 1986).

Lors du premier volet expérimental (Étude 1 et 2), nous avons mis en place en laboratoire les conditions d'observation des phénomènes d'interruption d'une tâche non prioritaire au profit d'une tâche prioritaire dans une configuration temporelle relativement proche de celle rencontrée en situation écologique. Pour ce faire, nous avons répliqué lors de l'Étude 1 une étude précédemment effectuée en simulateur automobile (Levy & Pashler, 2008) qui présente notamment la particularité de maintenir un niveau d'incertitude important quant à l'ordre d'apparition des stimuli ainsi qu'au type d'essai à venir (e.g., simple ou double tâche). Suite à cette réplication, l'Étude 2 de ce premier volet nous a permis de quantifier le poids de l'incertitude d'une situation (e.g., ordre d'apparition des évènements à venir) sur le traitement d'une tâche.

La deuxième partie expérimentale (Étude 3 et 4) avait pour objectif d'observer

l'impact de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire en situation de changement de tâche. Dans cette optique, nous avons systématisé l'ordre d'apparition des stimuli prioritaire et non prioritaire dans une configuration expérimentale relativement proche des paradigmes de stop-task et de PRP. Nous avons également manipulé la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire en conservant une quantité d'essais de changement de tâche équivalent à travers les études. Ce faisant, il nous a été possible de confronter nos résultats, principalement au regard des apports constitués par les modèles du horse-race model (Logan & Cowan, 1984; Logan et al., 1984) ainsi que du goulet d'étranglement central (Welford, 1952; Pashler, 1984).

Dans un second temps, l'Étude 4 a eu pour but d'identifier plus clairement les conséquences de l'interruption du traitement non prioritaire sur la tâche prioritaire en fonction du décalage temporel entre leurs stimuli respectifs. L'objectif était en outre de surmonter une des limites de l'Étude 3 pour laquelle la séparation des observations de la Tâche prioritaire était déterminée a posteriori par le comportement inhibiteur à la Tâche non prioritaire. À cette fin, nous avons effectué une extension de l'Étude 3 en réduisant les alternatives stratégiques lors de l'interruption de la tâche non prioritaire. Le contrôle de l'émission et l'inhibition de la tâche non prioritaire a notamment été réalisé au moyen d'une tâche de type *go/no-go* possédant notamment des caractéristiques similaires à celles mobilisées en condition de changement de tâche en termes de processus inhibiteurs sollicités (Nigg, 2000; Logan et al., 2014).

Enfin, la dernière partie expérimentale (Étude 5) nous a permis d'affiner les rôles et conséquences des différentes stratégies potentiellement induites par les consignes expérimentales. Dans cette optique, nous avons effectué une passation au cours de laquelle nous avons comparé, pour chaque participant, les effets de trois consignes différentes sur l'exécution d'une prioritaire en conservant un ordre d'apparition des stimuli identique. La manipulation de ces consignes expérimentales a permis de disposer de deux conditions stratégiques contrôle (e.g., ignorer et répondre impérativement à la tâche non prioritaire) permettant de confronter les résultats obtenus en situation de changement de tâche.

Sur la capacité à interrompre une réponse non prioritaire

De façon transversale, l'ensemble des résultats obtenus convergent vers un impact du décalage temporel entre le stimulus non prioritaire et prioritaire sur l'interruption

de la réponse non prioritaire. En d'autres termes, il semblerait que plus le stimulus prioritaire apparaisse tard, plus les possibilités d'interruptions de la réponse non prioritaire soient réduites. De tels résultats ont été observés dans la littérature sur le stop-task (voir Logan, 2015, pour une revue) et dans une moindre proportion dans le domaine du changement de tâche (Boecker et al., 2012). Néanmoins, ces observations n'avaient encore jamais été confrontés à la problématique de la hiérarchisation prioritaire entre les tâches hormis une étude à notre connaissance (Levy & Pashler, 2008).

Les patterns de réponse observés semblent donc congruents avec la théorie d'une inhibition dont l'issue est déterminée par une course aux ressources centrales entre deux processus indépendants. Le premier processus conduit la réponse non prioritaire et le processus concurrent, conduit l'inhibition de la réponse non prioritaire (e.g., Verbruggen & Logan, 2009a) ou la réponse à la tâche motrice prioritaire (Levy & Pashler, 2008). Une première limite à nos travaux concerne ainsi la proximité des prédictions comportementales des deux théories, ce qui ne permet pas de trancher entre les deux modèles au regard de nos résultats.

En revanche, selon nos résultats, la nature prioritaire d'une tâche motrice ne semble pas constituer une condition nécessaire et suffisante permettant d'interrompre à tout moment l'exécution d'une tâche non prioritaire. Notamment, les inférences effectuées lors de l'Étude 3, semblent confirmer la présence d'un *point de non retour* (Bartlett, 1958; Osman et al., 1986; Logan, 2015), situé environ 200 ms avant l'initiation d'une réponse, au-delà duquel une réponse ne semble plus révocable.

Néanmoins, la notion d'indépendance stochastique entre les processus concurrents constitue, cependant, la principale limite aux prédictions déterministes qui permettraient d'anticiper l'issue de l'inhibition d'un traitement non prioritaire à l'échelle de l'essai. En effet, cette dépend principalement du moment de complétion respectif de deux processus indépendants. Or, le moment de complétion respectif des deux processus, obéissant chacun à la loi normale, n'est observable qu'à postériori bien que la tendance comportementale globale puisse être déterminée au regard des résultats généralement observés. Dans une perspective ergonomique, la mise en place de protocoles ou d'outils permettant d'identifier les indices neuro-musculaires précédant chaque réponse permettrait d'enrichir la portée de nos travaux.

Nos résultats mettent en avant une forme de modulation du comportement

inhibiteur permettant d'étendre son fonctionnement au-delà de l'effet d'une simple course aux ressources centrales. Notamment, les résultats de l'étude 5 révèlent la possibilité des participants de mettre en place des mécanismes sous contrôle top-down en vue de maximiser les opportunités d'interrompre une réponse non prioritaire. Cette stratégie est principalement mise en lumière par une conservation importante de la capacité à interrompre la réponse non prioritaire à travers les SOA. Il existerait donc des facteurs situés en amont de la sélection de la réponse permettant de contourner les effets du délais séparant les stimuli prioritaires et non prioritaires.

Bien que pressentie dès les premiers instants de conception du horse-race model (Logan & Cowan, 1984; Logan et al., 1984), l'intégration des facteurs top-down aux modèles décrivant le comportement inhibiteur reste à l'heure actuelle en cours de construction et en attente de validation expérimentale (Leotti & Wager, 2010; Logan et al., 2014). Cette difficulté a vraisemblablement pour origine la nécessité d'isoler précisément les processus top-down impliqués dans cette modulation, ainsi que dans la détermination des informations prises en comptes par ces processus en vue de moduler le comportement inhibiteur.

D'un point de vue empirique, certaines variables indépendantes semblent pourtant impacter la capacité à interrompre un traitement non prioritaire. Certaines études identifient notamment des déterminants de la performance tels que les facteurs motivationnels (Leotti & Wager, 2010), mais également exogènes comme la fréquence d'apparition du stimulus commandant l'inhibition d'une réponse en cours (Logan et al., 2014). Cette dernière variable a constitué le point de départ de notre deuxième axe problématique.

Sur l'impact de la fréquence d'apparition d'un évènement prioritaire

Parmi les variables modulant le comportement inhibiteur, la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire est à ce jour un paramètre relativement peu manipulé. À ce propos, la revue de littérature menée rend compte d'une probabilité d'apparition du stimulus stop arbitrairement située entre .2 et .3 (Band et al., 2003; Logan, 1994). A fortiori, le nombre d'études manipulant ce paramètre en condition de changement de tâche est d'autant plus réduit.

Or, l'ensemble des études manipulant ce paramètre mettent en exergue une influence empirique non négligeable sur le comportement en situation de stop-task (Logan et al., 2014). Ces influences, observées en situation de stop-task, ont été répliquées en situation de changement de tâche particulièrement lors du deuxième volet expérimental.

En l'occurrence, nos résultats mettent en avant la possibilité d'augmenter la probabilité d'interruption d'un traitement non prioritaire au profit d'un traitement prioritaire conditionnée par l'augmentation de la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire. Notamment, les pourcentages d'inhibition enregistrés augmentent jusqu'à 40% lorsque le stimulus prioritaire apparaît fréquemment (e.g., 80% des essais) par rapport aux pourcentages observés lorsque le stimulus prioritaire apparaît rarement (e.g., 20%).

Cette augmentation semble également accompagnée d'une modification des patterns de réponse à la tâche non prioritaire. Particulièrement, les temps de réaction à la tâche non prioritaire semblent largement ralentis (e.g., jusqu'à 200 ms) lorsque le stimulus prioritaire apparaît fréquemment comme cela est observé en situation de stop-task. Cette observation pourrait constituer un indicateur supplémentaire mettant en lumière la modulation du comportement par des facteurs top-down en situation de changement de tâche.

Il est à noter que l'intégration des modèles de diffusion d'information (Ratcliff, 1985, 1988; Ratcliff & Smith, 2004) a permis de fournir un certain nombre d'hypothèses explicatives à ces observations. En outre, l'augmentation du seuil de déclenchement de la réponse non prioritaire permettrait de disposer d'une fenêtre temporelle d'interruption de la réponse plus importante comme cela avait été démontré dans le cadre du stop-task (Logan et al., 2014).

Cette interprétation est par ailleurs confirmée par des analyses qualitatives complémentaires qui mettent en évidence une relation de co-variation entre les temps de réactions des participants et leurs pourcentages d'inhibition allant jusqu'à $R^2 = .69$ [16]. En particulier, le ralentissement de la réponse à la Tâche 1 non prioritaire est accompagné d'une augmentation de l'inhibition dans une proportion substantielle dans les Études 3 et 5. Par conséquent, l'allongement stratégique du déclenchement de la réponse non prioritaire est très certainement un des comportements qui

16. Voir Annexe II

permettrait de maximiser les chances d'interruption du traitement non prioritaire en vue d'accorder toute la priorité à la tâche prioritaire.

L'enjeu des futures recherches dans ce domaine sera, entre autres, d'identifier précisément la nature des processus top-down à l'origine de cette modulation, ainsi que la nature des informations utilisées en vue d'influencer le comportement. Dans une perspective intégrant les modèles de diffusion d'information, Leotti et Wager (2010) isolent notamment l'évolution de la probabilité subjective d'apparition du stimulus stop telle qu'elle est perçue par les participants. Par extension, la présence de certains facteurs motivationnels permettrait d'interpréter la propension de certains participants à privilégier une réponse rapide ou au contraire un nombre de succès élevés dans l'interruption d'une réponse.

Ces facteurs motivationnels permettraient très probablement d'interpréter les comportements extrêmes rencontrées lors de l'Étude 5, au sein de laquelle certains participants ont inhibé, ou, au contraire, émis la quasi-totalité des réponses non prioritaires en vue d'accorder toute la priorité au traitement prioritaire. À terme, l'impact de la consigne et également des biais cognitifs susceptibles d'altérer la compréhension des consignes, devrait également constituer un axe de recherche dans le domaine.

D'un point de vue appliqué, l'étude de l'impact de la fréquence d'apparition d'un stimulus prioritaire pourrait également permettre d'optimiser certains facteurs de performances. Nous pourrions notamment évoquer ces facteurs dans le contexte de situations potentiellement à risques, comme la conduite automobile, ou liés à des enjeux économiques et sociaux importants, comme l'efficacité de la prise de décision en sport de haut niveau.

Sur les conséquences du succès ou de l'échec de l'interruption motrice sur le traitement d'un stimulus prioritaire

Lorsque la réponse non prioritaire est émise, le premier volet expérimental exploratoire a confirmé le rôle crucial de l'ordre d'apparition d'une réponse sur son ralentissement, et ce, indépendamment du niveau de priorité initialement fixé entre deux tâches. En accord avec la théorie d'un goulet d'étranglement cognitif structural (Pashler, 1994), le TR de la réponse émise en second peut alors être ralenti jusqu'à

plus de 400 ms par rapport à l'émission de la même réponse en premier.

De plus, ce ralentissement observé sur les réponses émises en deuxième, semble opérer indépendamment du niveau de priorité en raison du pattern de réponses similaires observé pour la réponse non prioritaire. L'ordre d'apparition des réponse apparaît donc un facteur déterminant de la performance lors du traitement d'un stimulus notamment en situation de forte pression temporelle (i.e., SOA court). Cet apport confirme ainsi une limite fondamentale de l'architecture cognitive humaine à traiter plusieurs informations simultanément (voir Maquestiaux, 2012, pour une revue en français).

Dans une perspective écologique, le développement de travaux de recherche visant à déterminer les conditions dans lesquelles cette limite peut être contournée (voir Halvorson et al., 2013; Ruthruff et al., 2009; Maquestiaux et al., 2013) constitue toujours un axe d'étude particulièrement heuristique notamment au regard d'activités pour lesquelles l'interruption de réponses motrices non prioritaires est difficile.

En revanche, les résultats du premier volet expérimental semble indiquer une relative "protection" d'interférence sur la tâche prioritaire lorsque la tâche non prioritaire est interrompue. Les résultats mettent notamment en valeur des TR au freinage relativement stables lorsque la réponse non prioritaire est stoppée, quels que soient les SOA, et avec des résultats très proches de ceux observés lorsque la réponse est émise en premier ou en condition de simple tâche (e.g., aux alentours de 500 ms).

Afin de confirmer ces observations et déterminer les conditions dans lesquelles cette inhibition est possible, nous avons mis en place un deuxième volet d'étude pour lequel nous avons manipulé plus précisément le décalage temporel entre le stimulus non prioritaire et prioritaire ainsi que la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire.

Les résultats de ce volet expérimental affichent un pattern ambivalent. En effet, les observations de l'Étude 3 indiquent un effet moyen du SOA sur le TR à la Tâche 2 prioritaire conformément aux prédictions du goulet d'étranglement central (Pashler, 1984). En revanche, et paradoxalement, aucun ralentissement significatif imputable à l'émission de la réponse n'est mesuré. Une hypothèse explicative pourrait émerger du fait que les participants soient peu préparés à l'apparition du stimulus prioritaire. Ainsi, le manque de préparation des participants pourrait ralentir le traitement de la tâche prioritaire quand bien même la réponse non prioritaire serait interrompue

comme cela avait été démontré dans le champs de la PRP (De Jong, 1995; Tombu & Jolicoeur, 2004).

Somme toute, cette hypothèse pourrait confirmer l'influence de facteurs top-down non seulement sur le traitement non prioritaire à interrompre, mais également sur la tâche prioritaire. Ces résultats sont par ailleurs confirmés par la différence substantielle observée entre les TR à la Tâche 2 prioritaire conditionnée par la fréquence d'apparition du stimulus prioritaire allant jusqu'à 100 ms. Ainsi, le fait de rencontrer peu fréquemment un évènement pourrait entraîner la "perte de vue" de cet évènement malgré son importance initiale comme cela a été démontré dans le domaine de la recherche visuelle (Wolfe et al., 2005). La principale limite à ces observations reste cependant le conditionnement de observations en fonction de l'émission ou de l'inhibition de la réponse non prioritaire.

La réplication de l'Étude 3 en ajoutant une modalité de réponse non prioritaire de type *go/no-go* nous a permis d'enrichir les précédents résultats en affranchissant des limites rencontrées lors du premier volet. Le principal apport de l'étude 4 a en outre été de mettre en lumière le coût nécessaire à l'inhibition d'une réponse. En effet, nos résultats semblent indiquer que le chevauchement temporel puisse ralentir la réponse à une Tâche 2 prioritaire y compris en l'absence de réponse non prioritaire. En d'autres termes, l'interruption d'une réponse en lien avec un stimulus identifié entraîne un coût attentionnel y compris lorsque le processus non prioritaire est interrompu à temps.

Ces résultats sont d'ailleurs en adéquation avec le dernier volet expérimental affichant le coût systématique de la prise en compte du stimulus non prioritaire quelle que soit l'issue de son interruption. En particulier, l'Étude 5 montre un ralentissement de la Tâche 2 prioritaire observé quelle que soit la condition expérimentale ou la stratégie employée par les participants. Particulièrement, les TR observés en condition de Consigne-Ignorer sont systématiquement plus rapides (e.g., de 100 ms environ) que les TR observés en condition de Consigne-Changement lorsque la réponse est interrompue.

Somme toute, il semblerait que l'interruption d'une réponse non prioritaire entraîne également un coût attentionnel qui ralentirait la réponse prioritaire. De la même façon, l'émission de la réponse non prioritaire engendre dans la plupart des cas un coût attentionnel supplémentaire, notamment lorsque le SOA entre les deux

stimuli est court. En revanche, la question de la nature exacte des processus à l'origine de ces ralentissement reste ouverte, particulièrement quand la présentation du stimulus prioritaire n'est pas systématique. En conséquence, l'éclaircissement de la nature et de l'impact des facteurs top-down impliqués dans la prise de décision en situation de changement de tâche sera un point prépondérant qui alimenteront nos futurs travaux de recherche.

Conclusions et perspectives

■ *Il faut se tenir entre deux folies, l'une de croire que l'on peut tout, et l'autre de croire qu'on ne peut rien.* ■

Alain (1956)

Peut-on conserver un niveau de priorité maximale dans le traitement d'une tâche susceptible d'apparaître ? Peut-on effectivement abandonner le traitement d'une tâche non prioritaire si nécessaire ? Comme nous venons de le voir, la modernisation de notre environnement, et notamment des techniques de communication (Appelbaum et al., 2008), nous offre des possibilités d'interaction de plus en plus étendues entre les sphères professionnelles et privées (Tabboni, 2006).

Paradoxalement, notre travail de thèse ainsi que les recherches menées jusqu'à présent semblent mettre en évidence les limitations de l'architecture cognitive humaine à exploiter ces possibilités d'interaction dans des conditions de performance maximales. Notamment, nos résultats semblent indiquer que la capacité à interrompre un traitement cognitif non prioritaire, pour traiter un stimulus en priorité, soit largement influencé par la fréquence d'apparition de ce stimulus, ainsi que par le délais séparant leurs stimuli respectifs.

D'un point de vue appliqué, la prise en compte de ces limites cognitives fondamentales pourrait constituer un axe de recherche et de développement particulièrement heuristique en vue d'optimiser la performance ou de réduire les facteurs de risques humains. Ainsi, nous évoquerons à nouveau le champ de la sécurité routière pour lequel la compréhension des risques liés à l'utilisation de technologies de communication embarqué est toujours d'actualité dans une perspective de santé publique (Inserm & Iffsttar, 2011). Par extension, l'exploitation de cet axe de recherche pourrait bénéficier à l'ensemble des secteurs d'activités pour lesquels la

prise de décision et le traitement d'information en situation de multi-tâches est au cœur de la performance comme l'aviation ou le sport de haut niveau.

Dans une perspective fondamentale, l'interprétation des résultats empiriques mis en évidence au cours de ce travail met également en lumière la présence d'un certain nombre de mécanismes cognitifs dont la nature exacte reste encore à déterminer. Parmi ceux-ci, la mise en place de mécanismes stratégiques permettant de moduler la vitesse de traitement de stimuli non prioritaires constitue un point d'interrogation qui nécessitera de futures investigations.

À court terme, la formalisation de théories intégrant les modèles d'accumulation d'information représente une avancée à venir plausible en vue de répondre à ces questions. À plus long terme, ces modèles devront également s'appuyer sur le développement de théories qui préciseront la nature des informations utilisées par les fonctions exécutives, ainsi que les processus cognitifs à l'origine de l'interruption d'un traitement en cours (Logan et al., 2014). L'intégration d'outils de neuro-imagerie au développement de nouveaux paradigmes expérimentaux, pourrait également constituer une approche complémentaire de ces tentatives de modélisation, notamment eu égard aux fonctions inhibitrices dont les processus ne sont pas directement observables.

Par la suite, le rôle des traits de personnalité, des représentations subjectives de l'occurrence d'un stimulus (Leotti & Wager, 2010), du but de la tâche, et de son maintien en mémoire de travail (Redick et al., 2011) ou en mémoire à long terme (Verbruggen & Logan, 2008b) seront à déterminer. Enfin, l'impact des modalités d'association stimulus-réponse sur la performance en changement de tâche représenterait un objet d'étude essentiel pour questionner le problématiques de ce paradigme, comme cela est le cas dans le champ de la PRP (Huestegge & Koch, 2013).

Bibliographie

Åkerfelt, A., Colonius, H., & Diederich, A. (2005). Visual-tactile saccadic inhibition. *Experimental Brain Research*, *169*(4), 554–563. doi: 10.1007/s00221-005-0168-x
13, 17

Alain. (1956). *Propos* (Gallimard éd.). Paris.
173

Appelbaum, S. H., Marchionni, A., & Fernandez, A. (2008). The multi-tasking paradox : perceptions, problems and strategies. *Management Decision*, *46*(9), 1313–1325. doi: 10.1108/00251740810911966
2, 77, 163, 173

Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations of the stop-signal procedure. *Acta psychologica*, *112*(2), 105–42.
11, 13, 14, 78, 79, 166

Bartlett, F. C. (1958). *Thinking : an experimental and social study* (New-York : éd.).
17, 20, 28, 165

Bertelson, P., & Tisseyre, F. (1969). Refractory Period of C-Reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *79*(1), 122–128.
129

Bissett, P. G., & Logan, G. D. (2011). Balancing cognitive demands : control adjustments in the stop-signal paradigm. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, *37*(2), 392–404. doi: 10.1037/a0021800
15, 19, 114

Boecker, M., Gauggel, S., & Drueke, B. (2012). Stop or stop-change–does it make any

difference for the inhibition process ? *International Journal of Psychophysiology*, *87*(3), 234–43. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.09.009
59, 70, 73, 77, 165

Bouquet, C. A., Bonnin, C., & Gaonac'h, D. (2013). *Approche intégrative du contrôle exécutif dans le paradigme de permutation de tâche* (Vol. 113) (N° 1). doi: 10.4074/S0003503313001061
9, 65

Bullock, D., & Grossberg, S. (1988). Neural dynamics of planned arm movements : emergent invariants and speed-accuracy properties during trajectory formation. *Psychological review*, *95*(1), 49–90. doi: 10.1037/0033-295X.95.1.49
71

Bullock, D., & Grossberg, S. (1991). Adaptive neural networks for control of movement trajectories invariant under speed and force rescaling. *Human Movement Science*, *10*(1), 3–53. doi: 10.1016/0167-9457(91)90029-W
71

Camalier, C. R., Gotler, a., Murthy, a., Thompson, K. G., Logan, G. D., Palmeri, T. J., & Schall, J. D. (2007). Dynamics of saccade target selection : Race model analysis of double step and search step saccade production in human and macaque. *Vision Research*, *47*(16), 2187–2211. doi: 10.1016/j.visres.2007.04.021
17

Colonius, H., Özyurt, J., & Arndt, P. a. (2001). Countermanding saccades with auditory stop signals : Testing the race model. *Vision Research*, *41*(15), 1951–1968. doi: 10.1016/S0042-6989(01)00084-0
26

De Jong, R. (1993). Multiple Bottlenecks in Overlapping Task Performance. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*.
129

De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *48*(1), 2–25. doi: 10.1080/14640749508401372

27, 63, 65, 68, 71, 79, 86, 98, 100, 111, 116, 124, 125, 142, 159, 170

De Jong, R., Coles, M. G., & Logan, G. D. (1995). Strategies and mechanisms in nonselective and selective inhibitory motor control. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *21*(3), 498–511. doi: 10.1037/0096-1523.21.3.498
70, 71

De Jong, R., Coles, M. G. H., Logan, G. D., & Gratton, G. (1990). In Search of the Point of No Return : The Control of Response Processes. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *16*(1), 164–182.
17, 26, 29, 30, 70, 71

Derryberry, D., & Tucker, D. M. (1994). Motivating the focus of attention. In *Heart's eye : Emotional influences in perception and attention* (pp. 167–196).
10

Descartes, R. (1662). *De Homine* (F. Schuyl, Ed.). Leyde.
8

Gauggel, S., Rieger, M., & Feghoff, T.-A. (2004). Inhibition of Ongoing Responses in patient with Parkinson's Disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *75*, 539–545.
28

Gottsdanker, R. (1979). A psychological refractory period or an unprepared period ? *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *5*(2), 208–215. doi: 10.1037//0096-1523.5.2.208
63, 86, 98, 124

Gottsdanker, R. (1980). The ubiquitous role of preparation. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Jtutorials in motor behavior.* Amsterdam : North-Holland. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
63, 86, 98, 124

Gray, R. (2009). A model of motor inhibition for a complex skill : baseball batting. *Journal of experimental psychology. Applied*, *15*(2), 91–105. doi: 10.1037/a0015591

12, 17

Halvorson, K. M., Ebner, H., & Hazeltine, E. (2013). Investigating Perfect Timesharing : The Relationship Between IM-Compatible Tasks and Dual-Task Performance. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *39*(2), 413–432. doi: 10.1037/a0029475
169

Hazeltine, E., Ruthruff, E., & Remington, R. W. (2006). The role of input and output modality pairings in dual-task performance : evidence for content-dependent central interference. *Cognitive psychology*, *52*(4), 291–345. doi: 10.1016/j.cogpsych.2005.11.001
44

Hazeltine, E., Teague, D., & Ivry, R. B. (2002). Simultaneous dual-task performance reveals parallel response selection after practice. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *28*(3), 527–545. doi: 10.1037//0096-1523.28.3.527
48

Henry, F. M., & Harrison, J. S. (1961). Refractoriness of a Fast Movement. *Perceptual and Motor Skills*, *13*(3), 351–354. doi: 10.2466/pms.1961.13.3.351
17

Huestegge, L., & Koch, I. (2013). Constraints in task-set control : modality dominance patterns among effector systems. *Journal of experimental psychology. General*, *142*(3), 633–7. doi: 10.1037/a0030156
174

Inserm, & Ifsttar. (2011). *Téléphone et sécurité routière (expertise collective)* (Rapport technique). Villejuif (FRANCE) : Institut national de la santé et de la recherche médicale ; Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.
2, 49, 77, 173

Janssen, C., Brumby, D., & Garnett, R. (2012). Natural Break Points : The Influence of Priorities and Cognitive and Motor Cues on Dual-Task Interleaving. *Innovations*

in Cognitive Engineering and Decision Making(Special Issue), 1–25. doi: 10.1177/1555343411432339
78

Kerr, B. (1983). Preplanning for Aimed Movements : Disruption From a Preliminary Task. *JEP*, *9*(4), 596–606.
129

Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching–a review. *Psychological bulletin*, *136*(5), 849–874. doi: 10.1037/a0019842
65, 79

Lappin, J. S., & Eriksen, C. W. (1966). Use of A Delayed Signal To Stop A Visual Reaction-Time Response. *Journal of Experimental Psychology*, *72*(6), 805–811.
12, 13, 17, 23, 86

Leotti, L. A., & Wager, T. D. (2010). Motivational influences on response inhibition measures. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *36*(2), 430–47. doi: 10.1037/a0016802
19, 26, 31, 37, 66, 69, 78, 80, 111, 114, 125, 142, 146, 159, 166, 174

Levitt, H. (1970). Transformed up-down methods in pschoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *49*(2), 467–477.
13, 14, 18, 29

Levy, J., & Pashler, H. (2008). Task Prioritisation in Multitasking during Driving : Opportunity to Abort a Concurrent Task Does Not Insulate Braking Responses from Dual-Task Slowing. *Applied Cognitive Psychology*, *22*(4), 507–525. doi: 10.1002/acp
3, 12, 17, 55, 70, 78, 79, 96, 97, 110, 115, 163, 165

Levy, J., Pashler, H., & Boer, E. (2006). Central interference in driving : is there any stopping the psychological refractory period ? *Psychological science*, *17*(3), 228–35. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01690.x
3, 45

Lijffijt, M., Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., & Van Engeland, H. (2005). A meta-analytic review of stopping performance in attention-deficit/hyperactivity disorder : deficient inhibitory motor control ? *Journal of Abnormal Psychology*, *114*(2), 216–222. doi: 10.1037/0021-843X.114.2.216
28, 73

Logan, G. D. (1981). Attention, automaticity, and the ability to stop a speeded choice response. In J. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance ix.* (Lawrence E éd., pp. pp. 205–222). Hillsdale, NJ.
13, 15, 17, 19, 31, 34, 62, 86, 114, 163

Logan, G. D. (1982). On the Ability to Inhibit Complex Movements : A Stop-Signal Study of Typewriting. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *8*(6), 778–792.
53, 54, 156, 158

Logan, G. D. (1994). On the Ability to Inhibit Thought and Action : A User's Guide to the Stop Signal Paradigm. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language.* (US : Academ éd., pp. 189–239). San Diego, CA.
10, 13, 14, 15, 19, 26, 27, 35, 54, 67, 72, 77, 78, 79, 97, 111, 114, 115, 123, 125, 147, 158, 166

Logan, G. D. (2015). The point of no return : A fundamental limit on the ability to control thought and action. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *68*(5), 1–25. doi: 10.1080/17470218.2015.1008020
10, 11, 27, 55, 70, 124, 165

Logan, G. D., & Burkell, J. (1986). Dependence and independence in responding to double stimulation : A comparison of stop, change, and dual-task paradigms. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *12*(4), 549–563. doi: 10.1037//0096-1523.12.4.549
12, 15, 17, 19, 21, 24, 31, 34, 50, 53, 58, 62, 67, 72, 79, 80, 114, 158, 163

Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action : A theory of an act of control. *Psychological Review*, *91*(3), 295–327. doi: 10.1037//0033-295X.91.3.295

13, 20, 26, 31, 35, 37, 72, 77, 80, 86, 87, 96, 128, 147, 156, 164, 166

Logan, G. D., Cowan, W. B., & Davis, K. a. (1984). On the ability to inhibit simple and choice reaction time responses : a model and a method. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *10*(2), 276–291. doi: 10.1037/0096-1523.10.2.276
25, 72, 80, 87, 164, 166

Logan, G. D., Van Zandt, T., Verbruggen, F., & Wagenmakers, E. J. (2014). On the Ability to Inhibit Thought and Action : General and Special Theories of an Act of Control. *Psychological research*, *121*, 66–95. doi: 10.1037/a0035230.This
14, 19, 31, 35, 36, 37, 66, 67, 69, 78, 80, 81, 114, 123, 141, 146, 147, 159, 164, 166, 167, 174

Lyon, G., & Krasnegor, N. (1996). *Attention, memory, and executive function.* (H. Brokes, P, Ed.). Baltimore.
9

Macleod, C. M. (2007). The concept of inhibition in cognition. In D. S. Gorfein & C. M. Macleod (Eds.), *Inhibition in cognition* (World Comp éd., pp. 3–23). Sterling, VA. doi: 10.1037/11587-000
8

Maquestiaux, F. (2012). La simultanéité des actes psychiques : apports du protocole PRP. *L'Année Psychologique*, *112*, 631–662.
10, 42, 47, 169

Maquestiaux, F., Didierjean, A., Ruthruff, E., Chauvel, G., & Hartley, A. (2013). Lost ability to automatize task performance in old age. *Psychonomic bulletin & review*, *20*(6), 1206–12. doi: 10.3758/s13423-013-0438-8
169

Marti, S., Sackur, J., Sigman, M., & Dehaene, S. (2010). Mapping introspection's blind spot : Reconstruction of dual-task phenomenology using quantified introspection. *Cognition*, *115*(2), 303–313. doi: 10.1016/j.cognition.2010.01.003
159

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance : Part 1. Basic mechanisms. *Psychological review*, *104*(1), 3–65.
9, 47, 130, 142

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance : Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, *104*(4), 749–791. doi: 10.1037//0033-295X.104.4.749
9, 45, 47, 130, 142

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1999). Précis to a practical unified theory of cognition and action : some lessons from EPIC computational models of human multiple-task performance. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance xvii* (Cambridge, éd., pp. 17–88).
47

Miller, J., & Durst, M. (2014). "Just do it when you get a chance" : the effects of a background task on primary task performance. *Attention, perception & psychophysics*, *76*(8), 2560–74. doi: 10.3758/s13414-014-0730-3
66, 78, 79

Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, *86*(3), 214–255. doi: 10.1037/0033-295X.86.3.214
58, 66

Newman, J. P., Widom, C. S., & Nathan, S. (1985). Passive avoidance in syndromes of disinhibition : psychopathy and extraversion. *Journal of personality and social psychology*, *48*(5), 1316–1327. doi: 10.1037/0022-3514.48.5.1316
10

Nietzsche, F. (1882). *Le Gai Savoir* (Flammarion éd.). Paris.
161

Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology : Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition

taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*(2), 220–246. doi: 10.1037//0033-2909.126.2.220
8, 9, 80, 81, 128, 164

Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder ? *Psychological bulletin*, *127*(5), 571–598. doi: 10.1037/0033-2909.127.5.571
28

Oosterlaan, J., Logan, G. D., & Sergeant, J. A. (1998). Response Inhibition in AD/HD, CD, Comorbid AD/HD+CD, Anxious, and Control Children : A Meta-analysis of Studies with the Stop Task. *Journal of Child Psychiatry*, *39*(3), 411–425.
73

Ornstein, T. J., Sagar, S., Schachar, R. J., Ewing-Cobbs, L., Chapman, S. B., Dennis, M., ... Max, J. E. (2014). Neuropsychological Performance of Youth with Secondary Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder 6- and 12-Months after Traumatic Brain Injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *20*(10), 971–981. doi: 10.1017/S1355617714000903
28

Osman, A., Kornblum, S., & Meyer, D. E. (1986). The point of no return in choice reaction time : controlled and ballistic stages of response preparation. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *12*(3), 243–58.
23, 26, 28, 29, 37, 87, 165

Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks : evidence for a central bottleneck. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *10*(3), 358–77.
45, 46, 77, 80, 87, 91, 115, 124, 130, 139, 148, 158, 164, 169

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks : data and theory. *Psychological bulletin*, *116*(2), 220–44.
20, 42, 44, 47, 72, 73, 100, 129, 168

Patterson, C. M., Kosson, D. S., & Newman, J. P. (1987). Reaction to punishment,

reflectivity, and passive avoidance learning in extraverts. *Journal of personality and social psychology*, *52*(3), 565–575. doi: 10.1037/0022-3514.52.3.565
10

Paulhan, F. (1887). La simultanéité des actes psychiques. *Revue Scientifique*, *13*, 684–689.
39, 40

Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Information Processing and Cognition : The Loyola Symposium. In L. E. A. Potomac, MD (Ed.), *Attention and cognitive control* (R. Solso éd.).
63, 98, 124

Ramautar, J. R., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2004). Effects of stop-signal probability in the stop-signal paradigm : The N2/P3 complex further validated. *Brain and Cognition*, *56*, 234–252. doi: 10.1016/j.bandc.2004.07.002
15, 19, 20, 114

Ratcliff, R. (1985). Theoretical interpretations of the speed and accuracy of positive and negative responses. *Psychological Review*, *92*(2), 212–225. doi: 10.1037/0033-295X.92.2.212
31, 35, 167

Ratcliff, R. (1988). Continuous versus discrete information processing modeling accumulation of partial information. *Psychological review*, *95*(2), 238–255. doi: 10.1037/0033-295X.95.2.238
31, 35, 167

Ratcliff, R., & Smith, L., Philip. (2004). A Comparison of Sequential Sampling Models for Two-Choice Reaction Time. *Psychological Review*, *111*(2), 333–367. doi: 10.1037/0033-295X.111.2.333
31, 167

Redick, T. S., Calvo, A., Gay, C. E., & Engle, R. W. (2011). Working memory capacity and go/no-go task performance : selective effects of updating, maintenance, and inhibition. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, *37*(2), 308–24. doi: 10.1037/a0022216

174

Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of experimental psychology. General*, *124*(2), 207–231.
79, 124

Rosen, C. (2008). The myth of multitasking. *The New Atlantis*, *20*, 105–110. doi: 10.1109/MMM.2014.2367853
77

Ruthruff, E., Johnston, J. C., & Remington, R. W. (2009). How strategic is the central bottleneck : can it be overcome by trying harder ? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *35*(5), 1368–84.
169

Ruthruff, E., Johnston, J. C., & Van Selst, M. (2001). Why practice reduces dual-task interference. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *27*(1), 3–21. doi: 10.1037/0096-1523.27.1.3
46, 47, 68, 79

Ruthruff, E., Johnston, J. C., Van Selst, M., Whitsell, S., & Remington, R. (2003). Vanishing dual-task interference after practice : Has the bottleneck been eliminated or is it merely latent ? *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *29*(2), 280–289. doi: 10.1037/0096-1523.29.2.280
49

Ruthruff, E., Pashler, H. E., & Klaassen, a. (2001, mar). Processing bottlenecks in dual-task performance : structural limitation or strategic postponement ? *Psychonomic bulletin & review*, *8*(1), 73–80.
101, 112, 114, 124

Ruthruff, E., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (2001). Switching between simple cognitive tasks : the interaction of top-down and bottom-up factors. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *27*(6), 1404–19. doi: 10.1037/0096-1523.27.6.1404
33

Sartre, J.-P. (1943). *L'Être et le néant, essai d'ontologie phénoménologique* (Gallimard éd.). Paris.
7

Saunders, A. (1957). Quotable quotes. *Reader's Digest*, *70*(417), 32.
51

Schachar, R. J., Chen, S., Logan, G. D., Ornstein, T. J., Crosbie, J., Ickowicz, A., & Pakulak, A. (2004). Evidence for an error monitoring deficit in attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *32*(3), 285–293. doi: 10.1023/B:JACP.0000026142.11217.f2
35

Schachar, R. J., & Logan, G. D. (1990). Impulsivity and inhibitory control in normal development and childhood psychopathology. *Developmental Psychology*, *26*(5), 710–720. doi: 10.1037/0012-1649.26.5.710
156

Schumacher, E. H., Seymour, T. L., Glass, J. M., Fencsik, D. E., Lauber, E. J., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance : uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological science*, *12*(2), 101–8.
48

Slater-Hammel, A. T. (1960). Reliability, accuracy, and refractoriness of a transit reaction. *The Research Quarterly*, *31*(2), 217–228. doi: 10.1080/10671188.1960.10613109
17

Smith, M. C. (1967). Theories of the psychological refractory period. *Psychological bulletin*, *67*(3), 202–13.
129

Smith, R. (1992). *Inhibition : History and meaning in the sciences of mind and brain* (Berkeley : éd.).
8

Tabboni, S. (2006). *Les temps sociaux* (Collin, Ar éd.).
2, 173

Telford, C. W. (1931). Journal of Experimental Psychology. *Journal of Experimental Psychology*, *XIV*(I), 1–35.
11, 41, 45

Thakkar, K. N., Schall, J. D., Boucher, L., Logan, G. D., & Park, S. (2011). Response inhibition and response monitoring in a saccadic countermanding task in schizophrenia. *Biological Psychiatry*, *69*(1), 55–62. doi: 10.1016/j.biopsych.2010.08.016
28

Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2004). Virtually no evidence for virtually perfect time-sharing. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *30*(5), 795–810. doi: 10.1037/0096-1523.30.5.795
65, 86, 100, 111, 124, 125, 170

Usher, M., & McClelland, J. L. (2001). *The time course of perceptual choice : the leaky, competing accumulator model.* (Vol. 108) (N° 3). doi: 10.1037/0033-295X.108.3.550
31

Van Boxtel, G. J., Van der Molen, M. W., Jennings, J. R., & Brunia, C. H. (2001). A psychophysiological analysis of inhibitory motor control in the stop-signal paradigm. *Biological psychology*, *58*(3), 229–62.
26

Van Selst, M., & Johnston, J. C. (1992). *Dual-task Interference* (Rapport technique). Moffett Field (CA) : NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA United States.
129, 130, 140

Van Selst, M., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (1999). Can practice eliminate the psychological refractory period effect ? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *25*(5), 1268–1283.
44, 48

Verbruggen, F., Liefooghe, B., & Vandierendonck, A. (2004). The interaction between stop signal inhibition and distractor interference in the flanker and Stroop task. *Acta Psychologica*, *116*(1), 21–37. doi: 10.1016/j.actpsy.2003.12.011
26

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008a). After-effects of goal shifting and response inhibition : a comparison of the stop-change and dual-task paradigms. *Quarterly journal of experimental psychology*, *61*(8), 1151–1159. doi: 10.1080/17470210801994971
35

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008b). Automatic and controlled response inhibition : associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of experimental psychology. General*, *137*(4), 649–72. doi: 10.1037/a0013170
36, 174

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008c). Long-term aftereffects of response inhibition : memory retrieval, task goals, and cognitive control. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *34*(5), 1229–1235. doi: 10.1037/0096-1523.34.5.1229
36, 140

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009a). Models of response inhibition in the stop-signal and stop-change paradigms. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *33*(5), 647–661. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.014
165

Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2009b). NIH Public Access. *Neurosci Behav Rev*, *33*(5), 647–661. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.014.Models
26, 55, 70

Verbruggen, F., Logan, G. D., & Stevens, M. a. (2008). STOP-IT : Windows executable software for the stop-signal paradigm. *Behavior Research Methods*, *40*(2), 479–483. doi: 10.3758/BRM.40.2.479
27

Verbruggen, F., Schneider, D. W., & Logan, G. D. (2008). How to stop and change a response : the role of goal activation in multitasking. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *34*(5), 1212–28. doi: 10.1037/0096-1523.34.5.1212
10

Vince, M. A. (1948). The intermittency of control movement and the psychological refractory period. *British Journal of Psychology*, *38*(3), 149–157. doi: 10.1111/j.2044-8295.1948.tb01150.x
10, 11, 16, 22

Vince, M. A. (1949). Rapid Response sequences and the psychological refractory period..
45

Welford, A. T. (1952). The Psychological refractory period and the timing of high-speed performance. *British Journal of Psychology*, *43*, 2.
45, 46, 80, 87, 91, 100, 124, 158, 164

Welford, A. T. (1959). Evidence of a single-channel decision mechanism limiting performance in a serial reaction task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *11*(4), 193–210. doi: 10.1080/17470215908416312
42, 46

Williams, B. R., Ponesse, J. S., Schachar, R. J., Logan, G. D., & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Developmental psychology*, *35*(1), 205–213. doi: 10.1037/0012-1649.35.1.205
27

Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., & Kenner, N. (2005). Rare targets are often missed in visual search. *Nature*, *435*(7041), 439–440. doi: 10.1038/nature13314.A
170

Yamaguchi, M., Logan, G. D., & Bissett, P. G. (2012). Stopping while going ! Response inhibition does not suffer dual-task interference. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *38*(1), 123–34. doi: 10.1037/a0023918

12, 17

Annexe I

Bien que l'inférence de la durée du processus inhibiteur conduisant l'interruption de la tâche non prioritaire ne soit pas un point central dans notre travail de thèse, les résultats de l'Étude 3 nous ont permis de disposer d'assez d'observations pour réaliser ce calcul. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III ci-dessous.

TABLEAU III - Calcul inférentiel du Change Task Reaction Time (CSRT) lors de l'Étude 3. L'annotation "Une mesure" correspond aux participants pour lesquels l'inférence a été effectuée sur la base d'un SOA unique.

Participant	CSRT (ms)	SD (ms)
1	203	77
2	303	144
3	245	35
4	270	43
5	320	226
6	235	106
7	613	125
8	170	51
9	277	119
10	175	7
11	227	63
12	172	90
13	390	Une observation
14	186	105
15	240	115
16	230	115
17	120	35
18	213	41
19	340	Une observation
20	210	137
Moyenne	262	94

Le CSRT (SSRT appliqué aux paradigmes de change-task) moyen correspond aux valeurs généralement observées dans la littérature (pour une revue complète voir Boecker et al., 2012). Notamment, la moyenne légèrement supérieure à 200 ms est en accord avec la théorie d'une inhibition centrale sélective, caractéristique à l'utilisation du protocole de change-task. Cette caractéristique serait un indicateur de la différence entre les processus inhibiteurs sollicités lorsqu'une réponse motrice est interrompue sans réengagement moteur (stop-task) ou au contraire en vue d'un réengagement ultérieur (change-task).

Ainsi, lors d'une inhibition de réponse non prioritaire, le processus inhibiteur

engagé pourrait agir au niveau périphérique par un mécanisme d'interruption générique des efférences motrices. Ce processus, court, indifférencié et d'une durée généralement calculée aux alentours de 200 ms, permettrait l'interruption d'une réponse motrice indépendamment de son but initial.

Au contraire, lors d'une inhibition de réponse motrice en vue d'un réengagement moteur ultérieur, le processus inhibiteur aurait pour fonction d'interrompre la réponse motrice non prioritaire sans impacter la réponse motrice prioritaire. Cette interruption nécessite ainsi la mise en place de ce processus sélectif, dont la durée est généralement calculée entre 250 et 300 ms, et permettrait l'interruption d'une commande motrice unique (Boecker et al., 2012; De Jong, 1995).

Annexe II (Analyses qualitatives complémentaires)

Parmi les proposition d'intégration de facteurs top-down aux modèles décrivant l'inhibition d'une réponse motrice, l'hypothèse du lien entre le report stratégique de la réponse motrice et les pourcentages d'inhibition sont fréquemment évoqués dans la littérature[17]. Cette hypothèse suppose notamment que les participants puissent faire évoluer le seuil de déclenchement d'une réponse motrice au cours d'une passation voir au cours d'un essai (Logan et al., 2014). Cette modulation serait ainsi qualitativement observable via l'identification de deux patterns de réponses non prioritaires distincts sous contrôle top-down.

Le premier aurait pour objectif de de maximiser les chances d'interruption de la tâche non prioritaire (Logan & Cowan, 1984; Logan, 1994). Cette augmentation serait permise grâce à une élévation seuil de déclenchement de la réponse motrice (Logan et al., 2014). Cette élévation aurait pour conséquence de reporter le seuil de déclenchement de la réponse motrice, accompagné d'une augmentation du temps de réaction, notamment lorsque la probabilité perçue d'apparition du stimulus prioritaire est importante (Leotti & Wager, 2010).

Inversement, le deuxième pattern favoriserait l'exécution rapide de la tâche non prioritaire en abaissant le seuil de déclenchement de la réponse motrice, accompagné d'une diminution des temps de réaction lorsque la probabilité d'apparition du stimulus prioritaire est considérée comme faible. Ce pattern est par ailleurs associé à des pourcentages d'inhibition de la tâche non prioritaire réduits. Il en résulterait un lien de covariance entre l'observation des TR en condition de simple tâche et l'observation des pourcentages d'inhibition en condition de double tâche.

L'origine stratégique de cette corrélation pourrait être distinguée d'un simple effet de durée du stade contrôlé de traitement de la tâche non prioritaire (Lappin & Eriksen, 1966; Osman et al., 1986), en cas d'observation d'une distribution bimodale pour chaque participants (Leotti & Wager, 2010). En effet, une distribution bimodale à l'échelle du participant pourrait indiquer que les deux patterns aient été sollicités au cours de l'étude. Inversement, l'observation d'un allongement des TR suivant une distribution unimodale serait l'indicateur de facteurs de ralentissement dont l'origine n'est pas stratégique.

17. Voir Chapitre 1

Inversement, l'observation de distributions normales chez les participants pourrait indiquer que le lien de corrélation entre les TR et les pourcentages d'inhibition soit uniquement dû à une durée de traitement central de la tâche prioritaire plus important pour un groupe de participants.

Afin d'explorer cette hypothèse, nous avons réalisé une classification en clusters *K-Mean* en vue d'identifier potentiellement deux patterns de distribution de réponses à la tâche non prioritaire en condition de simple tâche pour l'Étude 3 et l'Étude 5.

Étude 3

Groupe rare

Sur l'ensemble des réponses émises, la classification indique la présence de deux modes de distribution séparés par un seuil de TR de 600 ms. Le premier mode regroupe 79% des réponses motrices non prioritaires ($n = 6122$) dans un ensemble de réponses rapides ($M = 493$ ms, $SD = 190$ ms). Le second mode regroupe 21% des réponses motrices non prioritaires ($n = 1665$) dans un ensemble de réponses lentes ($M = 840$ ms, $SD = 195$ ms).

Ainsi, la majorité des réponses émises semble centrées sur un mode relativement rapide. Il est à noter que la nature bimodale de la distribution semble également effective pour chaque participants à l'exception du plus rapide (voir Figure 3.23). Cette observation semble indiquer que les participants puissent ralentir leurs réponses motrices non prioritaires de façon stratégiques lors de certains essais.

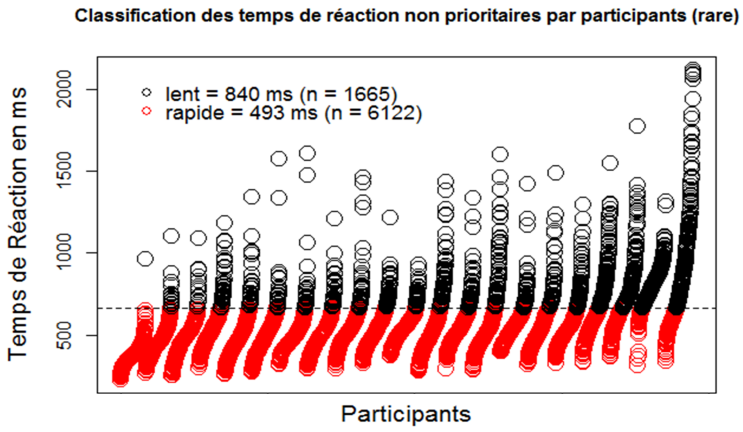

FIGURE 3.23 – Classification K-mean de l'ensemble des TR pour chaque participants du groupe rare. Les points rouges matérialisent les essais correspondant au mode de distribution rapide, les points noirs matérialisent les essais correspondant au mode de distribution lent.

Afin d'établir un lien entre le TR et l'inhibition, nous avons effectué une analyse de classification K-Mean sur les TR moyen et les pourcentages d'inhibition moyens en condition de double tâche. Nous avons également effectué un calcul de covariance basé sur la classification de ces deux variables. La Figure 3.24 illustre la relation de covariation entre les TR et les pourcentages d'inhibition.

La classification des TR moyens indique la présence de deux groupes de participants. Le premier groupe rassemble 80% participants (16 sur 20) répondant le plus rapidement (M = 523 ms, SD = 151 ms). Le deuxième groupe rassemble 20% des participants (4 sur 20) répondant en moyenne le plus lentement (M = 746 ms, SD = 176 ms).

La classification des pourcentages d'inhibition moyens en condition de double tâche indique également la présence de deux groupes de participants. Le premier groupe rassemble 85% des participants (17 sur 20) qui inhibent en moyenne une faible proportion de réponses (M = 19% ; SD = 110 ms). Le deuxième groupe rassemble 15% des participants (3 sur 20) qui inhibent en moyenne une proportion importante de réponses motrices (M = 47% ; SD = 26%). Il est à noter que les trois participants inhibant le plus de réponses motrices en condition de double tâche sont également les participants les plus lents en condition de simple tâche.

Il existe une corrélation forte entre les TR moyens et les pourcentages d'inhibition moyens (R^2 = .70). Ce résultat semble indiquer que l'augmentation des TR à la tâche non prioritaire et les pourcentages d'inhibition de la réponse non prioritaire partagent une influence commune.

Cette observation apparaît congruente avec la théorie d'un ralentissement de la vitesse de réponse non prioritaire sous influence top-down permettant de maximiser les chances d'inhibition motrice. Par ailleurs, l'observation précédente d'une distribution bimodale des réponses pour chaque participant pourrait indiquer que cette influence commune ne soit pas exclusivement due à des différences interindividuelles de durée du traitement du stimulus non prioritaire.

Groupe fréquent

Sur l'ensemble des essais, la classification indiquent la présence de deux modes de distribution séparés par un seuil de TR de 900 ms. La différence de 300 ms avec le seuil de 600 ms observé pour le groupe rare semble indiquer un ralentissement général

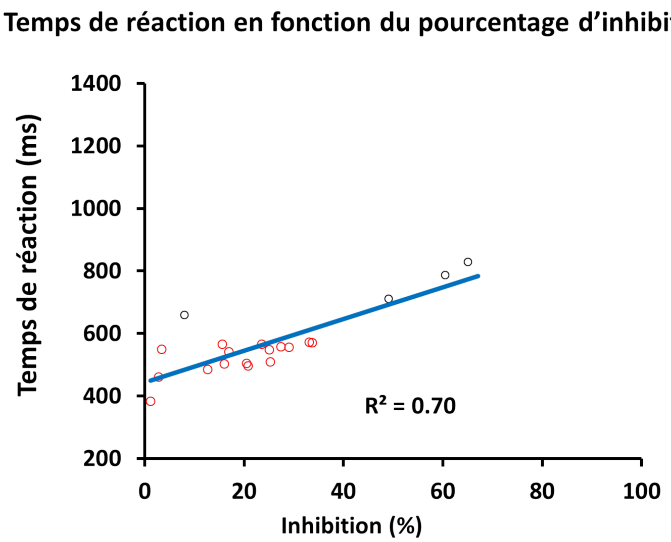

FIGURE 3.24 – Corrélation entre le TR non prioritaire moyen en condition de simple tâche et le pourcentage d'inhibition moyen en condition de double tâche. Les points rouges correspondent aux participants combinant réponse rapide et faible inhibition. Les points noirs correspondent aux participants combinant réponse lente et importante inhibition.

des réponses motrices.

Le premier mode regroupe 68% des réponses motrices non prioritaires ($n = 311$ essais) relativement plus rapides ($M = 629$ ms, $SD = 144$ ms). Le second mode regroupe 32% des réponses lentes ($n = 144$) dans un ensemble de réponses relativement plus lentes lentes ($M = 1165$ ms, $SD = 220$ ms).

La Figure 3.25 illustre la répartition des observations pour chaque participant. La répartition des réponses rapides et lentes pour chaque participants semble indiquer que tous les participants n'ont pas nécessairement ralenti leurs réponses non prioritaires au cours de la passation.

Afin d'établir un lien entre le TR et l'inhibition, nous avons effectué une analyse de classification K-Mean sur les TR moyens et les pourcentages d'inhibition moyens en condition de double tâche. Nous avons également effectué un calcul de covariance basé sur la classification de ces deux variables. La Figure 3.26 illustre la relation de covariation relatif à ces deux variables.

La classification des TR moyens indique la présence de deux groupes de participants. Le premier rassemble 50% des participants ($n = 10$) répondant en moyenne plus rapidement ($M = 659$ ms, $SD = 165$ ms). Le deuxième rassemble 50% des participants répondant en moyenne plus lentement ($M = 939$ ms, $SD = 209$ ms).

La classification de pourcentages d'inhibition moyens indique la présence de deux

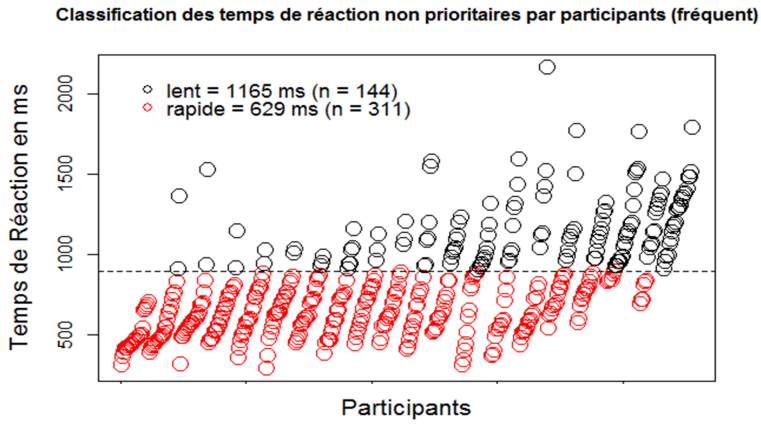

FIGURE 3.25 – Classification K-mean de l'ensemble des TR pour chaque participants du groupe fréquent. Les points rouges matérialisent les essais centrés sur le mode le plus rapide, les points noirs matérialisent les essais centrés sur le mode de distribution le plus lent.

groupes de participants. Le premier groupe rassemble 35% ($n = 7$) des participants qui interrompent dans une proportion plus faible leurs réponses motrices non prioritaires ($M = 38\%$; $SD = 13\%$). Le deuxième groupe rassemble 65% ($n = 13$) des participants qui interrompent dans une proportion plus importante leurs réponses motrices non prioritaiire ($M = 75\%$; $SD = 10\%$).

Il existe une corrélation forte entre les deux variables ($R^2 = .80$) (Voir Figure 3.26). Ce résultats mettent encore une fois en valeur la probable influence commune du ralentissement de réponse à la tâche non prioritaire et du pourcentage d'inhibition. Néanmoins, l'observation préalable de la classification par participants sur l'ensemble des essais pourrait indiquer que cette corrélation soit induite par des différences interindividuelles de durée de traitement du stimulus prioritaire. En effet, un certain nombre de participants affichent des distributions principalement centrées sur un mode rapide ou lent.

Ainsi donc, les pourcentages d'inhibition moyens plus élevés pour le groupe fréquent en comparaison avec le groupe rare lors de l'Étude 3, pourraient être causés par un ralentissement global des TR dont l'influence top-down ne serait pas de nature stratégique (e.g., coût de permutation).

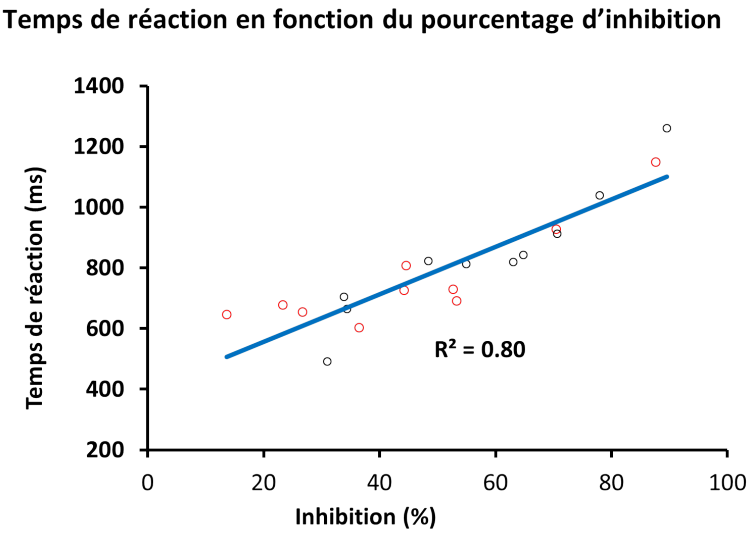

FIGURE 3.26 – Corrélation entre le TR non prioritaire moyen en condition de simple tâche et le pourcentage d'inhibition moyen en condition de double tâche pour le groupe fréquent.

Étude 5

Blocs de Consigne-Double

Sur l'ensemble des essais, les résultats indiquent la présence de deux modes de distribution séparés par un seuil de TR de 750 ms. Le premier mode regroupe 81% des observations ($n = 1054$) correspondant aux réponses non prioritaires les plus rapides ($M = 549$ ms, $SD = 100$ ms). Le deuxième mode regroupe 19% des réponses motrices non prioritaires correspondant aux réponses les plus lentes ($M = 952$ ms, $SD = 215$ ms). Cette observation indique que la majorité des réponses est comprise dans le pattern de réponses rapides

La Figure 3.27 illustre la répartition des observations pour chaque participant en condition de Consigne-Double.

Afin d'établir un lien entre le TR et l'inhibition, nous avons effectué une analyse de classification K-Mean sur les TR moyens lors des blocs de Consigne-Double et les pourcentages d'inhibition lors des blocs de Consigne-Changement. Nous avons également effectué un calcul de covariance basé sur la classification de ces deux variables.

La classification des TR moyens indique la présence de deux groupes de participants. Le premier rassemble 75% des participants ($n = 18$) répondant le plus rapidement à la tâche non prioritaire ($M = 584$ ms, $SD = 163$ ms). Le deuxième

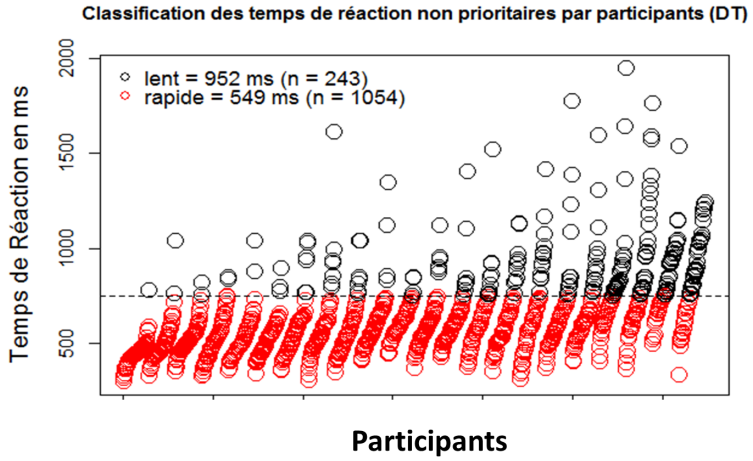

FIGURE 3.27 – Classification de l'ensemble des TR pour chaque participant en condition de blocs de Consigne-Changement (Étude 5). Les points rouges correspondent aux TR les plus rapides, les points noirs correspondent aux TR les plus lents

groupe rassemble 25% des participants ($n = 4$) répondant le plus lentement à la tâche non prioritaire ($M = 804$ ms, $SD = 167$ ms).

La classification des pourcentages d'inhibition moyens indique la présence de deux groupes de participants. Le premier groupe rassemble 33% des participants ($n = 5$) inhibant le moins de réponses motrices non prioritaires ($M = 18\%$; $SD = 13\%$). Le deuxième groupe rassemble 77% des participants ($n = 17$) inhibant le moins de réponses motrices ($M = 86\%$; $SD = 11\%$).

La corrélation entre les TR observés en condition de blocs de Consigne-Double et les pourcentages d'inhibition moyens est faible ($R^2 = .14$). Cette observation confirme la vraisemblable indépendance entre les TR observables en situation de Consigne-Double et la capacité à interrompre la réponse non prioritaire.

Blocs de Consigne-Changement

Sur l'ensemble des essais, les résultats indiquent la présence de deux modes de distribution séparés par un seuil de TR de 900 ms. Le premier mode regroupe 57% des observations ($n = 724$) correspondant aux réponses non prioritaires les plus rapides ($M = 640$ ms, $SD = 162$ ms). Le deuxième mode regroupe 43% des observations ($n = 548$) correspondant aux réponses non prioritaires les plus lentes ($M = 1197$ ms, $SD = 220$ ms).

La Figure 3.28 illustre la répartition des observations pour chaque participant. La répartition indique que dans la grande majorité, les participants ont émis des

réponses appartenant à la classification rapide et lente au cours de la passation expérimentale. Ce groupement bilatéral pourrait indiquer que certains participants aient stratégiquement ralentis leurs réponses à la tâche non prioritaire en vue d'augmenter les chances d'interruption en cas d'apparition du stimulus prioritaire

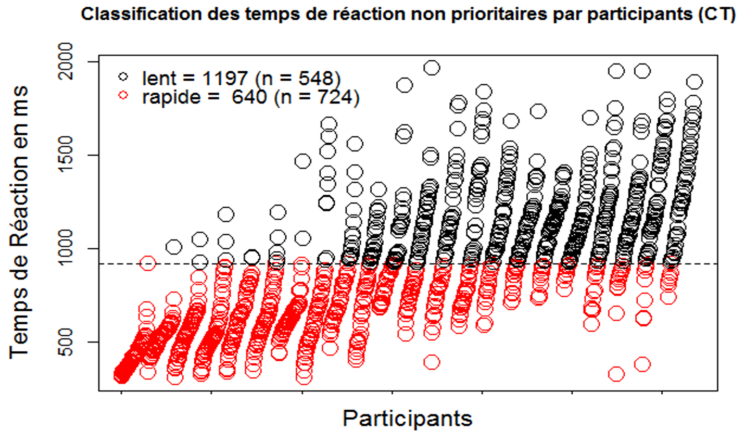

FIGURE 3.28 – Classification de l'ensemble des TR pour chaque participant en condition de blocs de Consigne-Changement (Étude 5). Les points rouges correspondent aux TR les plus rapides, les points noirs correspondent aux TR les plus lents

Afin d'établir un lien entre le TR et l'inhibition, nous avons effectué une analyse de classification K-Mean sur les TR moyens et les pourcentages d'inhibition moyens. Nous avons également effectué un calcul de covariance basé sur la classification de ces deux variables.

La classification des TR moyens indique la présence de deux groupes de participants. Le premier rassemble 46% des participants ($n = 10$) répondant le plus rapidement à la tâche non prioritaire ($M = 635$ ms, $SD = 259$ ms). Le deuxième groupe rassemble 54% des participants ($n = 12\%$) répondant le plus lentement à la tâche non prioritaire ($M = 1082$ ms, $SD = 226$ ms).

Il existe une corrélation forte entre les TR moyens et des pourcentages d'inhibition ($R^2 = .65$). Ce résultat confirme l'intervention d'un paramètre commun au ralentissement des TR non prioritaires et à l'augmentation des pourcentages d'inhibition (Voir Figure 3.29). Par ailleurs, la comparaison avec le score de corrélation observé avec les TR mesurés en conditon de Consigne-Double semble indiquer que les participants ralentissent stratégiquement leurs TR en condition de Consigne-Changement.

Cette observation pourrait constituer un indicateur de l'impact des facteurs

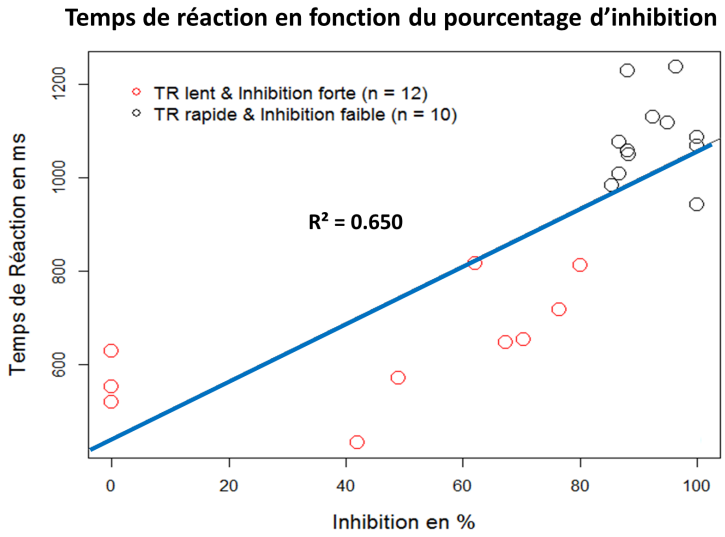

FIGURE 3.29 – Corrélation entre le TR non prioritaire moyen en condition de simple tâche et le pourcentage d'inhibition moyen lors de l'Étude 5.

top-down sur la modulation des processus de réponse à la tâche non prioritaire en condition de Consigne-Changement. Réciproquement, cette influence top-down n'est ainsi pas effective en condition de Consigne-Double pour laquelle une réponse rapide à la tâche non prioritaire est systématique.

Bibliographie

Boecker, M., Gauggel, S., & Drueke, B. (2012). Stop or stop-change–does it make any difference for the inhibition process ? *International Journal of Psychophysiology*, *87*(3), 234–43. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.09.009
I, II

De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *48*(1), 2–25. doi: 10.1080/14640749508401372
II

Lappin, J. S., & Eriksen, C. W. (1966). Use of A Delayed Signal To Stop A Visual Reaction-Time Response. *Journal of Experimental Psychology*, *72*(6), 805–811.
III

Leotti, L. A., & Wager, T. D. (2010). Motivational influences on response inhibition measures. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *36*(2), 430–47. doi: 10.1037/a0016802
III

Logan, G. D. (1994). On the Ability to Inhibit Thought and Action : A User's Guide to the Stop Signal Paradigm. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language.* (US : Academ éd., pp. 189–239). San Diego, CA.
III

Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action : A theory of an act of control. *Psychological Review*, *91*(3), 295–327. doi: 10.1037//0033-295X.91.3.295
III

Logan, G. D., Van Zandt, T., Verbruggen, F., & Wagenmakers, E. J. (2014). On the Ability to Inhibit Thought and Action : General and Special Theories of an Act of Control. *Psychological research*, *121*, 66–95. doi: 10.1037/a0035230.This
III

Osman, A., Kornblum, S., & Meyer, D. E. (1986). The point of no return in choice reaction time : controlled and ballistic stages of response preparation. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *12*(3), 243–58.
III

Résumé

Titre : Traitement cognitif d'une tâche prioritaire. Déterminants et influences de l'interruption d'une réponse motrice non prioritaire concurrente.

Alors que le traitement de nombreuses tâches ordinaires (e.g., parler à son passager, répondre à un e-mail) est en cours, l'apparition d'un stimulus important (e.g., le klaxon d'un voiture) peut nécessiter un traitement prioritaire. Paradoxalement, l'investigation de ce constat dans le champs de la psychologie expérimentale ne rend que très rarement compte de la possibilité d'interrompre une action en cours en vue de donner la priorité à une autre réponse. Il apparait donc heuristique d'approfondir les limites et les effets de cette possibilité relativement répandue d'un point de vue écologique. Pour ce faire, nous avons articulé les problématiques inhérentes à l'interférence en double tâche et à l'inhibition motrice afin de mettre au point une série de quatre volets expérimentaux lors desquels la possibilité d'interrompre une réponse non prioritaire en vue de donner la priorité à une autre réponse fut systématiquement donnée aux participants. Les résultats convergent vers une diminution de la probabilité d'interruption de la réponse motrice non prioritaire lorsque le stimulus prioritaire apparaît tardivement et peu fréquemment. De plus, le caractère prioritaire d'une tâche motrice ne semble pas constituer un paramètre suffisant permettant d'isoler les processus correspondants de ralentissement. Corollairement, l'interruption de la réponse non prioritaire ne semble pas non plus totalement prémunir le traitement de la tâche prioritaire de ralentissement notamment lorsqu'il n'est pas possible de prédire avec certitude l'apparition du stimulus correspondant.

Mots-clés : attention, double tâche, inhibition, interférence, préparation

Summary

Title : Highly prioritized cognitive task treatment. Determinants and influences of the interruption of a low prioritized concurrent motor response.

While many ordinary task processes are ongoing (e.g., to talk with a passenger, answer an e-mail), the apparition of an important stimulus (e.g., a car honking at us) can urge a prioritized process. Paradoxically, investigations about this observation in experimental psychology's field give very few account of the possibility to interrupt a processing action in order to give all priority to another one. Thus, it seems heuristic to deepen the limits and the effects of this widespread possibility from an ecological perspective. To do so, we articulated dual task and motor inibition problematics in order to set up a serie four experimental parts where the possibility to interrupt a low priority response in order to prioritize another response was systematically given to the participants. The whole results converge toward a diminution of the capability to interrupt a low prioritized motor response when the prioritized stimulus appears belatedly and rarely. Moreover, the prioritized nature of a motor task seems to not represent a sufficient parameter alowing isolation of its processes from slowing. As a corollary, interruption of the low prioritized response seems to not prevent the prioritized process from slowing especially when corresponding stimulus apparition is not predictable.

Keywords : attention, dual-tasking, inhibition, interference, preparedness