



HAL
open science

Ne pas déranger!: étude des interruptions et de leurs caractéristiques au cours de tâches de la vie quotidienne.

Paul Brazzolotto

► To cite this version:

Paul Brazzolotto. Ne pas déranger!: étude des interruptions et de leurs caractéristiques au cours de tâches de la vie quotidienne.. Psychologie. Université de Lyon, 2019. Français. NNT: 2019LYSE2078 . tel-02483007

HAL Id: tel-02483007

<https://theses.hal.science/tel-02483007v1>

Submitted on 18 Feb 2020

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.



N° d'ordre NNT : 2019LYSE2078

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 476 Neurosciences et Cognition

Discipline : Psychologie cognitive

Soutenue publiquement le 28 novembre 2019, par :

Paul BRAZZOLOTTO

Ne pas déranger !

*Étude des interruptions et de leurs caractéristiques au
cours de tâches de la vie quotidienne.*

Devant le jury composé de :

Catherine GABAUDE, Directrice de Recherches, IFSTTAR, Présidente

Julien CEGARRA, Professeur des universités, INU Jean François Champollion, Rapporteur

François MAQUESTIAUX, Professeur des universités, Université de Bourgogne, Rapporteur

Céline LEMARCIER, Professeure des universités, Université Toulouse 2, Examinatrice

Charles TIJUS, Professeur des universités, Université Paris 8, Examineur

Georges MICHAËL, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2, Directeur de thèse

Contrat de diffusion

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

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

École doctorale Neurosciences et Cognition (NSCo ED 476) Laboratoire
d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC EA 3082)

THESE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR EN PSYCHOLOGIE DE L'UNIVERSITE DE LYON

Discipline : Psychologie Cognitive

**Ne pas déranger ! Étude des interruptions et de leurs
caractéristiques au cours de tâches de la vie quotidienne**

Par Paul BRAZZOLOTTO

Réalisée sous la direction du Professeur George A. MICHAEL

Date de soutenance prévue le 28 Novembre 2019

Devant le jury composé de :

Catherine GABAUDE	Chargée de recherche chez IFSTTAR (Lyon)	Présidente
Julien CEGARRA	Professeur à l'Institut National Universitaire Champollion	Rapporteur
François MAQUESTIAUX	Professeur à Université Bourgogne Franche-Comté	Rapporteur
Céline LEMERCIER	Professeure à l'Université de Toulouse	Examinatrice
Charles TIJUS	Professeur à l'Université Paris 8	Examinateur
George A. MICHAEL	Professeur à l'Université Lumière Lyon 2	Directeur

RESUME

Les interruptions sont l'un des phénomènes les plus perturbants pour la concentration au travail. Alors que leur nombre ne cesse d'augmenter avec la multiplication des notifications et l'ouverture des espaces de travail, le milieu professionnel commence à se rendre compte qu'elles nuisent à la productivité, mais aussi au bien-être en entreprise. C'est pourquoi un grand nombre de scientifiques ont cherché à comprendre les causes et les conséquences spécifiques des interruptions, en étudiant les différentes situations possibles. De nombreuses questions restent toutefois sans réponses.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes focalisés sur l'effet de quatre types d'interruption, pour lesquels soit les causes ne sont pas ou mal connues, soit les conséquences n'avaient encore jamais été étudiées : (i) la complexité de la tâche interromptrice (ii) le moment de survenue de l'interruption (iii) la source de l'interruption et (iv) le caractère agréable de la tâche interromptrice. Nous nous sommes également intéressés à deux contextes de travail bien spécifiques, à savoir le tri d'emails et la détection d'armes dissimulées dans des valises.

Avec 6 études, nous avons pu en apprendre davantage sur les effets de chacune des caractéristiques des interruptions précédemment citées, ainsi que l'effet des interruptions en fonction de la tâche qu'elles suspendent. Nous avons également pu identifier précisément les processus cognitifs impliqués dans la suspension de la tâche interrompue, en fonction de sa caractéristique manipulée.

Ce travail de thèse a ainsi apporté un certain nombre de découvertes empiriques, que nous avons discuté à la lumière de la littérature et de différents modèles théoriques, auxquels nous avons proposé quelques améliorations. Ces travaux ont également un intérêt pratique, car ils nous ont permis de proposer des recommandations sur l'organisation des espaces de travail et sur l'utilisation des moyens de communication en entreprise.

Mots-clés : Interruptions, Concentration, Tri d'emails, Détection d'armes, Entreprise

ABSTRACT

Interruptions are one of the most disturbing phenomena for concentration at workplace. While they are constantly increasing with the multiplication of notifications and the opening of workspaces, the professional world is beginning to realize that they are detrimental to productivity but also to the well-being of workers. This is why a large number of scientists have sought to understand the specific causes and consequences of interruptions, by studying the different possible situations. However, many questions remain unanswered.

In this thesis, we focused on the effect of four types of interruptions, for which either the causes are not or poorly known, or the consequences had never been studied before: (i) the complexity of the switching task, (ii) the timing of the interruption, (iii) the source of the interruption and (iv) the pleasant nature of the switching task. We also looked at two very specific working contexts, namely the sorting of emails and the detection of weapons hidden in suitcases.

With 6 studies, we were able to learn more about the effects of each of the above-mentioned interruption characteristics, as well as the effect of interruptions according to the task they suspend. We were also able to identify precisely the cognitive processes involved in the suspension of the interrupted task, according to its manipulated characteristic.

This thesis has thus brought a number of empirical discoveries, which we have discussed in the light of the literature and various theoretical models, to which we have proposed some improvements. This work is also of practical interest, as it has enabled us to make recommendations on the organization of workspaces and on the use of communication media in companies.

Keywords: Interruptions, Concentration, Emails Sorting, Weapons Detection, Enterprise

FINANCEMENT, LABORATOIRE DE RATTACHEMENT ET COLLABORATIONS

Cette thèse a été financée par l'Université Lyon 2 dans le cadre d'un contrat doctoral. L'encadrement s'est déroulé au sein du laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082) faisant partie de l'École Doctorale Neurosciences et Cognition (NSCo 476).

Les travaux de cette thèse ont également été supportés par le LABEX CORTEX (Grant ANR-11-LABX-0042) de l'Université de Lyon, avec le programme "Investissements d'Avenir" (Grant ANR-11-IDEX-0007), opéré par l'Agence Nationale de la Recherche Française (ANR).

De plus, une convention d'accueil a été signée avec l'entreprise Cog'X, qui m'a permis d'assister à des réunions et des formations avec des salariés pour comprendre l'impact des interruptions dans le monde professionnel.

REMERCIEMENTS

Je voudrais commencer par remercier mon directeur de thèse, George Michael, pour m'avoir accompagné et fait devenir le chercheur que je suis aujourd'hui. Vous m'avez trouvé comme jeune Master 1 insouciant il y a maintenant cinq ans et j'espère avoir appris au moins la moitié de tout ce que vous m'avez enseigné. Merci pour votre confiance, vos conseils avisés, vos encouragements et votre temps.

Je remercie également les membres de mon jury, Catherine Gabaude, Julien Cegarra François Maquestiaux, Céline Lemercier et Charles Tijus, qui ont accepté d'évaluer ce travail de thèse. Un merci tout particulier à Catherine Gabaude et Céline Lemercier pour leur aide précieuse lors des deux CSID auxquels elles ont participé.

Un grand merci aux membres du Laboratoire EMC et à son Directeur Bernard Lété, pour permettre aux doctorants de s'épanouir dans le monde de la recherche. Merci également à tous les étudiants que j'ai encadrés, pour tout leur travail, et merci à tous les étudiants de l'Université Lyon 2 qui ont accepté de prendre de leur temps pour passer mes expérimentations.

Merci à Christelle et Alain, pour leur relecture minutieuse de ce manuscrit et leur soutien.

Je voudrais également remercier chaleureusement mes amis. Mes amis doctorants, Rudy, Sarah, Sara et Geoffrey, pour m'avoir soutenu dans les moments de doute. Mes amis de Master, Sophia, Amandine, Lénaïc et Alexandre, avec qui j'ai commencé à apprendre à être chercheur et avec qui j'ai bien ri en K17. A mes amis d'enfance, Guilhem, Émilie et tous les autres, pour m'avoir écouté même si vous ne compreniez pas toujours ce que je vous racontais et pour me supporter depuis tant d'années.

A ma famille, merci pour votre soutien indéfectible. Merci d'avoir cru en moi, d'avoir fait en sorte que tout se passe bien, matériellement et moralement, pour que je puisse arriver au terme de cette grand aventure.

Enfin, merci Audrey, je ne te dirai jamais assez combien je te suis reconnaissant, pour tout... Ce fut trois longues années de péripéties dont j'espère tu apprécieras le dénouement !

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	IX
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CONTEXTE THÉORIQUE	7
I. QU'EST-CE QU'UNE INTERRUPTION ?.....	8
I.A. Définition d'une interruption.....	8
I.B. La chronologie d'une situation d'interruption.....	9
I.C. Situations à différencier d'une situation d'interruption	10
I.D. Les comportements face aux interruptions.....	11
II. LES MODELES THEORIQUES	12
II.A. Le Memory for Goal model (le modèle MfG)	12
II.B. La Threaded cognition (la Cognition Filée).....	15
II.C. Le Memory for Problem State model (le modèle MfPS).....	16
II.D. Le modèle DETOUR.....	17
III. LES TYPES D'INTERRUPTION	20
III.A. La Complexité de la tâche interromptrice	21
III.B. Le Moment de l'interruption	24
III.C. L'Agréabilité de la tâche interromptrice	28
III.D. La Source de l'interruption.....	31
IV. LES INTERRUPTIONS : CAS APPLIQUE	34
V. CONCLUSIONS ET QUESTIONNEMENTS	36
ÉTUDE 1 - INTERRUPTION D'UNE TACHE DE RECHERCHE D'EMAILS : EFFETS DE LA COMPLEXITE ET DU MOMENT DE L'INTERRUPTION	39
I. INTRODUCTION.....	42
II. METHOD.....	45
III. RESULTS.....	49
IV. DISCUSSION.....	52
V. REFERENCES.....	58
ÉTUDE 2 - IDENTIFICATION DES PROCESSUS IMPLIQUES DANS LE RETOUR A LA TACHE PRINCIPALE	63

I. INTRODUCTION.....	68
II. EXPERIMENT 1.....	72
II.A. Method.....	72
II.B. Results	77
III. EXPERIMENT 2.....	81
III.A. Method.....	81
III.B. Results	83
IV. GENERAL DISCUSSION.....	86
V. REFERENCES.....	90
ÉTUDE 3 - COMPLEXITE DES INTERRUPTIONS : PREUVES SUPPORTANT UNE THEORIE NON BASEE SUR LES INTERRUPTIONS	95
I. INTRODUCTION.....	100
II. EXPERIMENT 1.....	104
II.A. Method.....	104
II.B. Results and discussion.....	107
III. EXPERIMENT 2.....	109
III.A. Method.....	109
III.B. Results and discussion.....	110
IV. GENERAL DISCUSSION.....	112
V. REFERENCES.....	115
ÉTUDE 4 - NE M'INTERROMPS PAS, JE LE FAIS MIEUX MOI-MEME – ETUDES DES AUTO-INTERRUPTIONS	121
I. INTRODUCTION.....	126
II. METHOD.....	129
III. RESULTS.....	133
IV. DISCUSSION.....	138
V. REFERENCES.....	142
ÉTUDE 5 - INTERROMPS-MOI SEULEMENT SI CELA NE ME FAIT RIEN RESSENTIR – EFFET DE L'AGREABILITE DE LA TACHE INTERRUPTICE	147
I. INTRODUCTION.....	152
II. METHOD.....	153
III. RESULTS.....	157

IV. DISCUSSION.....	160
V. REFERENCES.....	163
ÉTUDE 6 - INTERRUPTIONS ET ERREURS SSM : RECHERCHE D'ARMES	
MULTIPLES DANS DES IMAGES DE VALISES PASSEES AUX RAYON-X.....	169
I. INTRODUCTION.....	174
II. METHOD.....	175
III. RESULTS OF EXPERIMENT 1.....	178
IV. RESULTS OF EXPERIMENT 2.....	180
V. DISCUSSION.....	182
VI. REFERENCES.....	185
SYNOPSIS	189
I. LES INTERRUPTIONS SONT-ELLES VRAIMENT TOUJOURS PERTURBANTES ?.....	190
I.A. Ne m'interromps pas, je suis en train de trier mes emails.....	191
I.B. ... mais je cherche des armes maintenant, tu peux y aller !.....	191
I.C. Une multitude d'interruptions pour une multitude d'effets.....	192
I.C.1. Déclinez les tâches interruptrices trop complexes	192
I.C.2. Évitez les interruptions en début d'activité	194
I.C.3. Gare aux auto-interruptions !	196
I.C.4. Préférez des interruptions neutres	197
II. CONSIDERATIONS THEORIQUES : REFORME DES MODELES EXISTANTS.....	198
II.A. Contributions générales et perspectives	199
II.B. Amélioration du modèle DETOUR.....	202
III. RESISTER MIEUX AUX INTERRUPTIONS : LIMITES ET RECOMMANDATIONS	205
III.A. Analyser chaque situation au cas par cas	206
III.B. Bientôt tous champions des interruptions ?.....	207
IV. UN MONDE PROFESSIONNEL A TRANSFORMER : PERSPECTIVES.....	208
IV.A. Vers une modification des espaces de travail.....	208
IV.B. Vers une modification des moyens de communication.....	209
IV.C. Vers une modification des comportements	210
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	213
PRODUCTIONS ET MISSIONS REALISEES AU COURS DE LA THESE	231

LISTE DES ABREVIATIONS

ICI = Inter Click Interval

MfG = Memory for Goal

MfPS = Memory for Problem State

PS = Problem State

SAS = Système Attention Superviseur

SSM = Subsequent Search Miss

TI = Tâche Interruptrice

TP = Tâche Principale

TR = Temps de Retour

A tous ceux qui souffrent des interruptions...

A Audrey

INTRODUCTION GENERALE

Le monde du travail a incontestablement évolué au cours des dernières années, tant au niveau de l'activité que des rythmes de travail, des systèmes de management ou de la communication. En 1962, 60 % de la population active travaillait dans l'agriculture, l'industrie ou la construction et les 40 % restant travaillaient dans le secteur tertiaire (d'après une étude de l'INSEE, 2010). En 2016, la balance est complètement inversée puisque le secteur tertiaire emploie désormais 77 % de la population active (toujours d'après une étude de l'INSEE, 2018). Bien que les activités agricoles et ouvrières génèrent une certaine part de distractions et d'interruptions, les emplois de bureau créent indubitablement des situations de travail dans lesquelles la concentration est plus difficile à maintenir, sans oublier tous les corps de métiers où les interruptions peuvent avoir des conséquences réellement néfastes, tels que les métiers du secteur médical, de la sécurité ou du transport (Iani & Wickens, 2007; Latorella, 1996; Raban & Westbrook, 2014; Sasangohar, Donmez, Easty, & Trbovich, 2017; Sasangohar, Donmez, Trbovich, & Easty, 2012; Werner & Holden, 2015). La constante augmentation d'emplois dans ces types de métier entraîne donc une grande partie de la population active à travailler dans des environnements où il est impossible de réaliser une activité précise du début à la fin sans interruption. Sune Carlson, économiste suédois, a étudié le travail des managers au début des années cinquante et a décrit qu'un manager était interrompu (l'activité en cours est suspendue pendant un certain laps de temps pour réaliser une autre activité) en moyenne toutes les vingt minutes (Carlson, 1951). Les pratiques ayant évolué depuis, cette *Loi de Carlson* a été révisée et il semblerait que l'on soit plutôt passé à une interruption toutes les douze minutes (Nivoix & Lebreton, 2006) voire toutes les cinq minutes (Jackson, Dawson, & Wilson, 2003; Sykes, 2011).

Cette augmentation du nombre d'interruptions avec le temps pourrait s'expliquer de plusieurs manières. D'une part, les modes de communications ont évolué et les conversations en face à face ont laissé place aux entretiens téléphoniques, puis aux mails et aux messageries instantanées. La communication est donc plus fragmentée, même si l'échange d'informations est plus facile et plus rapide (Bawden & Robinson, 2009). D'autre part, la numérisation du travail force à utiliser un ordinateur, qui est à lui seul une source inépuisable de distractions : notifications, réseaux sociaux, jeux, etc. Enfin, la pratique managériale a évolué. Avec l'idée de favoriser les collaborations, les bureaux fermés ont laissé place à des environnements de travail ouverts où les interruptions d'autrui sont devenues nos propres sources de déconcentration (Mark, Gonzalez, & Harris, 2005). La pression sociale ou celle des supérieurs hiérarchiques a également augmenté, ce qui pousse les salariés à répondre rapidement aux emails ou entamer des discussions avec des collaborateurs même si ce n'est pas urgent. Les

interruptions au travail sont donc un enjeu important pour une société, car un employé interrompu est théoriquement un employé qui travaille moins, ou moins bien (Burgess, Jackson, & Edwards, 2005). Mais les interruptions sont également un enjeu important pour la Société, car un nombre croissant de recherches montre que la sur-sollicitation au travail et la fragmentation des activités peuvent engendrer des troubles physiques et physiologiques, tels que du stress ou de la fatigue, mais aussi des troubles cognitifs tels qu'un trouble de l'attention ou une augmentation de la charge mentale (Bawden & Robinson, 2009).

Ce travail de thèse a donc un double objectif : (i) identifier précisément les différentes fonctions cognitives impliquées dans le report d'une activité (ii) identifier les conditions et facteurs qui produisent les effets les plus délétères et (iii) apporter une meilleure compréhension de certains types d'interruption encore pas ou mal connus.

La première partie sera consacrée au contexte théorique sur les interruptions. Nous donnerons tout d'abord une définition de ce qu'est une interruption, afin de la distinguer d'autres types de situation, et nous expliquerons les différentes conséquences cognitives ou comportementales qu'elle peut provoquer. Nous détaillerons ensuite différents modèles théoriques développés spécifiquement sur une situation de tâche et nous étudierons différents types d'interruption pour lesquels les effets sont peu ou mal connus. Enfin, nous évoquerons une situation spécifique où les interruptions peuvent avoir des conséquences désastreuses dans un contexte appliqué : la détection de cibles multiples dans le domaine de la sûreté aéroportuaire.

Dans une deuxième partie, nous présenterons les différentes études expérimentales menées pendant ce travail de thèse. L'étude 1 a permis d'identifier l'effet des interruptions en fonction de leur complexité et du moment de leur survenue. L'étude 2 a permis de déterminer les fonctions cognitives impliquées dans le retour à la tâche interrompue grâce à l'utilisation de tests cognitifs ciblant des fonctions précises. L'étude 3 a permis d'isoler une des théories expliquant l'effet de la complexité des interruptions grâce à la manipulation d'une pause entre la fin de l'interruption et le retour à la tâche interrompue. L'étude 4 a permis de distinguer les effets des interruptions autogénérées par rapport aux interruptions hétérogénérées. L'étude 5 a permis de comprendre l'effet du caractère plaisant des interruptions, caractéristique encore jamais étudiée dans la littérature. Enfin, l'étude 6 a permis de transférer nos découvertes sur les interruptions vers une situation appliquée où leurs conséquences peuvent être désastreuses : la recherche d'armes dissimulées dans des valises.

Dans la dernière partie, nous ferons la synthèse des différents résultats récoltés au cours de ce travail de thèse en revenant sur quelques questions fondamentales : reporter une activité implique-t-il une ou plusieurs fonctions cognitives ? Ces fonctions sont-elles toujours impliquées, quel que soit le type d'interruptions ? Une meilleure compréhension des interruptions peut-elle nous permettre de trouver des solutions de remédiation aux effets délétères des interruptions ?

CONTEXTE THÉORIQUE

Dans ce chapitre, nous allons explorer la littérature pour en apprendre plus sur les interruptions et leurs effets sur le système cognitif. Bien que les champs de recherche sur les interruptions soient variés (management, neurosciences, informatique, etc.), nous nous concentrerons dans ce travail de thèse sur le domaine de la psychologie cognitive. Nous commencerons par expliquer ce qu'est une interruption grâce à une définition précise et une énumération de toutes ses caractéristiques. Nous expliquerons en quoi elle se distingue d'autres événements pouvant altérer la concentration. Nous décrirons ensuite plusieurs modèles théoriques pour connaître les mécanismes cognitifs nécessaires pour reporter une activité. Enfin, nous exposerons différents types d'interruption, en expliquant comment et pourquoi ils contribuent à les rendre néfastes.

I. QU'EST-CE QU'UNE INTERRUPTION ?

En cherchant dans les différents articles portant sur les interruptions, il apparaît que ce phénomène ne possède pas de définitions qui fassent consensus. Nous allons donc essayer de faire une synthèse des différentes définitions que l'on peut trouver dans la littérature.

I.A. Définition d'une interruption

Selon Brixey et al. (2007), une interruption peut être définie comme « une pause dans une activité humaine initiée par une source interne ou externe, dont la survenue est située dans un contexte particulier. Cette pause a pour effet la suspension de la tâche initiale pour commencer une tâche non planifiée avec l'intention de retourner ensuite à la tâche initiale » (page 13). Pour les auteurs, une interruption est donc définie par cinq paramètres : (i) c'est une expérience *humaine* (ii) qui correspond à l'intrusion d'une seconde tâche *non planifiée* (iii) de manière *auto ou hétérogénérée* (iv) dans un *contexte* particulier ; (v) la tâche initiale est donc réalisée de manière *discontinue*. Dans leur modèle, Couffe & Michael (2017) apportent des éléments supplémentaires. Les auteurs insistent sur *l'intention de reprendre* la tâche interrompue après l'interruption, ce qui distingue une situation d'interruption d'un simple changement de tâche. De plus, l'interruption n'est pas forcément inattendue, comme ça peut être le cas avec les interruptions autogénérées.

I.B. La chronologie d'une situation d'interruption

Outre ces différents paramètres, une situation de tâche interrompue se définit par son déroulement temporel, jalonné de plusieurs événements caractéristiques (voir Figure 1; Boehm-Davis & Remington, 2009). Toute situation d'interruption commence par la réalisation d'une tâche, que nous appellerons dans la suite de ce travail de thèse la *tâche principale*. Après avoir exécuté différentes étapes sur cette tâche, une nouvelle tâche peut surgir, à travers une *alerte* (Andrews, Ratwani, & Trafton, 2009). Si nous décidons de faire la tâche interruptrice, alors nous devons nous désengager de la tâche principale et nous orienter vers l'interruption pour la commencer. Une fois celle-ci terminée, nous devons nous en désengager pour nous réorienter vers la tâche principale et ainsi la continuer et la terminer. Deux événements sont donc inhérents à une situation d'interruption : (i) l'intervalle entre la réception de l'alerte de l'interruption et son commencement, aussi appelé « Délai d'interruption », qui est une période de préparation cognitive au changement de tâches et d'encodage des informations de la tâche principale (Altmann & Trafton, 2004) et (ii) l'intervalle entre la fin de l'interruption et la première action sur la tâche principale, aussi appelé « Temps de Retour », qui est une période de changement de tâches et de recontextualisation (Hodgetts & Jones, 2006). Ces deux intervalles impliquent un ensemble de fonctions cognitives plus ou moins communes (comme nous l'expliquerons plus tard) car augmenter le délai d'interruption diminue le temps de retour (Andrews et al., 2009; Hodgetts & Jones, 2003; Trafton, Altmann, Brock, & Mintz, 2003).

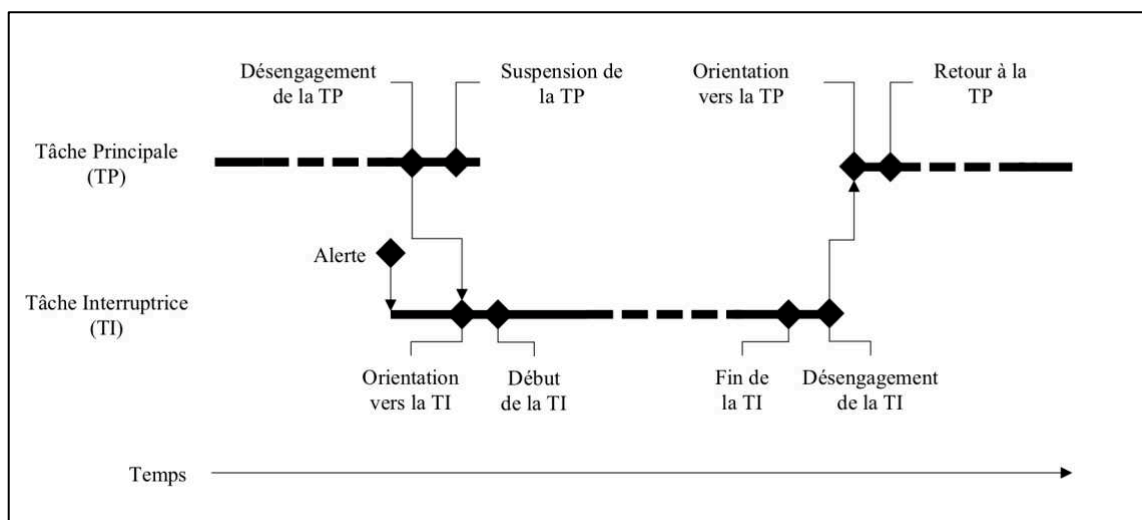


Figure 1. Schéma d'une interruption (adapté de Boehm-Davis & Remington, 2009).

I.C. Situations à différencier d'une situation d'interruption

Après avoir expliqué ce qu'est une interruption, il est important de différencier les situations d'interruption d'autres situations faisant intervenir plusieurs tâches (voir Tableau 1). Nous donnerons les exemples qui font le plus consensus, bien que tous les chercheurs ne soient pas foncièrement d'accord dans la littérature. Ce cadre permettra néanmoins de définir des bornes communes sur ces différentes situations.

Une interruption n'est pas une *distraction*, où un élément extérieur attire notre attention pendant quelques secondes vers autre chose que l'activité en cours et ainsi perturbe notre concentration (Jett & George, 2003). C'est par exemple entendre une sonnerie de téléphone et se rendre compte que c'est celui du voisin. Une interruption est une tâche qui demande une charge cognitive et une procédure, et qui vient suspendre une autre tâche qui demande également une charge cognitive et une procédure. Une distraction est juste une brève perturbation dans notre champ perceptif qui pourrait être l'alerte d'une interruption à laquelle nous avons décidé de ne pas répondre (Couffe & Michael, 2017).

Une interruption n'est pas une *pause*, où l'on décide d'arrêter notre activité pour se reposer ou faire une activité personnelle (Jett & George, 2003). C'est par exemple aller chercher du café ou aller aux toilettes. Encore une fois, la tâche interruptrice doit être une tâche avec une certaine demande cognitive, alors qu'une pause est l'arrêt d'une tâche pour ne rien faire pendant une durée plus ou moins déterminée. Contrairement aux interruptions, les pauses auraient des effets bénéfiques pour notre productivité (Altmann & Trafton, 2015), sauf si elles consistent à faire une activité cognitive (S. Kim, Park, & Niu, 2017).

Une interruption n'est pas un simple *changement de tâches*, où l'on commence une tâche B après avoir fini une tâche A. Par exemple, lire un rapport après avoir envoyé un email. Une interruption est l'intrusion d'une tâche pendant la réalisation d'une autre tâche, donc nous devons reprendre la tâche interrompue une fois l'interruption terminée ; cette situation est différente de commencer une nouvelle tâche C (Kowalczyk & Grange, 2017).

Une interruption n'est pas de la *double tâche*, où deux tâches sont réalisées en même temps. Par exemple, discuter au téléphone et en même temps écrire un email. Réaliser deux tâches en simultané demande une division des ressources attentionnelles. Celles-ci étant limitées (Kahneman, 1973; Wickens, 2008), de moins bonnes performances sont donc attendues. Au contraire, une interruption est la suspension d'une tâche pour la réalisation d'une autre et les deux tâches ne sont jamais réellement réalisées en même temps.

Enfin, une interruption n'est pas non plus une activité de tâches multiples, qui est une situation générale où plusieurs tâches sont réalisées en parallèle (Buser & Peter, 2012). Par exemple, écrire un email en discutant avec un collègue et avec une vidéo en arrière-plan. Une activité de tâches multiples est donc une situation particulière qui contient tous les types de situation précédemment cités et des interruptions, mais qui n'y est pas réduite. Ici, plusieurs tâches sont réalisées dans un certain laps de temps, parfois de manière simultanée et parfois de manière non simultanée.

Table 1. Description des différents types de situation que l'on peut rencontrer lors de la réalisation d'une activité

Situation	Description
Interruption	L'activité principale est suspendue pendant un certain temps pour réaliser une autre activité.
Distraction	L'attention est divertie par une perturbation extérieure pendant quelques secondes.
Pause	L'activité principale est arrêtée pour se reposer.
Changement de tâches	L'activité principale est terminée ou arrêtée et une autre est commencée
Double Tâche	Deux activités sont réalisées en parallèle.
Tâches multiples	Situation générale où plusieurs activités sont réalisées de manière simultanée ou non.

I.D. Les comportements face aux interruptions

Il existe plusieurs types de comportement à adopter pour répondre aux interruptions, et chaque comportement va conditionner la présence et la durée des différentes étapes d'une situation d'interruption. McFarlane (2002) en a détaillé quatre.

Le premier comportement est la réponse « immédiate » : à l'alerte, on change immédiatement de tâche. Par exemple, on répond au téléphone dès que l'on entend sa sonnerie et on commence une nouvelle tâche. Ce serait le comportement le plus perturbant, car on arrête brutalement la tâche en cours.

Le deuxième comportement est la réponse « négociée » : à l'alerte, on essaye de savoir si la nouvelle tâche peut être réalisée à un meilleur moment. Par exemple, on répond au téléphone en demandant si c'est vraiment urgent et on reporte l'appel dans le cas contraire. Ce

comportement est moins perturbant que la réponse immédiate, mais traiter la demande crée tout de même une perturbation (Lee, Chung, & Kim, 2018).

Le troisième comportement est la réponse « médiatisée » : la gestion de l'interruption est déléguée à un médiateur, humain ou numérique, qui s'occupera de la nouvelle tâche. Par exemple, les appels entrants sont directement basculés vers un standard téléphonique qui enregistrera l'appel. Ce comportement est peu coûteux, mais requiert la présence d'une tierce personne ou d'un matériel spécialisé (Srinivas, Reddy, & Faiola, 2017).

Enfin, le dernier comportement est la réponse « programmée » : on fait en sorte de ne recevoir aucune alerte et on traite toutes les tâches additionnelles à des moments prédéfinis. Par exemple, c'est couper la sonnerie du téléphone et écouter son répondeur quand on a du temps libre. C'est le comportement le moins coûteux car la tâche initiale n'est plus interrompue de façon hétérogénérée mais plutôt de façon autogénérée (Mark, Iqbal, Czerwinski, Johns, & Sano, 2016).

II. LES MODELES THEORIQUES

Maintenant qu'une définition précise des interruptions a été donnée, nous allons aborder quatre modèles théoriques qui permettent d'expliquer pourquoi les interruptions provoquent de tels effets sur notre comportement : (i) le Memory for Goal model (modèle MfG : Altmann & Trafton, 2002; Trafton, Altmann, & Ratwani, 2011), (ii) la Threaded Cognition (la Cognition Filée : Salvucci & Taatgen, 2008; Salvucci, Taatgen, & Borst, 2009), (iii) le Memory for Problem States model (le modèle MfPS : Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015), et (iv) le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017). Ces modèles serviront à nous éclairer sur les fonctions cognitives qui nous permettent de suspendre puis de reprendre une activité. Nous présenterons ces modèles dans l'ordre chronologique de leur création, en détaillant les différents aspects qu'ils abordent ainsi que leurs supports et détracteurs empiriques.

II.A. Le Memory for Goal model (le modèle MfG)

Le modèle MfG a été publié pour la première fois en 2002 par Altmann et Trafton et fut le premier modèle créé pour expliquer une situation d'interruption. Il a ensuite été complété en

2011. Selon les auteurs, toute activité est associée à un but, qui est « la représentation mentale de l'intention d'accomplir une tâche, d'atteindre un certain état, ou de réaliser une action mentale ou physique » (p. 1 ; Altmann & Trafton, 2002). Quand on progresse dans une tâche, son but s'active et il se désactive quand la tâche est terminée. Dans la situation où la tâche principale est interrompue, une nouvelle tâche est imposée, avec son propre but. Or, un seul but peut être activé à la fois et c'est celui qui a la plus grande activation qui permet un comportement. Comme le retour à la tâche principale est envisagé, son but ne doit pas être complètement supprimé. Il sera donc stocké en mémoire en attendant que l'interruption se termine. Cependant, comme toute information en mémoire de travail, son niveau d'activation diminue progressivement jusqu'à être complètement désactivé (Camos & Portrat, 2015). Seule la possibilité de répéter le but de la tâche principale pendant l'interruption peut prévenir et ralentir cette désactivation (Hodgetts & Jones, 2006).

Une fois l'interruption terminée, le but de la tâche principale doit être réactivé pour devenir le but le plus activé. C'est à cette seule condition qu'une nouvelle action correcte est permise. Le temps nécessaire pour recommencer la tâche principale, appelé *Resumption Lag* (nous emploierons le terme *Temps de Retour* dans la suite de ce manuscrit), dépend donc du temps nécessaire pour réactiver le but de la tâche principale. Le retour sera plus lent si le but est peu ou pas activé et si le but de la tâche principale crée une forte interférence. Si une action est réalisée alors que le but de la tâche principale n'est pas suffisamment activé ou qu'il n'est pas le but le plus activé, alors les auteurs prédisent une plus forte probabilité que cette action entraîne une erreur (Trafton et al., 2011). La première action après l'interruption semble donc être plus lente que dans une situation sans interruption, à cause de l'ajout de ce Temps de Retour qui contient les processus normaux de traitement de la tâche principale et des processus de réactivation de la tâche. Cependant, il semblerait que seulement les premières étapes de la tâche principale soient ralenties par l'interruption car plusieurs études ont montré une accélération du traitement des dernières étapes de la tâche principale (Altmann & Trafton, 2007; Trafton & Monk, 2007).

Le modèle MfG a reçu de nombreux supports depuis sa création (Hodgetts & Jones, 2006; Li, Blandford, Cairns, & Young, 2008; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008; Trafton et al., 2003) et est depuis le modèle de référence dans le domaine. Tout d'abord, il permet d'expliquer l'effet de la durée des interruptions. Comme nous l'avons vu, le modèle prédit que le niveau d'activation du but de la tâche principale conditionne la vitesse du temps de retour ; plus l'interruption est longue, plus le but se désactive pendant l'interruption et plus son niveau

d'activation sera bas au moment de recommencer la tâche principale. Une longue interruption entraîne donc un long temps de retour et une forte probabilité de faire une erreur (Hodgetts & Jones, 2006; Trafton & Monk, 2007). Ensuite, Trafton et al. (2003) ont montré que plus le délai d'interruption est long, plus le temps de retour après l'interruption est court. Ce phénomène peut être expliqué par le fait qu'avoir du temps avant l'interruption permet de mieux encoder le but de la tâche principale et ainsi augmenter son activation. Une fois l'interruption terminée, le niveau d'activation du but est ainsi plus élevé et le temps de retour plus court. Enfin, il semblerait que la mémoire de travail soit bien liée à la capacité à gérer une interruption. En effet, des personnes ayant de bonnes capacités en mémoire de travail recommencent plus rapidement la tâche principale après l'interruption (Drews & Musters, 2015; Foroughi, Werner, McKendrick, Boehm-Davis, & Cades, 2016; Werner et al., 2011) et font moins d'erreurs (Foroughi, Malihi, & Boehm-Davis, 2016). De plus, stimuler le cortex préfrontal dorso-latéral, dont l'activation est fortement associée aux performances de la mémoire de travail, accélérerait le temps de retour après interruption (Blumberg et al., 2015).

Cependant, ce modèle ne permet pas d'expliquer tous les résultats obtenus dans la littérature. En effet, certains auteurs ne retrouvent pas les effets prédits par le modèle comme une baisse de performance avec interruptions (Adamczyk & Bailey, 2004; Gillie & Broadbent, 1989; Zijlstra, Roe, Leonora, & Krediet, 1999), ou un effet de la durée de l'interruption (Bailey, Konstan, & Carlis, 2000; Gillie & Broadbent, 1989); nous verrons que d'autres modèles permettent d'expliquer ces effets. Le modèle ne permet pas non plus d'expliquer certains effets pourtant obtenus dans la littérature comme un effet de similarité entre la tâche principale et l'interruption (Eyrolle & Cellier, 2000; Gillie & Broadbent, 1989; Lee & Duffy, 2015; Pankok et al., 2017) ou un effet de la fréquence des interruptions (Cades, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2011; Lee & Duffy, 2015; Trafton et al., 2003; Zish & Trafton, 2014). La version actuelle du modèle n'est donc pas pleinement satisfaisante et aurait besoin d'être complétée ou révisée. En conclusion, le modèle MfG prédit que le retour à la tâche principale dépend principalement de la mémoire de travail, qui permet le stockage, le maintien et la récupération du but qui lui est associée, mais aussi de mécanismes inhibiteurs pour réduire l'interférence créée par le but de la tâche interromptrice.

II.B. La Threaded cognition (la Cognition Filée)

Le modèle de la Cognition Filée est un modèle basé sur les situations d'activités multiples (Salvucci & Taatgen, 2008; Salvucci et al., 2009) mais qui peut également être utilisé pour mieux comprendre une situation d'interruption. Le modèle se base sur une architecture de la cognition appelée ACT-R (Anderson, 2007), qui stipule que la cognition est un ensemble de modules cognitifs tels que (i) le module de mémoire déclarative, qui permet le stockage de connaissances factuelles (ii) le module des buts, comme défini dans le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002) (iii) le module de la représentation des problèmes, qui contient une information intermédiaire pour la résolution d'un problème ou encore (iv) le module procédural, qui permet la communication entre tous les autres modules. Une tâche aurait besoin d'un ensemble de « fils » (thread) qui contient tous les processus et modules nécessaires à la satisfaction de son but. Par exemple, résoudre l'équation $2x + 4 = 8$ nécessite la création d'un but « résoudre le calcul », qui comprend la récupération des règles d'addition et de multiplication, le stockage du calcul intermédiaire $2x = 4$, etc. Le modèle se base également sur le modèle de ressources multiples (Wickens, 2008), qui prédit que le système cognitif a de multiples réservoirs de ressources cognitives répartis en plusieurs dimensions. Chaque module de la cognition possède son propre réservoir de ressources donc deux fils peuvent être réalisés en même temps s'ils sont suffisamment différents pour ne pas nécessiter les mêmes ressources. Cependant, un module ne peut être utilisé que par un seul fil à la fois. Dans le cas où un module doit être utilisé par deux fils en même temps, cela crée des interférences et une baisse de performance.

Dans le cas d'une situation d'interruption, les auteurs prédisent que le but de la tâche interromptrice doit être activé et celui de la tâche principale doit être stocké en mémoire déclarative pour le récupérer une fois l'interruption terminée. Cependant, ils postulent que ce but ne se désactive pas pendant l'interruption. La baisse de performance ne provient donc pas de la désactivation du but de la tâche principale pendant l'interruption mais du simple fait que le récupérer prend du temps et peut ne pas être réussi (Borst & Taatgen, 2007). De plus, le modèle explique l'effet de plusieurs types d'interruption par la multiplicité de fils créés par la tâche interromptrice (voir Figure 2). En effet, pendant l'interruption, un fil est créé pour réaliser la tâche interromptrice et un autre fil est créé pour répéter le but de la tâche principale afin d'améliorer son rappel à la fin de l'interruption. Ces deux fils sont rapidement activés tour à tour. En fonction du type d'interruption, le fil qui permet la réalisation de la tâche interromptrice

nécessitera plus ou moins de ressources, en en laissant plus ou moins disponibles pour la répétition du but associé à la tâche principale. Par exemple, aucun fil n'est créé si la tâche interromptrice consiste à ne rien faire. Le but de la tâche principale sera donc bien répété et plus rapidement récupéré (Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2004). Le modèle prédit également que la tâche interromptrice sera moins bien réussie si elle a été réalisée seule car une partie des ressources est engagée dans la répétition du but de la tâche principale (Salvucci & Beltowska, 2008).

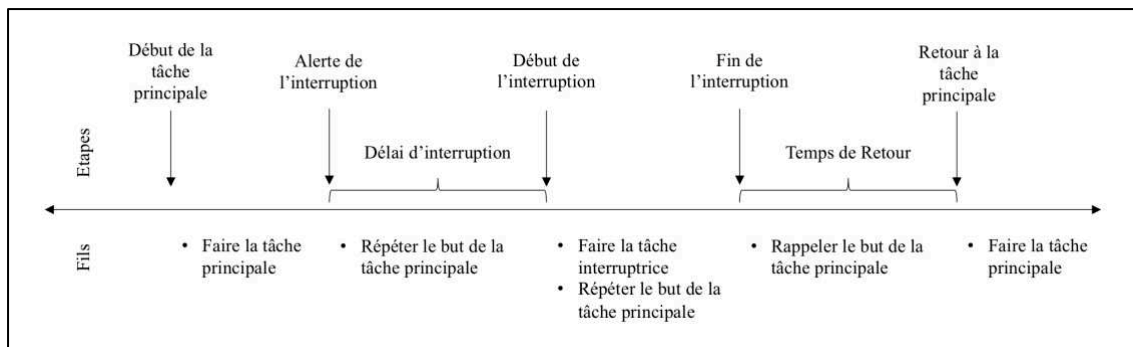


Figure 2. Déroulé temporel d'une situation d'interruption avec les fils activés pour chaque stage (adaptée de Salvucci et al., 2009)

Le modèle de la Cognition Filée semble donc apporter certaines réponses que le modèle MfG ne propose pas, mais il ne permet pas d'expliquer tous les résultats obtenus dans la littérature comme l'effet de l'anticipation de l'interruption ou la similarité entre la tâche principale et la tâche interromptrice. En conclusion, la Cognition Filée prédit que le retour à la tâche principale dépend principalement de la mémoire de travail et de la gestion des ressources attentionnelles, qui permet le stockage, le maintien et la récupération du but qui lui est associé.

II.C. Le Memory for Problem State model (le modèle MfPS)

Le modèle MfPS est un modèle cognitif (Borst et al., 2015) qui s'appuie sur certaines faiblesses du modèle MfG pour le transformer. Pour cela, les auteurs ne se sont pas concentrés sur les buts liés aux tâches, mais sur un module introduit par la Cognition Filée qu'ils appellent un *problem state (PS)*, qui « permet de maintenir des représentations mentales intermédiaires qui sont nécessaires pour réaliser une tâche » (p. 364 ; Borst, Taatgen, & van Rijn, 2010). Pour l'illustrer, les auteurs prennent l'exemple de la résolution d'un problème mathématique : pour résoudre l'équation $2x + 4 = 8$, un PS peut être utilisé pour mémoriser le résultat intermédiaire

$2x = 4$. Les PS sont utilisables grâce à un réservoir de ressources qui leur est propre (Kahneman, 1973; Wickens, 2008). Ces ressources étant limitées, il n'y a donc qu'un nombre fini d'informations qui peuvent être encodées. Dans la situation où la tâche principale est interrompue, le PS associé à la tâche principale doit être suspendu et maintenu en mémoire déclarative, pour permettre la création d'un nouveau PS pour la tâche interruptrice. Comme pour les buts du modèle MfG, un PS ne peut conserver son niveau d'activation et se désactivera progressivement. Une fois l'interruption terminée, le PS devra être récupéré et la qualité du retour à la tâche principale dépendra de ce temps de réactivation : plus le PS aura été désactivé, plus le temps de retour sera long et plus le nombre d'erreurs sera élevé. A l'instar du modèle MfG, le modèle MfPS prédit un effet de la durée de l'interruption, car plus l'interruption sera longue, plus le PS associé à la tâche principale se sera désactivé.

Cependant, à la différence des buts, une tâche ne nécessite pas forcément un PS (Borst & Taatgen, 2007). En effet, si la tâche ne requiert pas la mémorisation d'informations intermédiaires pour être réalisée, elle n'aura pas besoin d'un PS. Ainsi, les auteurs prédisent que si la tâche principale ne requiert pas de PS, alors il n'y aura pas d'effet de l'interruption car aucune information ne se désactivera pendant l'interruption (Salvucci et al., 2009). Un effet de la durée de l'interruption n'est donc pas non plus attendu. Si la tâche interruptrice ne requiert pas de PS, alors le PS associé à la tâche principale n'aura pas besoin d'être conservé en mémoire déclarative et ne se désactivera pas pendant l'interruption ; encore une fois, un effet de l'interruption et de sa durée ne sont pas attendus. Ce changement par rapport au modèle MfG permet donc d'expliquer des résultats que le modèle ne pouvait pas expliquer, notamment l'absence d'effet des interruptions très simples (Gillie & Broadbent, 1989; Monk et al., 2004). Cependant, le modèle n'a pas reçu de preuves empiriques depuis sa publication permettant de valider ou d'invalider ses autres prédictions (à l'exception des résultats présentés par les auteurs du modèle). En conclusion, le modèle MfPS prédit comme les modèles précédents que le retour à la tâche principale dépend principalement de la mémoire de travail et de la gestion des ressources attentionnelles.

II.D. Le modèle DETOUR

Le modèle DETOUR (i.e. Decision, Encoding, Task switching, Operating, Updating and Resumption) est un modèle encore plus récent (Couffe & Michael, 2017). Le modèle explique une situation d'interruption étape après étape en expliquant clairement quelles

fonctions cognitives sont nécessaires pour passer à l'étape suivante (voir Figure 3), et cela en s'appuyant sur l'ensemble des recherches étudiant les interruptions mais aussi le changement de tâche, les activités de tâches multiples et la mémoire de travail. Les auteurs proposent donc un modèle général et exhaustif censé représenter toutes les situations. Le modèle DETOUR s'appuie en grande partie sur les modèles MfG et MfPS dans le sens où la suspension de la tâche principale entraîne la suspension d'informations qui y sont associées. Par contre, ce ne sont pas que le but et les PS qui s'activent avec la progression dans une tâche mais des schémas d'actions (Norman & Shallice, 1986). Un schéma d'action correspond à la représentation mentale abstraite qui résume de façon structurée une action ou un comportement. Il se construit avec l'expérience et sert de cadre pour réaliser une action déjà rencontrée. Progresser dans une tâche permet l'activation progressive des schémas d'action qui lui sont associés. A l'instar des buts, les schémas d'action d'une seule tâche peuvent être activés en même temps et le comportement est dirigé par ceux qui possèdent la plus grande activation ; les autres schémas doivent donc être maintenus en mémoire.

Nous allons maintenant décrire chacune des étapes d'une situation d'interruption comme les décrit le modèle DETOUR. Alors que nous sommes en train de faire une tâche principale, une alerte nous avertit de l'arrivée d'une seconde tâche et nous devons choisir quel comportement adopter : ne pas commencer la nouvelle tâche et l'alerte devient une simple distraction, commencer la nouvelle tâche sans arrêter la tâche principale et travailler en double tâche, arrêter la tâche principale pour commencer la nouvelle tâche et là c'est une situation d'interruption. Les schémas d'actions se désactivent durant la phase de décision car l'attention est divertie par la décision à prendre (Adamczyk & Bailey, 2004). Après avoir décidé d'interrompre la tâche principale, et si l'interruption ne commence pas immédiatement, nous avons la possibilité de stocker en mémoire de travail les schémas d'action associés à la tâche principale, mais aussi son but et tout ce qui a été fait avant l'interruption, afin de renforcer leur activation et de prévenir leur désactivation pendant l'interruption (Altmann, Trafton, & Hambrick, 2014). Ensuite, nous devons quitter la tâche principale pour commencer la tâche interruptrice. Pour cette phase, les auteurs se sont basés sur la littérature de la flexibilité mentale, qui permet l'alternance entre deux tâches. Pour changer de tâches, il faut que le système cognitif sélectionne et active le bon schéma d'action (Kiesel et al., 2010; Monsell, 2003; Monsell, Yeung, & Azuma, 2000). Les schémas d'action ont donc besoin d'être reconfigurés, avec l'inhibition des schémas associés à la tâche principale et l'activation des schémas associés à la tâche interruptrice (Koch, Gade, Schuch, & Philipp, 2010).

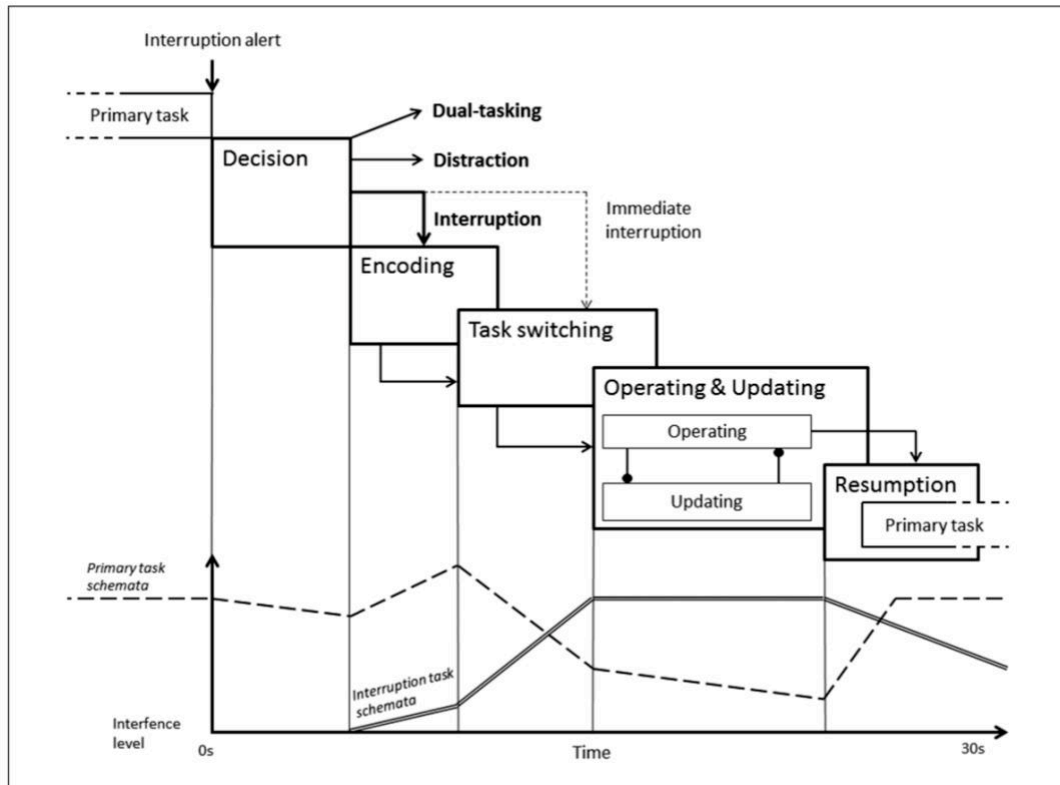


Figure 3. *Décours temporel d'une situation d'interruption (adapté de Couffe & Michael, 2017). Chaque étape est associée à l'activation ou la désactivation des schémas d'action associés à chacune des tâches*

Les auteurs se sont inspirés des prédictions de la Cognition Filée en prédisant que pendant l'interruption, deux opérations sont accomplies en parallèle : la réalisation de la tâche interromptrice et la répétition des schémas d'action associés à la tâche principale, qui leur permet de conserver un certain niveau d'activation. Chacune de ces opérations demande des ressources cognitives pour être exécutées ; étant limitées et parce que faire la tâche interromptrice demande le focus de l'attention, les schémas se désactivent progressivement. Les auteurs prédisent que les schémas ne peuvent pas être maintenus pendant plus de trente secondes ; passé ce délai, les schémas seraient complètement désactivés (Altmann & Trafton, 2007). Seules des pauses pendant l'interruption pourraient permettre un rafraîchissement de ces schémas et ralentir leur désactivation (Altmann & Trafton, 2015). Une fois l'interruption terminée, les schémas d'action associés à la tâche interromptrice doivent être inhibés et ceux associés à la tâche principale doivent être récupérés. Comme pour les modèles MfG et MfPS, plus les schémas d'action auront été désactivés, plus il faudra du temps pour qu'ils atteignent un niveau d'activation suffisant pour permettre une action.

Le modèle DETOUR semble donc plus complet que les trois modèles décrits précédemment car il offre une vision plus holistique d'une situation d'interruption. Il est en adéquation avec la plupart des résultats publiés dans la littérature et permet d'expliquer un grand nombre de types d'interruption, notamment la similarité entre les tâches principales et interromptrices et la fréquence de l'interruption. Cependant, ce modèle est trop récent pour avoir été testé dans son intégralité et ne permet pas d'expliquer dans sa version actuelle toutes les situations que l'on peut rencontrer : comment expliquer les différences entre les interruptions hétéro versus autogénérées ou entre des interruptions attendues versus inattendues ? En conclusion, le modèle DETOUR prédit comme les modèles précédents que le retour à la tâche principale dépend de la mémoire de travail et de la gestion des ressources attentionnelles, mais aussi de la flexibilité mentale et des processus inhibiteurs pour changer de tâche.

III. LES TYPES D'INTERRUPTION

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, une situation d'interruption engagerait un ensemble de fonctions et de processus cognitifs, plus ou moins différents en fonction du modèle théorique sur lequel on se base. Ce qui est commun à tous les modèles cependant, c'est que le type d'interruption influence le fonctionnement des processus mis en œuvre dans la suspension et le report de la tâche principale. Toutes les interruptions ne devraient donc pas provoquer les mêmes perturbations. C'est pourquoi il est nécessaire d'identifier comment chaque interruption modifie son effet, afin de pouvoir proposer des stratégies efficaces de remédiation. L'effet et les causes de certains types d'interruption sont bien connus et font consensus dans la littérature, comme la durée de l'interruption. Malheureusement, d'autres caractéristiques des interruptions n'ont pas suscité le même intérêt. C'est pourquoi, dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à quatre types d'interruption, soit qui ont été peu ou pas étudiés pour l'instant, soit dont l'effet possède de multiples interprétations : (i) la complexité de la tâche interromptrice (ii) le moment de survenue de l'interruption (iii) le caractère plaisant de la tâche interromptrice et (iv) la source de l'interruption, qui peut être auto ou hétérogénérée.

III.A. La Complexité de la tâche interromptrice

La complexité fut l'une des premières caractéristiques de la tâche interromptrice à avoir été étudiée (Gillie & Broadbent, 1989) car elle est l'un des meilleurs prédicteurs de réussite (Liu & Li, 2012). En effet, et on en a déjà tous eu l'expérience au quotidien, une activité difficile, qui demande beaucoup d'efforts, est réussie moins bien et moins vite qu'une activité plus simple. La complexité d'une tâche peut-être caractérisée par dix dimensions : (i) le nombre d'éléments à traiter dans la tâche (ii) leur variété (iii) leur ambiguïté (iv) leur variabilité (v) leur fiabilité (vi) leur nouveauté (vii) leur incohérence (viii) leur demande physique (ix) la relation entre les éléments et (x) la pression temporelle (Liu & Li, 2012). La variation d'une ou de plusieurs de ces dimensions fait donc varier la complexité d'une tâche. Dans les faits, la plupart des études de la littérature n'ont manipulé que le nombre d'éléments à traiter pour réaliser la tâche et plusieurs interprétations ont été proposées, certaines étant en contradiction les unes avec les autres.

Mais est-ce qu'une tâche complexe réduit uniquement l'efficacité sur sa propre réalisation, ou peut-elle également perturber la réalisation d'autres tâches réalisées de manière parallèle ou successive ? En d'autres termes, est ce que l'effort que j'ai dépensé pour faire ma tâche difficile va perturber mon efficacité pour terminer la tâche suivante ? Plusieurs études ont été menées pour répondre à cette question et il existe aujourd'hui un relatif consensus sur l'effet de la complexité de la tâche interromptrice : plus elle est complexe, plus la réalisation de la tâche principale est perturbée (Borst et al., 2015; Cades, Werner, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2008; Eyrolle & Cellier, 2000; Gillie & Broadbent, 1989; Hodgetts & Jones, 2005, 2006; Monk et al., 2008). Nous utilisons le terme relatif, car bien qu'aucun auteur n'ait retrouvé l'effet inverse, cet effet n'a pas été retrouvé dans toutes les études (Cades, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2007; Pankok et al., 2017; Zijlstra et al., 1999). Ces disparités proviendraient du fait que la complexité d'une tâche est difficile à définir et à manipuler, menant à la création de multiples paradigmes.

La première interprétation est basée sur le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002; Monk et al., 2008), bien que le modèle ne prédise pas directement un effet de la complexité, mais aussi sur la Cognition Filée (Salvucci et al., 2009) et le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017). Selon ces modèles, le temps nécessaire pour recommencer la tâche principale après l'interruption dépend du niveau d'activation des éléments (buts ou schémas d'actions)

associés à la tâche principale. La possibilité de répéter ces éléments pendant l'interruption permet qu'ils conservent leur niveau d'activation et qu'ils soient récupérés plus rapidement après l'interruption (Cades et al., 2007). Plus la tâche interromptrice est complexe, plus la répétition de ces éléments serait difficile ; ils devraient donc soit se désactiver, soit être oubliés. Ainsi, recommencer la tâche principale après une interruption complexe est plus long. Cette interprétation peut être illustrée par les travaux de Monk et al. (2008). Les auteurs ont manipulé la demande cognitive de la tâche interromptrice, afin de faire varier la possibilité de répéter les éléments de la tâche principale pendant l'interruption : soit les participants n'avaient rien à faire et ils avaient toutes les ressources pour la répétition, soit ils devaient suivre une courbe avec la souris et beaucoup de ressources étaient encore disponibles pour la répétition, soit ils devaient faire une tâche de mémoire de travail et peu de ressources étaient disponibles pour la répétition. Les résultats ont montré que plus les participants avaient la possibilité de répéter les éléments de la tâche principale pendant l'interruption, plus ils la recommençaient rapidement.

La deuxième interprétation est également basée sur le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002; Hodgetts & Jones, 2006). Selon les auteurs, l'efficacité du retour à la tâche principale après l'interruption dépend du niveau d'interférence créé par le but de la tâche interromptrice. Le but associé à la tâche principale doit être suffisamment réactivé pour dépasser ce seuil d'interférence, ce qui prend du temps. Selon Hodgetts & Jones (2006), plus la tâche interromptrice est complexe, plus elle nécessite un nombre important de buts ou de sous-buts ; l'interférence créée par cette tâche complexe sera donc plus grande. Activer suffisamment le but de la tâche principale afin qu'il dépasse ce haut niveau d'interférence sera donc plus long. Cette hypothèse n'a pas directement reçu de supports empiriques car il est difficile de mesurer clairement et seulement un niveau d'interférence.

La troisième interprétation est basée sur les travaux en changement de tâches et sur la flexibilité mentale (Eyrolle & Cellier, 2000; Monsell, 2003). Lors du retour à la tâche principale, il faudrait que le système cognitif reconfigure les schémas d'action activés pour sélectionner le bon. Pour cela, il faut inhiber les schémas d'actions associés à la tâche interromptrice pour réactiver ceux associés à la tâche principale (Kiesel et al., 2010). Une tâche complexe demanderait une plus grande quantité de ressources cognitives pour être traitée (Eyrolle & Cellier, 2000; Zijlstra et al., 1999). Inhiber cette grande quantité de ressources est plus difficile, prend plus de temps et peut dysfonctionner, ce qui augmente le temps pour recommencer la tâche principale et la probabilité de faire des erreurs. Czerwinski, Horvitz, & Wilhite (2004) ont reporté que leurs participants avaient plus de difficulté pour quitter une tâche

complexe et mettaient donc plus de temps pour recommencer la tâche principale. Cependant, Hodgetts & Jones (2006) ont réfuté cette théorie en apportant des données empiriques contradictoires. En effet, les auteurs ont mené une expérience pendant laquelle les participants réalisaient l'épreuve de la Tour de Londres et étaient interrompus par une tâche interruptrice simple ou complexe. A la fin de l'interruption, ils devaient soit recommencer le problème où ils l'avaient quittée (réelle interruption), soit ils devaient recommencer le problème depuis le début (changement de tâches). Les résultats montrent un effet de la complexité de la tâche interruptrice uniquement dans la condition d'interruption et non dans la condition du changement de tâches.

Enfin, une quatrième interprétation est donnée par le modèle MfPS (Borst et al., 2015). Selon les auteurs, recommencer la tâche principale après l'interruption dépend du degré d'activation de son PS associé. Il est maintenu en mémoire pendant l'interruption et se désactive progressivement si un PS est nécessaire à la réalisation de la tâche interruptrice. Si seule la tâche principale requiert un PS, alors il ne se désactivera pas. Un effet de la complexité de la tâche interruptrice n'est donc prédit que si la tâche simple ne requiert pas de PS et que la tâche complexe en requiert un, l'ajout d'un PS étant une source de complexité. Dans le cas où chaque condition de complexité requiert un PS, et même si d'autres paramètres de complexité sont manipulés, le modèle ne prédit pas de différence sur le temps de retour. Cette explication s'appuie sur les travaux de Cades et al. (2007) qui ont montré que recommencer une tâche interrompue était plus rapide après avoir fait une tâche de répétition de mots, qui ne demande pas de PS, qu'après des tâches de N-back 1 et 3, qui en demandent un. Cependant, bien que la tâche de N-back 3 soit plus compliquée que celle de N-back 1, les auteurs n'obtiennent aucune différence.

Comme nous l'avons vu, quatre interprétations sont disponibles pour expliquer l'effet de la complexité de la tâche interruptrice. Cependant, beaucoup de paradigmes utilisés dans la littérature ne permettent pas de les différencier, ce qui montre bien que le type de tâche utilisé est important. L'un des objectifs de cette thèse est donc de mieux comprendre l'effet de la complexité de la tâche interruptrice en isolant une ou plusieurs des hypothèses proposées pour expliquer son effet.

III.B. Le Moment de l'interruption

Le moment de survenue de l'interruption est, à l'instar de sa complexité, l'une des caractéristiques les plus fréquemment étudiées dans la littérature. En effet, les chercheurs se sont demandé si des interruptions intervenant à différents moments lors de la réalisation de la tâche principale provoquaient la même perturbation. Comme évoqué par McFarlane (2002), certains moments sont peu favorables à l'interruption, menant à utiliser des stratégies de négociation ou de programmation de ces événements. Par exemple, il semble peu judicieux de s'interrompre alors qu'on est au téléphone avec un correspondant important, mais il est moins dramatique d'arrêter momentanément l'écoute de ses nouveaux messages vocaux. Mais dans la situation où l'on ne peut pas choisir de reporter l'interruption, il est nécessaire de savoir si elle intervient à un moment perturbant ou non. Pour cela, les chercheurs se sont intéressés à deux axes de recherches, s'adressant chacun à une partie du problème. Le premier axe s'intéresse à l'existence de moments critiques dans la réalisation d'une tâche qui souffriraient plus de l'interruption (Adler & Benbunan-Fich, 2013). Pour reprendre la métaphore de la conversation téléphonique, une interruption sera-t-elle aussi perturbante qu'on soit en train de taper le numéro du correspondant, qu'on soit en train de se présenter ou qu'on soit en train de discuter d'un point important ? Le deuxième axe vise à déterminer si le temps passé sur la tâche principale a une influence sur l'effet de l'interruption. Vaut-il mieux être interrompu au début, au milieu ou à la fin de la conversation, quel que soit le contenu des échanges ?

Adamczyk & Bailey (2004) furent parmi les premiers auteurs à réfléchir à l'existence d'un meilleur ou d'un pire moment pour être interrompu. Notre système cognitif serait capable de segmenter temporellement les différentes tâches et sous-tâches que nous réalisons (Zacks et al., 2001) et nous pourrions ainsi hiérarchiser ces événements en deux niveaux : grossiers et fins (Zacks & Tversky, 2001). Le niveau grossier correspondrait globalement à l'introduction d'un nouvel objet et des actions qui lui sont relatives et le niveau fin correspondrait à toutes les actions précises effectuées durant cette période. Une tâche est donc divisée en un ou plusieurs événements grossiers, eux-mêmes divisés en événements fins. Cependant, les événements grossiers sont plus facilement reconnaissables, et mémorisables, donc ils seront plus facilement rappelés que des événements fins. Sur ce constat, on peut penser que le meilleur moment pour être interrompu serait entre deux événements grossiers, car moins de ressources seraient nécessaires pour mémoriser la séquence d'action qui est en train d'être réalisée (Couffe & Michael, 2017). Après l'interruption, son rappel sera plus rapide, accélérant ainsi le retour à la

tâche principale (Adamczyk & Bailey, 2004). Cependant, les auteurs n'ont pas réussi à démontrer un tel effet sur le comportement.

L'idée que la quantité de ressources cognitives demandée pour l'exécution de la tâche principale soit différente à certains moments a également été étudiée par Miyata et Norman (1986). Selon eux, certaines étapes d'une tâche demandent plus ou moins de ressources cognitives pour être exécutées, faisant ainsi varier la charge de travail. Spontanément, nous serions tous sensibles à cette charge de travail dans notre comportement face aux interruptions. Dans une période de haute charge, nous serions moins enclins à nous interrompre après la réception d'une alerte (Couffe & Michael, 2017) et préférerions ainsi la différer à un autre moment où cette charge sera plus faible (Salvucci & Bogunovich, 2010). Dans le cas où ce n'est pas possible, une interruption intervenant durant une sous-tâche demande une grande charge de travail et serait donc plus délétère, car recommencer cette sous-tâche nécessiterait plus de ressources cognitives. Selon la Cognition Filée (Salvucci et al., 2009), une sous-tâche demandant une grande charge de travail nécessite la formation de plusieurs buts pour être réalisée. Ainsi, si une interruption intervient durant ce moment-là, plus de buts seront à mémoriser et à rappeler, augmentant le temps de retour à la tâche principale. Cette prédiction a été depuis validée (Katidioti, Borst, de Haan, et al., 2016). Les auteurs ont analysé l'effet de la charge de travail de la tâche principale sur sa reprise après l'interruption. Pour cela, ils ont utilisé un dispositif d'oculométrie pour mesurer la dilatation des pupilles de leurs participants, sachant que la taille de la pupille peut être associée à la charge de travail : une charge élevée est associée à une large dilatation de la pupille (Batmaz & Ozturk, 2008; Kosch, Hassib, Buschek, & Schmidt, 2018; Wel & Steenbergen, 2018). Les participants étaient ainsi interrompus quand leurs pupilles atteignaient un certain niveau de dilatation et les résultats ont montré qu'ils mettaient plus de temps à recommencer la tâche. L'interruption aura donc un effet différent qu'elle apparaisse à un moment de forte ou faible charge de travail.

Mais l'effet du moment de l'interruption peut-il être prédit, indépendamment de la tâche en cours ? Son effet peut-il évoluer au fur et à mesure de la progression dans la tâche principale ? Ce deuxième axe de recherche a intéressé un grand nombre de chercheurs, mais les résultats des études ne font pas consensus. En effet, une étude a montré qu'une interruption était plus délétère si elle intervenait au début de la tâche (Law et al., 2004), d'autres ont montré cet effet si l'interruption intervenait en fin de tâche (Czerwinski, Cutrell, & Horvitz, 2000; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2002), une autre a montré un effet délétère de l'interruption

intervenant autant au début qu'en fin de tâche comparé au milieu de la tâche (Bailey & Konstan, 2006), et enfin d'autres n'ont pas montré d'effet du moment (Peters, Romigh, Bradley, & Raj, 2017; Ratwani, Trafton, & Myers, 2006). Nous ne pouvons donc pas nous appuyer sur des preuves empiriques pour comprendre l'effet de la pratique de la tâche principale sur sa reprise ; nous allons donc seulement détailler des interprétations théoriques.

Trois théories différentes permettraient d'expliquer le fait qu'on recommence plus lentement la tâche principale après une interruption apparue vers le début de la tâche principale. La première provient des travaux de Schneider et Shiffrin (1977) qui prédit que l'information est basée sur deux modes de traitements fondamentaux : (i) les traitements contrôlés et (ii) les traitements automatiques. Selon ces auteurs, les processus impliqués dans la réalisation d'une tâche s'automatiseraient avec l'entraînement. Ainsi, au début d'une nouvelle tâche, les performances sont d'abord faibles (les processus cognitifs de traitement de l'information étant contrôlés) puis s'améliorent au fil de la réalisation de la tâche (à mesure que ces processus s'automatisent). Quelques années plus tard, Norman et Shallice (1986) proposent un modèle théorique de l'automatisation des processus basé sur la distinction entre processus automatiques et contrôlés. Selon ce modèle, une action serait représentée par un ensemble de schémas d'action (concept repris par le modèle DETOUR, voir plus haut). Pour réaliser une action, le système cognitif doit sélectionner le schéma d'action appropriée parmi tous les schémas préexistants. Les auteurs suggèrent que deux processus complémentaires opèrent lors de la sélection et le contrôle de l'action : (i) le gestionnaire de conflits, qui permettrait de résoudre la compétition entre les différents schémas d'action grâce à un système pouvant inhiber les schémas les moins appropriés et ceux qui n'étaient pas ou moins activés initialement et (ii) le Système Attentionnel Superviseur (SAS) qui peut contrôler le gestionnaire de conflits lors d'activité nouvelle ou difficile. Le modèle prédit qu'au commencement d'une tâche, nous avons besoin du SAS pour aider le gestionnaire des conflits lorsque le schéma de l'action désirée n'est pas disponible et nécessiterait un contrôle conscient. Cependant, le SAS a une action lente qui nécessite une grande quantité de ressources attentionnelles, ce qui augmente le temps de réalisation d'une action. À mesure que la tâche est apprise, les schémas qui la contrôlent deviennent spécialisés, réduisant ainsi l'interférence potentielle avec d'autres schémas. Le SAS n'est donc plus nécessaire, diminuant la quantité de ressources attentionnelles et le temps nécessaires à la réalisation de cette tâche. À partir de ce modèle, nous pouvons penser qu'une interruption intervenant en début de tâche devrait avoir un effet plus délétère car elle intervient alors que les processus sont contrôlés et exigent beaucoup de ressources cognitives. Les stocker

en mémoire pendant l'interruption et les rappeler pour recommencer la tâche principale sera donc plus difficile et plus long (Botvinick & Bylsma, 2005).

La deuxième théorie provient de la Cognition Filée (Salvucci et al., 2009) et repose sur le modèle SAS. Les auteurs prédisent qu'en débutant la tâche principale, son but et les informations qui lui sont liées sont d'abord stockés en mémoire déclarative, dans laquelle la récupération d'informations est lente. En progressant dans la tâche principale, les informations sont progressivement stockées en mémoire procédurale, dans laquelle la récupération d'informations est rapide. Plus de temps est donc nécessaire pour recommencer la tâche principale après une interruption intervenue en début de tâche, car les informations sont stockées dans la mémoire déclarative.

La troisième théorie est basée sur le modèle MfG, qui prédit que plus on passe de temps sur la tâche principale, plus on permet à son but de s'activer (Monk et al., 2008). Son niveau d'activation sera donc plus élevé au moment de recommencer la tâche principale après l'interruption, accélérant donc le temps de retour. Ces prédictions seraient toutefois réfutées par des travaux montrant que s'entraîner seulement à la tâche principale ne permettrait pas d'améliorer sa reprise (Cades et al., 2011; Cades, Trafton, & Boehm-Davis, 2006). Une accélération du temps de retour ne serait possible qu'en s'entraînant à être interrompue avec un même couple de tâche principale-tâche interruptrice.

Miyata & Norman (1986), grâce à leurs recherches sur la charge de travail, ont développé une théorie permettant d'expliquer le fait qu'on recommence plus lentement la tâche principale après une interruption apparue au début et à la fin de la tâche principale en comparaison à une interruption intervenant au milieu de la tâche. Selon les auteurs, une tâche (et même une sous-tâche) peut être découpée en trois phases : la planification, l'exécution et l'évaluation. La planification permettant de former des buts et l'évaluation permettant de vérifier qu'ils ont été atteints, ces deux phases devraient créer une grande charge de travail. Une interruption intervenant ainsi au tout début ou à la toute fin de la tâche principale devrait provoquer la plus grande perturbation.

Enfin, en se basant sur le modèle MfG, Monk et al. (2004) ont tenté d'expliquer le fait qu'on recommence plus lentement la tâche principale après une interruption apparue à la fin de la tâche principale. Les auteurs estiment que plus nous progressons dans une tâche, plus nous traitons d'éléments. Il y aura donc d'autant plus d'éléments à encoder au moment de quitter la

tâche principale, qui seront également susceptibles de se désactiver pendant l'interruption. Les réactiver afin de recommencer la tâche principale sera donc plus long, réduisant la performance.

De multiples hypothèses sont donc proposées concernant l'effet du moment de l'interruption. L'idée qui semble en ressortir est que l'interruption aura un effet plus délétère si elle intervient pendant un moment de grande charge de travail (en lien avec la disponibilité des ressources cognitives), due à une étape spécifique de la tâche ou du temps passé dessus, mais aussi à la quantité et la qualité des informations relatives à la tâche principale qu'il faut rappeler pour recommencer la tâche principale.

L'un des objectifs de cette thèse est donc de mieux comprendre l'effet de l'interruption en fonction de sa survenue lors de la progression dans la tâche principale, et d'identifier les processus cognitifs impliqués dans le report et la reprise de la tâche principale.

III.C. L'Agréabilité de la tâche interruptrice

L'agréabilité de l'interruption fait référence au sentiment de plaisir ou de joie que procure la tâche interruptrice à un individu (Zenasni & Lubart, 2011). Toute tâche possède une certaine valence et une charge émotionnelle qui prédit comment elle sera réalisée (Ryan & Deci, 2000). En effet, on se comporte différemment alors qu'on est en train de passer l'aspirateur (si on n'aime pas ça) par rapport à jouer à son jeu vidéo préféré. Notre perception de l'agréabilité de la tâche conditionne donc notre état physique et émotionnel. Cette caractéristique n'a cependant jamais été directement étudiée dans un contexte d'interruption et aucun des modèles théoriques cités précédemment ne prend en compte ce facteur. La seule référence que l'on peut trouver indique qu'une tâche est considérée comme plus agréable lorsqu'elle est interrompue mais est jugée plus désagréable une fois terminée (Cartwright, 1942). Cette étude n'a pas motivé d'autres chercheurs à s'intéresser à cette question alors que l'on peut tout de même se demander si apprécier la tâche qui nous oblige à suspendre notre activité en cours est un facteur important pour notre efficacité, mais aussi notre bien-être ; ce serait effectivement le cas, et pour deux raisons. La première raison est la dimension sociale de la situation. Speier et al. (2003) prédisait que les caractéristiques sociales de la tâche interruptrice influencent notre comportement face à une interruption car elles affectent notre prise de décision pour répondre à l'alerte, modifient le média, l'émetteur, l'objet et nos attentes de l'interruption. Une tâche agréable est également plus désirable (Mehrabian & West, 1977). La deuxième raison est cognitive car de nombreux chercheurs ont montré que l'état émotionnel dans lequel nous nous

trouvons affecte nos capacités cognitives (Forgas, 2008), ce qui devrait affecter notre capacité à suspendre et reprendre la tâche principale. Dans ce travail de thèse, nous nous intéresserons uniquement à la dimension cognitive, et nous essaierons de comprendre comment notre perception de la tâche interromptrice peut influencer notre capacité à la gérer correctement.

La littérature regorge de publications étudiant l'influence de l'émotion sur les capacités cognitives, à défaut de l'influence de l'agréabilité perçue de la tâche. Comme cette caractéristique peut directement influencer notre état émotionnel (Zenasni & Lubart, 2011), ces études peuvent apporter des éléments de compréhension à propos de l'influence de l'état émotionnel de l'individu, induites par des caractéristiques de la tâche ou induites par des éléments extérieurs, sur les fonctions cognitives. Il faut toutefois garder à l'esprit que les études citées ci-après n'ont pas directement étudié l'effet de l'agréabilité, et que leur intérêt dans ce travail de thèse repose uniquement sur le postulat que faire une tâche agréable ou désagréable soit comparable à une induction émotionnelle ou à la présentation d'items chargés émotionnellement. Cette condition limite donc les conclusions que l'on pourra tirer de cette revue de littérature, mais il nous paraît tout de même essentiel de la présenter, car elle apporte un éclaircissement sur l'influence de l'émotion sur les capacités cognitives. Nous ne ferons pas une revue exhaustive de la littérature, mais nous exposerons assez d'exemples pour comprendre la variété des résultats que l'on peut y trouver. Il apparaît qu'il n'y a pas de consensus clair quant au sens de l'influence de l'émotion sur le système cognitif, comme nous allons le voir maintenant. Comme la suspension d'une activité nécessite un ensemble de processus cognitifs (voir Partie II) qui devraient être influencés par l'agréabilité de la tâche interromptrice, une altération de l'efficacité pour recommencer correctement la tâche principale est attendue.

Un ensemble de chercheurs s'est intéressé à l'influence d'une émotion positive sur le système cognitif, mais les résultats divergent. Plusieurs études ont montré une détérioration des performances sous le contrôle d'une émotion à valence positive. Tout d'abord, les affects positifs réduisent globalement les efforts engagés pour réaliser la tâche, diminuant ainsi sa performance (Forgas, 2017). Ensuite, une induction émotionnelle positive provoquerait (i) une réduction des performances en attention sélective visuelle car un affect positif réduirait le focus de l'attention et augmente la sensibilité aux distracteurs (Rowe, Hirsh, & Anderson, 2007), (ii) une réduction des performances dans des tâches de flexibilité mentale car être heureux pousserait à la stabilité dans une tâche (Isen & Reeve, 2005) et réduirait la réactivation des informations en mémoire pour permettre le changement de tâches (Phillips, Bull, Adams, & Fraser, 2002), (iii) une réduction des capacités en mémoire de travail car un affect positif altère

la capacité à maintenir des informations en mémoire (Martin & Kerns, 2011), une réduction des capacités inhibitrice car un affect positif augmente la sensibilité aux distracteurs (Biss & Hasher, 2011) qui sont plus attirants s'ils sont eux-mêmes positifs (Liu, Wang, Quan, & Li, 2015) et (v) une recalibration des ressources cognitives dirigées pour maintenir l'état positif et ainsi réduire la quantité de ressources disponibles pour réaliser l'activité en cours (Pessoa, 2009). Par contre, d'autres études ont montré que les performances sont améliorées sous le contrôle d'émotions positives. En augmentant notre motivation intrinsèque, c'est-à-dire notre motivation à réaliser une tâche pour ses propres caractéristiques et non pour des gains extérieurs (Reeve, 1989; Ryan & Deci, 2000), l'agréabilité d'une tâche améliore les capacités d'orientation de l'attention et améliore donc notre efficacité (Pessoa, 2009; Pool, Brosch, Delplanque, & Sander, 2016). Les performances dans des tâches de flexibilités mentales sont améliorées après une induction émotionnelle positive (Dreisbach, 2006; Lin, Tsai, Lin, & Chen, 2014; Wang, Chen, & Yue, 2017) car l'émotion améliore notre labilité. Les performances dans des tâches de mémoire de travail et d'inhibition sont également améliorées avec du matériel à valence (Levens & Gotlib, 2010; Pe, Koval, & Kuppens, 2013; Pessoa, Padmala, Kenzer, & Bauer, 2012).

D'autres chercheurs se sont intéressés à l'influence d'une émotion négative, mais encore une fois les résultats divergent. Plusieurs études ont montré une détérioration des performances sous le contrôle d'une émotion à valence négative. Une induction émotionnelle négative provoquerait une diminution des performances dans des tâches de flexibilité mentale (Wang et al., 2017). La capacité de la mémoire de travail est diminuée face à des stimuli négatifs (Kensinger & Corkin, 2003) car leur traitement demande une plus grande quantité de ressources cognitives (Gendolla & Silvestrini, 2011; Georgiou et al., 2005; Padmala, Bauer, & Pessoa, 2011). Pour cette raison, il est aussi plus compliqué d'inhiber des stimuli négatifs (Song et al., 2017). Par contre, très peu d'études ont montré que les performances sont améliorées sous le contrôle d'émotions négatives. A notre connaissance, il n'en existe qu'une, montrant qu'elles améliorent la précision mnémonique (Xie & Zhang, 2017). Enfin, des chercheurs ont cherché à montrer des différences entre les contenus émotionnellement valencés et des contenus neutres. Yiend (2010) estime que les affects émotionnellement valencés détériorent les performances en augmentant l'attractivité des distracteurs. A l'inverse, les capacités d'orientation de l'attention seraient meilleures face à des stimuli émotionnels par rapport à des stimuli neutres (Graf & Yu, 2015). Enfin, Martin et Kerns (2011) n'ont montré aucune différence de l'induction émotionnelle positive dans une tâche d'inhibition.

En prenant tous ces résultats en compte, il n'apparaît pas de consensus clair quant à l'effet de l'émotion sur la cognition. Par contre, il paraît plus clair que l'émotion, quelle que soit sa valence, a un effet sur le système cognitif et influence positivement ou négativement la performance à une tâche. L'émotion influençant un ensemble de fonctions cognitives impliquées dans le report et la reprise de la tâche principale, il est possible de penser que la charge émotionnelle apportée par la tâche interruptrice va perturber ou améliorer le retour à la tâche principale.

L'un des objectifs de cette thèse est donc d'identifier clairement l'effet de l'agréabilité de la tâche interruptrice sur la performance de tâche principale.

III.D. La Source de l'interruption

Plusieurs caractéristiques propres à la tâche interruptrice participent donc à augmenter ou diminuer son effet sur la réalisation de la tâche principale. D'autres facteurs ont également leur importance dans une situation d'interruption, qui ne proviennent pas directement de cette nouvelle tâche. Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à un dernier type d'interruption qui conditionne notre efficacité au travail : la source de l'interruption. Comme nous l'avons évoqué en introduction, les interruptions peuvent provenir de deux sources. La première source est externe, c'est-à-dire l'interruption provient de l'environnement : la tâche interruptrice est ainsi hétérogénérée. C'est par exemple recevoir un appel téléphonique ou discuter avec un collègue qui est venu nous voir alors qu'on était en train de lire un email. La deuxième source est interne, c'est-à-dire l'interruption provient de nous-mêmes : la tâche interruptrice est ainsi autogénérée. C'est par exemple penser à la soirée de la veille ou se rappeler qu'on doit aller parler à un collègue alors qu'on est en train de lire un email. Les interruptions hétérogénérées sont les plus communément étudiées dans la littérature car elles sont les plus faciles à maîtriser. En effet, il est plus aisé de créer une situation où l'on interrompt un participant avec une alarme que de créer une situation où le participant doit lui-même s'interrompre. La difficulté d'étudier les interruptions autogénérées provient du fait qu'elles doivent provenir d'une intention générée par le participant ; il est donc difficile de s'assurer qu'on ne force pas le participant à s'interrompre. Pourtant leur étude est primordiale : près de la moitié des interruptions au travail proviennent des interruptions autogénérées (Mark et al., 2016), qui auraient un effet plus délétère que les interruptions externes (Katidioti, Borst, & Taatgen, 2014). Mieux comprendre les différences entre ces deux types de sources permettrait

encore une fois de développer des stratégies efficaces pour améliorer notre productivité au travail.

Les interruptions autogénérées émanent directement d'une intention d'un individu, sans stimulation extérieure. On déciderait d'arrêter la tâche en cours quand on n'arriverait pas à atteindre une efficacité optimale (flow) dans la tâche en cours (Csikszentmihalyi, 2008) ; on adopterait donc un comportement d'autorégulation pour améliorer les performances (Dabbish, Mark, & Gonzalez, 2011). Adler et Benbunan-Fich (2013) ont identifié six raisons (trois négatives et trois positives) pour lesquelles on déciderait de changer de tâche : (i) un blocage dans la tâche principale (ii) la frustration (iii) la fatigue (iv) un désir de réorganisation (v) un désir de stimulation et (vi) un désir de nouveauté. On suspendrait également notre tâche principale pour chercher une information, ou parce qu'on se souvient qu'on devait réaliser une autre tâche, urgente ou non (Jin & Dabbish, 2009). De plus, la valence de l'impulsion qui déclenche une interruption autogénérée aurait un effet sur le comportement : les déclencheurs positifs sont associés à moins d'interruptions mais une meilleure efficacité, et inversement pour les déclencheurs négatifs (Adler & Benbunan-Fich, 2012) ; cependant, les auteurs n'ont pu mettre en évidence un lien de causalité. En plus de ces facteurs-là, des facteurs cognitifs conditionneraient également la décision de changer de tâches. En effet, si on a le choix, on déciderait de suspendre l'activité en cours quand la tâche n'exige qu'une faible quantité de ressources et qu'il n'y aurait que peu d'éléments à traiter et donc à mémoriser (Katidioti et al., 2014; Katidioti & Taatgen, 2013). Enfin, notre propension à l'auto-interruption serait conditionnée par le nombre d'interruptions hétérogénérées que nous subissons (Dabbish et al., 2011). En effet, les auteurs ont constaté que plus leurs participants subissaient d'interruptions externes pendant une heure, plus ils avaient tendance à s'auto-interrompre l'heure suivante.

Malheureusement, peu de chercheurs se sont intéressés aux conséquences des interruptions autogénérées en utilisant des expériences de laboratoire. En effet, les interruptions doivent provenir d'une intention interne et non dictée par un évènement ou un acteur extérieur. Il est donc compliqué de simuler une auto-interruption car il faut pousser les participants à la création de cette intention. Étudier ce phénomène en laboratoire est donc très artificiel et ne peut pas créer véritablement des situations d'auto-interruption. Les méthodes utilisées reposent en fait sur des situations de tâches multiples : on indique aux participants qu'ils ont deux tâches à faire en commençant par la tâche principale et on leur indique de faire la tâche interruptrice quand ils le souhaitent. Ainsi l'intention de l'interruption est créée par l'expérimentation mais

le participant garde la liberté du moment de sa réalisation. La littérature ne contient que peu de données empiriques sur lesquelles nous pouvons nous reposer, et elles ne nous permettent pas de tirer de conclusions sur l'effet de la source des interruptions. Certaines études s'accordent sur le fait que une tâche principale interrompue de façon autogénérée est mieux réussie (McFarlane, 1999, 2002) mais en plus de temps (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, & Taatgen, 2016) qu'une tâche interrompue de façon externe, alors que d'autres d'études ne montrent pas de différences entre ces deux sources d'interruption (Mark et al., 2005; Panepinto, 2010).

Le fait que s'auto-interrompre augmente le temps de réalisation de la tâche principale peut-être expliqué par le fait que décider de s'interrompre prend du temps et demande des ressources cognitives, créant un délai supplémentaire qui n'existe pas par définition avec les interruptions externes forcées (Katidioti, Borst, de Haan, et al., 2016). Cependant, ils prédisent que décider de s'interrompre permettrait de se préparer à l'interruption. On aurait donc la possibilité d'encoder les informations de la tâche principale afin de mieux les stocker en mémoire pendant l'interruption (Altmann & Trafton, 2002; Couffe & Michael, 2017). Les récupérer après l'interruption est donc plus facile et plus rapide, accélérant ainsi le temps de retour. Deux effets antagonistes sont donc présagés : les interruptions autogénérées entraînent une augmentation du temps pour réaliser la tâche principale mais une réduction du temps pour la recommencer après l'interruption. A notre connaissance, une accélération du Temps de retour après une interruption autogénérée n'a été montrée qu'une seule fois (Cades, Werner, Boehm-Davis, & Arshad, 2010), mais jamais dans une expérience de laboratoire (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016).

Bien qu'aucun modèle théorique n'apporte d'éclaircissement quant à l'effet de la source de l'interruption, un effet pourrait être prédictible. En effet, décider soi-même de s'interrompre semble mettre en œuvre des processus cognitifs spécifiques différents d'une situation où l'interruption est générée par l'environnement, tels que la planification et la mémoire prospective (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). Étudier ce facteur est donc primordial pour identifier clairement les processus qu'il implique et les effets qu'il a sur notre comportement.

L'un des objectifs de cette thèse est donc de mieux comprendre les différences qui existent entre les interruptions hétéro et autogénérées et d'identifier clairement leurs effets sur la performance à la tâche principale.

IV. LES INTERRUPTIONS : CAS APPLIQUE

Nous avons évoqué plusieurs types d'interruption qui peuvent influencer l'effet de la tâche interruptrice sur la performance de la tâche principale. Mais l'étude de ces caractéristiques relève la plupart du temps de recherches en laboratoire, où tous les facteurs sont contrôlés et où les effets des interruptions n'ont au final que peu d'incidence. Il nous semble donc également important de mener des expériences dans un contexte un peu plus appliqué, autrement dit de la vie réelle, où les conséquences des interruptions peuvent être réellement catastrophiques (comme dans le domaine de la santé ou de la sécurité). Cela nous permettrait également d'élargir nos connaissances sur les effets des interruptions et ainsi pouvoir transférer les résultats obtenus dans des tâches moins écologiques. Il nous est vite apparu qu'une situation bien spécifique pouvait souffrir particulièrement des interruptions : la recherche visuelle de cibles multiples, autrement dit chercher deux objets ou plus parmi des distracteurs. On peut prendre l'exemple d'un radiologue qui cherche des anomalies sur la radio d'un patient ou d'un agent de sécurité dans un aéroport qui vérifie le contenu d'une valise. Mais nous le faisons aussi tous au quotidien, quand nous cherchons des produits dans notre réfrigérateur pour préparer le petit déjeuner ou quand nous cherchons des connaissances dans une grande salle bondée. Rechercher un nombre inconnu de cibles dans notre environnement implique des processus particuliers et différents de la recherche d'un nombre connu de cibles, ce qui crée un effet bien spécifique : la « Satisfaction of Search » (SOS ; Tuddenham, 1962) ou « Subsequent Search Miss errors » (erreur SSM ; Adamo, Cain, & Mitroff, 2013). Une erreur SSM correspond à l'augmentation du risque de ne pas détecter une nouvelle cible après en avoir déjà détecté une (Biggs, Adamo, Dowd, & Mitroff, 2015).

La plus faible probabilité de détecter des cibles quand on en a déjà détecté une existerait dans la plupart des situations de recherche de cibles multiples (Biggs, Kramer, & Mitroff, 2018; Biggs & Mitroff, 2014b; Mitroff, Biggs, & Cain, 2015), avec de grandes différences interindividuelles (Adamo, Cain, & Mitroff, 2017; Biggs, Clark, & Mitroff, 2017; Biggs & Mitroff, 2014a). Ce phénomène a été découvert en premier lieu par Tuddenham en 1962 auprès de radiologues qui avaient tendance à ne trouver qu'une anomalie alors que plusieurs étaient présentes sur une radio. D'ailleurs, ce type d'erreurs représente un tiers des erreurs médicales en radiologie (Berbaum et al., 1990; Berbaum & Franken, 2011). Tuddenham (1962) l'appela « Satisfaction of Search » (i.e. Satisfaction de la recherche) car il estime qu'après avoir trouvé une première cible, nous serions « satisfaits » de notre découverte et nous n'essaierions pas de

continuer à chercher d'autres cibles potentiellement présentes. Cette explication a reçu certains supports empiriques (Adamo, Cain, & Mitroff, 2018) montrant une corrélation négative entre le temps passé sur la tâche de recherche visuelle et la proportion de réponses correctes sur la deuxième cible. Cependant, cette explication est relativement réfutée dans la littérature, montrant par exemple que l'absence de détection de la deuxième cible ne provient pas d'une absence de recherche (Cain, Adamo, & Mitroff, 2013; Fleck, Samei, & Mitroff, 2010).

C'est pourquoi le terme de « Satisfaction de la Recherche » a progressivement disparu pour être remplacé par le terme « Subsequent Search Misses » (Adamo et al., 2013), qu'on pourrait difficilement traduire par « le fait de rater les recherches ultérieures » (nous garderons le terme *erreur SSM* dans le reste du manuscrit pour plus de lisibilité). Il existe deux théories différentes permettant d'expliquer les erreurs SSM : (i) la théorie du biais perceptif et (ii) la théorie de l'épuisement des ressources. La première théorie explique que la détection d'une première cible biaise le système cognitif qui aura plus de facilité à détecter des cibles identiques ; la détection de cibles différentes serait donc plus difficile (Gorbunova, 2017). La détection de la première cible agirait ainsi comme une amorce, qui conditionnerait le système cognitif à chercher d'autres éléments qui lui ressemblent (Adamo et al., 2017). Il semblerait d'ailleurs que les erreurs SSM se réduisent pour des cibles qui possèdent plusieurs caractéristiques communes avec la premières cibles (Gorbunova, 2017), d'autant plus avec des ressemblances conceptuelles (ressemblances sur la fonction des cibles) que visuelles (ressemblances sur l'aspect des cibles ; Biggs et al., 2015). Cependant, cette théorie semble être réfutée au profit de la théorie sur l'épuisement des ressources (Cain & Mitroff, 2012). Selon les auteurs, détecter une cible nécessiterait un engagement des ressources cognitives qui ne pourraient donc pas être utilisées pour détecter une autre cible. Les caractéristiques et l'emplacement de la première cible seraient maintenus en mémoire de travail, ce qui entraverait la recherche d'autres cibles. Cette théorie est supportée par le fait que la probabilité de faire une erreur SSM est réduite si la première cible est supprimée après sa détection (Adamo et al., 2013) et si le participant a de bonnes performances à des tests de vigilance et de modulation de l'attention (Adamo et al., 2017).

Rater des cibles après en avoir détecté une peut donc provenir de deux causes : (i) un biais attentionnel, ou (ii) un épuisement des ressources cognitives en mémoire de travail. On peut donc se demander si interrompre une tâche de recherche de cibles multiples va influencer la probabilité de faire des erreurs SSM. En effet, les interruptions sont des tâches additionnelles qui réorientent l'attention et qui demandent le maintien d'informations en mémoire de travail

(Altmann & Trafton, 2002; Couffe & Michael, 2017). On peut donc supposer qu'une tâche interromptrice apparaissant après la sélection de la première cible va réactualiser le biais perceptif créé par la première cible et ainsi améliorer la détection d'une autre cible, qu'elle soit similaire ou différente. De la même façon, être interrompu après la sélection de la première cible permettrait une redirection des ressources cognitives vers la tâche interromptrice ; détecter une nouvelle cible serait donc plus facile car les ressources sont de nouveau libres à la fin de l'interruption (Cain, Biggs, Darling, & Mitroff, 2014). Des effets positifs de l'interruption sur la probabilité de faire une erreur SSM sont donc envisageables. Mais que se passe-t-il si l'interruption intervient avant la détection de la première cible ? On peut imaginer que détecter la première cible serait plus difficile, avec un effet classique de l'interruption. Qu'en est-il de la détection de la deuxième cible ? Nous ne pouvons malheureusement pas encore répondre à cette question faute de supports théoriques et empiriques. On peut toutefois imaginer que les interruptions font varier la performance dans une tâche de recherche visuelle de cibles multiples et ainsi influencent la probabilité de faire des erreurs SSM.

L'un des objectifs de cette thèse est donc de comprendre l'effet de l'interruption dans une situation appliquée de recherche de cibles multiples en fonction de son moment d'apparition. L'objectif associé est d'identifier l'effet de l'interruption sur un type d'erreurs particulier associé à cette activité, les erreurs SSM.

V. CONCLUSIONS ET QUESTIONNEMENTS

La littérature apporte de nombreuses clés de compréhension sur ces événements très particuliers que sont les interruptions. Plusieurs chercheurs ont proposé des modèles théoriques expliquant de manière précise la succession des étapes à achever lors de la suspension d'une activité, en mettant en valeur plusieurs moments cruciaux, comme le temps nécessaire à la suspension de la tâche principale ou le temps de sa reprise après l'interruption. Plusieurs caractéristiques de la tâche interromptrice semblent influencer la durée de ces étapes, notamment sa complexité, le moment de sa survenue, son agréabilité.

Cependant, la littérature contient encore des questions toujours sans réponses :

- Quelles fonctions sont impliquées dans le report d'une activité ? L'implication de certaines fonctions cognitives a été proposée, mais à l'exception de la mémoire de travail, aucune démonstration empirique n'a été donnée.
- Quels processus cognitifs sont influencés par la complexité de la tâche interromptrice ? Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer l'effet de la complexité de l'interruption, sans pouvoir être distinguées.
- Quel est l'effet du moment de survenue de l'interruption ? Il n'y a pas de consensus sur le l'effet du moment de survenue, d'un point de vue théorique ou empirique.
- Quel est l'effet de l'agréabilité de la tâche interromptrice ? Cette caractéristique n'a jamais été étudiée alors que la charge émotionnelle provoquée par l'interruption devrait influencer l'efficacité à recommencer la tâche principale.
- Qu'est-ce qui différencie auto et hétéro-interruptions ? Pour l'instant, peu d'informations sont disponibles pour comprendre les différences entre ces deux types d'interruption.
- Quel est l'effet des interruptions dans une tâche de recherche multiple ? Chercher un objet parmi plusieurs est une activité quotidienne qui peut avoir des conséquences dangereuses en cas d'oubli, qui peuvent être favorisés ou empêchés par les interruptions.

Ce travail de thèse va s'appliquer à répondre à chacune de ces questions en utilisant des méthodologies expérimentales originales et réalistes. En effet, nous avons créé une tâche principale de recherche et de tri d'emails qui copie une situation de travail habituelle pour un grand nombre de d'individus salariés en entreprise. Cette tâche a été choisie car elle est facilement sectionnable donc il est facile d'opérationnaliser les interruptions, et l'avancement des participants est mesurable. Une deuxième tâche principale a été créée, simulant une situation où les interruptions peuvent avoir des conséquences désastreuses : la détection d'armes dans des scans de valises passés aux rayons-X. On peut facilement imaginer que les agents de sécurité travaillent dans des environnements bruyants et propices aux interruptions, alors qu'elles pourraient avoir de graves conséquences pour la sécurité des usagers.

Six études ont été menées, chacune ayant été rapportée sous la forme d'un article scientifique, présenté ci-après.

ÉTUDE 1 -

**INTERRUPTION D'UNE TACHE DE RECHERCHE
D'EMAILS : EFFETS DE LA COMPLEXITE ET DU
MOMENT DE L'INTERRUPTION**

Avec le grand nombre de moyens de communication à notre disposition (e.g. emails, messageries instantanées, téléphone, face-à-face, visioconférence, etc.) et les nombreux logiciels et applications qui disposent de notifications, il est devenu de plus en plus difficile de pouvoir commencer et finir une activité sans être obligé de la suspendre pour faire une autre tâche. Nous sommes donc poussés (ou nous décidons) à travailler en situation de multitâche, ou nous alternons sans cesse entre différentes tâches, sans forcément les terminer. Il existe un fort consensus dans la littérature concernant les conséquences des interruptions sur les performances à la tâche principale : une activité suspendue met plus de temps à être terminée (Bailey & Konstan, 2006; Bailey et al., 2000; Monk, 2004; Zijlstra et al., 1999), en partie car un délai est nécessaire pour recommencer la tâche principale après l'interruption (Altmann & Trafton, 2002; Hodgetts & Jones, 2006). Les chercheurs de domaines scientifiques variés se sont efforcés d'identifier quelles caractéristiques d'une situation d'interruption impactent le plus ce temps de reprise de la tâche principale. Par exemple, il est admis dans la littérature que plus une interruption est longue, plus le retour à la tâche principale est long (Altmann & Trafton, 2002; Borst et al., 2015; Couffe & Michael, 2017; Monk et al., 2008). Tous les modèles théoriques spécifiques ou non aux interruptions s'accordent pour expliquer cet effet : plus l'interruption est longue, plus les informations essentielles à la réalisation de la tâche principale se désactivent en mémoire. Malheureusement, toutes les caractéristiques des interruptions ne font pas autant consensus. Deux cas sont particulièrement intéressants : (i) la complexité de la tâche interromptrice et (ii) le moment de survenue de l'interruption.

Un grand nombre d'études ont été menées pour étudier l'effet de la complexité de la tâche interromptrice (Borst et al., 2015; Cades et al., 2007, 2008; Eyrolle & Cellier, 2000; Gillie & Broadbent, 1989; Hodgetts & Jones, 2005, 2006; Monk et al., 2008; Pankok et al., 2017; Speier et al., 2003; Zijlstra et al., 1999) et la majorité des auteurs ont montré que plus la tâche interromptrice est difficile, plus elle est délétère. Cependant, tous ne sont pas d'accord sur l'explication de cet effet et plusieurs théories ont été proposées reposant sur des processus cognitifs différents. L'effet de l'interruption en fonction de son moment de survenue est plus flou, notamment car les chercheurs n'étudient pas cette caractéristique de la même façon. En effet, certains ont étudié ce facteur d'un point de vue temporel (début de la tâche versus fin ; (Law et al., 2004; Monk et al., 2002, 2004; Ratwani et al., 2006), d'autres d'un point de vue structurel (premières étapes versus dernières ; (Adamczyk & Bailey, 2004; Bailey & Konstan, 2006; Czerwinski et al., 2000). Aucune étude ne montrant les mêmes résultats, il est donc difficile de tirer des conclusions. Il existe pourtant des modèles théoriques qui permettraient de

prédire l'effet spécifique d'une interruption, qu'elle intervienne au début ou à la fin de la tâche principale (Altmann & Trafton, 2002; Norman & Shallice, 1986). Ce qui est d'autant plus intéressant avec ces deux caractéristiques c'est qu'elle devrait mutuellement s'influencer. En effet, les processus impliqués dans la gestion de ces deux types d'interruption sont en partie communs. Il est donc attendu que l'effet du moment de survenue de l'interruption soit différent selon que la tâche interromptrice soit simple ou complexe, et inversement. Pourtant, aucun chercheur n'a jusqu'à présent manipulé simultanément ces deux facteurs.

Ainsi, cette première expérience a pour but d'identifier l'effet de deux caractéristiques des interruptions sur le retour à la tâche principale : leur complexité et le moment de leur survenue, mais aussi l'effet de leur interaction. Pour cela, nous avons développé une expérience qui simule des situations d'interruptions. Les participants devaient trouver dix emails-cible dans une liste d'emails présentés dans une fausse boîte de réception. Les emails-cibles étaient spécifiés par trois critères présentés en haut de la boîte de réception. Les participants devaient donc cliquer sur tous les emails possédant la combinaison des trois critères (e.g. envoyé par Sabine Michon avec une pastille bleue et une pièce-jointe), puis cliquer sur la corbeille après les avoir tous trouvés. La tâche interromptrice était une tâche de mise-à-jour : les participants voyaient à l'écran des suites de chiffres de longueur variable qu'ils devaient mémoriser et ils avaient ensuite 3 secondes pour rappeler les trois derniers chiffres qu'ils avaient vus. Sur les trente essais, vingt-quatre présentaient une interruption. Elle apparaissait instantanément après que le participant eut sélectionné un certain nombre d'emails-cible (après 1 email-cible sélectionné pour l'interruption en début de tâche versus après 9 emails-cible sélectionnés pour l'interruption en fin de tâche). La tâche interromptrice était soit simple (les séries étaient composées de 3 ou 4 chiffres) soit complexe (les séries étaient composées de 5 ou 6 chiffres). Nous avons également évalué l'effet de la progression dans l'expérience, en différenciant les premiers et les derniers essais. Pour étudier l'effet des interruptions et de leurs caractéristiques, nous avons analysé spécifiquement le temps nécessaire pour sélectionner un email-cible (i.e. ICI) qui correspondait dans le cas d'un essai avec interruption au temps nécessaire pour recommencer la tâche principale (i.e. TR).

Interrupting an e-mail search: Influence of the complexity and the timing of the interruption

Paul Brazzolotto^{}, George A. Michael*

Department of Cognitive Psychology, Cognitive Science & Neuropsychology,
Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs, EA 3082, Université Lumière Lyon 2,
Université Lyon, F-69000 Lyon, France

Abstract

In everyday life, we must deal with recurring interruptions. The goal of this study is to investigate how detrimental interruptions can be and what factors can modulate their effects. We focused on the effects of the timing of interruptions, for which literature is anything but consistent, and the complexity of the interrupting task, which is well documented, but the explanation of its effect does not reach consensus. Moreover, these two factors may interact since they seemingly influence the same components of the resumption of the primary task after interruptions. We designed a primary e-mail search task during which the participants were or were not interrupted by an updating task. It was either simple or complex and came after either one (one found target e-mail) or nine actions of the primary task. The results showed that when there was no interruption, the Inter-Click Interval (ICI) was longer for one than for nine actions. When the interrupting task was simple, the time to resume the primary task (i.e., the Resumption Lag) was shorter after nine actions than after one, and there was no difference for complex interrupting tasks. The interaction effect between the complexity and the timing of interruptions shows that the goals of the primary and interrupting tasks compete and influence the resumption of the primary task.

Keywords: *interruption, complexity, timing, inbox, automation*

Interruptions are a common experience in everyday life and in the workplace where computer interfaces are ubiquitous. A large body of literature has shown that interruptions have detrimental effects on the ongoing task performance (Couffe & Michael, 2017) and researchers have focused on the factors that influence the resumption of the primary task after interruptions, for instance the complexity, the length, the frequency and the anticipation of interruptions, the similarity between the interrupted and the interrupting tasks and the time at which the interruption occurs (e.g., Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015; Carton & Aiello, 2009; Couffe &

⁴²
^{*} Corresponding author:
E-mail: paul.brazzolotto@univ-lyon2.fr

Michael, 2017; Lee & Duffy, 2015; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2002; Zish, Hassanzadeh, McCurry, & Trafton, 2015). The current study focuses on two factors: (i) the number of actions of the primary task completed before the interruption, for which there are few studies in the literature, and (ii) the complexity of the interrupting task (i.e., their cognitive load), which is well-documented, but the explanation of its effect does not reach consensus. Moreover, these two factors may interact since they may influence common components of the resumption of the primary task after interruptions.

According to Zijlstra, Roe, Leonora, and Krediet (1999) “*interruptions are events which result in the cessation and postponement of an ongoing activity. The main activity is resumed after a certain lapse of time*” (p. 169). Thus, when an interruption occurs, it is necessary to postpone the current task and then resume it when the interruption is over. The consequences of interruptions can take the form of a longer time to perform actions relative to the primary task immediately after the interruption (e.g., Blumberg et al., 2015; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008), an increase in the time required to complete the primary task (e.g., Bailey & Konstan, 2006; Gupta, Li, & Sharda, 2013) or a fall-off in accuracy (e.g., Drews & Musters, 2015). The time required to perform the first action related to the primary task once the interrupting task is over, called the resumption lag (RL), seems to be the most sensitive measure of the impact of interruptions and can be explained by a number of processes involved (Altmann & Trafton, 2002; Couffe & Michael, 2017).

According to the Memory For Goals model (MFG, Altmann & Trafton, 2002), working on the primary task activates its associated task goals and behavior is always driven by the most highly activated goal. When an interruption occurs, the goal associated with the primary task (the PT goal) must be suspended for activating the goal associated with the interrupting task (the IT goal); the activation of the PT goal then decays over time until complete deactivation. However, strategies of rehearsal during the interrupting task can prevent its deactivation. Once the interrupting task is over, only a cue on the primary task environment drives the reactivation of the PT goal, which should overtake the interference created by the activation of the IT goal for allowing an action. The time to resume the primary task depends then on the level of interference created by the interrupting task and on the level of the PT goal activation; a high activation and a low level of interference provide shorter RL. As suggested by the MFG model and demonstrated many times (Blumberg et al., 2015; Drews & Musters, 2015; Foroughi, Werner, McKendrick, Cades, & Boehm-Davis, 2016), working memory capacity plays a crucial role in the suspension of the primary task, since the PT goal has to be stored, updated and remembered, and cognitive resources have to be shared between the primary and the interrupted task.

The complexity, or the cognitive load of interruptions, is one of the most frequently studied characteristics of interruptions and there is a widespread consensus that complexity has a negative effect on the resumption of PT after

interruptions. Nevertheless, many hypotheses were proposed to explain the complexity effect. According to Cades, Davis, Trafton, and Monk (2007), a complex interrupting task can be defined by the number of mental operations required to complete it. The greater the number of mental operations, the more cognitive resources are required (Liu & Li, 2012), and this leads to increased cognitive load. Since cognitive resources are limited (Kahneman, 1973; Wickens, 2008), inhibiting the great amount of resources associated with the complex interrupting task for resuming the primary task is harder, and then longer (Eyrolle & Cellier, 2000). Similarly, few resources are available for rehearsing the PT goal during a complex interrupting task, leading it to decay (Monk et al., 2008). Hodgetts and Jones (2006) also proposed that a complex interrupting task, which leads to higher activation of the IT goal, creates a greater interference level, and a longer time is needed in order that the PT goal overtakes the interference. Some researchers have reported results that support this robust effect of complexity (Borst et al., 2015; Cades, Werner, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2008; Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008), but all of these hypotheses are still undistinguished.

The number of actions completed before an interruption occurs has been studied few times, but the results are inconsistent (Monk et al., 2002; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2004). This controversy may be due to the different tasks used by researchers, which renders the comprehension of this phenomenon difficult. Nevertheless, several theoretical frameworks predict a less deleterious effect of late interruptions. Interpreting the MFG model, Cades, Boehm-Davis, Trafton, and Monk (2011) suggested that the more progress that has been made on the primary task, the more the PT goal is repeated and the more its activation increases. Therefore, it will take less time to retrieve it in order to resume the primary task.

According to the Supervisory Attentional System model (SAS model; Norman & Shallice, 1986), the behavior is guided by “schemata”, that is, sets of actions or cognitions that have become very closely associated through practice. Schemata enable us to perform activities. If the activity is a routine, an automatic and fast-acting mechanism referred to as Contention Scheduling selects the schema that is most appropriate for achieving the task. This system contains situation-action pairs and satisfying one condition produces a specific outcome. However, for novel activities, there are no suitable existing schemata and the Contention Scheduling is no longer sufficient. In such cases, a Supervisory Attentional System (SAS), a slower mechanism that needs more cognitive resources, acts to organize, coordinate and monitor schemata through attention and awareness. As a result, if interruptions occur after a large number of actions have been completed, automation is in progress and the Contention Scheduling may enable the observer to resume the primary task. In other words, resumption takes less time because of automation.

Finally, no study has manipulated both the complexity and the timing although an interaction between these factors is expected. Indeed, both factors seem to influence the same components of the resumption of the primary task, such as the

activation of PT and IT goals, and the need in cognitive resources. On the one hand, the greater the number of completed actions, the higher the level of automation attained and the lower the level of cognitive resources needed to perform the primary task will be (Norman & Shallice, 1986). Consequently, the greater availability of cognitive resources in the case of a simple interrupting task would facilitate the resumption of the primary task. This would not be the case with complex interrupting tasks which demand more resources. On the other hand, if a great number of actions increases activation of the PT goal, while complex interrupting tasks decrease it, then two opposite effects would result, and these could cancel each other out. Indeed, after few actions, the interruption occurs while the PT goal is little activated. Its activation would decay during the interrupting task (whatever its complexity) until total deactivation. However, after several actions, the interruption occurs while the PT goal is well activated. It would all the same deactivate during the interrupting task, but more during complex interrupting tasks; the activation of the PT goal may then be deactivated only during complex interrupting tasks. At the end of a simple interrupting task, the activation of the PT goal should be higher, resulting in shorter RL.

The aim of this study was therefore to investigate both the effects of the complexity and the timing of interrupting tasks, the last one being operationalized as the number of actions completed before interruptions. Considering all the above-mentioned studies, we could expect that interruptions have a deleterious effect on performance. Moreover, complex interrupting tasks should cause an even worst performance, as well as interruptions occurring after a small number of actions on the primary task. Finally, since these factors are expected to influence the same components of the resumption of the PT, such as the activation of the PT and the IT goals, and the amount of available cognitive resources, they may interact. Thus, as explained earlier, interruptions occurring after several actions on the primary task could provide better performance, but only if the IT is simple.

To create a situation as realistic as possible, we designed a common primary e-mail search task. The participants had to find and click on multiple targets among distractors in pages reproducing a typical inbox environment. They were interrupted in 80% of trials by a simple or complex updating task, which occurred after that they had completed one or 9 actions.

METHOD

Participants

Provided a power of 90% to detect a large effect of the complexity of the interrupting task, which is the most studied in the literature (average effect size based on eleven published experiments from eight studies Cohen's $d = 1.2$; (Borst et al., 2015; Cades et al., 2007, 2008; Eyrolle & Cellier, 2000; Gillie & Broadbent,

1989; Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008; Pankok et al., 2017), the sample size needed is 35. However, these studies used different dependent variables, and none of them assessed the interaction effect. Knowing that interaction effects have smaller effect sizes, we decided to include a larger sample. On the basis of the above-mentioned criteria, a group of 93 (43 male, 50 female) healthy volunteers (mean age = 20.6 ± 2.8 years) took part in this experiment. They were recruited among undergraduate students and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated and all of them gave their informed written consent for their participation prior to the test. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki. Given an alpha of .05, the current sample size ($N = 93$), and a power of 90%, we can detect with G*Power an effect size as small as $f_p^2 = .02$, or $d = .26$.

Stimuli and material for the primary task

The experiment was administered on a laptop (screen: 17.3 inches) running the OpenSesame software (Version 3.1.4). The participants had to find e-mails in pages that resembled a typical inbox. Each page (see Figure 1) contained a list of e-mails at the center of the screen, a bar with the search criteria and a trash icon at the top, a banner of options on the left and ads on the right of the e-mails. The options bar and the ads were the same on each page and the participants could not interact with them. Each list consisted of 15 e-mails, each of which was displayed on a separate line. Each line consisted of visual elements, some of which were relevant to the task [an empty square, the name of the sender, a colored circle (either blue, light-gray or black), and an attachment symbol (a paper clip)], while other elements were irrelevant to the task [a star (either black or white), a blue flag (either present or not), the subject line, the first words of the e-mail, and the date of sending]. Irrelevant elements were added for creating a realistic inbox and used as distractors for the visual selective attention task.

The participants were instructed to scan the page from the top to the bottom and to click on the empty box on the left of the target e-mails (causing a cross to appear inside them), which were described by a combination of three criteria listed across the top of the page.

These were the name of the sender with an adjacent circle in a specific color and a paper clip indicating the presence of an attachment. The combination of the three criteria and the sender names (both target and distractors) was different in each new trial in a controlled manner (same number of combinations as a function of the color of the circle and the gender of the sender). On each page, there were either four, five or six targets and each trial consisted of ten targets. When they had finished scanning the page from the top to the bottom, the participants had to click on the trash icon, causing a new page to appear.



Figure 1. An example of the primary task used in the present study. Participants had to find all the e-mails combining the three criteria presented at the top as quickly and accurately as possible. They were interrupted during this task in 80% of trials by an updating task.

Stimuli and material for the interrupting task

The interrupting task was an updating task that resembled to the running memory span task used by Broadway and Engle (2010). We decided to use a non-ecological interrupting task because manipulating its complexity is well-known and we should control all the other parameters which can have an effect on the resumption of the primary task (e.g., the length, arousal, similarity to the primary task, etc.). Participants saw several series of 3 to 6 random digits (24-point Calibri white font) ranging from 0 to 9 at the speed of one digit per second. There were never twice the same digits in a series and never the same digits in two consecutive series. Once each series had been presented, the participants had 3 seconds to recall and type the last three digits at the keyboard. After that, a new series was presented. The fact that the length of each new series was not known in advance led the participants to constantly update the content of working memory each time a new number was presented.

Experimental design and procedure

The participants completed 30 trials. Each trial consisted of two successive inbox pages so there was a total of 30 e-mails with 10 target e-mails per trial. A within-subjects design was used, and the trials were presented in the same order for all the participants. Each interrupted trial contained a single simple (two series

of 3 and three series of 4 numbers or three series of 3 and two series of 4 numbers, randomly presented) or complex interrupting task (two series of 5 and two series of 6 numbers randomly presented). The distinction between simple and complex interrupting tasks was dictated by a pilot experiment ($N = 32$), in which participants ran several trials of the updating task in order to evaluate the complexity of the task. Results showed that accuracy was different between simple and complex trials and that there was no difference between accuracy between series of 3 and 4 digits and between series of 5 and 6 digits. Interruptions occurred either after a small number of actions (1 action = one target e-mail was selected) or after a greater one (9 actions = nine target e-mails were selected). The participants were interrupted in 24 trials (6 trials had a simple/1 action interrupting task, 6 had a simple/9 actions, 6 had a complex/1 action, 6 had a complex/9 actions) and 6 trials were uninterrupted. To ensure that there was no trial order effect, the experiment (30 trials) was subdivided into six continuous blocks. Each block consisted of five trials, each one representing one of the five tested conditions. The position of each trial was different in each block but similar for all the participants.

Participants started with training on the two tasks before then completing the entire experiment. They were not informed that they would be interrupted but rather that they should do what the program told them as quickly and accurately as possible. In the case of interrupted trials, the interrupting task appeared instantaneously on a black screen that covered the inbox and the criteria, making it impossible to continue with the e-mail search. Since strong duration effects have already been demonstrated and might have caused a confound in our experiment (Monk et al., 2008), we chose to have the same duration for both simple and complex interrupting tasks. This is why the duration of each simple interrupting task was 40.8 seconds and that of each complex one was 40.9 seconds for the participant to see enough series and for a cognitive load to be created. Thus, the duration of the interrupting task was set to be identical for each participant. Once the interrupting task was over, the inbox reappeared in the same state as it had been left immediately before the interruption (including the presence of the search criteria) and the participants carried on with the primary task from where the task had been interrupted. The entire experiment lasted approximately 40 minutes and a very short break was introduced half-way through.

The time that elapsed between the first and the second e-mail in the 1 action condition and the time that elapsed between the ninth and the tenth e-mail in the 9 actions condition were recorded and used as dependent variables. We call this the Inter-Click Interval (ICI). In the case of an interrupted trial, ICI is a measure of Resumption Lag, i.e. the time that elapses between the reappearance of the inbox and the first new click. Accuracy in both the primary task (percentage of correct clicks) and the interrupting task (percentage of correct responses) was also recorded.

RESULTS

Data showed that each participant selected target e-mails from the top to the bottom, even after the interruption; they thus carry on from the lower selected target e-mail. In order to ensure that there was no surprise effect during the first trials that would lengthen ICIs, analyses did not include the first trial of each condition. Moreover, only trials in which participants selected only the 10 target e-mails were analyzed and trials for which ICI was higher than mean \pm 3 SD were removed from analyses (this represented 0.9% of trials).

Interrupting task

Overall, accuracy was slightly higher than 92%. For ensuring that accuracy for series of 3 and 4 digits was properly identical and truly higher than accuracy for series of 5 and 6 digits, a multivariate repeated measures analysis of variance (ANOVA) was carried out on accuracy with Number of digits (3, 4, 5 and 6) as a within-participants factor. The main effect of number of digits was significant, $F(3, 276) = 59.32$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.39$. Bonferroni-corrected comparisons showed that accuracy was not different for series consisting of 3 ($M = 97$, $SD = 4.21$) and 4 digits ($M = 95$, $SD = 6.69$, $p = .84$), neither for series consisting of 5 ($M = 89$, $SD = 8.82$) and 6 digits ($M = 87$, $SD = 9.34$, $p = .11$). However, there was a difference between series consisting of 4 and 5 digits ($p < .01$).

A multivariate repeated measures ANOVA was then carried out on accuracy with Complexity of interruption (Simple or Complex) and the Number of actions completed before the interruption (1 or 9) as within-participant factors. Only the main effect of Complexity was significant, $F(1, 92) = 107.97$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.54$, with greater accuracy being observed during a simple interruption ($M = 96$, $SD = 5.32$) than during a more complex one ($M = 88$, $SD = 9.21$). The main effect of the Number of actions was not significant ($F(1, 92) = 0.02$; $p = .90$), with no difference in accuracy between interruptions occurring after 1 ($M = 92$, $SD = 8.30$) than after 9 actions ($M = 92$, $SD = 8.66$).

Primary task

Accuracy reached ceiling level since it was over 96% for the primary task across all participants, the effect of interruptions on accuracy cannot thus be analyzed. A multivariate repeated measures ANOVA was carried out on the ICI with the Complexity of the interrupting task (No Interruption, Simple or Complex) and the Number of actions completed before the interruption (1 or 9) as within-participant factors. The main effect of Complexity was significant, $F(2, 184) = 215.38$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.70$. Bonferroni-corrected comparisons showed that ICI increased with increasing complexity (No Interruption $M = 3.03$ seconds, $SD = 0.82$; Simple Interrupting task $M = 3.90$ seconds, $SD = 0.73$; Complex Interrupting task $M = 4.16$

seconds, $SD = 0.73$; all $ps < .01$). The main effect of the number of actions was significant, $F(1, 92) = 95.61$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.51$, with longer ICI after 1 ($M = 3.90$ seconds, $SD = 0.79$) than after 9 actions ($M = 3.49$ seconds, $SD = 0.96$). Finally, the Complexity x Number of actions interaction was also significant (see Figure 2), $F(2, 184) = 43.97$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.32$. Bonferroni-corrected comparisons showed that when there was no interruption, the ICI was longer after 1 ($M = 3.46$ seconds, $SD = 0.76$) than after 9 actions ($M = 2.58$ seconds, $SD = 0.61$, $p < .01$). When the interrupting task was simple, the ICI was still longer after 1 ($M = 4.08$ seconds, $SD = 0.69$) than after 9 actions ($M = 3.73$ seconds; $SD = 0.74$, $p < .01$). Finally, no difference as a function of number of actions was found in the case of complex interrupting tasks (1 action: $M = 4.14$ seconds, $SD = 0.74$; 9 actions: $M = 4.18$ seconds, $SD = 0.73$, $p=1$). Furthermore, in the 1 action condition, ICI was different between uninterrupted and interrupted trials ($ps < .01$) but there was no difference between the two interrupted conditions ($p = 1$). However, in the 9 actions condition, all ICI were different ($ps < .01$).

Given that the Complexity x Number of actions interaction could be driven by the no interruption condition, a multivariate repeated measures ANOVA was carried out only on the RL with the Complexity of the interrupting task (Simple or Complex) and the Number of actions completed before the interruption (1 or 9) as within-participant factors. The Complexity x Number of actions interaction was still significant, $F(1, 92) = 17.32$; $p < .01$, $\eta_p^2 = 0.16$, with the same difference between conditions.

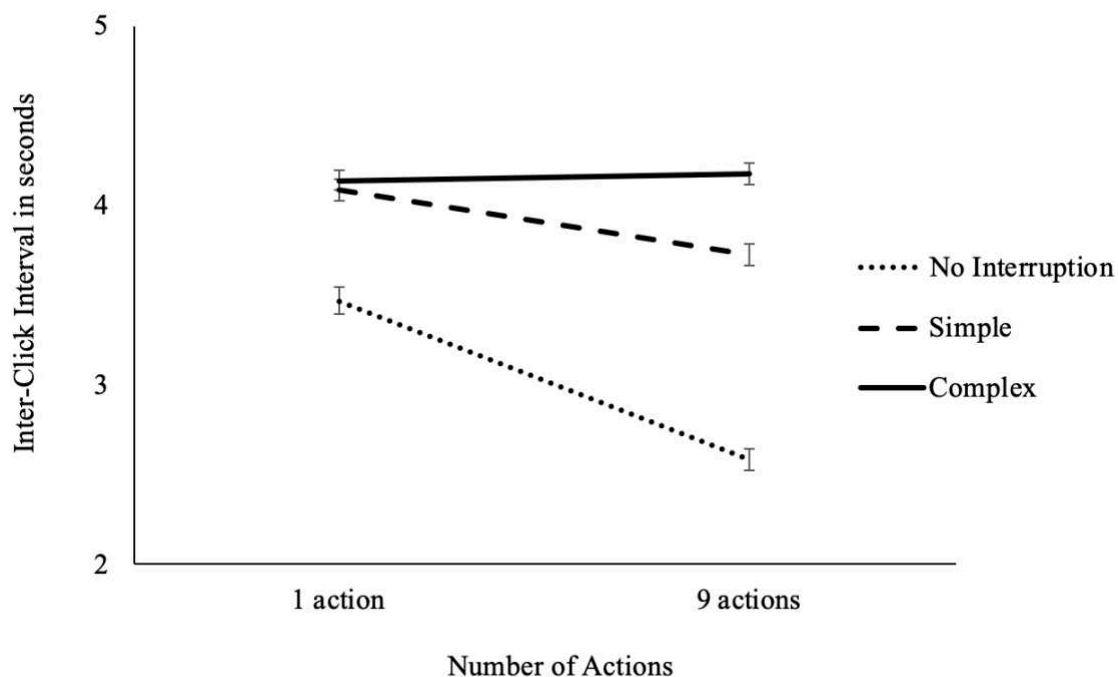


Figure 2. Mean Inter-Click Interval (ICI) and confidence interval (Morey, 2008) expressed in seconds and plotted as a function of interrupting task complexity and the number of actions completed before the interruption.

Additional results

Since we wanted to understand the effect of the number of actions on ICIs, we decided to carry out an additional analysis, for assessing the way that the Complexity * Number of actions interaction progressed throughout the whole experiment. A multivariate repeated measures ANOVA was carried out on the ICI with the Complexity of the interrupting task (No Interruption, Simple or Complex), the Number of actions completed before the interruption (1 or 9) and the Section of the experiment (the 1st section, i.e. the two first trials for each condition or the 2nd section, i.e. the two last trials) as within-participant factors. The main effect of the Section was significant, $F(1, 92) = 68.74; p < .01, \eta_p^2 = 0.43$, with longer ICI in the 1st section ($M = 3.85$ seconds, $SD = 1.05$) than in the 2nd section ($M = 3.47$ seconds, $SD = 0.98$). The Complexity x Number of actions x Section interaction was also significant (see Figure 3). Bonferroni-corrected comparisons showed that in the 1st section and when there was no interruption, the ICI was longer after 1 ($M = 3.59$ seconds, $SD = 0.89$) than after 9 actions ($M = 2.51$ seconds, $SD = 0.87$, $p < .01$). When the interrupting task was simple, the ICI was still longer after 1 ($M = 4.37$ seconds, $SD = 0.80$) than after 9 actions ($M = 4.06$ seconds; $SD = 0.77$, $p < .03$). Finally, no difference as a function of number of actions was found in the case of complex interrupting tasks (1 action: $M = 4.18$ seconds, $SD = 0.83$; 9 actions: $M = 4.40$ seconds, $SD = 0.79$, $p = 1$). In the 2nd section, when there was no interruption, the ICI was equal after 1 ($M = 2.88$ seconds, $SD = 0.86$) and after 9 actions ($M = 2.78$ seconds, $SD = 0.81$, $p = 1$). When the interrupting task was simple, the ICI was even longer after 1 ($M = 3.94$ seconds, $SD = 0.79$) than after 9 actions ($M = 3.28$ seconds, $SD = 0.80$, $p < .01$). Finally, no difference as a function of number of actions was still found in the case of complex interrupting tasks (1 action: $M = 3.89$ seconds, $SD = 1$; 9 actions: $M = 4.02$ seconds, $SD = 0.79$, $p = 1$).

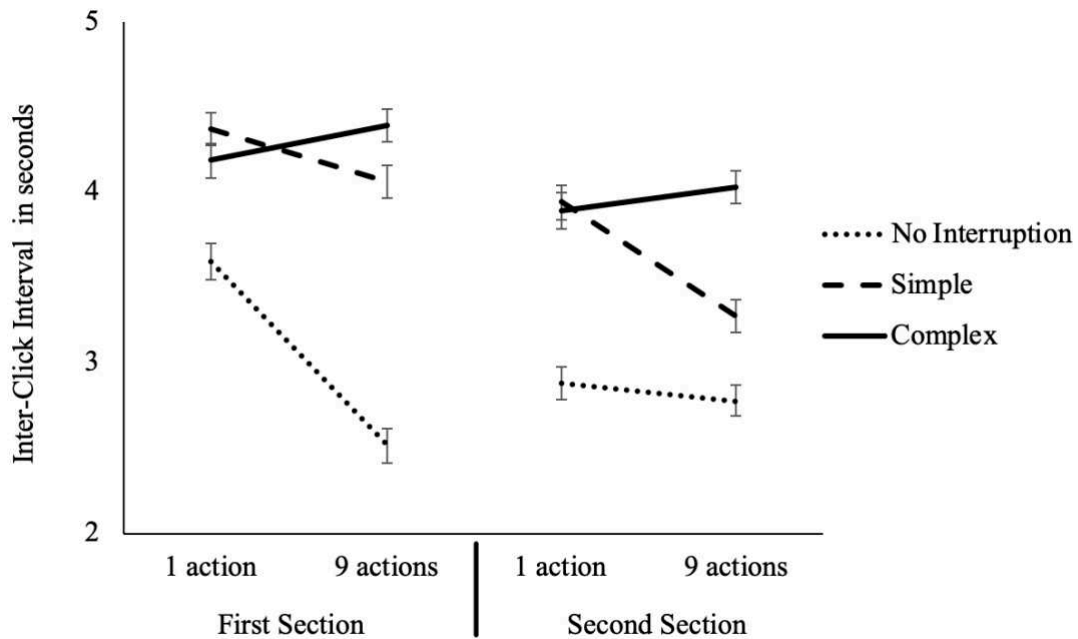


Figure 3. Mean Inter-Click Interval (ICI) and confidence interval (Morey, 2008) expressed in seconds and plotted as a function of interrupting task complexity, the number of actions completed before the interruption and the Section.

DISCUSSIONS

The aim of this study was to investigate the effect of the complexity of the interrupting task and the number of actions completed before its occurrence on the time taken to resume a primary task. In an e-mail search task, participants were required to click on target e-mails presented among distractors. They could be interrupted by a simple or complex updating task that occurred after they had selected 1 or 9 target e-mails. Overall, the primary task was in all likelihood very simple since accuracy was over 96 % across all participants. This permits to assess more precisely the effect of interruptions on ICI. Indeed, our results showed that the time taken to select target e-mails when the participants were not interrupted was shorter than the time to select a target e-mail for resuming the primary task after the interruption. This is consistent with many of the results reported in the literature since the majority of researchers have found a detrimental effect of interruptions on performance (Blumberg et al., 2015; Cades et al., 2008; Ratwani & Trafton, 2008; Ratwani, Trafton, & Myers, 2006).

The effect of the interruption seems to be influenced by both the complexity of the interruptions and the number of actions completed. Firstly, the more complex the interrupting task, the longer the ICI is. This finding is consistent with the main corpus of evidence (e.g., Cades et al., 2008; Monk et al., 2008) and can be interpreted in several ways. A complex interrupting task creates a higher cognitive load and then requires a large amount of resources, which would be

harder and then longer to inhibit for resuming the primary task (Eyrolle & Cellier, 2000). Another explanation is that the more complex the interrupting task is, the more the foreseeable rehearsal of the PT goal during the interrupting task decreases, causing it to decay (Hodgetts & Jones, 2006). Hodgetts and Jones (2006) also proposed that the complexity effect is due to the greater interference created by complex interrupting tasks; more time is needed in order that the PT goal overtakes this interference level.

Secondly, the number of actions completed before the interruption also seems to influence the ICI, since the greater the number of actions, the shorter the ICI is. Two existing models predict this pattern, albeit based on different underlying processes. On one hand, interpreting the MFG model (Altmann & Trafton, 2002), Cades et al. (2011) predicted that the greater the number of actions, the higher the activation associated with the PT goal would be. Participants would, therefore, resume the primary task faster. On the other hand, according to the SAS model (Norman & Shallice, 1986), progressing on a task makes it more automated and fewer resources would be required to process it. It should take less time to return to the primary task once the interruption is over. Indeed, after selecting several e-mails in a trial, searching for a specific combination of criteria may become easier. However, when the criteria changed, it may become hard again to search the new criteria. This result confirms the hypothesis that we have emitted earlier.

Finally, we found an interaction between the complexity of the interrupting task and the number of actions completed before it occurred. These two factors may involve, at least in part, common underlying processes. In the absence of interruptions, ICI was longer after that only one checkbox was selected in the e-mail list than after nine e-mail checkboxes. This difference decreased for simple interrupting tasks and completely disappeared for complex ones. This seems to support all the above-mentioned studies, which should be integrated within a more complete framework. Our results could then be explained with both goal activation and demand on cognitive resources. As the automation of the primary task progresses, the PT goal activates (Cades et al., 2011), and processes require less and less cognitive resources (Norman & Shallice, 1986), but only in the case of a simple interrupting task. Indeed, less time is needed to overtake the interference created by the IT goal because it is less activated and because the PT goal is less deactivated, due to the foreseeable rehearsal and the great amount of cognitive resources remaining available. However, in the case of a complex interrupting task, the PT goal is more deactivated because rehearsal is suppressed, and less cognitive resources are available; the IT goal is yet more activated. The level of interference between PT and IT goals is then higher, resulting in higher resumption time, whatever the initial activation level of the PT goal.

This interaction changes while progressing in the experiment. Indeed, we observed the same pattern of results as the one presented just before during the first trials of the experiment, but this pattern is different during the last ones. Overall, a general decrement of the ICI is observed, showing that automation is in progress.

When there was no interruption, a ceiling effect was observed, whatever the number of actions completed through a single trial. This would suggest that the same degree of activation and automation of the primary task may occur between one and nine actions within a single trial. When there was a simple interrupting task, the beneficial effect of the number of actions through a trial was amplified, suggesting that automation and the PT goal activation developed throughout the experiment. This would counteract much better the negative effect of IT. Finally, even if ICIs were shorter at the end of the experiment, there was still no effect of the number of actions when the interrupting task was complex. This suggests that even if the PT goal activation and the automation of the primary task would increase after several trials, this is not yet sufficient to overcome the high activation of the IT goal produced by a complex interrupting task. In conclusion, automation produced by many completed trials increased the effect of the number of actions but only with simple interrupting tasks. This suggests that routinizing a primary task does improve its resumption after interruptions. Yet, the complexity of the interrupting task does not have the same influence on automation, since performance increases only when it was simple.

Theoretical and practical contributions

Three important contributions of our study can be highlighted. First, we provide empirical support concerning the role of the complexity of the interrupting task. Many studies have found similar results, but never on such an easy primary task, suggesting that probably any kind of primary task could be impacted by the complexity of the interrupting task. The origins of the complexity effect are multiple and could be summarized by the fact that a complex interrupting task would create a higher demand in cognitive resources. This would prevent rehearsal of the PT goal during the interrupting task and then contribute to its deactivation. More time is then needed to reactivate it and overtake the interference created by the IT goal.

Second, our results are consistent with the idea that the number of actions completed before interruptions may be related to the activation of the PT goal and the degree at which the primary task has been automated. This result is then in contradiction with studies showing that solely training the primary task does not improve its resumption (Cades et al., 2011). These two explanations may then be complementary and should not be distinguished. Indeed, a task becomes automated as the activation of its associated schemata increases (Couffe & Michael, 2017) and in the same way as the activation of the PT goal increases (Cades et al., 2011). In both cases, practicing a task makes it easier and demands less and less cognitive resources. Another effect found with another methodology could be compared to ours by showing the crucial role of cognitive resources. Indeed, it was found that interruptions occurring between two tasks led to faster resumptions than interruptions occurring during a task (Bailey & Konstan, 2006; Monk et al., 2002).

This suggests that the difficulty to resume is probably dependent on the higher cognitive demands of interrupting a task. Our result suggests that cognitive load evolves over time.

Nevertheless, we are the first to show the effect of timing of interruptions within a short primary task in terms of the number of actions completed. We can imagine that more demanding primary tasks that produce a greater memory load, such as text editing or programming a Video Cassette Recording (Monk et al., 2004) would be automated less easily. This would account for the absence or even a detrimental effect of the moment of interruptions as has been reported in the literature (Law et al., 2004; Ratwani et al., 2006).

Third, this is the first time that the interaction between the complexity of interruptions and the number of actions has been shown, with the number of actions assessed throughout a trial. Thus, the time to resume the primary task seems not only influenced by the complexity of the interrupting task or when it occurs, but by the combination of these characteristics. To understand the whole picture, it is necessary to consider whether goal activation and automation might coexist and dynamically interact. Theoretical accounts of human performance should seriously consider this point and we believe that our results offer some important indications concerning the directions such theories should take. Indeed, no theoretical framework took the Complexity x Timing interaction effect into account. This interaction suggests that factors explaining performance cannot be taken in isolation as suggested through those models. The presence of the interaction strongly suggests that these factors target at least common processes that further investigation should specify. Our data seem to fit better with the SAS model. Indeed, at first, the MFG model does not take into account situations in which no interruption occurs; yet it is only in comparison to uninterrupted trials that the effect of the interruption can be assessed and understood. The MFG model thus cannot explain why ICIs decrease with increasing number of actions in the uninterrupted condition. If the MFG model is to account for this specific effect observed in the uninterrupted trials, a modification has to be brought: (i) either automation and learning through time has to be considered, meaning that we are approaching the SAS model, (ii) or we could propose a slight modification of the MFG model, by adding that in case of no interruption, the activation of the PT goal increases while progressing on the primary task, leading to better performance. Second, as far as the SAS model is concerned, since it is not a model specific to interruptions, we can see that it can explain fully the results. If we consider that all the manipulated factors are just instances of the “difficulty” of the task, then performance (see Figure 3) can be arranged from the most difficult condition (1st section of the experiment – 1 action – Complex interruption) to the easiest one (2nd Section – 9 actions – No interruption). We can see that performance does not undergo any change before some intermediate level of difficulty and reached an asymptotic level during the easiest trials. This shift in performance may reflect a progressive disengagement of

the SAS and a progressive involvement of the Contention Scheduling until a completed take over.

The present study also has some practical implications. Contrary to researchers who found that interrupting a simple and repetitive primary task can be beneficial (Speier, Vessey, & Valacich, 2003), our results showed that interruptions still have a harmful effect on such tasks. Indeed, in our primary task- in which the completion time lasted about 36 seconds - approximately 1.15 seconds (ICI for interrupted trials minus ICI for uninterrupted ones) was spent only for returning to the primary task after the interruption. This represented roughly 30 sec of the overall experiment and slowed down the completion of the primary task by more than 3%. Checking e-mails being a pervasive activity at workplace (Dietzen, 2017), investigating the effect of interruptions during e-mail checking seems then highly relevant for everyday work. Moreover, as our primary task took the form of a realistic inbox interface, the results are of direct interest to anybody wishing to design a new inbox (or similar computer interface) that is resistant to interruptions. We can, for instance, imagine a program that blocks untimely pop-up windows when users first start checking their e-mails and only gradually displays these.

Limitations. The current study has some limits. First, the order of presentation of trials was the same for all the participants. However, the order of trials was predefined as that there were six blocks with each of the five conditions and each condition was presented at a different order in a block. So, there cannot be an effect of the order of trials. Then, the result of the additional analysis assessing the double interaction was obtained with only two trials per condition, knowing that the two conditions of the factor “Section” are separated from only 5 trials. The distinction between RLs at the beginning and at the end of the experiment is then little, but first the small number of trials was counterbalanced by the great number of participants and second, the results showed all the same that performance is influenced by the moment at which the participant was interrupted throughout the whole experiment. Another limit is that the search criteria were displayed throughout a trial (except during the interrupting task). This could facilitate the resumption since participants would make less effort to reactivate the PT goal and furthermore this does not allow us to differentiate the PT goal activation and the PT goal reconstruction. Next, the fact that our interrupting task is quite long could be a confound in our experiment since the length of the interrupting task is known to influence the resumption of the primary task. Nevertheless, in our study, we did not manipulate this factor, but only the complexity of the interrupting task. It is therefore difficult to conclude that the length of the interrupting task takes a specific role in our results. Finally, a possible anticipation effect of interruptions occurring after 9 actions could not be eliminated, since if the participant was not interrupted after selecting one e-mail, he had more chance to be interrupted after selecting nine e-mails. The anticipation of interruptions being known to decrease their effect (Carton & Aiello, 2009), it could explain the shorter RL after late interruptions. However, this implies that

participants understood that there were two different timing, without forgetting that in each trial, there was an uninterrupted inbox page, which decreases the probability of having an interrupted trial.

Future directions. Our study opens up a range of avenues. First of all, the assumption that the complexity of the interrupting task and the number of actions completed before it occurred involve and affect specific processes derives from well-known models (Altmann & Trafton, 2002; Kahneman, 1973; Norman & Shallice, 1986; Trafton, Altmann, & Ratwani, 2011). However, to our knowledge, the issue of whether specific functions, such as working memory, cognitive control, and automation are actually involved and to what degree is still largely unresolved. Future studies will need to explore this issue. For instance, participants that complete an interrupting task such as the one presented here could also be asked to complete more classical cognitive tests that assess specific functions (e.g., Stroop-like tasks measuring the ability to resolve interference and to reduce the effect of unwanted information on performance). Regression analyses should be conducted to reveal the degree to which each function determines the time required to return to the primary task.

Finally, to our knowledge, this is the first time that a less deleterious effect of a late interruption has been reported. Even though we interpreted our results with the aid of the MFG and the SAS models (Altmann & Trafton, 2002; Norman & Shallice, 1986), other interpretations are possible. For example, it is possible that the effect is due to the number of remaining e-mails and distractors. Nevertheless, this explanation is not completely satisfactory because it does not account for the absence of “the number of actions” effect when interrupting tasks are complex. This effect should, therefore, be further investigated. Would it be greater if the number of actions increased or is there an asymptotic level? What is the most critical factor that determines the time taken to resume the primary task: the number of actions completed before interruptions or the time that elapses between the beginning of the primary task and the moment an interruption occurs? Future studies will be needed if we want to adequately address these issues.

Conclusions. To conclude, we found that interruptions have a detrimental effect on ICI and that this effect is modulated by both the complexity of the interrupting task and the number of actions completed before its occurrence. Indeed, the more complex the interrupting task, the longer the ICI, most probably due to working memory overload (less rehearsal and higher cognitive load). The greater the number of actions, the shorter the ICI, whether through a trial or through the whole experiment. This is probably due to the automation of the primary task or to the activation of the goal related to the primary task. The results also suggest that the beneficial effects of automation on the activation of the PT goal is counteracted by the detrimental effect of the complexity of the interrupting task. This is the first time that the interaction between these two factors is assessed and although MFG

and SAS model could explain this effect, this is not directly taken into account in the models. Further studies are needed to better understand what is going on. Our findings have some practical implications, especially for the organization of workspaces. It seems that it is better to be interrupted by a simple task, and even more if it occurs after having progressed on the primary task. This provides us with information about when and by what it is better to be interrupted, and the combination of these task characteristics.

Acknowledgements

This study was supported by the LABEX CORTEX (Grant ANR-11-LABX-0042) of Université de Lyon, within the program “Investissements d’Avenir” (Grant ANR-11-IDEX-0007), operated by the French National Research Agency (ANR).

REFERENCES

- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: an activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39-83. doi:10.1016/S0364-0213(01)00058-1.
- Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behavior*, 22(4), 685-708. doi:10.1016/j.chb.2005.12.009.
- Blumberg, E. J., Foroughi, C. K., Scheldrup, M. R., Peterson, M. S., Boehm-Davis, D. A., & Parasuraman, R. (2015). Reducing the disruptive effects of interruptions with noninvasive brain stimulation. *Human Factors*, 57(6), 1051-1062. doi:10.1177/0018720814565189.
- Borst, J., Taatgen, N., & van Rijn, H. (2015). What makes interruptions disruptive? A process-model account of the effects of the problem state bottleneck on task interruption and resumption. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2971-2980. doi:10.1145/2702123.2702156.
- Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2010). Validating running memory span: Measurement of working memory capacity and links with fluid intelligence. *Behavior Research Methods*, 42(2), 563-570. doi:10.3758/BRM.42.2.563.
- Cades, D. M., Davis, D. A. B., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2007). Does the difficulty of an interruption affect our ability to resume? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(4), 234-238. doi:10.1177/154193120705100419.
- Cades, D. M., Werner, N., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2008). Dealing with interruptions can be complex, but does interruption complexity matter: A mental resources approach to quantifying disruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(4), 398-402. doi:10.1177/154193120805200442.
- Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, G., & Monk, C. A. (2011). Mitigating disruptive effects of interruptions through training: What needs to be practiced? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(2), 97-109. doi:10.1037/a0023497.

- Carton, A. M., & Aiello, J. R. (2009). Control and anticipation of social interruptions: Reduced stress and improved task performance. *Journal of Applied Social Psychology, 39*(1), 169-185. doi:10.1111/j.1559-1816.2008.00434.x.
- Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures due to interruptions or distractions: A review and a new framework. *The American Journal of Psychology, 130*(2), 163-181. doi:10.5406/amerjpsyc.130.2.0163.
- Dietzen, R. (2017, August 25). E-mail use 2017 - US Adobe Report. *slideshare.net*. Retrieved from <https://www.slideshare.net/adobe/adobe-consumer-email-survey-report-2017>.
- Drews, F. A., & Musters, A. (2015). Individual differences in interrupted task performance: One size does not fit all. *International Journal of Human-Computer Studies, 79*, 97-105. doi:10.1016/j.ijhcs.2015.01.003.
- Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2000). The effects of interruptions in work activity: field and laboratory results. *Applied Ergonomics, 31*(5), 537-543. doi:10.1016/S0003-6870(00)00019-3.
- Foroughi, C. K., Werner, N. E., McKendrick, R., Cades, D. M., & Boehm-Davis, D. A. (2016). Individual differences in working-memory capacity and task resumption following interruptions. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition, 42*(9), 1480-1488. doi:10.1037/xlm0000251.
- Gillie, T., & Broadbent, D. (1989). What makes interruptions disruptive? A study of length, similarity, and complexity. *Psychological Research, 50*(4), 243-250. doi:10.1007/BF00309260.
- Gupta, A., Li, H., & Sharda, R. (2013). Should I send this message? Understanding the impact of interruptions, social hierarchy and perceived task complexity on user performance and perceived workload. *Decision Support Systems, 55*(1), 135-145. doi:10.1016/j.dss.2012.12.035.
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General, 135*(1), 103-115. doi:10.1037/0096-3445.135.1.103.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.
- Law, A. S., Logie, R. H., Pearson, D. G., Cantagallo, A., Moretti, E., & Dimarco, F. (2004). Resistance to the impact of interruptions during multitasking by healthy adults and dysexecutive patients. *Acta Psychologica, 116*(3), 285-307. doi:10.1016/j.actpsy.2004.04.003.
- Lee, B. C., & Duffy, V. G. (2015). The effects of task interruption on human performance: A study of the systematic classification of human behavior and interruption frequency. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries 25*(2), 137-152. doi:10.1002/hfm.20603.
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics, 42*(6), 553-568. doi:10.1016/j.ergon.2012.09.001.
- Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2002). The attentional costs of interrupting task performance at various stages. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 46*(22), 1824-1828. doi:10.1177/154193120204602210.
- Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2004). Recovering from interruptions: implications for driver distraction research. *Human Factors: The Journal of the*

- Human Factors and Ergonomics Society*, 46(4), 650-663. doi:10.1518/hfes.46.4.650.56816.
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299-313. doi:10.1037/a0014402.
- Morey, R. D. (2008). Confidence intervals from normalized data: A correction to Cousineau (2005). *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4, 61-64. doi:10.20982/tqmp.04.2.p061.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. Davidson, R. Schwartz, and D. Shapiro (Éd.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory IV*. Plenum Press.
- Pankok, C., Zahabi, M., Zhang, W., Choi, I., Liao, Y.-F., Nam, C. S., ... Kaber, D. (2017). The effects of interruption similarity and complexity on performance in a simulated visual-manual assembly operation. *Applied Ergonomics*, 59(Part A), 94-103. doi:10.1016/j.apergo.2016.08.022.
- Ratwani, R. M., Trafton, J. G., & Myers, C. (2006). Helpful or harmful? Examining the effects of interruptions on task performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(3), 372-375. doi:10.1177/154193120605000334.
- Ratwani, R. M., & Trafton, J. G. (2008). Spatial memory guides task resumption. *Visual Cognition*, 16(8), 1001-1010. doi:10.1080/13506280802025791.
- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: an integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101-130. doi:10.1037/0033-295X.115.1.101.
- Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., & Borst, J. P. (2009). Toward a unified theory of the multitasking continuum: From concurrent performance to task switching, interruption, and resumption. *Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1819–1828. doi: 10.1145/1518701.1518981.
- Speier, C., Vessey, I., & Valacich, J. S. (2003). The effects of interruptions, task complexity, and information presentation on computer-supported decision-making performance. *Decision Sciences*, 34(4), 771-797. doi:10.1111/j.1540-5414.2003.02292.x.
- Trafton, J. G., Altmann, E. M., & Ratwani, R. M. (2011). A memory for goals model of sequence errors. *Cognitive Systems Research*, 12(2), 134-143. doi:10.1016/j.cogsys.2010.07.010.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455. doi:10.1518/001872008X288394.
- Zijlstra, F. R. H., Roe, R. A., Leonora, A. B., & Krediet, I. (1999). Temporal factors in mental work: Effects of interrupted activities. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 72(2), 163-185. doi:10.1348/096317999166581.
- Zish, K., Hassanzadeh, S., McCurry, J. M., & Trafton, J. G. (2015). Interruptions can change the perceived relationship between accuracy and confidence. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 230-234. doi:10.1177/1541931215591047.

ÉTUDE 2 -
IDENTIFICATION DES PROCESSUS IMPLIQUES
DANS LE RETOUR A LA TACHE PRINCIPALE

L'étude 1 a montré l'effet de deux caractéristiques des interruptions. D'une part, comme ça l'a déjà été montré plusieurs fois, plus la tâche interromptrice est difficile, plus la reprise de la tâche principale après l'interruption est long. D'autre part, et cela est une première, nous avons montré que reprendre la tâche principale après une interruption intervenant vers la fin de la tâche principale, autrement dit après que le participant a effectué plusieurs actions, est plus rapide. Cette étude a également montré que la complexité et le moment de survenue de l'interruption interagissent, puisque l'effet du moment de l'interruption diminue à mesure que la complexité de la tâche interromptrice augmente. Cependant, bien que cette étude montre des effets intéressants dont certains étaient inconnus ou non démontrés jusqu'alors, ils ne permettent pas directement de donner la composition exacte des processus cognitifs impliqués dans le retour à une tâche suspendue. En effet, les résultats ne permettent pas de distinguer les différentes hypothèses proposées pour expliquer les effets obtenus.

Pour pallier ce problème, nous nous sommes inspirés d'une méthodologie utilisée plusieurs fois dans la littérature des interruptions pour identifier plus précisément les processus cognitifs impliqués dans le retour à la tâche principale après l'interruption (Bai, Jones, Moss, & Doane, 2014; Brudzinski, Ratwani, & Trafton, 2007; Foroughi et al., 2016; Foroughi et al., 2016; Meys & Sanderson, 2013; Redick, 2016). Au lieu de manipuler des éléments de la tâche principale ou interromptrice permettant d'isoler un processus particulier, on utilise les différences interindividuelles des participants sur leurs performances à des tests mesurant un processus cognitif précis. Par exemple, Foroughi, Werner, et al. (2016) ont montré que plus les participants avaient de bonnes capacités en mémoire de travail, moins ils mettaient de temps pour recommencer la tâche principale. Analyser les performances des participants face aux interruptions en fonction de la capacité de certaines de leurs fonctions cognitives a donc de multiples possibilités, à condition de sélectionner correctement les processus cognitifs que l'on souhaite évaluer et le test qui permet de le faire. Toutes les études qui ont utilisé cette méthodologie n'ont évalué à chaque fois qu'un seul processus, en général la mémoire de travail. De ce fait, elles ne permettent pas de distinguer différentes hypothèses, comme ce fut pourtant le cas dans l'étude 2.

L'originalité de cette étude est que, contrairement aux autres études, plusieurs processus cognitifs ont été évalués à la fois, grâce à plusieurs tests cognitifs différents. Les différences interindividuelles des participants sont ainsi analysées ensemble avec l'effet des interruptions en fonction des facteurs manipulés, à savoir leur complexité, le moment de leur survenue, et l'interaction entre ces caractéristiques. Grâce à cette méthode exploratoire, plusieurs

hypothèses peuvent être testées en même temps, et nous pouvons connaître quels processus sont ou ne sont pas associés à la reprise de la tâche principale après l'interruption.

Pour évaluer l'effet des interruptions, nous avons réutilisé le paradigme de l'Étude 1. Les participants devaient donc trouver des emails-cible dans de fausses boîtes de réception et ils étaient parfois interrompus par une tâche de mise-à-jour. La tâche interruptrice était soit simple soit complexe, et intervenait après que le participant eut sélectionné un ou neuf emails-cible. Pour identifier les fonctions cognitives impliquées dans le retour de la tâche principale, neuf tests ont été sélectionnés, chacun mesurant une fonction ou un processus cognitif théoriquement impliqués dans la suspension et le retour à la tâche principale (e.g. la mémoire de travail, l'inhibition, l'attention sélective, la flexibilité mentale). Afin de réduire le temps de passation de ces tests, deux études ont été menées, chacune utilisant des tests spécifiques. Dans une première expérience, les participants ont été évalués sur l'inhibition (Stroop), la flexibilité mentale (TMT), l'attention sélective visuelle (Map Search), la mémoire de travail (Empans verbaux) et la double-tâche (Telephone Search while Counting). Dans une deuxième expérience, ils ont été évalués sur l'inhibition d'informations non pertinentes en mémoire (Geoffrey Memory Inhibition Test), l'automatisation (Tour de Hanoï), l'oubli en mémoire (Paradigme de Brown-Peterson) et la mémoire de travail (Empans Spatiaux).

Investigating the processes underlying the resumption of interrupted tasks

Paul Brazzolotto et George A. Michael

Article Soumis

Retranscrit en version manuscrite

Abstract

Although many researchers have studied interruptions and how detrimental they can be for performance, only a small number of studies have successfully identified the cognitive processes involved in the resumption of the primary task after an interruption. We carried out two experiments in which the complexity and the timing of interruption were manipulated. The participants also completed a set of cognitive tests assessing cognitive functions, such as working memory, inhibition or shifting, etc. Results showed that decreasing the complexity and introducing the interruption later in the task reduced the time needed to resume the primary task (i.e. Resumption Lag, RL). Moreover, the complexity effect was related to inhibition, shifting, selective attention and automation, while timing was related to working memory and divided attention. This study provides clues to help us better understand the processes involved when we interrupt our activities and indicates the need to look more deeply at the processes underlying resumption after interruptions.

Keywords: Interruption; complexity; timing; cognitive processes; inbox.

I. INTRODUCTION

Interruptions are becoming more and more frequent due to the configuration of the workplace and the increased use of information and communication technologies (ICT). They are defined as “breaks in the performance of a human activity initiated by a source internal or external to the recipient, with occurrence situated within the context of a setting or a location. This break results in the suspension of the initial task by initiating the performance of an unplanned task with the assumption that the initial task will be resumed” (Brixey et al. 2007, page 13). Interruptions represent thus a situation where working on one task is stopped for a while, i.e. attention is withdrawn entirely in favor of another task. A large body of literature has shown that interruptions have a detrimental effect on the ongoing task, i.e. the primary task (Adamczyk & Bailey, 2004; Bailey & Konstan, 2006; Brumby, Cox, Back, & Gould, 2013), although the cognitive processes underlying task resumption remain largely hypothetical. Therefore, by focusing on the complexity and timing of interruptions, this study investigates the processes underlying the resumption of the primary task.

One important theoretical framework, the Memory-for-Goal (MFG) model (Altmann & Trafton, 2002), describes behavior in terms of activated goals related to the primary and the interruption tasks. Goals are defined as mental representations of the intention to accomplish a task and take some mental or physical action. The authors assumed that the primary task goal is activated as long as the primary task is being performed. During the interruption, although this goal must be sustained, it nevertheless becomes progressively deactivated. The time needed to resume the primary task once the interruption is over (i.e. the Resumption Lag, RL) depends on the activation level of its associated goal. A low level slows down resumption.

Based on this framework, studies from varied domains (interruption, working memory, multitasking, attention, etc.) and especially on the Supervisory Attentional System model (i.e. SAS model; Norman & Shallice, 1986), Couffe and Michael (2017) developed the DETOUR model, a new integrative research framework which precisely describes each step involved in dealing with an interruption. According to the DETOUR model, action is driven by schemata, i.e. knowledge that constitutes an action sequence. Schemata related to the primary task are activated during the completion of the primary task. If an interruption occurs, schemata related to the interruption have to be activated. At the same time, the schemata related to the primary task have to be inhibited and become progressively deactivated. This makes it possible to switch to the interruption task. During the interruption, two processes are at work and each needs

attention and cognitive resources: the execution of the interruption task and the updating of the schemata related to the primary task in order to slow down their deactivation. Once the interruption task is completed, the interruption-related schemata have to be inhibited, and the schemata related to the primary task reactivated. Their activation level determines the duration of the RL.

The postponement of the primary task seems to be subserved by several cognitive functions or processes: (i) working memory, for storing, updating and recovering schemata and goals related to the primary task; (ii) attention, for selecting the appropriate information to store in memory, but also for reinforcing working memory during the updating of schemata and goals related to the primary task; (iii) inhibition, for dealing with interference between primary task and interruption-related goals and (iv) flexibility, for switching from one task to the other. However, their involvement is only theoretical and, to our knowledge, only the role of working memory has been explored. Some researchers have investigated the relation between working memory capacity and the time taken to resume the primary task and found that the greater working memory capacity is, the shorter the RL (Bai, Jones, Moss, & Doane, 2014; Blumberg et al., 2015; Drews & Musters, 2015; Foroughi, Werner, McKendrick, Boehm-Davis, & Cades, 2016; Meys & Sanderson, 2013). Working memory capacity would also be a strong predictor for multitasking (Redick, 2016). For instance, Foroughi et al. (2016) found that people who scored better in a working memory task resumed the primary task faster. According to the authors, people with good working memory capacity may be better able to manage the interference and keep the goal and schemata related to the primary task at a high level of activation. The methodology used in this study, as well as the other studies previously cited, is very interesting in order to evaluate the cognitive processes underlying the resumption of the primary task. By showing that individual differences for working memory capacity influence performance, researchers demonstrate its role. Nevertheless, such studies never investigated other cognitive processes like flexibility, nor assessed individual differences for different cognitive processes and their involvement in the resumption of the primary task depending on its manipulated features, what are the aim of the current study.

Given the impact of interruptions on everyday performance, it is important to understand the degree to which all the processes mentioned in the DETOUR model are involved in resuming the primary task. This could be done by manipulating the complexity and timing of interruptions, since these factors are thought to mobilize such processes (Couffe & Michael, 2017).

Complexity is defined in terms of the number of mental operations required to complete a task (Cades, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2007) and there is a widespread consensus in the literature that the more complex the interruption, the longer the RL. Many explanations have been given for this effect. Firstly, increasing the complexity of the interruption prevents the updating of schemata and goals related to the primary task (Cades et al., 2007), thus leading to their deactivation and the longer time needed to reactivate them. According to Cades et al. (2007), working memory is required. Secondly, a complex interruption needs more cognitive resources than a simpler one (Liu & Li, 2012). Since cognitive resources are limited (Kahneman, 1973; Wickens, 2008), inhibiting the great amount of resources associated with the complex interrupting task for resuming the primary task is harder, increasing errors and certainly resumption times (Eyrolle & Cellier, 2000). That is why other authors suggest that attention, cognitive resources and flexibility are also required (Eyrolle & Cellier, 2000). Finally, complexity increases the interference between the interruption-related goal and the goal related to the primary task, thereby contributing to its deactivation (Hodgetts & Jones, 2006). It then takes longer to resume the primary task because the activation level of its related goal is lower (Cades, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2011). Therefore, according to other authors, inhibition is required to overcome the interference created by the interruption-related goal (Cades et al., 2011; Hodgetts & Jones, 2006). To summarize, working memory, attention, dividing cognitive resources, flexibility and inhibition are thought to be required, but it is difficult to distinguish between and understand their respective contributions to the complexity effect.

The timing of the interruption, or the number of actions completed before its occurrence, refers to the position of the interruption during the completion of the primary task. Only a few researchers have investigated the effect of the timing of the interruption (Adamczyk & Bailey, 2004; Brazzolotto & Michael, 2019; Czerwinski, Cutrell, & Horvitz, 2000; Hodgetts & Jones, 2005; Law et al., 2004; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2002; Ratwani, Trafton, & Myers, 2006) but they did not address the difference between early and late interruptions. There is thus no consensus about an effect of the timing of the interruption. Yet, two existing models seem predict that interruptions would be less and less deleterious as one progresses on the primary task. On the one hand, one interpretation of the MFG model suggests that after several steps, the goal related to the primary task has been reactivated more often and its activation level has increased (Cades et al., 2011). Even if it undergoes partial deactivation during the interruption, its activation level nevertheless remains higher than if the interruption had occurred at the

beginning of the primary task. It will therefore take less time to retrieve it in order to resume the primary task, leading to shorter RL. According to Cades et al. (2011), inhibition and working memory are therefore required. On the other hand, according to the SAS model (Norman and Shallice, 1986), progressing in the task reinforces automation. Interruptions that occur when the task being learned, and behavior has become more automated (i.e. late interruptions) need few cognitive resources and the primary task is therefore resumed faster. A less deleterious effect of late interruptions on RL was only found in one study, which showed that interrupting a primary task of visual search after many actions provided shorter RL than interrupting the search after few actions (Brazzolotto & Michael, 2019). Thus, we may hypothesize that resuming the primary task would be shorter after late interruptions.

Finally, it is expected that the complexity and the timing of interruptions interact since they involve at least partly the same cognitive processes. The completion of multiple steps produces greater activation of the goal related to the primary task. Since complex interruptions increase the activation of the interruption-related goal (Altmann & Trafton, 2002), then two opposite effects which could cancel each other out are produced. Moreover, later interruptions occur at a time when the primary task needs only a low level of cognitive resources (Norman & Shallice, 1986). Consequently, more cognitive resources are available in the case of a simple interruption, and this facilitates the resumption of the primary task. Once again, it is difficult to identify the different roles of specific cognitive processes in such an effect. Only one study investigated the interaction between the complexity of interruptions and their timing as progression in the primary task, which found the interaction effect previously described.

Focused investigations are needed in order to address the problem of which process determines what when resuming the primary task after interruptions. The aim of this study was therefore to investigate the processes underlying the resumption of the primary task by manipulating the complexity and the timing of interruptions. Considering all the above-mentioned studies, we could expect that interruptions have a deleterious effect on performance. Moreover, complex interrupting tasks should cause an even worst performance, as well as interruptions occurring at the beginning of the primary task. Finally, as explained earlier, interruptions occurring after several actions on the primary task might be less disruptive to performance than interruptions occurring earlier, but only if the interrupting task is simple. Following the methodological logic of previous studies (Blumberg et al., 2015; Drews & Musters, 2015; Foroughi, Werner, et al., 2016, 2016; Meys & Sanderson, 2013), we investigated the relation between working memory, attention, inhibition and flexibility with the

time taken to resume the primary task. During a first step, the participants were required to complete a set of cognitive tests assessing the afore-mentioned processes. They then completed a computerized task in the form of a realistic email search. The participants could be interrupted by a simple or complex task occurring early or later during the completion of the email search task. The contribution of each process to the effect of complexity, timing and their interaction was assessed through a Principal Component Analysis. As the literature provides many hypotheses about the cognitive processes involved in the resumption of the primary task, these analyses are exploratory. Due to the number of tasks and the resulting length of the investigation, two separate experiments were conducted but both with the same logic. We split the tests in order to have the same duration in each experiment. The originality of the present study is to assess the respective contribution of several cognitive processes to the distinct and interacting effects of interruptions. Such an approach has never been adopted before.

II. EXPERIMENT 1

II.A. Method

Participants

A group of 63 (28 male, 35 female) healthy volunteers (mean age = 20.6 ± 2.8 years) took part in this experiment. They were recruited among students at the Université Lyon 2 and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from each participant.

Stimuli and Material for the Computerized Task

The experiment was administered on a laptop (screen: 17.3 inches) running the OpenSesame software (Version 3.1.4). The participants had to find emails in pages that resembled a typical inbox. Each page (see Figure 1) contained: a list of emails at the center of the screen; a bar with the search criteria and a trash icon at the top; a banner of options on the left; and ads on the right of the emails. The options bar and the ads were the same on each page and the participants could not interact with them. Each list consisted of 15 emails, each of which

was displayed on a separate line. Each line consisted of visual elements, some of which were relevant to the task [an empty square, the name of the sender, a colored circle (either blue, light-gray or black), and an attachment symbol (a paper clip)], while other elements were irrelevant to the task [a star (either black or white), a blue flag (either present or not), the subject line, the first words of the email, and the date of sending]. Irrelevant elements were added for creating a realistic inbox and used as distractors for the visual selective attention task.

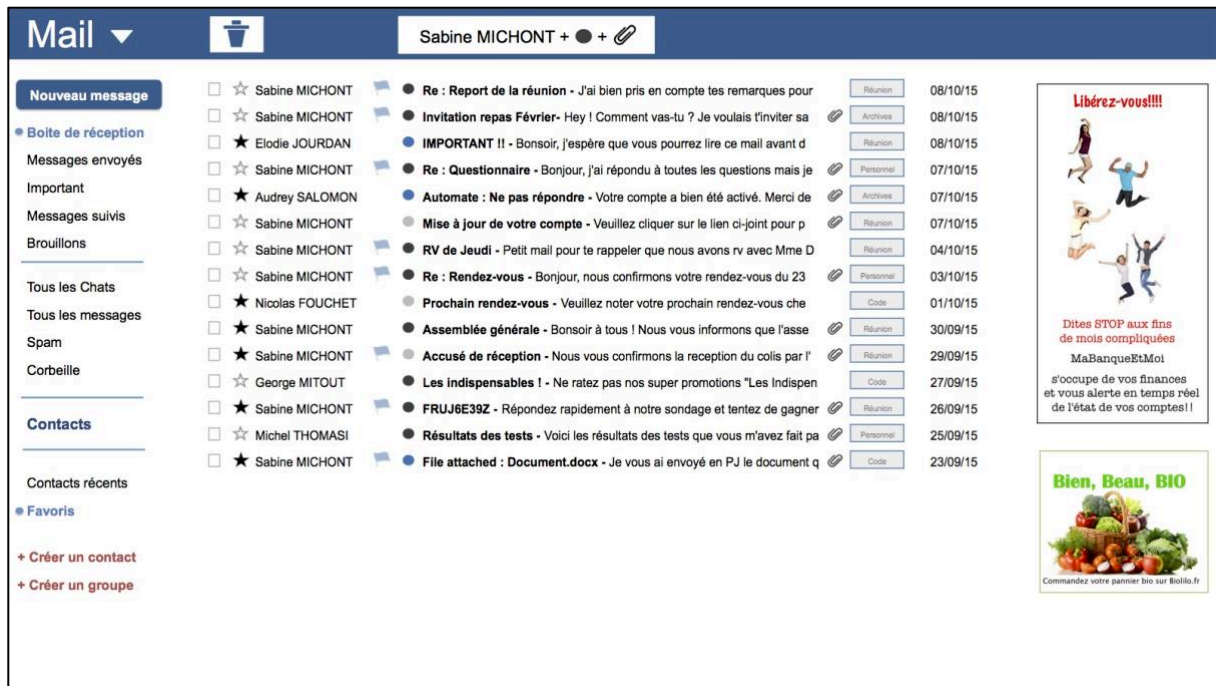


Figure 1. An example of the primary task used in the present study. Participants had to find all the emails combining the three criteria presented at the top as quickly and accurately as possible. They were interrupted during this task in 80% of trials by a working memory task.

The participants were instructed to scan the page from the top to the bottom and to click on the empty box on the left of the target emails (causing a cross to appear inside them), which were described by a combination of three criteria listed across the top of the page. These were the name of the sender with an adjacent circle in a specific color and a paper clip indicating the presence of an attachment. Each trial consisted of two successive inbox pages sharing the same search criteria (for example: Sabine Michont – black circle – paper clip). A new trial thus started when the search criteria changed (for example: Gerard Normand – blue circle – paper clip). The combination of the three criteria and the sender names (both target and distractors) was different in each new trial in a controlled manner (same number of combinations as a function of the color of the circle and the gender of the sender). On each page, there were either four, five or six target emails in order that each trial consisted of ten targets. When they had finished

scanning the page from the top to the bottom, the participants had to click on the trash icon, causing a new page to appear.

The interrupting task was an updating task. We decided to use a non-ecological interrupting task its complexity could be easily manipulated, and we should control all the other parameters which can have an effect on the resumption of the primary task (e.g. the length, arousal, similarity to the primary task, etc.) Participants saw several series of 3 to 6 random digits (24-point Calibri white font) ranging from 0 to 9 at the speed of one digit per second. There were never twice the same digits in a series and two consecutive series could not be identical. Once each series had been presented, the participants had 3 seconds to recall and type the last three digits at the keyboard. After that, a new series was presented. The fact that the length of each new series was not known in advance led the participants to constantly update the content of working memory each time a new number was presented.

Design and Procedure of the Computerized Task

The participants completed 30 trials. A within-subjects design was used, and the trials were presented in the same order for all the participants. Each interrupted trial contained a single simple (two series of 3 and three series of 4 numbers or three series of 3 and two series of 4 numbers, randomly presented) or complex interrupting task (two series of 5 and two series of 6 numbers randomly presented). The distinction between simple and complex interrupting tasks was dictated by (Brazzotto & Michael, 2019). Interruptions occurred either after a small number of actions (1 action = one target email was selected) or after a greater one (9 actions = nine target emails were selected). The participants were interrupted in 24 trials (6 trials had a simple/1 action interrupting task, 6 had a simple/9 actions, 6 had a complex/1 action, 6 had a complex/9 actions) and 6 trials were uninterrupted. To ensure that there was no trial order effect, the experiment (30 trials) was subdivided into six continuous blocks. Each block consisted of five trials, each one representing one of the five tested conditions. The position of each trial was different in each block but similar for all the participants.

Participants started with training on the two tasks before then completing the entire experiment. They were not informed that they would be interrupted but rather that they should do what the program told them as quickly and accurately as possible. In the case of interrupted trials, the interrupting task appeared instantaneously on a black screen that covered the inbox and the criteria, making it impossible to continue with the email search. Since strong duration effects have already been demonstrated and might have caused a confound in our experiment

(Monk et al., 2008), we chose to have the same duration for both simple and complex interrupting tasks. This is why the duration of each simple interrupting task was 40.8 seconds and that of each complex one was 40.9 seconds for the participant to see enough series and for a cognitive load to be created. Thus, the duration of the interrupting task was set to be identical for each participant. Once the interrupting task was over, the inbox reappeared in the same state as it had been left immediately before the interruption (including the presence of the search criteria) and the participants carried on with the primary task from where the task had been interrupted. The entire experiment lasted approximately 40 minutes and a very short break was introduced half-way through.

The time that elapsed between the first and the second email in the 1 action condition and the time that elapsed between the ninth and the tenth email in the 9 actions condition were recorded and used as dependent variables. We call this the Inter-Click Interval (ICI). In the case of an interrupted trial, ICI is a measure of Resumption Lag, i.e. the time that elapses between the reappearance of the inbox and the first new click. Accuracy in both the primary task (percentage of correct clicks) and the interrupting task (percentage of correct responses) was also recorded.

Material and Procedure for Cognitive Tests

The Stroop Color and Word task (Stroop test, Golden, 1975) was used to measure inhibition capacity. This task consists of three pages, each with 4 columns of 25 items each and had to be completed in 45 seconds. The first page consists of words referring to colors (blue, red or yellow) and participants are requested to read them as quickly and accurately as possible. The second page consists of series of colored Xs (“XXXX” printed in blue, red or yellow) and participants are required to name the color as quickly and accurately as possible. Finally, the third page consists of color words printed in an incongruous color (e.g. the word “yellow” written in blue) and participants are required to name the color in which the word is displayed as quickly and accurately as possible. The duration of each step was assessed with a chronometer; the investigator started the chronometer after that the participant started read and he stopped the participant after 45 seconds. S1, S2 and S3 are, respectively, the number of items read on pages 1, 2 and 3. The Stroop test score is calculated as follows: $S3 - (S1 * S2 / S1 + S2)$, where a high score corresponds to a good inhibition capacity.

The Trail-Making Test (TMT) was used to measure flexibility as set out in the study by Sánchez-Cubillo et al. (2009). The test consists of a sheet of paper with 25 circles randomly

distributed over it. In part A, the circles are numbered from 1 to 25 and participants have to use a pencil to join together the circles in ascending order as quickly as possible. In part B, half of the circles are numbered from 1 to 13 and the other half are labelled with letters from A to L. The participants must then alternate between numbers and letters by joining the numbers in ascending order and letters in alphabetical order. TMTA and TMTB are, respectively, the time needed to complete part A and B. The duration of each part was assessed with a chronometer; the investigator started the chronometer after that the participant started the task and he stopped the chronometer when the participant ended it. The TMT score is calculated as follows: $(TMTB - TMTA) / TMTA * 100$, with a high score corresponding to a high level of flexibility.

The “Map Search” subtest from the “Test of Everyday Attention” (TEA, Robertson, Ward, & Ridgeway, 1994) was used to measure visual selective attention. The participants had two minutes to find and circle with a pencil the greatest possible number of target-symbols (a fork and a knife) on a map of the city of Philadelphia consisting in 80 target-symbols and multiple distractors. The Map Search score is the number of circled symbols, with a high score corresponding to good visual selective attention abilities.

Digit Spans (WAIS-R, Wechsler, 1981) were used to measure verbal working memory. The participants were requested to repeat sequences of digits in the same order (forward span), in the inverted order (backward span) or as ordinates (ascending span). The length of these sequences increased during the task. Two trials were presented for each sequence length. The sequences of digits were presented verbally by the experimenter. The Digit Span score was the number of correctly repeated sequences, with a high score corresponding to a good working memory capacity.

Finally, the Sub-Test “Telephone Search while Counting” from the TEA (TSWC) was used to measure divided attention capacity. This dual-tasking test includes two steps. The participants had to find as quickly as possible the greatest possible number of twinned symbols (two squares, circles, crosses and stars) among distractors (non-twinned symbols) distributed over four columns on a white sheet representing a telephone directory. During the first step, this task is completed as it is. In the second step, this task is completed while counting several series of auditory “beeps” played by a computer (C1), therefore dividing the participants' attention between the visual and auditory modalities. They were several series of “beeps” (4, 8, 3, 6, 1, 12, 2, 5 and 7 beeps) and participants should say how many beeps they heard once a series was over. The time required to complete the task (Score A1 and A2 respectively for Step 1 and 2), the number of correct responses (Score B1 and B2), and the “beeps” (C2) were

recorded. The score was calculated as follows: $(A1 / B1) - ((A2 / B2) / (C2 / C1))$, where a high score corresponds to a good divided attention capacity.

General Procedure

The participants performed the five cognitive tasks in the following order: Stroop test, TMT, Map Search test, Digit Span and TSWC (see table 1). They then performed the training trials and completed the computerized experiment. They were not informed that they would be interrupted but were instead told that they had to do what the program told them as quickly and accurately as possible.

II.B. Results

Interruption task

Overall accuracy was slightly higher than 86%. An analysis of variance (ANOVA) was carried out on the percentage of correct responses, with the Complexity (Simple or Complex) and Timing (Early or Late) of interruptions as within-participant factors. Only the main effect of Complexity was significant ($F(1, 62) = 106.88$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.63$), with greater accuracy being observed for a simple interruption (Mean = 92%, SD = 8.76) than for a more complex one (Mean = 80%, SD = 13.66).

Primary task

Accuracy reached ceiling level since it was over 96 % for the primary task across all participants. Therefore, only ICI was analyzed. An analysis of variance (ANOVA) was carried out on the ICI with the Complexity (No Interruption, Simple or Complex) and the Timing (Early or Late) of interruptions as within-participant factors. The main effect of Complexity was significant ($F(2, 124) = 183.04$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.75$). Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that ICI increased with increasing complexity (No Interruption: Mean = 3.01 seconds, SD = 0.75; Simple Interruption: Mean = 4.18 seconds, SD = 0.69; Complex Interruption: Mean 4.23 seconds, SD = 0.74; all $ps < .01$). The main effect of timing was significant ($F(1, 62) = 122.98$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.66$). ICI was longer after early (Mean = 3.95 seconds, SD = 0.77) than after later (Mean = 3.56 seconds, SD = 0.98) interruptions.

Table 1. Mean and Standard deviation of performance on cognitive tests

Tests	Assessed function	Calculation	Mean	Standard Deviation
Stroop test	Response Inhibition	$S3 - (S1 * S2 / S1 + S2)$	5.9	6.6
TMT	Flexibility	$(TMTB - TMTA) / TMTA * 100$	-130	63.7
Map Search	Visual Selective Attention	Number of circled symbols	73.7	5.5
Digit Spans	Verbal Working Memory	Number of correctly repeated sequences	27.3	4.0
TSWC	Divided Attention	$(A1 / B1) - ((A2 / B2) / (C2 / C1))$	- 0.5	0.6
Tower of Hanoi	Automation	$((T1-T5) + (N1 - N5)) / 2$	22.9	11.2
Geoffrey Memory Inhibition Test	Memory Inhibition	Inhibition – without inhibition	-3.4	19.9
Brown-Peterson	Forgetting in verbal working memory	Correctly repeated items after 40s - after 10s	-1.3	1.8
Visual Spans	Visual working memory	Number of correctly repeated sequences	29.4	4.6

S1, S2 and S3 are, respectively, the number of items read on pages 1, 2 and 3 in the Stroop test.

TMTA and TMTB are, respectively, the time needed to complete parts A and B.

A1 and A2 are, respectively, the time to complete the first task in Step 1 and 2 in the TSWC.

B1 and B2 are, respectively, the number of correct responses in Step 1 and 2 in the TSWC.

C1 is the number of heard “beeps” and C2 the number of correctly counted “beeps” in the TSCW.

T1 and T5 are respectively the time to complete the 1st and the 5th trial in the Tower of Hanoi.

N1 and N5 are respectively the number of moves on the 1st and the 5th trial in the Tower of Hanoi.

Finally, the Complexity x Timing interaction was also significant (see Figure 2; $F(2, 124) = 42.46$; $p < .01$, $\eta^2_p = 0.41$). Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that, when there was no interruption, the ICI was longer at the beginning (Mean = 3.45 seconds, SD = 0.68) than at the end (Mean = 2.58 seconds, SD = 0.54, $p < .01$) of the primary task. When the interruption was simple, the ICI was even longer after early (mean = 4.18 seconds, SD = 0.64) than after later (Mean = 3.85 seconds; SD = 0.71, $p < .01$) interruptions. Finally, no difference as a function of timing was found in the case of complex interruptions (Early: Mean = 4.22 seconds, SD = 0.74; Later: Mean = 4.24 seconds, SD = 0.74, $p > .8$).

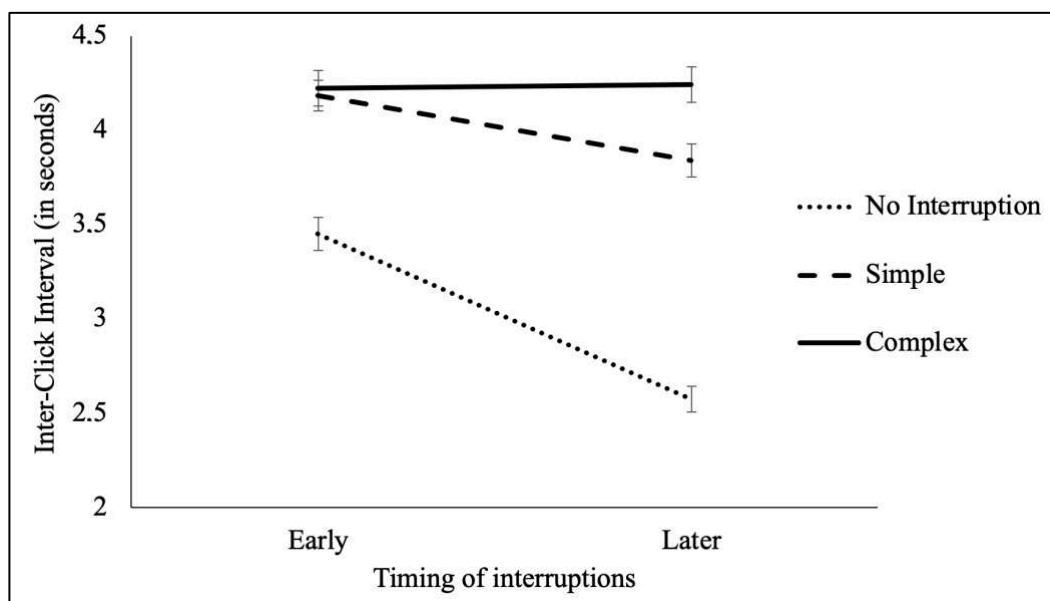


Figure 2. Experiment 1 - Mean (± 1 SEM) Inter-Click Interval (ICI) expressed in seconds and plotted as a function of interruption complexity and timing

Principal Component Analysis

To investigate the processes underlying the resumption of the primary task, a Principal Component Analysis (PCA) with Orthogonal Varimax rotation was conducted. We decided to use a PCA instead of a factor analysis because we do not have any theoretical framework to test but rather several processes that might be involved in the resumption of an interrupted task. The logic consisted of extracting the components that are common to the cognitive tasks and the effect observed in the computerized task. To this end, three effects were computed on the basis of the computerized task: the main effect of timing was computed by subtracting the ICI observed in the late and the early condition. Since the main effect of complexity involved three conditions, an alpha regression coefficient was computed ($\alpha = \text{covariance}(x, y) / \text{variance}(x)$) where x is the complexity of interruption expressed as 0, 1 and 2 and y the ICI) to identify the

increment in ICI for each complexity level. Finally, Timing x Complexity effect was computed by means of a similar alpha regression coefficient, in which the y value was the difference between the late and early condition. In the three cases, a high score corresponded to a large effect.

Table 2. *Experiment 1 - Principal Component Analysis (Varimax rotation normalized)*

FACTORS	SELECTIVE ATTENTION	WORKING MEMORY CAPACITY
COMPLEXITY	-0.47	0.18
TIMING	0.15	-0.75
INTERACTION	-0.18	0.12
STROOP	0.77	0.13
TMT	0.38	0.21
MAP SEARCH	0.80	- 0.03
DIGIT SPANS	0.17	0.70
TSWC	0.18	0.67

In accordance with the criteria defined by Kaiser (i.e. only factors for which the eigenvalue was greater than 1 were retained), 2 factors were identified and considered (see Table 2). The first factor included the complexity effect and scores on the Stroop test, the TMT and the Map Search. The three cognitive tasks were positively associated with the factor. The factor was labelled “Selective Attention” (eigenvalue = 1.73; explained 22% of the total variance). The second factor (eigenvalue = 1.60; explained 20% of the total variance), labelled “Working Memory Capacity”, included the timing effect and the Digit Span and TSWC scores. The two cognitive tasks were negatively associated with the factor.

Table 3. *Experiment 1 - Matrix with the bivariate correlations among the different measures*

	1	2	3	4	5	6	7	8
COMPLEXITY 1	1	-0.06	-0.17	-0.17	-0.07	-0.26	0.00	0.01
TIMING 2		1	-0.12	0.01	0.00	0.02	-0.30	-0.30
INTERACTION 3			1	-0.11	0.06	-0.10	0.06	-0.03
STROOP 4				1	0.16	0.43	0.21	0.13
TMT 5					1	0.15	0.15	0.12
SEARCH 6						1	0.04	0.11
DIGIT SPANS 7							1	0.24
TSWC 8								1

III. EXPERIMENT 2

Since the testing session necessitated two experiments, a second experiment was conducted with another set of cognitive tests. The material and the procedure of the computerized task were strictly identical to the one used in the Experiment 1. Only the cognitive tests were different.

III.A. Method

Participants

A group of 63 (18 male, 45 female) healthy volunteers (mean age = 21.1 ± 2.1 years) took part in this experiment. They were recruited among students at the Université Lyon 2 and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from each participant.

Stimuli and material for cognitive tests

The Tower of Hanoi test was used to measure procedural learning and automation (Beaunieux et al., 2006). This is a mathematical test which consists of three rings of different sizes and a stand with three rods. At the beginning, the rings were piled up on the leftmost rod, the smallest on the top. The participants were asked to move the rings in order to obtain the same configuration of rings on the rightmost rod. They had to respect two rules: only move one ring at a time and avoid placing a larger ring on a smaller one. They were asked to solve the problem quickly and with the smallest possible number of movements. Five trials were administered. The time taken to complete the first (T1) and the fifth trial (T5) and the number of moves for the first (N1) and the fifth trial (N5) were recorded. The score was calculated as follows: $((T1-T5) + (N1 - N5)) / 2$. A high score corresponded to a good learning ability.

The Geoffrey Memory Inhibition Test was used to assess memory inhibition of interfering information during discourse comprehension. The test was created in our laboratory and was administered on a laptop computer with OpenSesame software (Mathôt et al., 2012). It consisted in a 7-minute video of a fictional testimony of aggression told by a female eyewitness (a non-professional actor). The testimony included a complete description of what

happened (e.g. I headed for the bus stop, and I was waiting. Beside me a man was pacing on the phone) to which a large amount of irrelevant information was added (e.g. Night was falling, and the lighted streetlights were spreading a strange atmosphere. Their lights made the shadows of people dance like in the little streets of Paris on nights of rain) and which could interfere with the participants' correct understanding of the story. The narrative was followed by 16 statements about what was just heard and were presented on a video by a male non-professional actor. These statements always required inferences. Statements either required inhibition of interfering information (e.g. does the narrator leave Paris? - 50% of statements) or not (e.g. was the narrator coming back home? - 50% of statements). After each sentence, the participants had to answer "True" or "False" by pressing a key. Naturally, statements were either correct (50%) or incorrect (50%). The Geoffrey Memory Inhibition Test score was the difference between the number of correct responses to statements that required inhibition of interfering information and statements that did not. A high score corresponded to a good inhibition capacity.

The Brown-Peterson paradigm was used to measure the forgetting in verbal working memory (Ricker, Vergauwe, & Cowan, 2016) of items that the participants were required to memorize during an interfering task. The experimenter presented the participants three consonants followed by a number. They were required to repeat the trigram after a period of 10 or 40 seconds during which they counted backwards out loud starting from the number given by the experimenter. A total of ten trials were administered. The number of correctly repeated consonants was recorded, and the forgetting effect was computed by subtracting the scores after a delay of 40s from those achieved after 10s. A similar paradigm was used in the visual modality based on the Corsi block-tapping test (Corsi, 1972). The experimenter successively pointed at three cubes on a wooden board on which ten cubes were distributed. The participants were required to repeat the sequence after a period of 10 or 40 seconds, during which they completed a tracking task. They had to use a pencil to join together 26 circles of different sizes distributed over a white sheet from the largest to the smallest. A total of ten trials were administered. The number of correctly pointed cubes was recorded, and the forgetting effect was computed by subtracting the scores after a delay of 40s from those achieved after 10s. The global forgetting score was of interest here and was computed by averaging the visual and verbal forgetting scores. A high score corresponded to a lower level of forgetting and, consequently, to better retention in working memory.

The Visual Span task (WMS; Wechsler, 1997) was used to measure visual working memory. The Corsi block-tapping test was used once again. The participants were asked to

point to sequences of cubes indicated to them by the experimenter. In this task, they had to point to the cubes in the same order as demonstrated (forward span), in the inverted order (backward span), or had to point only to the three last cubes, in sequences of variable length. Two trials were presented for each sequence length. The score was the number of correctly repeated sequences, with a high score corresponding to a good working memory capacity.

General Procedure

The design and the procedure of the experiment were similar to those used in Experiment 1, except that the participants completed the tasks in this experiment was as follows: Geoffrey Memory Inhibition Test, Tower of Hanoi, Brown-Peterson and Visual Spans.

III.B. Results

Interruption task

Overall accuracy was slightly higher than 85%. An analysis of variance (ANOVA) was carried out on the percentage of correct responses with the Complexity (Simple or Complex) and Timing (Early or Late) of interruptions as within-participant factors. Only the main effect of Complexity was significant ($F(1, 62) = 87.76$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.59$), with greater accuracy being observed for a simple interruption (Mean = 93%, SD = 7.15) than for a more complex one (Mean = 79%, SD = 16.93).

Primary task

Accuracy reached ceiling level since it was over 98 % for the primary task across all participants. Therefore, only ICI was analyzed. An analysis of variance (ANOVA) was carried out on ICI with the Complexity (No Interruption, Simple or Complex) and the Timing (Early or Late) of interruptions as within-participant factors. The main effect of Complexity was significant ($F(2, 124) = 305.66$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.83$). Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that ICI increased with increasing complexity (No Interruption: Mean = 3.07 seconds, SD = 0.74; Simple Interruption: Mean = 4.33 seconds, SD = 0.70; Complex Interruption: Mean 4.66 seconds, SD = 0.79; all $ps < .01$). The main effect of timing was significant ($F(1, 62) = 53.52$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.46$). ICI was longer after early (Mean = 5.15 seconds, SD = 0.98) than after later (Mean = 3.89 seconds, SD = 1.03) interruptions. Finally, the

Complexity x Timing interaction was also significant (see Figure 4; $F(2, 124) = 11.11$; $p < .01$, $\eta^2_p = 0.15$). Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that, when there was no interruption, the ICI was longer at the beginning (Mean = 3.31 seconds, SD = 0.78) than at the end (Mean = 2.83 seconds, SD = 0.61, $p < .01$) of the primary task. When the interruption was simple, the ICI was even longer after early (mean = 4.45 seconds, SD = 0.73) than after later (Mean = 4.22 seconds; SD = 0.65, $p < .01$) interruptions. Finally, no difference as a function of timing was found in the case of complex interruptions (Early: Mean = 4.70 seconds, SD = 0.79; Later: Mean = 4.61 seconds, SD = 0.80, $p > .11$).

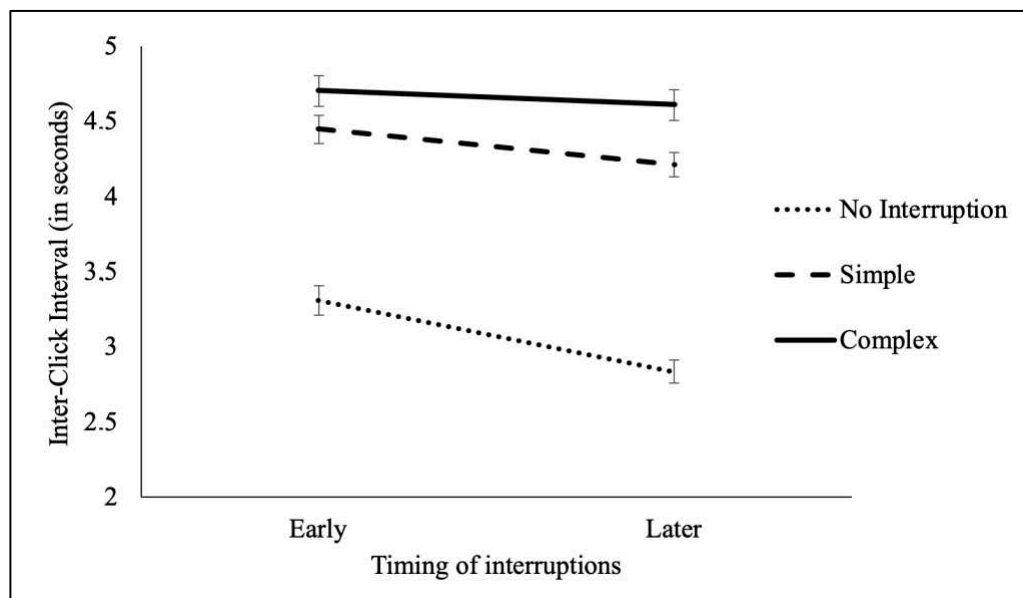


Figure 3. Experiment 2 - Mean (± 1 SEM) Inter-Click Interval (ICI) expressed in seconds and plotted as a function of interruption complexity and timing.

Principal Component Analysis

To investigate the processes underlying the resumption of the primary task, a Principal Component Analysis (PCA) with Orthogonal Varimax rotation was conducted. The logic of the analysis and the computation of the effects of Complexity, Timing and Complexity x Timing Interaction were the same as the Experiment 1.

Table 4. Experiment 2 - Principal Component Analysis (Varimax rotation normalized)

FACTORS	AUTOMATION	WORKING MEMORY CAPACITY	SUPPRESSION IN MEMORY
COMPLEXITY	0.81	0.26	0.07
TIMING	0.09	-0.71	-0.11
INTERACTION	-0.07	0.01	-0.87
TOWER OF HANOI	0.80	-0.06	-0.14
GEOFFREY TEST	-0.09	-0.21	0.57
BROWN-PETERSON	-0.14	0.45	0.50
VISUAL SPANS	-0.10	0.72	0.05

In accordance with the criteria defined by Kaiser, 3 factors were identified and considered (see Table 3). The first factor included the timing effect and scores on the Visual Span task. The cognitive task was negatively associated with the factor. The factor was labelled “Working Memory Capacity” (eigenvalue = 1.32; explained 19% of the total variance). The second factor (eigenvalue = 1.38; explained 20% of the total variance), labelled “Memory Suppression”, included the interaction effect and scores on the Geoffrey test and the Brown-Peterson test. The two cognitive tasks were positively associated with this factor. Finally, the third factor included the complexity effect and the score on the Tower of Hanoi test. The cognitive tasks were negatively associated with this factor. The factor was labeled “Automation” (eigenvalue = 1.34; explained 19% of the total variance).

Table 5. Experiment 2 - Matrix with the bivariate correlations among the different measures.

	1	2	3	4	5	6	7
COMPLEXITY	1	0.18	-0.14	0.33	-0.16	-0.03	-0.23
TIMING	2	1	0.05	0.09	-0.05	0.09	-0.23
INTERACTION	3		1	0.16	-0.25	-0.26	-0.06
TOWER OF HANOI	4			1	-0.04	-0.01	-0.04
GEOFFREY TEST	5				1	0.00	0.00
BROWN-PETERSON	6					1	-0.10
VISUAL SPANS	7						1

IV. GENERAL DISCUSSION

The aim of this study was to investigate the processes underlying the resumption of the primary task. Furthermore, we wanted to gain an understanding of how these processes determined the effect of interruptions. Due to the number of tasks and the resulting length of the investigation, two separate experiments were conducted but both with the same logic. Each experiment examined the inter-action interval in a paradigm involving interruptions and making use of the scores on cognitive tests that measured the cognitive processes thought to underlie the resumption of the primary task after interruptions. The contribution of each process to the effects of complexity, timing and their interaction was assessed through a Principal Component Analysis.

Complexity effect: selective attention and automation

The two experiments showed that the more complex the interruption, the longer the ICI was. This is consistent with a large body of the literature (Cades, Werner, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2008; Eyrolle & Cellier, 2000; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008). It takes longer to resume the primary task after a complex interruption than after a simpler one. However, many explanations are possible for this. Indeed, this effect has been variously explained in terms of working memory (Cades et al., 2007), or attention, cognitive resources and flexibility (Eyrolle & Cellier, 2000), or overcoming interference (Hodgetts & Jones, 2006). The PCA conducted in Experiment 1 revealed that the complexity effect is associated with the Stroop test, the TMT and the Map Search. These tests require the participants to search for several items and to inhibit distractors, which is why we can suggest that the process shared by the three tests is selective attention focused on the material and task at hand. This is in agreement with one of our hypotheses (Couffe & Michael, 2017; Kahneman, 1973). Complex interruptions require a large quantity of cognitive resources, thus slowing down the deactivation of interruption-related schemata and the reactivation of the schemata related to the primary task (Eyrolle & Cellier, 2000). The PCA indicates that the better selective attention is, the easier it is to overcome complex interruptions. This result may suggest that the switching cost created by complex interruptions is canceled out by good selective attention skills, which help participants to rapidly find and select a new target email once the primary task reappears after the interruption.

The PCA conducted on the results of Experiment 2 showed that the complexity effect is associated with the learning effect identified in the Tower of Hanoi task. Thus, the greater the level of automation, the more difficult it is to overcome complex interruptions. Although we hypothesized that automation should be associated with the timing effect (Norman & Shallice, 1986), its role in the complexity effect is also understandable. Complex interruptions require a large quantity of cognitive resources, while automation reduces the amount of resources allocated to the task (Norman & Shallice, 1986). Consequently, we face a paradoxical situation in which automation reduces the amount of resources allocated to a task which actually requires a large amount. This is probably why the complexity effect increases with increasing automation.

Timing effect: working memory capacity

At least when the interruption is simple, the two experiments showed that the further the participants have progressed in the primary task, the shorter the ICI. This finding is consistent with our hypotheses (Cades et al., 2011; Norman & Shallice, 1986). Once again, many explanations are possible for this effect. The PCA showed that the timing effect was associated with the Digit Span tasks (both visual and verbal) and the dual-task (TSWC), which all measure working memory capacity, or in other words, the quantity of elements that can be manipulated simultaneously (Baddeley & Hitch, 1974). Our results are also in agreement with the MFG model (Altmann & Trafton, 2002) and the DETOUR model (Couffe & Michael, 2017), since these two theoretical frameworks both predict that working memory is solicited when tasks are postponed. Indeed, during the interruption, the primary task information (goal and schemata) has to be maintained while, at the same time, the interrupted task has to be performed. This demands the sharing of the cognitive resources and thus produces the deactivation of the primary task information. Once the interruption is over, this information has to be reactivated. However, the lower its activation level, the longer this reactivation takes. Although working memory has already been shown to be involved in the postponement of a primary task (Drews & Musters, 2015; Foroughi, Malihi, & Boehm-Davis, 2016; Foroughi, Werner, et al., 2016; Meys & Sanderson, 2013), we also found that it underlies particularly the resumption of the primary task as a function of the time at which the interruption occurs.

The PCA indicated that the higher the working memory capacity is, the less difficult it is to overcome early interruptions. This result is in agreement with Cades et al. (2011), who predicted that the further participants have progressed with the primary task, the more highly

the current goal is activated. Maintaining a less highly activated goal is harder than maintaining a well-activated one. However, a good working memory capacity can prevent the complete deactivation of the goal, thus reducing the timing effect.

Interaction effect: suppression of interfering information in memory

The two experiments showed that the complexity and the timing of interruptions interact. Without interruptions, the ICI was slower at the beginning of the primary task than at the end. This difference decreased for simple interruptions and disappeared for complex ones. Norman and Shallice (1986) and Altmann & Trafton (2002) might be able to explain this interaction effect. However, this result alone cannot help us to distinguish between the different roles of the cognitive processes underlying this effect. The PCA showed that the interaction effect is associated with the Geoffrey Memory Inhibition Test and the Brown-Peterson paradigm. The mechanisms shared by these two tasks are the suppression of unwanted information in memory and resistance to interference created by irrelevant information. These processes represent a good combination of the processes underlying the complexity and timing effects and their involvement is consistent with the MFG model (Altmann & Trafton, 2002) since, according to Cades et al. (2011), the model predicts that progress on the primary task produces a greater activation of the goal related to the primary task, while complex interruptions produce a greater activation of the interruption-related goal (Hodgetts & Jones, 2006). The interference created between the two goals maintained in memory depends on their activation level and, to resume the primary task, it is necessary to use inhibition processes to overcome this interference.

The PCA suggests that the better the ability to suppress redundant interfering information in memory is, the less the timing effect decreases with increasing complexity. It also suggests that a good ability to maintain relevant information in memory and resist interfering information reduces the impact of the interference created between the goals related to the primary task and the interruption. This prevents the deactivation of the goal related to primary task, thus speeding up its resumption.

Limitations and directions for future research

Our study has some limitations. We choose a set of nine cognitive tests, some of which had already been used in neuropsychology (e.g. the Stroop test, the TMT), whereas others were specifically designed for this study (e.g. the Geoffrey memory inhibition test, the visual part of

the Brown-Peterson paradigm). We selected these tests because they are thought to measure the cognitive processes we are interested in and our results must therefore be interpreted in the light of these tests. Although a multitude of other tests could have been chosen instead, we are nevertheless certain as to the quality and the usefulness of the tests used here. Moreover, the tasks that researchers use for studying interruptions are very important. Indeed, even though the negative effect of complex interruptions was replicated several times, the results concerning the timing effect were not consistent. It may be that the timing effect is task-dependent, which would explain the divergence between studies. The negative effect of early interruptions should therefore be controlled for in other experiments using different tasks. Finally, the tasks we used were quite easy (98% of mean accuracy for the primary task and 85% for the interrupting task), which can reduce the generalization of our results since activities at workplace are generally much more demanding. Nevertheless, the easiness of the primary task allowed us to assess the effect of interruptions and their features on resumption times and the manipulation of the complexity of the interruptions could mimic the variable effort needed to complete different tasks at work.

Our study opens up a number of avenues for further research. In this experiment, we focused on two characteristics of interruptions: their complexity and their timing. We decided to explore these particular factors because many explanations have already been proposed for the complexity effect, while not enough empirical evidence has been collected for the timing effect. Our results allow us to better understand these two effects and their interaction, showing that the methodology we used in our study is efficient. We can now consider investigating other effects that are yet to be understood, for instance the effect of the pleasantness of interruptions or the similarity between the primary and the interruption tasks.

Finally, even if we have highlighted the processes underlying the resumption of the primary task, other studies are needed to investigate interruptions in the real world. Indeed, interruptions are frequent and unavoidable in the workplace and they lead to a loss of concentration and productivity on the part of employees. We can imagine, on one hand, creating cognitive programs to train the targeted processes and, on the other, changing the design of the workspace to reduce the number and the deleterious effects of interruptions.

Conclusion

To conclude, we found both main effects of complexity and timing and an interaction effect between these two characteristics. Our results also showed that these three effects are linked to specific processes which determine how people handle the different types of interruptions. The present study therefore not only provides empirical support for existing theoretical frameworks but also makes it possible to improve them. Working memory has already been shown to be involved in resuming the primary task. However, we found that this function does not determine every case, for example in response to complex interruptions. It is therefore necessary to differentiate between the various kinds of interruption and their specific underlying processes. Bringing together cognitive tests with a paradigm that makes use of interruptions seems to be a good way to do this and additional studies will be required to address the question of what happens when one is interrupted.

V. REFERENCES

- Adamczyk, P. D., & Bailey, B. P. (2004). If Not Now, When?: The Effects of Interruption at Different Moments Within Task Execution. In CHI '04: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 271–278. ACM Press.
- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: An activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_2
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, 47–89). [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bai, H., Jones, W. E., Moss, J., & Doane, S. M. (2014). Relating Individual Differences in Cognitive Ability and Strategy Consistency to Interruption Recovery during Multitasking. *Learning and Individual Differences*, 35, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.07.002>
- Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behavior*, 22(4), 685–708. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.12.009>
- Beaunieux, H., Hubert, V., Witkowski, T., Pitel, A.-L., Rossi, S., Danion, J.-M., ... Eustache, F. (2006). Which processes are involved in cognitive procedural learning? *Memory*, 14(5), 521–539. <https://doi.org/10.1080/09658210500477766>
- Blumberg, E. J., Foroughi, C. K., Scheldrup, M. R., Peterson, M. S., Boehm-Davis, D. A., &

- Parasuraman, R. (2015). Reducing the Disruptive Effects of Interruptions With Noninvasive Brain Stimulation. *Human Factors*, 57(6), 1051–1062. <https://doi.org/10.1177/0018720814565189>
- Brazzolotto, P., & Michael, G. A. (2019). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, XXIII(Nr 2), 135–153. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23>
- Brixey, J. J., Robinson, D. J., Johnson, C. W., Johnson, T. R., Turley, J. P., & Zhang, J. (2007). A concept analysis of the phenomenon interruption. *ANS. Advances in Nursing Science*, 30(1), E26-42.
- Brumby, D. P., Cox, A. L., Back, J., & Gould, S. J. J. (2013). Recovering from an interruption: Investigating speed-accuracy trade-offs in task resumption behavior. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 19(2), 95–107. <https://doi.org/10.1037/a0032696>
- Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2007). Does the Difficulty of an Interruption Affect our Ability to Resume? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(4), 234–238. <https://doi.org/10.1177/154193120705100419>
- Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2011). Mitigating disruptive effects of interruptions through training: What needs to be practiced? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(2), 97–109. <https://doi.org/10.1037/a0023497>
- Cades, D. M., Werner, N., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2008). Dealing with Interruptions can be Complex, but does Interruption Complexity Matter: A Mental Resources Approach to Quantifying Disruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(4), 398–402. <https://doi.org/10.1177/154193120805200442>
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International*, 34, 819B.
- Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures Due to Interruptions or Distractions: A Review and a New Framework. *The American Journal of Psychology*, 130(2), 163–181. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.2.0163>
- Czerwinski, M., Cutrell, E., & Horvitz, E. (2000). Instant Messaging: Effects of Relevance and Timing. *Human-Computer Interaction*, 71–76.
- Drews, F. A., & Musters, A. (2015). Individual differences in interrupted task performance:

- One size does not fit all. *International Journal of Human-Computer Studies*, 79, 97–105.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.01.003>
- Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2000). The effects of interruptions in work activity: Field and laboratory results. *Applied Ergonomics*, 31(5), 537–543.
- Foroughi, C. K., Malihi, P., & Boehm-Davis, D. A. (2016). Working Memory Capacity and Errors Following Interruptions. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*.
<https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.05.002>
- Foroughi, C. K., Werner, N. E., McKendrick, R., Boehm-Davis, D. A., & Cades, D. M. (2016). Individual differences in working-memory capacity and task resumption following interruptions. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 42(9), 1480–1488. <https://doi.org/10.1037/xlm0000251>
- Golden, C. J. (1975). A group version of the Stroop Color and Word Test. *Journal of Personality Assessment*, 39(4), 386–388. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa3904_1
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2005). Interrupting problem solving: Effects of interruption position and complexity. In M. Katsikitis (Ed.), *Past reflections, future directions: proceedings of the 40th Australian Psychological Society Annual Conference, Melbourne, Australia*. Retrieved from <http://orca.cf.ac.uk/33012/>
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: Support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.
- Law, A. S., Logie, R. H., Pearson, D. G., Cantagallo, A., Moretti, E., & Dimarco, F. (2004). Resistance to the impact of interruptions during multitasking by healthy adults and dysexecutive patients. *Acta Psychologica*, 116(3), 285–307. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.04.003>
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(6), 553–568. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.09.001>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Meys, H. L., & Sanderson, P. M. (2013). The Effect of Individual Differences on How People Handle Interruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 868–872. <https://doi.org/10.1177/1541931213571188>

- Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2002). The Attentional Costs of Interrupting Task Performance at Various Stages. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(22), 1824–1828. <https://doi.org/10.1177/154193120204602210>
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299–313. <https://doi.org/10.1037/a0014402>
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. Davidson, R. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory IV*. Plenum Press.
- Ratwani, R. M., Trafton, J. G., & Myers, C. (2006). Helpful or Harmful? Examining the Effects of Interruptions on Task Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(3), 372–375. <https://doi.org/10.1177/154193120605000334>
- Redick, T. S. (2016). On the Relation of Working Memory and Multitasking: Memory Span and Synthetic Work Performance. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.05.003>
- Ricker, T. J., Vergauwe, E., & Cowan, N. (2016). Decay theory of immediate memory: From Brown (1958) to today (2014). *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(10), 1969–1995. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.914546>
- Robertson, I. H., Ward, T., & Ridgeway, V. (1994). *The Test of Everyday Attention*. Flempton: Thames Valley Test Company.
- Sánchez-Cubillo, I., Periáñez, J. A., Adrover-Roig, D., Rodríguez-Sánchez, J. M., Ríos-Lago, M., Tirapu, J., & Barceló, F. (2009). Construct validity of the Trail Making Test: Role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and visuomotor abilities. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15(3), 438–450. <https://doi.org/10.1017/S1355617709090626>
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R Manual: Wechsler Adult Intelligence Scale-revised*. Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Memory Scale - Third Edition (WMS-III) administration and scoring manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>

ÉTUDE 3 -

**COMPLEXITE DES INTERRUPTIONS : PREUVES
SUPPORTANT UNE THEORIE NON BASEE SUR LES
INTERRUPTIONS**

L'étude 2 a permis de répliquer les résultats obtenus dans l'étude 1, montrant ainsi un effet plus délétère des interruptions complexes. Les analyses en composante principale menées dans l'étude 2 ont révélé que l'effet de la complexité de la tâche interromptrice serait lié aux capacités d'attention sélective et de gestion des ressources cognitives nécessaires à la réalisation d'une tâche. Ainsi, plus les participants étaient bons pour discriminer des cibles parmi des distracteurs et mieux ils distribuaient leurs ressources cognitives, moins ils étaient affectés par la complexité de la tâche interromptrice. Ce résultat semble conforme avec une des théories proposées dans la littérature (Couffe & Michael, 2017; Eyrolle & Cellier, 2000) : une tâche interromptrice complexe demande une grande quantité de ressources cognitives, ce qui, une fois terminée, ralentit sa désactivation et l'inhibition de ses informations ; retourner à la tâche principale est donc plus lent.

Cependant, contrairement aux résultats concernant l'effet du moment qui sont plutôt consistants entre les deux expériences de l'étude 2 et la littérature, les résultats concernant l'effet de la complexité sont un peu plus nébuleux. En effet, le lien entre les hypothèses proposées dans la littérature et le résultat des analyses est plus flou, sûrement parce que les processus théoriquement impliqués dans l'effet de la complexité de la tâche interromptrice sont variés mais présentent des similarités. En effet, une interruption complexe augmenterait le temps de retour à la tâche principale parce que (i) soit elle crée une plus grande interférence (Altmann & Trafton, 2002; Hodgetts & Jones, 2006), (ii) soit elle empêche le rappel des buts de la tâche principale (Altmann & Trafton, 2002; Monk et al., 2008), (iii) soit il est plus difficile de se désengager d'une tâche difficile (Couffe & Michael, 2017; Eyrolle & Cellier, 2000). Le modèle MfPS (Borst et al., 2015) prédit quant à lui un effet de la complexité uniquement si l'interruption complexe demande un *problem state* (i.e. permet de maintenir des représentations mentales intermédiaires qui sont nécessaires pour réaliser une tâche) et que l'interruption simple n'en requiert pas. Ces hypothèses sont finalement toutes basées sur des processus plus ou moins communs, qui ne sont pas complètement différenciés dans l'expérience 2 : l'inhibition, la flexibilité mentale et la mémoire de travail.

Par contre, ces différentes hypothèses semblent pouvoir être différenciées grâce à la manipulation d'un élément de la situation d'interruption, i.e. une pause entre la fin de l'interruption et la reprise de la tâche principale. En effet, faire varier le délai entre le moment où le participant a fini la tâche interromptrice et celui où il n'est pas encore retourné à la tâche principale devrait provoquer des effets différents en fonction de l'hypothèse sur laquelle on se base. Puisque le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002) prédit que le temps de retour dépend

de l'activation des buts de la tâche principale, qui se désactivent pendant l'interruption, rajouter un délai après l'interruption augmente la durée de maintien des buts de la tâche principale qui se désactiveront plus et augmente ainsi le Temps de Retour ; l'effet de la complexité en sera d'autant plus grand. Au contraire, il a déjà été montré qu'ajouter un délai lors d'un changement de tâche permet de réduire le coût temporel de ce changement car on commencerait déjà à se désengager de la tâche que l'on quitte (Altmann, 2005; Meiran, Chorev, & Sapir, 2000; Rogers & Monsell, 1995). Augmenter ce délai après l'interruption devrait ainsi réduire le temps de retour à la tâche principale, l'effet de la complexité en sera d'autant plus petit. Enfin, le modèle MfPS ne permet pas de prédire un effet du délai après interruption, mais aucun effet de la complexité n'est de toute façon attendu tant que toutes les tâches requièrent un PS.

Pour tester l'effet du délai après interruption sur l'effet de la complexité, nous avons mené deux expériences. Chacune reprenait le paradigme utilisé dans les études 1 et 2, à savoir une tâche de recherche d'emails interrompue par une tâche de mise-à-jour. La variation de la complexité était effectuée de la même manière que dans les études précédentes. Vingt-huit essais étaient présentés, dont vingt-quatre étaient interrompus. Pour les essais interrompus, un délai était présenté après que la tâche interromptrice eut été finie, mais avant que la boîte de réception réapparaisse. En nous basant sur l'étude de Meiran, Chorev and Sapir (2000), le délai durait soit 0 ms (pas de délai), 1500 ms ou 3000 ms dans l'expérience 1, et soit 0 ms, 750 ms ou 1500 ms dans l'expérience 2.

Complexity of interruptions: Evidence supporting a non-interruption-based theory

Paul Brazzolotto et George A. Michael

Révision Soumise

Retranscrite en version manuscrite

Abstract

Interruptions are known to be pervasive and harmful for concentration. It is also known that many factors can influence their effect, such as the complexity of the interrupting task. Less, however, is known about the processes underlying the resumption of the primary task, especially if the interrupting task is complex. Many hypotheses have been proposed but, as yet, it has not been possible to distinguish between their various qualities. In the current study, we carried out 2 experiments, in which we manipulated the complexity of the interrupting task (either simple or complex) and the time between the end of the interrupting task and the resumption of the primary task (i.e. a break). Results showed that complex interrupting tasks led to longer resumption lags (RL) when there had been no break, as has already been shown many times. However, while RL after simple interrupting tasks did not change as the break before resumption lengthened up to 1500 ms, those after complex interrupting tasks decreased. Moreover, after 3000 ms, RL were overall longer. These results can only support the hypothesis based on task-switching theories, but not hypotheses derived from interruption-based models. Our findings therefore provide empirical evidence in support of explanations of complexity effects and the implications for research and application are discussed.

Keywords: Interruptions, Complexity, Task Switching, Inbox

I. INTRODUCTION

Interruptions are defined as “breaks resulting in the suspension of the initial task by initiating the performance of an unplanned task with the assumption that the initial task will be resumed” (Brixey et al. 2007, page 13). Interruptions are ubiquitous and pervasive, and the majority of researchers agree that they have a harmful effect on performance and well-being in the workplace. There is nevertheless some studies showing that interruptions could be positive, especially in healthcare (Adler & Benbunan-Fich, 2012; Rivera & Karsh, 2010; Sasangohar, Donmez, Trbovich, & Easty, 2012). Many researchers have focused on these events, and in particular on the complexity of the interrupting task (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015; Cades, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2007; Cades, Werner, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2008; Hodgetts & Jones, 2006; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008; Pankok et al., 2017), showing that increasing the complexity of the interrupting task increased the time to resume the primary task. Although many hypotheses have been proposed to explain the effect of the complexity of the interrupting task (Borst et al., 2015; Couffe & Michael, 2017; Eyrolle & Cellier, 2000; Hodgetts & Jones, 2006), researchers have so far been unable to distinguish between the various qualities of these hypotheses. The goal of this study was therefore to highlight the processes underlying the resumption of the primary task in the light of the complexity of the interrupting task and then to distinguish between the various theories developed to explain this effect.

The complexity of a task can be defined in terms of the number of mental operations required to complete it (Cades et al., 2007). The greater the number of mental operations, the more cognitive resources are required (Liu & Li, 2012). Therefore, increasing the complexity of the interrupting task also increases the cognitive load. This is one of the most frequently studied characteristics of interruptions and there is a consensus that it has a negative effect on the resumption of the primary task (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015; Cades, Werner, Boehm-Davis, Trafton, & Monk, 2008; Hodgetts & Jones, 2006; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008). Despite this consensus, there are nevertheless many different theories explaining this effect, each supported by their own theoretical frameworks.

The Memory for Goal model (MFG model; Altmann & Trafton, 2002) was developed specifically to address the question of interruptions. It describes behavior in terms of activated goals, which are mental representations of the intention to accomplish a task. The authors assumed that the primary task goal (the PT goal) is activated for as long as the primary task is being performed. When an interruption occurs, the PT goal must be suspended to allow the

activation of the interrupting task goal (the IT goal). During the interrupting task, the level of activation of the PT goal decays over time unless rehearsal strategies are employed. Once the interrupting task is over, only a cue displayed in the primary task environment leads to the reactivation of the PT goal. This should overcome the interference created by the IT goal and make continued action possible. The Resumption Lag (RL), i.e. the time required until the first primary task-related action directly after the interruption or, in other words, the time needed to resume the primary task therefore depends on the level of interference created by the interrupting task as well as on the level of activation of the PT goal. A high level of activation combined with a low level of interference results in shorter RL. Two hypotheses have been proposed to explain the effect of the complexity of the interrupting task. Hodgetts and Jones (2006) suggested that a complex interrupting task leads to higher activation of the IT goal, which in turn creates a greater interference level. More time is therefore needed for the PT goal to overcome the interference. Another hypothesis is that since complex interruptions create a high cognitive load, few resources are available for rehearsing the PT goal during the interrupting task, thus causing it to decay (Monk et al., 2008).

Another way to understand the processes underlying the resumption of the primary task can be found in the literature on task switching. An activity is performed when its associated task-sets, that is to say all the cognitive processes and mental representations which make it possible to perform a task correctly (Kiesel et al., 2010), are activated. To switch between two tasks, one has to reconfigure the current task-sets by inhibiting those related to the old task and activating those related to the new task (Koch, Gade, Schuch, & Philipp, 2010; Monsell, Yeung, & Azuma, 2000). In the case of an interrupted activity, it seems likely that a switch is also required in order to return to the primary task. It is therefore necessary to inhibit the task-sets related to the interrupting task in order to permit the activation of those related to the primary task. These two operations occur in parallel and both need time to take place (Monsell, Yeung, & Azuma, 2000). Therefore, the cost of switching means that it takes longer to perform actions related to the primary task immediately after the interruption than to perform successive actions relating to the same task. It is nevertheless important to note that some studies showed that switching cost does not result from inhibition of task-sets associated to the previous task, but more from an endogenous act of control; at the change of tasks, the system must be reconfigured what takes time (Logan & Bundesen, 2003; Monsell & Mizon, 2006). Eyrolle and Cellier (2000) proposed that since complex interrupting tasks need a great amount of resources, which are limited (Kahneman, 1973; Wickens, 2008), it is harder to inhibit the sets of a complex

interrupting task in order to resume the primary task, thereby increasing the cost of switching and leading to longer RL.

Finally, Borst et al. (2015) developed the Memory for Problem States framework (MFPS). These authors argued that during the interrupting task, it is not the PT goal that is stored in memory but its associated problem state, which is used to maintain information and intermediate mental representations necessary to perform the primary task (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2010). For instance, in order to mentally resolve the equation " $3x + 13 = 52$ ", one has to store the intermediate response " $3x = 39$ " in the problem state. On the contrary, no problem state is required for assessing if a digit is an odd or an even number. In a similar way to that described in the MFG model, the PT problem state can be disrupted by the IT problem state and decays during the interrupting task. Resumption of the primary task thus depends on the time needed to retrieve the PT problem state. However, unlike goals, not all tasks require the use of a problem state. The interrupting task would disrupt the primary task only if both tasks require a problem state. Consequently, according to Borst et al. (2015), whatever its complexity, the interrupting task will have the same effect as long as it has a problem state.

Several theories can thus be proposed to explain the effect of the complexity of the interrupting task. A complex interrupting task would increase RL because either (i) it creates greater interference (Hodgetts & Jones, 2006), (ii) it prevents rehearsal of the PT goal during the interruption (Monk et al., 2008), or (iii) disengaging from the complex interrupting task is more difficult (Eyrolle & Cellier, 2000); while (iv) another theory predicts that when one task requires a problem state, whereas another one does not, then a complexity effect will appear (Borst et al., 2015). All of these hypotheses could explain the results already presented in the literature. It is therefore difficult to distinguish between them.

Some research in the field of task switching has focused on the Response-Stimulus Interval (RSI), i.e. the time between the response and the next target for processing (Li, Wang, Zhao, & Fogelson, 2012). During the RSI, the task environment freezes briefly because there is no more information about the old task and information about the upcoming one is not yet available (Altmann, 2017). Several studies have already shown that the cost of switching depends on the RSI (Altmann, 2005; Meiran, Chorev, & Sapir, 2000; Rogers & Monsell, 1995). Researchers have found that increasing the RSI decreases the cost of switching since during the RSI, passive processes can operate, such as the deactivation of the old task-sets. Participants could also prepare for the next task. It is therefore easier to process the new task, thus resulting

in shorter reaction times and less errors. When transposed to an interrupted situation, RSI could be the time between the end of the interrupting task and the resumption of the primary task.

Increasing the time before the reappearance of the primary task (i.e. TBR) could have a different effect depending on the adopted hypothesis. In theories based on the MFG model (Altmann & Trafton, 2002), the resumption of the primary task depends on PT goal activation, which decays during the interrupting task. Studies have already shown that the length of the interrupting task influences resumption, with longer RL being observed after long interrupting tasks (Borst et al., 2015; Monk et al., 2008). We thus may hypothesize that increasing the time between the two tasks does not stop the continuous decay of the PT goal. Consequently, RL continues to increase. Since the complexity of the interrupting task contributes to the deactivation of the PT goal (Monk et al., 2008), it could be expected that RL would be smaller after a simple interrupting task and a short TBR, and greater after a more complex interrupting task and a longer TBR. Thus, the longer the TBR, the greater the effect of complexity.

In the task-switching theories, the resumption of the primary task depends on the reconfiguration of task-sets (Monsell et al., 2000). On the one hand, more time is needed to deactivate the sets of a complex interrupting task, thus producing longer RL. On the other hand, due to the passive deactivation of the IT task-sets, increasing the TBR decreases RL. Thus, increasing the time would permit the deactivation of task-sets irrespective of task complexity. However, a long time before the appearance of the primary task would only be beneficial after complex interrupting task, since deactivation of task-sets associated with simple interrupting task is faster.

Finally, if we adopt the MFPS model (Borst et al., 2015), no complexity effect is expected as long as all the tasks require a problem state.

Therefore, manipulating the time between the end of the interrupting task and the reappearance of the inbox for the primary task should make it possible to distinguish between these hypotheses since each of them predicts different patterns of data. Two experiments were conducted to determine which of the hypotheses best explains the effect of complexity. The participants had to find and click on multiple targets among distractors on pages reproducing a typical inbox environment. They were sometimes interrupted by a simple or complex updating task, followed by a TBR of a varying duration. Experiment 1 used a TBR length from 0 to 3000 ms and Experiment 2 used a TBR length from 0 to 1500 ms.

II. EXPERIMENT 1

II.A. Method

Participants

A group of 45 (22 male, 23 female) healthy volunteers (mean age = 21.1 ± 2.3 years) took part in this experiment. They were recruited from a student population and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated and all of them gave their informed written consent for their participation prior to the test. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki.

Stimuli and material for the primary task

The experiment was administered on a laptop (screen: 14 inches) running the OpenSesame software (Version 3.1.4). We choose a naturalistic task in order to mimic an ecological situation, but we build it to ensure that each parasitic effect is controlled. The participants had to find emails in pages that resembled a typical inbox. Each page (see Figure 1) contained: a list of emails at the center of the screen; a bar with the search criteria and a trash icon at the top; a banner of options on the left; and ads on the right of the emails. The options bar and the ads were the same on each page and the participants could not interact with them. Each list consisted of 15 emails, each of which was displayed on a separate line. Each line consisted of visual elements, some of which were relevant to the task [an empty square, the name of the sender, a colored circle (either blue, light-gray or black), and an attachment symbol (a paper clip)], while other elements were irrelevant to the task [a star (either black or white), a blue flag (either present or not), the subject line, the first words of the email, and the date of sending]. Irrelevant elements were added for creating a realistic inbox and used as distractors for the visual selective attention task.

The participants were instructed to scan the page from the top to the bottom and to click on the empty box on the left of the target emails (causing a cross to appear inside them), which were described by a combination of three criteria listed across the top of the page. These were the name of the sender with an adjacent circle in a specific color and a paper clip indicating the presence of an attachment. Each trial consisted of two successive inbox pages sharing the same

search criteria (for example: Pierre Beaumont – blue circle – paper clip). A new trial thus started when the search criteria changed (for example: Gerard Normand – blue circle – paper clip). The combination of the three criteria and the sender names (both target and distractors) was different in each new trial in a controlled manner (same number of combinations as a function of the color of the circle and the gender of the sender). On each page, there were either four, five or six target emails in order that each trial consisted of ten targets. When they had finished scanning the page from the top to the bottom, the participants had to click on the trash icon, causing a new page to appear.



Figure 1: An example of the primary task used in the present study. Participants had to find all the emails combining the three criteria presented at the top as quickly and accurately as possible.

Stimuli and material in the interrupting task

The interrupting task was an updating task that resembled to the running memory span task used by Broadway and Engle (2010). We decided to use a non-ecological interrupting task because the manipulation of complexity here is well understood and we wanted to control all the other parameters that could have an effect on the resumption of the primary task (e.g. length, arousal, similarity to the primary task, etc.). The participants saw several series of 3 to 6 random digits (24-point Calibri, white font) ranging from 0 to 9 at the speed of one digit per second. The same digit never occurred twice in a series and two consecutive series could not be identical. Once each series had been presented, the participants had 3 seconds to recall and type the last three digits at the keyboard. After that, a new series was presented. The fact that the

length of each new series was not known in advance led the participants to constantly update the content of working memory each time a new number was presented.

Experimental design and procedure

The participants completed 28 trials, with each trial consisting of one inbox page with 10 target emails. The participants were interrupted in 24 trials, while the remaining trials were uninterrupted. Each interrupted trial contained a single simple (two series of 3 and three series of 4 numbers or three series of 3 and two series of 4 numbers, randomly presented) or complex interrupting task (two series of 5 and two series of 6 numbers, randomly presented). The distinction between simple and complex interrupting tasks was derived from the study of (Brazzolotto & Michael, 2019). Moreover, an updating task requires a problem state and, because the simple and the complex interrupting task were similar, they both required a problem state. Consequently, this design fits well with the MFPS model (Borst et al., 2015). There was a break between the end of the interrupting task and the reappearance of the inbox page (i.e. the TBR). During this, the participants looked at a black screen and did nothing. The participants were therefore aware of the end of the interrupting task. Three TBR were determined: 0 s (no TBR), 1500 ms or 3000 ms. On each new trial, the time was selected randomly, and each time had an equal probability of occurrence regarding the complexity of the interrupting task. A within-subjects design was used, meaning that each participant completed all the conditions in a random order.

The participants started by training on the two tasks before then completing the full experiment. They were not informed that they would be interrupted but instead that they should do what the program told them as quickly and accurately as possible. In the case of interrupted trials, the interrupting task appeared instantaneously on a black screen that covered the inbox and the criteria, making it impossible to continue with the email search. The interruption occurred after that the participant selected a certain number of target emails (2 and 8 selected targets), equally distributed between conditions. Since strong duration effects have already been demonstrated and might have caused a confound in our experiment (Monk et al., 2008), we chose to use the same duration for both the simple and complex interrupting tasks, namely 40.9 seconds. Thus, the duration of the interrupting task was identical for each condition and each participant. Once the interrupting task was over, and after the break, the inbox reappeared in the same state as it had been left immediately before the interruption and the participants carried

on with the primary task as of the point at which it had been interrupted. The entire experiment lasted approximately 40 minutes.

Two dependent variables were collected: (i) the percentage of correct responses in the interrupting tasks (i.e. Accuracy), and (ii) the time that elapsed between the reappearance of the inbox once the interruption was over and the selection of the next email. This value is referred to as the Resumption Lag (i.e. RL), as defined by Altmann & Trafton (2002). For the uninterrupted trials, we calculated the mean time required to select an email, referred to as the Inter-Click-Interval (i.e. ICI); ICI can therefore be used as a control variable for RL.

II.B. Results and discussion

The data showed that every participant selected target emails from top to bottom, even after the interruption. They thus carried on downward from the last target email they had selected. Moreover, only trials in which the participants selected only the 10 target emails were analyzed.

Interrupting task

Overall, accuracy was slightly higher than 80%. A t-test for paired samples was carried out on accuracy with the Complexity of the interrupting task (Simple or Complex) as a within-participant factor. The effect of Complexity was significant, $t(44) = 7.37$; $p < .01$, Cohen's $d = 0.54$, with greater accuracy being observed during simple interrupting tasks ($M = 88\%$, $SD = 12.59$) than during more complex ones ($M = 72\%$, $SD = 15.58$).

Primary task

Accuracy reached ceiling level, since it was over 95 % for the primary task across all participants. The effect of interruptions on accuracy cannot therefore be analyzed. In order to assess the effect of interruptions, a t-test for paired samples was carried out with RL in interrupted trials and ICI in uninterrupted trials. The effect of interruptions was significant, $t(44) = 24.18$; $p < .01$, Cohen's $d = 2$, with the time taken by the participants to select a new target email once the interrupting task was over in interrupted trials ($M = 5.31$, $SD = 0.76$) being longer than the mean time required to select a target email in uninterrupted trials ($M = 3.25$, $SD = 1.00$).

A repeated-measures Analysis of Variance (ANOVA) was carried out on the RL, with the Complexity of the interrupting task (Simple or Complex) and TBR (0, 1500 or 3000) as within-participant factors. The main effect of Complexity was significant, $F(1, 44) = 9.62$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.17$, with shorter RL being observed after simple interrupting tasks ($M = 5.23$, $SD = 1.16$) than after more complex ones ($M = 5.38$, $SD = 1.16$).

The main effect of TBR was also significant, $F(2, 88) = 11.51$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.21$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that RL were longer after no TBR ($M = 5.31$, $SD = 1.09$) than after 1500 ms ($M = 5.06$, $SD = 1.14$; $p < .02$), and shorter after 1500 ms than after 3000 ms ($M = 5.56$, $SD = 1.16$; $p < .01$). RL were also shorter after no TBR than after 3000 ms ($p < .02$).

Finally, the Complexity x TBR interaction was also significant (see Figure 2 a), $F(2, 88) = 3.16$; $p < .05$, $\eta^2p = 0.07$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that after no TBR, RL were longer after complex interrupting tasks ($M = 5.12$ seconds, $SD = 1.06$) than after simpler ones ($M = 5.49$ seconds, $SD = 1.11$, $p < .01$). No difference as a function of Complexity was found for the other times (Simple: $M = 5.05$ seconds, $SD = 1.14$; Complex: $M = 5.06$ seconds, $SD = 1.15$, $p = .93$). Moreover, there was no difference on RL after no TBR and after 1500 ms when the interrupting task was simple, neither after 1500 ms when the interrupting task was complex (all $p > .60$). Finally, there was no difference on RL after no TBR and after 3000 ms when the interrupting task was complex, neither after 3000 ms when the interrupting task was simple (all $p > .40$).

The aim of Experiment 1 was to investigate the interaction between the effect of the complexity of the interrupting task by adding a TBR of 0, 1500 or 3000 ms prior to the resumption of the primary task. First, the results showed that RL were longer than ICI, suggesting that interruptions had a harmful effect. The Complexity x Time interaction showed that the complexity effect only exists when there is no TBR. After 1500 ms, the complexity effect disappeared and RL were overall shorter. After 3000 ms, there was still no complexity effect, but RL were overall longer.

We wanted to know whether the decrease in RL between 0 and 1500 ms was due to the general performance in the interrupting task and if the effect of complexity was larger when subjects had more difficulty on the interrupting task. The time necessary for deactivate task-sets after a task that was not successful would lengthen RL. We therefore carried out a linear regression analysis, with the accuracy of the interrupting task as predictor and the difference in

RL between 0 and 1500 ms as dependent variable, for the simple and complex interrupting tasks separately. No effect was observed: Simple ($\beta = -.04$, $t(40) = -.26$, $p = .82$, $R^2 = .001$) and Complex interrupting tasks ($\beta = .06$, $t(40) = -.17$, $p = .72$, $R^2 = .003$).

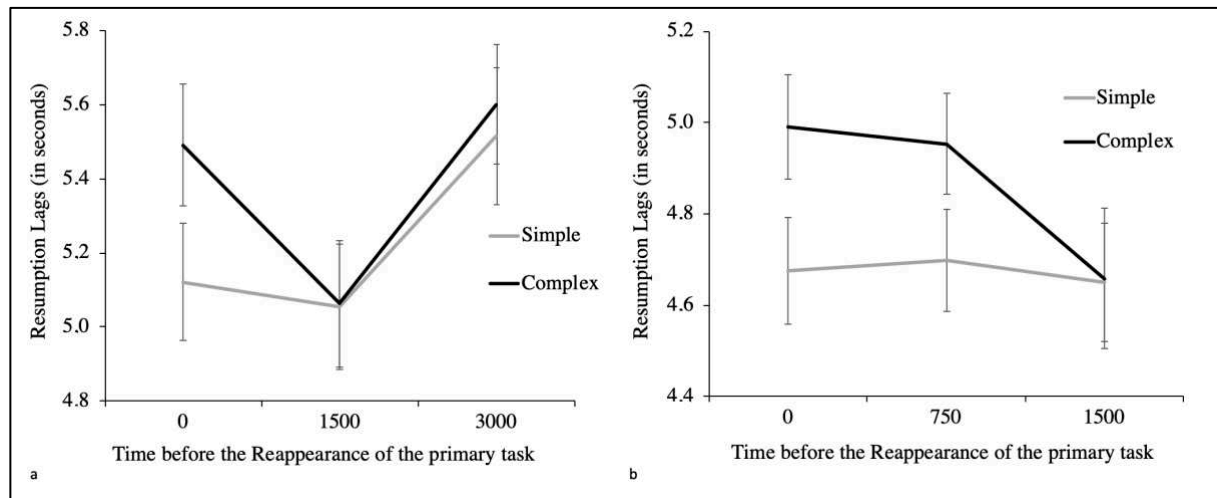


Figure 2. Mean (± 1 SEM) Resumption Lag (RL) expressed in seconds and plotted as a function of the interrupting task complexity and TBR before Resumption in Experiment 1 (a) and 2 (b).

However, we have no information concerning the moment at which the complexity effect disappears: does resumption after a complex interrupting task progressively accelerate as the TBR lengthens or not? To answer this question, we conducted a second experiment in which we used the same paradigm as that used in Experiment 1. However, in this case, we focused on time before reappearance of the primary task, which varied between 0 and 1500 ms.

III. EXPERIMENT 2

III.A. Method

Participants

A group of 42 (19 male, 23 female) healthy volunteers (mean age = 21.1 ± 2.3 years) took part in this experiment. No participant took part in the two experiments. They were recruited from a student population and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated and all of them gave their informed written consent for their participation prior to the test.

Stimuli and material

The primary and the interrupting tasks were strictly identical to those used in Experiment 1.

Experimental design and procedure

The procedure used in Experiment 2 was identical to that used in Experiment 1, except with regard to the conditions of the Length of the Time before resumption. In this experiment, we used three different TBR: 0 s (no TBR), 750 ms or 1500 ms.

III.B. Results and discussion

As in Experiment 1, only trials in which the participants selected only the 10 target emails were analyzed.

Interrupting task

Overall, accuracy was slightly higher than 83%. A t-test for dependent samples was carried out on accuracy, with the Complexity of the interrupting task (Simple or Complex) as a within-participant factor. The effect of Complexity was significant, $t(41) = 6.08$; $p < .01$, Cohen's $d = 0.86$, with greater accuracy being observed during simple interrupting tasks ($M = 88\%$, $SD = 10.19$) than during more complex ones ($M = 79\%$, $SD = 11.92$).

Primary task

Accuracy reached ceiling level, since it was over 96 % for the primary task across all participants. The effect of interruptions on accuracy cannot therefore be analyzed. In order to assess the effect of interruptions, a t-test for dependent samples was carried out with RL in interrupted trials and ICI in uninterrupted trials. The effect of interruptions was significant, $t(41) = 17.19$; $p < .01$, Cohen's $d = 3.6$, with the time taken to select the next new target email once the interrupting task was over in interrupting trials ($M = 4.77$, $SD = 0.70$) being longer than the mean time required to select a target email in uninterrupted trials ($M = 3.08$, $SD = 0.67$).

A multivariate repeated-measures ANOVA was then carried out on the RL, with the Complexity of the interrupting task (Simple or Complex) and TBR (0, 750 or 1500) as within-

participant factors. The main effect of Complexity was significant, $F(1, 41) = 12.57$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.23$, with shorter RL being observed after simple interrupting tasks ($M = 4.67$, $SD = 0.82$) than after more complex ones ($M = 4.87$, $SD = 0.79$).

The main effect of TBR was also significant, $F(2, 82) = 3.77$ $p < .03$, $\eta^2p = 0.08$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed no difference between RL after no TBR ($M = 4.84$, $SD = 0.77$) and 750 ms ($M = 4.83$, $SD = 0.73$; $p = .92$) and indicated that RL were longer after a TBR lasting 750 ms than 1500 ms ($M = 4.65$, $SD = 0.91$; $p < .02$).

Finally, the Complexity x TBR interaction was also significant (see Figure 2 b), $F(2, 82) = 3.77$; $p < .03$, $\eta^2p = 0.08$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that after no TBR, RL were shorter after simple interrupting tasks ($M = 4.68$ seconds, $SD = 0.75$) than after more complex ones ($M = 4.99$ seconds, $SD = 0.76$, $p < .01$). After 750 ms, RL were still shorter after simple interrupting tasks ($M = 4.70$ seconds, $SD = 0.72$) than after more complex ones ($M = 4.95$ seconds, $SD = 0.73$, $p < .01$). Finally, no difference as a function of Complexity was found after a TBR lasting 1500 ms (Simple: $M = 4.65$ seconds, $SD = 0.99$; Complex: $M = 4.66$ seconds, $SD = 0.84$, $p = .92$). Moreover, no difference as a function of TBR was found for the simple interrupting task (all $p > .78$), and no difference in RL was observed between the complex interrupting task at 0 and 750 ms ($p = .66$).

As in Experiment 1, we wanted to know whether the decrease in RL between 0 and 1500 ms was due to the general performance in the interrupting task. Once again, no effect was observed: Simple ($\beta = -.03$, $t(40) = -.04$, $p = .97$, $R^2 = .0001$) and Complex interrupting tasks ($\beta = .07$, $t(40) = 1.24$, $p = .22$, $R^2 = .005$).

The aim of Experiment 2 was to investigate the decrease in the effect of the complexity of the interrupting task after a TBR lasting 0, 750 or 1500 ms. The Complexity x TBR interaction showed once again that the complexity effect is at its strongest without a TBR and that it decreases as the length of the TBR increases. However, it appears that RL after complex interrupting tasks did not decrease immediately but only after a TBR lasting 750 ms.

IV. GENERAL DISCUSSION

The aim of the study was to investigate the effect of the complexity of the interrupting task and then to compare the theories that could explain its effect (Borst et al., 2015; Eyrolle & Cellier, 2000; Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008). We therefore designed a primary email search task that could be interrupted by either a simple or a complex updating task. We conducted two experiments in which we manipulated the time before the reappearance of the primary task. In Experiment 1, this time varied from 0 to 3000 ms; in Experiment 2, it varied from 0 to 1500 ms.

First, the results showed that RL were longer than ICI, indicating that it takes longer to complete the first action after returning to the primary task directly after the interruption than it does to complete an action during the performance of the primary task. This suggests that interruptions are harmful to performance, as has been suggested by a large body of literature (Eyrolle & Cellier, 2000; Hodgetts & Jones, 2006; Ratwani, Trafton, & Myers, 2006). Next, our data showed that the more complex the interrupting task is, the longer, so too, is the RL. This finding suggesting that complex interrupting tasks are more disruptive than simpler ones is consistent with a great body of evidence (e.g., (Cades et al., 2008; Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008) and fits well with the above-mentioned theories, with the exception of the MFPS model (Borst et al., 2015). Indeed, this latter model predicts that the complexity of the interrupting task does not matter as long as it requires a problem state. In our study, both the simple and the complex interrupting task required a problem state and no effect would therefore be expected according to the MFPS model.

As far as the other theories are concerned, the main effect of complexity is not sufficient in itself to differentiate between them. That is why we manipulated the time before the reappearance of the primary task. Several processes should operate during this time and this should influence the effect of complexity, with the different theories predicting different patterns of results. Both Experiment 1 and 2 showed that there is a complexity effect without a break, as explained earlier and as has been shown many times before. However, this effect decreased until it disappeared 1500 ms after the interruption and was observed only with complex interrupting tasks. This result does not fit with the MFG model (Altmann & Trafton, 2002) and theories that are based on it. According to this model, complex interrupting tasks increase interference between PT and IT goals and contribute to the deactivation of the PT goal during the interruption, thus producing longer RL (Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008).

Since increasing the time between the two tasks does not stop the continuous decay of the PT goal, RL should continue to increase. A larger complexity effect would be expected, the longer the time before reappearance of the primary task is. We found the exact opposite effect.

However, our results support theories derived from the concept of task switching. Increasing the complexity of the interrupting task produces longer RL because it takes longer to deactivate task-sets associated with complex tasks (Eyrolle & Cellier, 2000; Monsell et al., 2000). Moreover, increasing the TBR decreases RL because passive deactivation of the IT task-sets is occurring (Altmann, 2005), or because it was easier to resume the primary task following a simple interrupting task due to less inhibition of its related task-sets and more availability of working memory resources during a simple interrupting task. It therefore seems likely that lengthening the TBR provides time for the deactivation of task-sets associated with simple or more complex interrupting tasks. Consequently, the longer the time, the shorter the RL and the smaller the complexity effect. Our results showed that lengthening the time did not influence RL after simple interrupting tasks, suggesting that if such a deactivation of simple task-sets does actually take place, their deactivation is quick and immediate, contrary to what happens after complex tasks.

The results of Experiment 2 showed that RL seemingly starts to decrease after 750 milliseconds. To our knowledge, no study has assessed whether the deactivation of task-sets is immediate or needs time to operate. Two explanations are therefore possible. On the one hand, the deactivation of the task-sets may be immediate, but this would not be observable in the resumption time. On the other, the deactivation of task-sets is not immediate, and time is needed. One possibility is that an active inhibitory process (Wylie & Allport, 2000) operates to decrease the interference produced by the sets of the interrupting task that has just finished, and such processes are known to take time to be fully operational. According to the deactivation hypothesis, the interrupting task-sets should become passively deactivated during the time before the reappearance of the primary task. Since they should be highly activated if the interrupting task has been performed well, the reduction in the resumption time should predict accuracy in the interrupting task. The absence of such an effect in no way supports the deactivation hypothesis. The inhibition hypothesis therefore merits further attention.

Although it is not applicable to our paradigm, another explanation would be that 750 milliseconds are too short a period to inform the participants of the end of the interrupting task. They might therefore prepare to process another trial of the interrupting task instead of preparing to resume the primary task. However, since a black screen was always displayed

during the TBR to inform the participants that the interrupting task was over, this explanation is not feasible. Further evidence is needed in order to shed light on this issue.

Finally, the results of Experiment 1 surprisingly showed that the longest time (3000 ms) decreases performance. As already reported in the literature, intervals that are too long are not always beneficial for performance. Indeed, this has been shown in a switching paradigm (Altmann, 2005) as well as in simpler tasks, such as those involving the reorienting of attention (Posner & Cohen, 1984; in this case, it is termed inhibition of return). If the time between the expected occurrence of an event and its actual occurrence is too long, performance decreases. One interpretation would be that the task-sets associated with the primary task are progressively deactivated, probably to save resources. Another interpretation would be that the time is too long to remain focused on the empty screen and attention disengages. The appearance of the primary task makes it necessary to re-engage attention and this takes time. Disengagement may explain why a similar pattern is observed after a simple and a complex interrupting task. This also suggests that the effect of complexity is due to the reconfiguration of task-sets. Since task-sets associated with complex interrupting tasks are as deactivated as those associated with simple interrupting tasks after 1500 milliseconds, they still remain deactivated after 3000 milliseconds.

All of our results therefore fit with only one theory proposed to explain the effect of the complexity of the interrupting task: the theory based on task-switching. Complex interrupting tasks yield longer resumption times because it takes longer to deactivate their task-sets. If time is allowed before resumption, these task-sets could become deactivated, thereby decreasing resumption time. However, if too much time is allowed, task-sets associated with the primary task may be deactivated and attention disengages. In this case, a longer time is needed to reengage attention and reactivate the corresponding task-sets, consequently lengthening the resumption time. The fact is that our results were not consistent with the theoretical frameworks that were originally developed to account for interruptions (Altmann & Trafton, 2002; Borst et al., 2015). We therefore think that these models have to be updated to take account of our results, for instance by adding inhibitory processes that are needed in order to reduce the activation of the interrupting task-sets, as well as disengagement/reengagement processes that may precede resumption in some cases.

Conclusion

The aim of this study was to investigate the effect of the complexity of the interrupting task and to distinguish between the many theories developed in order to explain it. By manipulating the length of the break between the end of the interrupting task and the resumption of the primary task, we showed that only the hypothesis based on the task-switching literature seems viable. Indeed, the fact that lengthening the break decreases RL after a complex interrupting task can only be explained in terms of the reconfiguring of task-sets. This suggests that shifting underlies the resumption of the primary task, and not memory as proposed by the MFG and the MFPS models. This finding provides important insights for anyone wanting to reduce the harmful cognitive and behavioral effect of interruptions, for instance in the workplace.

V. REFERENCES

- Adler, R. F., & Benbunan-Fich, R. (2012). The Effects of Positive and Negative Self-interruptions in Discretionary Multitasking. *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1763–1768. <https://doi.org/10.1145/2212776.2223706>
- Altmann, E. M. (2005). Repetition priming in task switching: Do the benefits dissipate? *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(3), 535–540.
- Altmann, E. M. (2017). Response-cue interval effects in extended-runs task switching: Memory, or monitoring? *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0921-3>
- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: An activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_2
- Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2010). The problem state: A cognitive bottleneck in multitasking. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 363–382. <https://doi.org/10.1037/a0018106>
- Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2015). What Makes Interruptions Disruptive? A Process-Model Account of the Effects of the Problem State Bottleneck on Task Interruption and Resumption. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2971–2980. <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702156>

- Brazzolotto, P., & Michael, G. A. (2019). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, XXIII(Nr 2), 135–153. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23.08>
- Brixey, J. J., Robinson, D. J., Johnson, C. W., Johnson, T. R., Turley, J. P., & Zhang, J. (2007). A concept analysis of the phenomenon interruption. *ANS. Advances in Nursing Science*, 30(1), E26-42.
- Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2010). Validating running memory span: Measurement of working memory capacity and links with fluid intelligence. *Behavior Research Methods*, 42(2), 563–570. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.563>
- Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2007). Does the Difficulty of an Interruption Affect our Ability to Resume? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(4), 234–238. <https://doi.org/10.1177/154193120705100419>
- Cades, D. M., Werner, N., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2008). Dealing with Interruptions can be Complex, but does Interruption Complexity Matter: A Mental Resources Approach to Quantifying Disruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(4), 398–402. <https://doi.org/10.1177/154193120805200442>
- Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures Due to Interruptions or Distractions: A Review and a New Framework. *The American Journal of Psychology*, 130(2), 163–181. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.2.0163>
- Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2000). The effects of interruptions in work activity: Field and laboratory results. *Applied Ergonomics*, 31(5), 537–543.
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: Support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.
- 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. <https://doi.org/10.1037/a0019842>
- Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(1), 1–14. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.1.1>

- Li, L., Wang, M., Zhao, Q.-J., & Fogelson, N. (2012). Neural mechanisms underlying the cost of task switching: An ERP study. *PloS One*, 7(7), e42233. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042233>
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(6), 553–568. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.09.001>
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 29(3), 575–599.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component Processes in Task Switching. *Cognitive Psychology*, 41(3), 211–253. <https://doi.org/10.1006/cogp.2000.0736>
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299–313. <https://doi.org/10.1037/a0014402>
- Monsell, S., & Mizon, G. A. (2006). Can the task-cuing paradigm measure an endogenous task-set reconfiguration process? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(3), 493–516. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.3.493>
- Monsell, S., Yeung, N., & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, 63(3–4), 250–264. <https://doi.org/10.1007/s004269900005>
- Pankok, C., Zahabi, M., Zhang, W., Choi, I., Liao, Y.-F., Nam, C. S., & Kaber, D. (2017). The effects of interruption similarity and complexity on performance in a simulated visual-manual assembly operation. *Applied Ergonomics*, 59, Part A, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.022>
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of Visual Orienting. *Attention and Performance X*, 32, 531–556.
- Ratwani, R. M., Trafton, J. G., & Myers, C. (2006). Helpful or Harmful? Examining the Effects of Interruptions on Task Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(3), 372–375. <https://doi.org/10.1177/154193120605000334>
- Rivera, A. J., & Karsh, B.-T. (2010). Interruptions and Distractions in Healthcare: Review and Reappraisal. *Quality & Safety in Health Care*, 19(4), 304–312. <https://doi.org/10.1136/qshc.2009.033282>

- Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Environmental Psychology*, 124(2). Retrieved from <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:6180113d-b831-419b-8716-46652110880d>
- Sasangohar, F., Donmez, B., Trbovich, P. L., & Easty, A. C. (2012). Not All Interruptions are Created Equal: Positive Interruptions in Healthcare. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 824–828. <https://doi.org/10.1177/1071181312561172>
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs.” *Psychological Research*, 63(3), 212–233. <https://doi.org/10.1007/s004269900003>

ÉTUDE 4 -

NE M'INTERROMPS PAS, JE LE FAIS MIEUX MOI-MEME – ETUDES DES AUTO-INTERRUPTIONS

Avec les études 1 et 2, nous sommes intéressés à deux caractéristiques des interruptions, à savoir leur complexité et le moment de leur survenue. Mais dans les deux études, nous n'avons étudié qu'un type d'interruption : les interruptions externes, provoquées par un événement extérieur. En effet, c'était à chaque fois l'ordinateur qui imposait la suspension de la tâche principale. Or, il existe un autre type d'interruption, aussi fréquent au quotidien (Mark et al., 2016) : les interruptions autogénérées, qui proviennent directement de l'intention de l'individu. Peu de travaux sont répertoriés dans la littérature, sûrement parce qu'il est difficile d'opérationnaliser les auto-interruptions : il faut inciter le participant à créer l'intention de suspendre la tâche principale, ce qui crée une situation plutôt artificielle. Quelques différences entre interruptions auto et hétérogénérées ont tout de même été observées : une tâche auto-interrompue serait mieux réussie (McFarlane, 1999, 2002), mais en plus de temps (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016), mais cet effet n'a pas toujours été trouvé (Mark et al., 2005; Panepinto, 2010). La reprise de la tâche principale serait plus rapide après une interruption autogénérée (Cades et al., 2010), mais cela n'a jamais été démontré avec une expérience de laboratoire (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). Peu de conclusions peuvent donc être tirées. Certains modèles théoriques sembleraient pourtant prédire des effets spécifiques pour les auto-interruptions : pouvoir décider quand s'interrompre permettrait de se préparer à l'interruption, améliorant ainsi l'encodage des buts et schémas d'actions de la tâche principale (Couffe & Michael, 2017; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016; Trafton et al., 2003). Ces informations étant mieux encodées, elles sont également mieux rappelées après l'interruption, accélérant ainsi la reprise de la tâche principale. Cependant, la décision de l'interruption prend du temps et consomme des ressources avant l'interruption, augmentant ainsi le temps total pour compléter la tâche principale.

Pour tester cette hypothèse, nous avons mené une étude où les participants devaient encore une fois rechercher des emails-cible dans de fausses boîtes de réception. Ils étaient soit interrompus de façon externe, comme dans les études précédentes, soit auto-interrompus, c'est-à-dire qu'ils pouvaient décider quand suspendre la tâche principale. En commençant un nouvel essai, les participants pouvaient connaître la source de l'interruption en consultant une cloche affichée à droite des critères de recherche. Si elle était rouge, alors la recherche d'emails ne serait pas interrompue. Si elle était jaune, alors la tâche interrompue apparaissait automatiquement après un certain nombre d'emails-cible sélectionnés. Et si elle était verte, alors les participants devaient cliquer sur la cloche quand ils le souhaitaient pour déclencher la tâche interrompue. La tâche interrompue était la tâche de mise-à-jour, et nous avons manipulé

sa complexité comme dans les expériences précédentes. Afin de s'assurer que les moments d'interruptions étaient similaires entre les deux conditions d'interruptions, nous avons fait en sorte qu'une auto-interruption précède à chaque fois une interruption externe, qui interrompait le participant après le même nombre d'emails-cible sélectionnés que quand il l'avait choisi. Pour répondre à nos hypothèses, nous avons extrait le temps passé sur la tâche principale et le temps de retour à la tâche principale. Pour identifier les stratégies de recherche visuelle et les processus décisionnels avant les auto-interruptions, nous avons utilisé un oculomètre qui enregistrait la position et les mouvements du regard des participants.

DO NOT INTERRUPT ME, I DO IT BETTER
MYSELF – INVESTIGATION OF SELF-
INTERRUPTIONS

Paul Brazzolotto et George A. Michael

Article Soumis

Retranscrit en version manuscrite

Abstract

Interruptions are pervasive at workplace. While everybody is investigating external interruptions, which come from environment, little is known about self-interruptions, which are produce by the person her-self. The aim of the current study is thus to assess the difference between external and self-interruptions, by manipulating in addition the complexity of the interrupting task, which is known to influence the resumption of the interrupted task. we thus conducted one experiment in which participant should search for target-emails among distractors displayed on inbox pages. They should either choose when to self-interrupting their search for completing a working memory task (which was simple or complex), or the interrupting task occurred automatically and the participants were forced to suspend the primary task, or there was no interruption. Results showed that participants mainly self-interrupt at the beginning and at the end of the primary task. Resumption was shorter after self-interruptions, but only when the participants self-interruption near the end of the primary task. Resumption was also longer after complex interruptions, without interaction with the other factors. Theoretical and practical implications for research and application are discussed.

Keywords: Self-interruption, Inbox, Complexity, Timing, Email

I. INTRODUCTION

Be able to carry out a task from the beginning to the end without doing another task in the meantime is hard to achieve at workplace, due to the great number of distractions and interruptions coming from colleagues or ICT (i.e. information and communication technology). But interruptions are not only produced by environmental triggers. Did you ever suspend your current activity on your own initiative for talking to a colleague or thinking about your next meal? These interruptions are called self-interruptions and represent 40% to 50% of interruptions at workplace (Czerwinski, Horvitz, & Wilhite, 2004; González & Mark, 2004; Mark, Iqbal, Czerwinski, Johns, & Sano, 2016). They were however largely put aside to the benefit of studies investigating external interruptions. The current study will therefore focus on self-interruptions.

The occurrence of an interruption requires that a primary task be suspended temporarily with an intention to return to and complete the interrupted task. The interrupting task is triggered by an event, which can be either external or internal to the person (Couffe & Michael, 2017). Researchers especially focused on the factors that can influence the effect of interruptions, e.g. their complexity, timing or duration (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015; Brazzolotto & Michael, 2019; Monk, Trafton, & Boehm-Davis, 2008), but few investigated the effect of the interruption as a function of its source. The great majority of studies were conducted for assessing the effect of external interruptions and little is known about self-interruptions and how their effect differs from external interruptions (Salvucci & Bogunovich, 2010).

Self-interruptions are produced by the person her-self (e.g. I decided to stop writing an email to go talk to a colleague), compared to external interruptions that are produced by the environment (e.g. I have to stop writing an email because a colleague is talking to me). The difference between these two kinds of interruptions is thus the source of the interruptions, either internal or external. One would decide to stop the current task when she could not be able to achieve optimal efficiency in the current task (Csikszentmihalyi, 2008); a self-regulatory behavior is then adopted to improve performance (Dabbish, Mark, & Gonzalez, 2011). Adler and Benbunan-Fich (2013) identified several reasons for deciding to change tasks, e.g. fatigue, desire for novelty or stimulation. We would also suspend our main activity to look for information, or because we remember that we had to do another task, urgent or not (Jin & Dabbish, 2009). Cognitive factors would influence the decision to change tasks. If we have the

choice, we would decide to suspend the current activity when the task requires only a small amount of resources and few elements to process and therefore to memorize (Katidioti, Borst, & Taatgen, 2014; Katidioti & Taatgen, 2013). Nevertheless, few laboratory studies investigated the effect of self-interruptions. Since they need to be initiated by the individual and not by an environmental alert it is therefore complicated to operationalize a self-interruption because it is necessary to insight the participants to create such an intention.

Theoretical frameworks may however contribute to better understand self-interruptions. The Memory-for-Goal model (MFG model, Altmann & Trafton, 2002) and the DETOUR model (Couffe & Michael, 2017) pose that interruptions create negative outcomes because the information related to the primary task (i.e. goals and procedural schemata) needs to be encoded and kept in memory during the interruption and, once the interruption is over, it had to be recalled in order to resume the primary task. However, information automatically deactivates during the interruption and the less they are activated, the longer the time to resume the primary task. Allowing time between the alert of the interruption and its beginning, what is called Interruption Lag (IL), permits a greater encoding of the information related to the primary task, increasing their activation. Even they would deactivate during the interrupting task, they remain higher, decreasing the time to resume the primary task. Thus, the longer the IL, the shorter the RL (Trafton, Altmann, Brock, & Mintz, 2003).

According to Katidioti, Borst, van Vugt, and Taatgen (2016), the IL is one key for understanding the specific effect of self-interruptions. Indeed, deciding to self-interrupt allows taking the time to encode the information related to the primary task and to get prepare for the interruption. The decision and the preparation to self-interruptions being resource consuming, it thus theoretically lengthens the total time to complete the primary task. However, resumption times would be shorter since information had been better encoded previously. The literature does not provide empirical support to this hypothesis, yet. Some studies agree that a primary task interrupted by the person her-self is more successful (McFarlane, 1999, 2002) but it takes more time to complete (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). Other studies do not show differences between these two sources of interruption (Mark, Gonzalez, & Harris, 2005; Panepinto, 2010). Moreover, only one study found that self-interruptions result in shorter RL (Cades, Werner, Boehm-Davis, & Arshad, 2010), but never in laboratory experiments (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). So, it seems premature to draw any conclusions.

Self-interruptions allow individuals to suspend the primary task when they want, meaning that the effect of timing has to be taken into consideration. According to the Threaded Cognition theory (Salvucci & Taatgen, 2008), one would choose to switch to another task when the primary task requires only few cognitive resources, in order to minimize the cost of switching. This hypothesis is corroborated by the fact that interruptions occurring during high workload moments are more deleterious and provide longer RL (Hodgetts & Jones, 2006; Katidioti, Borst, de Haan, et al., 2016; Miyata & Norman, 1986). But the workload of the primary task could also decrease over time. Indeed, the more one progresses on the task, the more it becomes automated and the less cognitive resources are needed to process the task (Norman & Shallice, 1986). Information related to the primary task would be more activated, resulting in shorter RL (Brazzolotto & Michael, 2019). Therefore, if one self-interrupts at the beginning of the primary task, the workload would be high, and the information related to the primary task would not be activated. The preparation and encoding of information would not be effective, resulting in the same resumption time that after an external interruption. However, if one is self-interrupted at the end of the task, the workload would be low, and the information would be well activated. The encoding would be efficient resulting in shorter resumption times than for external interruptions.

One way to investigate the effect of a characteristic of interruptions is to manipulate another characteristic that affects the same components during the suspension of the primary task (Hodgetts & Jones, 2006). Manipulating the complexity of the interrupting task is known to decrease the activation of information related to the primary task and lengthen the time to switch to the primary task increasing thus RL (Brazzolotto & Michael, 2019; Monk et al., 2008). It is therefore expected that RL would be shorter after self-interruptions when the interrupting task is simple, since the information would be more activated and would only little decrease. However, no difference would be expected as a function of source after complex interrupting task since information would be deactivated, whatever their initial activation.

The aim of this study is thus to investigate the effect of interruptions depending on their source. It is expected that self-interruptions would result in longer times to complete the primary task, but also in shorter resumption times since one could prepare her-self to be interrupted. This effect would be larger if interruptions occur at the end of the task because workload would be lower, and only for simple interrupting task. To assess these effects, we constructed an experiment in which participants had to find target-emails among distractors on naturalistic inbox pages. There were three kinds of trials: (i) without interruption, (ii) with self-interruptions

for which the participants could choose when they want to interrupt themselves and (iii) with external interruptions for which the participants were interrupted by the computer. In order to evaluate the strategies of search before and after the interruptions, we used an eyetracker which extracted the position of the eyes during the search. It is expected that since participants could prepare themselves before self-interruptions, they should look at the search criteria just before interruption in order to improve their memorizing. It is thus expected that participants should remember the criteria after self-interruptions, reducing looks toward them. Moreover, since complex interrupting tasks decrease activation of information relative to the primary task, participants should look more closely at the search criteria after complex interrupting task.

II. METHOD

Participants

A group of 41 (15 male, 26 female) healthy volunteers (mean age = 21.3 ± 2.7 years) took part in this experiment. They were recruited among undergraduate students and all had normal or corrected-to-normal vision. The participants were not remunerated and all of them gave their informed written consent for their participation prior to the test. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki.

Stimuli and material for the primary task

The participants had to find emails on pages that resembled a typical inbox. Each page (see Figure 1) contained a list of emails at the center of the screen, a bar with the search criteria and a trash icon at the top, a banner with options on the left, and ads on the right. The option bar and the ads were the same on each page and the participants could not interact with them. Each list consisted of 30 emails, each of which was displayed on a separate line. Each line consisted of visual elements that are relevant to the task: an empty square, the name of the sender, a colored circle (either blue, light-gray or black), and an attachment symbol (a paper clip). Irrelevant elements were added in order to create a realistic inbox environment and were used as distractors for the visual selective attention task: a star (either black or white), a blue flag (either present or not), the subject line, the first words of the email, and the date of sending.

The participants were instructed to click on the empty boxes displayed on the left of each target email (causing a cross to appear inside them). Target emails were described by a combination of three criteria listed across the top of the page. These were the name of the sender with an adjacent circle in a specific color and a paper clip indicating the presence of an attachment (e.g. Agathe Rollind – grey circle – paper clip). The combination of the three criteria and the sender names (both targets and distractors) were different on each new page and were controlled (same number of combinations as a function of the color of the circle and the gender of the sender). On each page, there were ten targets. When they had finished scanning the page from top to bottom, the participants had to click on the trash icon, causing a new page to appear.



Figure 1. An example of the primary task used in the present study. Participants had to find all the emails combining the three criteria presented at the top.

Stimuli and material in the interrupting task

The interrupting task was an updating task that resembled to the running memory span (Broadway & Engle, 2010). This non-naturalistic task was used because the manipulation of its complexity is well understood. The participants saw several series of 3 to 6 random digits (24-point Calibri, white font) ranging from 0 to 9 at the speed of one digit per second. The same digit never occurred twice in a series and two consecutive series were never identical. Once each series had been presented, the participants had 3 seconds to recall and type the last three digits at the keyboard. After that, a new series was presented. The fact that the length of each

new series was not known in advance led the participants to constantly update the content of working memory each time a new number was presented.

Apparatus and setup

Participants were seated at a desk with a 23-inch LCD monitor with screen resolution of 1920 x 1080 pixels. They were asked to use a chinrest during the experiment, in order to keep their head more stable and have more clear measurements. The eyetracker was a TheEyeTribe, positioned 71 cm from the end of the desk. Eye movements were measured with a sample rate of 60 Hz. Calibration and drift correction were performed before the experiment, an accuracy of 1° was considered acceptable.

Experimental design and procedure

Participants completed 30 trials, each one consisting in one inbox page with 10 target-emails. There were three types of trials: (i) trials without interruptions, (ii) trials with external interruptions, which were decided by the computer and (iii) trials with self-interruptions, for which the participants could decide when to interrupt the primary task. The participants could know the type of the trials by looking at a bell icon displayed on the right of the search criteria: (i) if the bell was red, the search task would not be interrupted, (ii) if the bell was yellow, the search would be interrupted automatically by the computer after a certain number of target-emails were selected and (iii) if the bell was green, the search task should be self-interrupted and the participant had to click whenever she wanted on the bell in order to trigger the interrupting task. Each interrupted trial contained a single simple (two series of 3 and three series of 4 numbers or three series of 3 and two series of 4 numbers, randomly presented) or complex interrupting task (two series of 5 and two series of 6 numbers, randomly presented). The distinction between simple and complex interrupting tasks was based on a previous study (Brazzotto & Michael, 2019).

The 30 trials were subdivided into six blocks each containing 5 trials (1 without interruption, 1 with a simple external interruption, 1 with a complex external interruption, 1 with a simple self-interruption, 1 with a complex self-interruption). Since it was already reported that the timing of interruptions influences their effect (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016; Li, Blandford, Cairns, & Young, 2008; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2002), we decided to mirror the timing of self-interruptions for external ones (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). In that way, the block order was semi-random. We controlled the position of trials

in each block: a trial with a self-interruption always preceded a trial with an external interruption (controlling its complexity), which thus would interrupt the participant at the same moment (e.g. the participant clicked on the bell after having selected 3 target-emails so the interruption in the next trial would occur after that the participant selected 3 target-emails). However, each block was different and presented in a randomized order. A within-subjects design was used, meaning that each participant completed all the conditions.

The participants started by training on the two tasks before completing the full experiment. They were informed that the search task would be interrupted, and they learned the significance of each bell. They were informed that in trials with self-interruptions, they should not trigger the interruption if they have not selected at least one target-email (in order to compute the timing of the interruption in trials with external interruptions), neither if they have already selected all the target-emails (in order that at least one target-emails remained unselected for calculating resumption time). In the case of interrupted trials, the interrupting task appeared instantaneously on a black screen that covered the inbox and the criteria, making it impossible to continue with the email search. Since strong duration effects have already been demonstrated and might have caused any confound in our experiment (Monk et al., 2008), we chose to use the same duration for both the simple and complex interrupting tasks, namely 40.9 seconds. Thus, the duration of the interrupting task was identical for each condition and each participant. Once the interrupting task was over, the inbox reappeared in the same state as it had been left immediately before the interruption and the participants carried on with the primary task as of the point at which it had been interrupted. Whatever the original color of the bell, it turned to red, indicating that no new interruption would occur before the end of the trial. The entire experiment lasted approximately 40 minutes.

Two factors were thus manipulated: (i) the Source of the interruption (Self-interruption vs. External interruption), (ii) the Complexity of the interrupting task (Simple vs. Complex). As participants could choose when they wanted to self-interrupt, and since timing is known to influence RL (Brazzolotto & Michael, 2019), we also assessed the effect of the timing of the interruption (between 1 and 9 selected target-emails). Five dependent variables were collected: (i) the percentage of correct responses in the interrupting tasks (i.e. Accuracy), (ii) the Time on Task (TOT), i.e. the time that elapsed between the first appearance of an inbox page and the click on the trash icon minus the time spent in the interrupting task, (iii) the Resumption Lag (RL; Altmann & Trafton, 2002), i.e. the time that elapsed between the reappearance of the inbox once the interruption was over and the selection of the next email. Finally, only for trials with

self-interruptions, we extracted (iv) the time before interruption, which represent the Interruption Lag (i.e. IL), which is the time elapsed between the trigger of the interruption and the selection of the preceding target-emails, which reflects the decision to self-interruption (Katidioti et al., 2014). Finally, we extracted from the eyetracker (v) the coordinates of the eyes during each trial.

III. RESULTS

Only trials for which participants selected the ten target-emails were retained for analyses. Moreover, trials for which the participants did not trigger the interrupting task and trials for which ICIs were 3 SD higher than the mean, were removed also. Therefore, there were 813 trials left for the analyses. We extracted the number of trials as a function of timing (between 1 and 9 selected target-emails). Participants especially interrupted themselves after having selected one target email (166 trials) and ones (180 trials). We will thus focus on these two timings in the post-hoc analyses that take timing into account.

Accuracy of the Interrupting task

Overall, accuracy was higher than 83%. A trial-by-trial General Linear Model (GLM) analysis was carried out on accuracy with the Source of the interruption (Self-interruption vs. External interruption), Complexity (Simple or Complex) and Timing (1st or 9th selected email) as factors. Only the main effect of Complexity was significant, $F_2(1, 777) = 60.59$, $p < .01$, $\eta^2p = 0.7$, with greater accuracy being observed during a simple interruption (M = 91%, SD = 14.20) than during a more complex one (M = 76%, SD = 25.47).

Time on Task

A trial-by-trial GLM analysis was carried out on TOT with the Source of the interruption (Self-interruption vs. External interruption), Complexity (Simple or Complex) and Timing (1st to 9th selected email) as factors. Only the main effect of Source was significant, $F_2(1, 777) = 14.45$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.02$, with longer TOT for trials with self-interruptions (M = 40.96 s, SD = 7.18) than with external ones (M = 38.36 s, SD = 6.79).

However, the longer TOT for trials with self-interruptions could come from the mouse movement to click on the bell in order to trigger the interruptions. We thus removed the time to click on the bell (IL) from the TOT and carried out the same analysis again. The effect of Source was no more significant, $F_2(1, 777) = 2.20$; $p = .26$.

Resumption Lags

A trial-by-trial GLM analysis was carried out on RL with Source of the interruption (Self-interruption vs. External interruption), Complexity (Simple or Complex) and Timing (1st to 9th selected email) as inter-trial factors. The main effect of Source was significant, $F_2(1, 777) = 5.27$; $p < .03$, $\eta^2p = 0.01$, with shorter RL being observed after self-interruptions ($M = 5.17$ s, $SD = 1.53$) than after external ones ($M = 5.57$ s, $SD = 1.58$). The main effect of Complexity was significant, $F_2(1, 777) = 4.68$; $p < .04$, $\eta^2p = 0.01$, with longer RL being observed after complex interruptions ($M = 5.49$ s, $SD = 1.61$) than after simpler ones ($M = 5.24$ s, $SD = 1.52$). The main effect of Timing was significant, $F_2(8, 777) = 5.93$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.06$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that RL were longer after interruptions occurring after 1 selected target-email ($M = 5.58$ s, $SD = 1.41$) than after 9 ones ($M = 4.76$ s, $SD = 1.47$, $p < .02$).

The Source x Timing interaction was significant (see Figure 2), $F_2(8, 777) = 2.41$; $p < .02$, $\eta^2p = 0.02$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that after 1 selected target-email, there was no difference between self-interruptions ($M = 5.53$ s, $SD = 1.48$) and external ones ($M = 5.63$ s, $SD = 1.31$, $p = .95$), while after 9 selected target-emails, RL were shorter after self-interruptions ($M = 4.31$ s, $SD = 1.26$) than after external ones ($M = 5.17$ s, $SD = 1.52$, $p < .01$). Moreover, after external interruptions, there was no difference between interruptions occurring after 1 and 9 selected target-emails ($p = .88$) while after self-interruptions, RL were shorter after 9 than 1 selected target emails ($p < .03$).

Interruption Lag

A trial-by-trial GLM analysis was carried out on IL with Complexity (Simple or Complex) and Timing (1 to 9) as inter-trial factors. Only the main effect of Timing was significant $F_2(8, 379) = 9.27$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.16$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that participants spend less time to click on the bell after having selected 1 target-email ($M = 1.27$ s, $SD = 0.15$) than 9 ones ($M = 2.81$ s, $SD = 1.78$, $p < .01$).

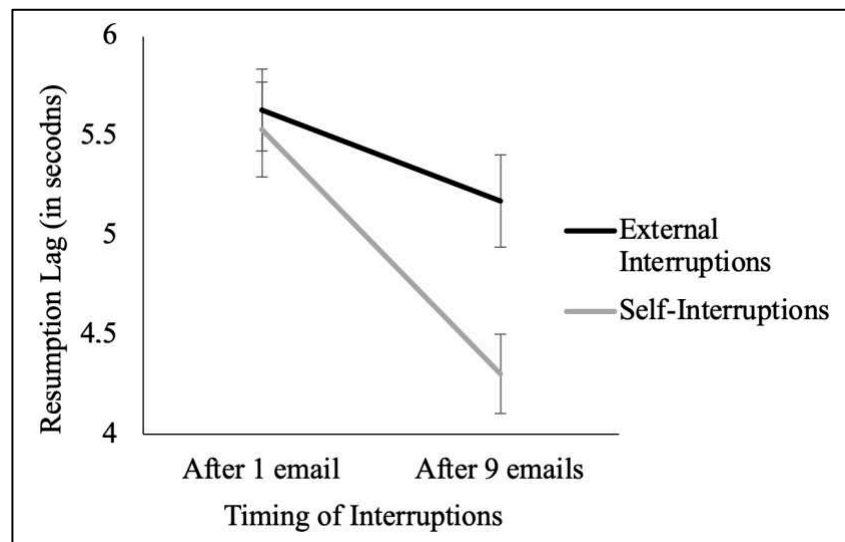


Figure 2. Mean (± 1 SEM) Resumption Lags (RL) expressed in seconds and plotted as a function of interruption complexity and source.

Eye movements

The eyetracker stopped working for eleven participants, so data from only 30 participants could be analyzed. In order to study search and self-interruption strategies, we extracted the gaze position (x and y coordinates) before and after the interruption. We focused on 4 moments: 1000 ms and 500 ms before the interruption, to study oculomotor behaviors just before the participant was interrupted or choose to interrupt him-self (it represents one third and one sixth of the time to click on the bell before self-interrupting), and 500 ms and 1000 ms after the interruption, to study oculomotor behaviors when the participant had to return to the main task. Figure 3 and 4 depicted the position of the gaze as a function of the Source of the interruption (Self-interruption vs. External interruption), its Complexity (Simple or Complex) and its Timing (we kept only trials in which participants were interrupted after 1 and 9 selected target-emails to facilitate the understanding of the figures). Since it seems that there were few differences between trials with simple and complex interrupting tasks, they were grouped in the same pictures. There were only few trials per conditions, so we did not carry out analyses on coordinates, but only visual descriptions.

Self-interruption – 1 email

External interruption – 1 email

1000 ms
before
interruption

500 ms
before
interruption

500 ms
after
interruption

1000 ms
after
interruption

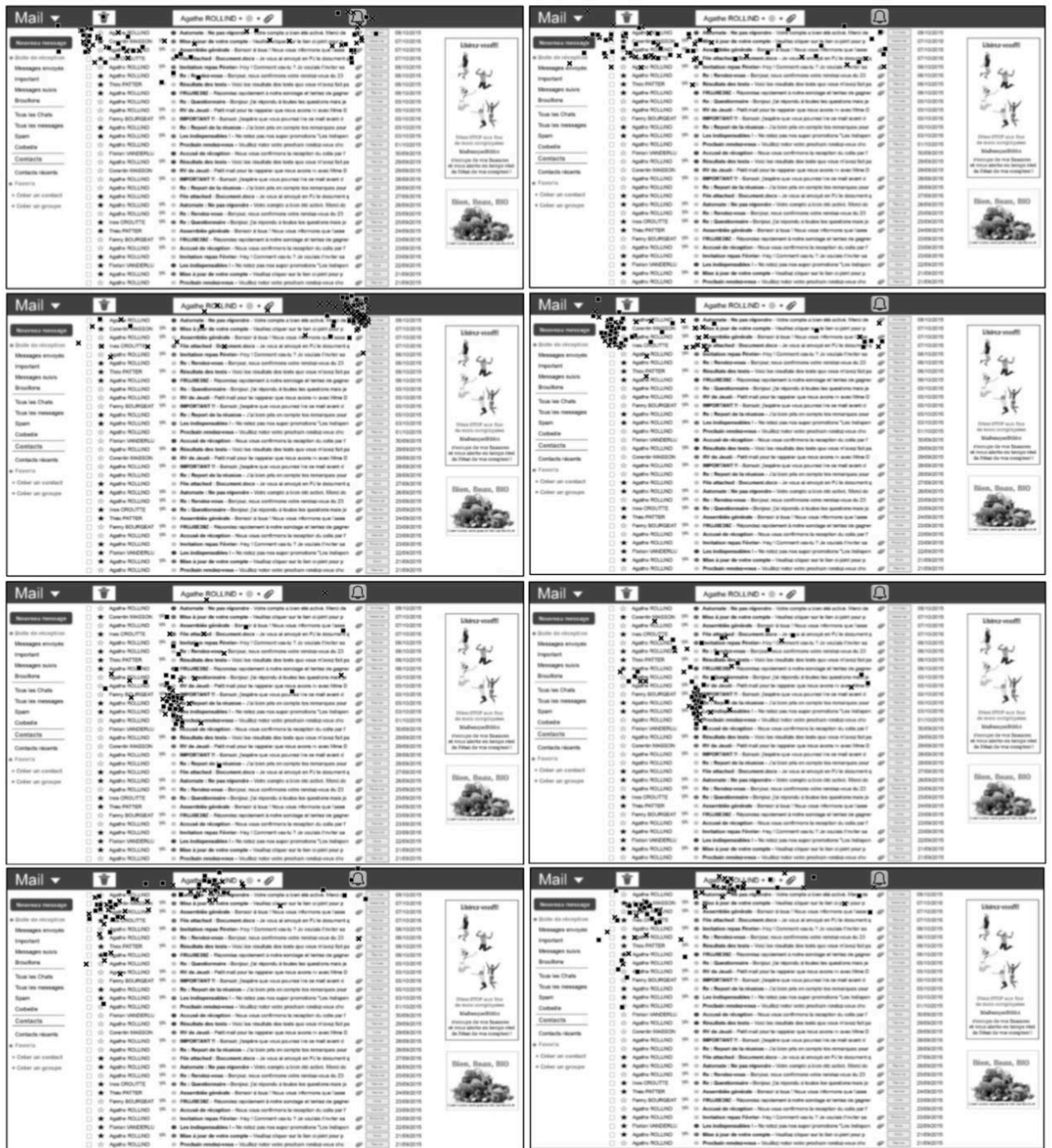


Figure 3. Fixation of the gazes according to the source of the interruptions (self-interruptions vs. external interruptions) when they occurred after that one email was selected. The squares represent trials with simple interruptions and the crosses represent trials with complex interruptions.

Self-interruption – 9 emails

External interruption – 9 emails

1000 ms before interruption

500 ms before interruption

500 ms after interruption

1000 ms after interruption

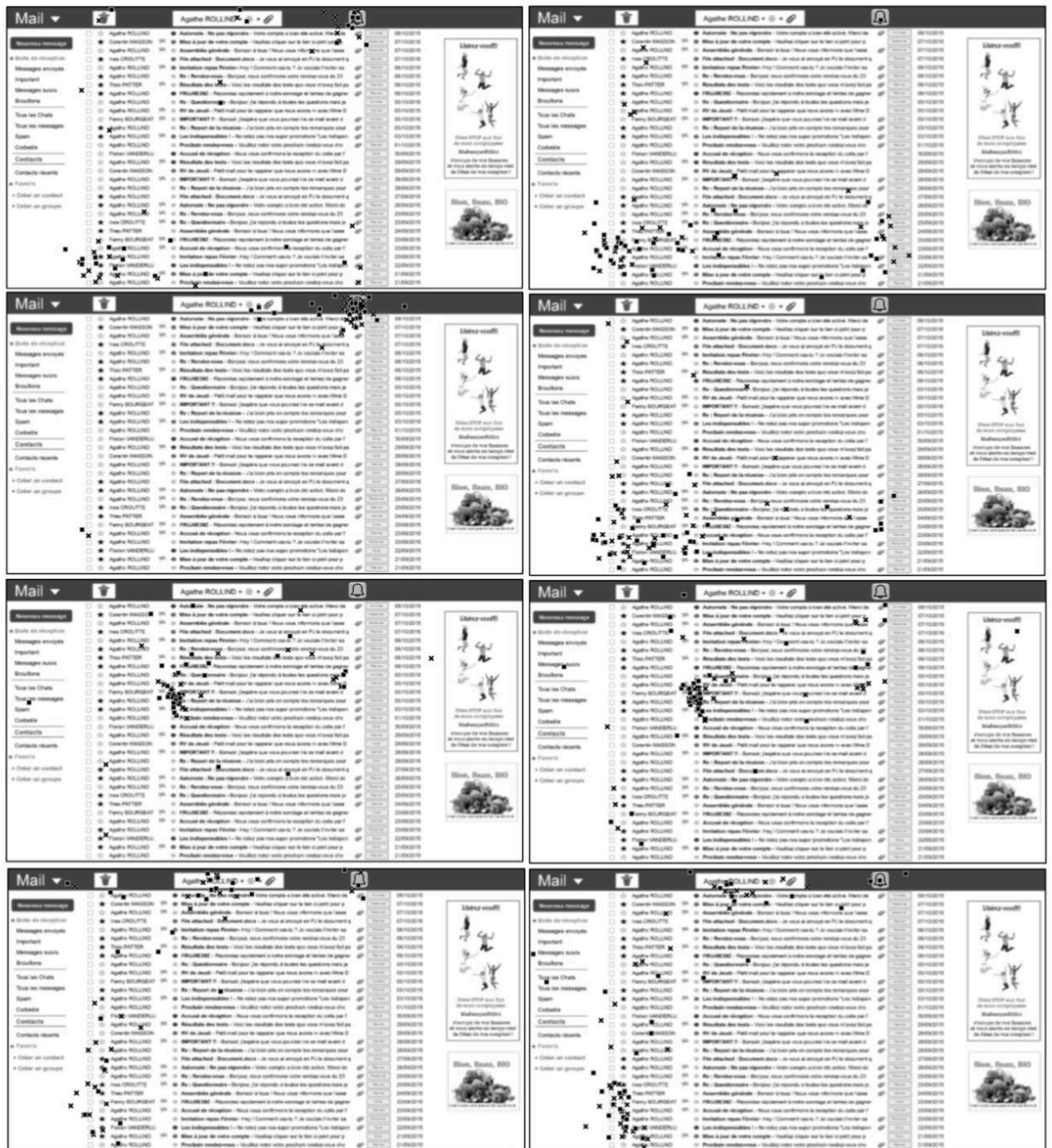


Figure 4. Fixation of the gazes according to the source of the interruptions (self-interruptions vs. external interruptions) when they occurred after that nine emails were selected. The squares represent trials with simple interruptions and the crosses represent trials with complex interruptions.

First of all, we can see that at 1000 ms before interruption, the participants were looking at the list of emails, at the top of the list when the interruption occurred after the 1st selected target-email and at the bottom of the list when the interruption occurred after the 9th one. The positions of the gaze are diffused over the whole line of emails but seem more concentrated towards the empty box on which it is necessary to click to select an email. There are few differences between trials with self-interruptions and external ones, except for some participants who are already looking at the bell before self-interrupting.

At 500 ms before interruption, the positions started to diverge as a function of the source of the interruption. For trials with external interruptions, participants mainly looked at the empty box to click on it, but it seems that the gazes are very concentrated on the empty box when the interruption occurred after one selected email, while they are more diffuse when they occurred after nine selected emails. For trials with self-interruptions, participants mainly looked at the bell before clicking on it.

At 500 ms after the interruption, it seems that there was no difference between conditions. Indeed, gazes are especially concentrated in one point, which correspond to the location of the digits displayed in the interrupting task.

At 1000 ms after the interruption, we can see that some participants looked at the search criteria, whatever the condition. The others looked at the email list, at the level of the last selected email. The gazes were rather concentrated when the interruption appeared after one email, but they seem more diffuse when the interruption appeared after nine emails.

To conclude, the only differences were found between self-interruptions and external ones 500 ms before the interruption, since participants looked toward the bell before self-interrupting while they look at the target-email before being interrupted.

IV. DISCUSSION

The aim of this study was to investigate the effect of interruptions depending on their source. Participants either could decide when they wanted to interrupt a primary task of email search, or they were forced to suspend it. The originality of this laboratory experiment was that the timing of external interruptions was mirrored from the timing of self-interruptions, what permits us to analyze the effect of timing for both sources of interruption. In addition, we

manipulated the complexity of the interrupting task, what was never been studied in such way with self-interruptions.

First, results showed that completing the primary task was longer when it was interrupted externally. Although this result corroborates the literature (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016), the effect of the source disappears when we took away the time to click on the bell to trigger the self-interruption. The longer time to complete the primary task with a self-interruption would not come from a delay for decision or preparation, but maybe from the time necessary to move the mouse and trigger the interruption. Moreover, analyses carried out on interruption lag showed that participants spent more time to click at the bell after having selected nine target-emails. Since the ninth email was displayed at the bottom of the list, this only suggests that more time is needed to move the mouse in order to click at the bell. This would mean that either the decision of self-interruption is more diffuse and not concentrated just before the self-interruption, or it took not time to the participant to prepare to self-interrupt. Previous cited studies did not take into account the action time to trigger the self-interruption, which could explain the difference between self-interruptions and external ones in these studies (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016; Katidioti & Taatgen, 2013). The effect observed in the literature could thus come from this bias. The absence of behavioral preparation for self-interruptions is supported by eyetracking data, which suggests that some participants even not looked at the bell 1000 ms before interrupting themselves, suggesting that the decision of self-interruption may be fast and no prepared.

However, the resumption of the primary task is influenced by the source of the interruption. Indeed, and this is the first time that such an effect was demonstrate with a laboratory experiment (Cades et al., 2010; Katidioti et al., 2016), participants were shorter to resume the primary task after self-interruptions, thus validating one of our hypotheses. According to the literature, deciding to self-interrupting would improve the encoding of the primary task information (goals or procedural schemata), what would increase its activation. Resuming the primary task is thus faster since this information is more activated and would be more easily remembered. Nevertheless, the speeding up of resumption lags after self-interruptions did not go along with any specific oculomotor behavior, while differences could be expected. This could be explained by the fact that either our measures are too early for differentiate our conditions, or behavior did not change whether the interrupted task was self or heterogeneously generated, only the speed of processing changed.

Moreover, results also showed an effect of the complexity of the interrupting task. As we hypothesized, resuming the primary task was longer after complex interrupting tasks than after simpler ones. This is in agreement with the literature and this effect has already been shown many times (Brazzolotto & Michael, 2019; Hodgetts & Jones, 2006; Monk et al., 2008). Resumption times would be longer after complex interrupting tasks since they participate to the deactivation of information stored in memory, decreasing its activation (Monk et al., 2008) or because it is more difficult to disengage from complex task (Eyrolle & Cellier, 2000). The fact that the complexity did not influence the effect of the source may suggest that these two features did not influence the same component of the resumption of the primary task. Indeed, we could expect that the effect of the source would be higher for simple interrupting tasks, since the greater activation of information resulting from self-interruptions would remain higher at the end of a simple interrupting task than the activation of information resulting from external interruptions. However, the high disruptiveness of complex interrupting tasks would deactivate the information, whatever its initial activation. Therefore, the absence of interaction would say that the complexity effect is underlain not by a greater deactivation of information related to the primary task, but by a longer time to switch from the complex task.

Next, results showed that the timing of the interruption also influenced the resumption time, which were shorter when interruptions occurred near the end of the primary task. This validates our hypothesis suggesting that progressing on the primary task decreases the cognitive load and increases the activation of information related to the primary task. Their activation would remain higher after the interruption, resulting in shorter resumption. It is interesting that participants self-interrupted mainly after having selected one and nine target-emails. According to the Threaded Cognition theory (Salvucci & Taatgen, 2008), individuals tend to delay self-interruptions at times when the cognitive load is low. The fact that participants decided to self-interrupt at the beginning and near the end of the primary task thus validate this hypothesis, since the cognitive load is thought to be lower at this moment (Brazzolotto & Michael, 2019; Norman & Shallice, 1986). Indeed, after having selected one target-emails, the cognitive load is low because the participant just began the task and after having selected nine target-emails, the cognitive load is low because the participant was automating the task. Another explanation would be that participants self-interrupted when the probability to find a target-emails after the interruption was the highest. It was easy to recontextualize the primary task when interruptions occurred at the very top and at the very bottom of the page. The probability was thus lower between the second and the eighth target-email. This could be the reason why we did not find

difference in eyetracking data, because we may not have chosen the best and the worst moment for interruptions. However, not enough data were collected for other timing of interruptions.

Finally, the source of the interruption influences the effect of the timing, since resumption is shorter after interruptions occurring after nine selected target-emails, but only with self-interruptions. This quite validates our hypothesis, although we also expected a timing effect with external interruptions, even smaller. This could be explained by the fact that after having selected nine target-emails, the primary task has become more automated, requiring fewer resources and thus creating a lower cognitive load, and information is more activated. The opportunity to self-interrupt increases this activation, shortening resumption. However, in the case of external interruption, there is no preparation for interruption and thus no increase of activation. The absence of timing effect after external interruptions could come from the relatively short distance between interruptions occurring after one and nine target-emails. This distance is maybe sufficient for self-interruptions, with the preparation, but not for external interruption. However, another explanation is possible. On one hand, participants may choose to self-interrupt just before the end the primary in order to have less remaining target-emails after the interruption; they thus expect in advance to find a target-email at the bottom of the list. However, the location of the second target-email is more random, so even they are prepared, more time is needed to find it. On the other hand, if participants could not choose when to be interrupted, they could not be prepared to seek the following target-email.

The study has some limitations yet. First, the operationalization of self-interruptions is questionable. Indeed, the intention for self-interrupting come not directly from the participant but emanates from the experiment. This methodology is however the only one possible to experimentally study self-interruptions since we could control the number each parameter of the tasks and the situation. The participants also retained the choice of timing of the self-interruption, which gave him the opportunity to express their intention to self-interrupt at any time.

The study opens up a range of avenues. On one hand, we showed in a controlled manner that self-interruptions are less disruptive than external ones on resumption, especially since one can choose when to self-interrupt at the best moment. Other studies are thus needed to keep exploring this way: are there other factors influencing the resumption of the primary task after a self-interruption? Are all tasks resumed faster after a self-interruption? Can some external triggers cause resumption shorter than self-interruptions? On the other hand, what happens

when individuals suspend the current task for only thinking about something else? Can this be considered a self-interruption? Does this have the same effect on the primary task performance? Futures studies are needed to answer to these questions.

In conclusion, the aim of the study was to assess the effect of self-interruptions on a laboratory study and how they differ from external interruptions. We also manipulated the complexity of the interrupting task and extracted the moment at which the interruptions occurred. For the first time with a laboratory study, we showed that self-interruptions are followed by shorter resumption, but only if the participant choose to self-interrupt at the end of the primary task. We also showed that complex interrupting tasks provide longer resumptions, but the complexity effect was not influenced by the source of the interruption. These results are therefore important for prevention at work, as warnings are given against interruptions from environment (especially from digital tools), but little is said about self-interruptions and inconstancy in the current tasks. Further studies are thus needed to continue to explore this field of research and provide real answers to problems of concentration at work.

V. REFERENCES

- Adler, R. F., & Benbunan-Fich, R. (2013). Self-interruptions in discretionary multitasking. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.040>
- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: An activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_2
- Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2015). What Makes Interruptions Disruptive? A Process-Model Account of the Effects of the Problem State Bottleneck on Task Interruption and Resumption. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2971–2980. <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702156>
- Brazzolotto, P., & Michael, G. A. (2019). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, XXIII(Nr 2), 135–153. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23>
- Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2010). Validating running memory span: Measurement of

- working memory capacity and links with fluid intelligence. *Behavior Research Methods*, 42(2), 563–570. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.563>
- Cades, D. M., Werner, N. E., Boehm-Davis, D. A., & Arshad, Z. (2010). What makes Real-World Interruptions Disruptive? Evidence from an Office Setting. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(4), 448–452. <https://doi.org/10.1177/154193121005400437>
- Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures Due to Interruptions or Distractions: A Review and a New Framework. *The American Journal of Psychology*, 130(2), 163–181. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.2.0163>
- Csikszentmihalyi, M. (2008). *Flow: The Psychology of Optimal Experience* (1 edition). New York: Harper Perennial Modern Classics.
- Czerwinski, M., Horvitz, E., & Wilhite, S. (2004). A Diary Study of Task Switching and Interruptions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 175–182. <https://doi.org/10.1145/985692.985715>
- Dabbish, L., Mark, G., & Gonzalez, V. M. (2011). Why do i keep interrupting myself?: environment, habit and self-interruption. *CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3127–3130. <http://dx.doi.org/10.1145/1978942.1979405>
- Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2000). The effects of interruptions in work activity: Field and laboratory results. *Applied Ergonomics*, 31(5), 537–543.
- González, V. M., & Mark, G. (2004). “Constant, Constant, Multi-tasking Crazyess”: Managing Multiple Working Spheres. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 113–120. <https://doi.org/10.1145/985692.985707>
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: Support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>
- Jin, J., & Dabbish, L. (2009). Self-interruption on the computer: a typology of discretionary task interleaving. *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1799–1808. <http://dx.doi.org/10.1145/1518701.1518979>
- Katidioti, I., Borst, J. P., de Haan, D. J. B., Pepping, T., Vugt, M. K. van, & Taatgen, N. A. (2016). Interrupted by Your Pupil: An Interruption Management System Based on Pupil Dilation. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 32(10), 791–801. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1198525>

- Katidioti, I., Borst, J. P., & Taatgen, N. A. (2014). What happens when we switch tasks: Pupil dilation in multitasking. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 20(4), 380–396. <https://doi.org/10.1037/xap0000031>
- Katidioti, I., Borst, J. P., van Vugt, M. K., & Taatgen, N. A. (2016). Interrupt me: External interruptions are less disruptive than self-interruptions. *Computers in Human Behavior*, 63, 906–915. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.06.037>
- Katidioti, I., & Taatgen, N. A. (2013). Choice in Multitasking How Delays in the Primary Task Turn a Rational Into an Irrational Multitasker. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 0018720813504216. <https://doi.org/10.1177/0018720813504216>
- Li, S. Y. W., Blandford, A., Cairns, P., & Young, R. M. (2008). The effect of interruptions on postcompletion and other procedural errors: An account based on the activation-based goal memory model. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 14(4), 314–328. <https://doi.org/10.1037/a0014397>
- Mark, G., Gonzalez, V. M., & Harris, J. (2005). No task left behind? Examining the nature of fragmented work. *Proceedings of ACM CHI 2005*, ACM, 321–330. ACM Press.
- Mark, G., Iqbal, S., Czerwinski, M., Johns, P., & Sano, A. (2016). Email Duration, Batching and Self-interruption: Patterns of Email Use on Productivity and Stress. *Microsoft Research*. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858262>
- McFarlane, D. (1999). Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction. *INTERACT*.
- McFarlane, D. (2002). Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human-computer Interaction. *Hum.-Comput. Interact.*, 17(1), 63–139. https://doi.org/10.1207/S15327051HCI1701_2
- Miyata, Y., & Norman, D. A. (1986). Psychological Issues in Support of Multiple Activities. In *User Centered System Design* (Lawrence Erlbaum, pp. 265–284). Hillsdale, USA.
- Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2002). The Attentional Costs of Interrupting Task Performance at Various Stages. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(22), 1824–1828. <https://doi.org/10.1177/154193120204602210>
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299–313. <https://doi.org/10.1037/a0014402>
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of

Behavior. In R. Davidson, R. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory IV*. Plenum Press.

Panepinto, M. (2010). Voluntary versus Forced Task Switching. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54, 453–457. <https://doi.org/10.1177/154193121005400438>

Salvucci, D. D., & Bogunovich, P. (2010). Multitasking and Monotasking: The Effects of Mental Workload on Deferred Task Interruptions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 85–88. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753340>

Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101–130. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.1.101>

Trafton, J. G., Altmann, E. M., Brock, D. P., & Mintz, F. E. (2003). Preparing to resume an interrupted task: Effects of prospective goal encoding and retrospective rehearsal. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(5), 583–603. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00023-5)

ÉTUDE 5 -

**INTERROMPS-MOI SEULEMENT SI CELA NE ME
FAIT RIEN RESENTIR – EFFET DE L'AGREABILITE
DE LA TACHE INTERRUPTICE**

Il a déjà été montré dans de nombreuses études (à l'instar de celles présentées précédemment) que chaque type d'interruption influence de façon spécifique la performance à la tâche principale (Brazzotto & Michael, 2019; Couffe & Michael, 2017; Gillie & Broadbent, 1989; Trafton & Monk, 2007). Il est donc essentiel de répertorier chaque situation pour pouvoir proposer des moyens efficaces de lutte contre les effets délétères des interruptions. Dans les études 1, 2, 3 et 4, nous avons évalué les effets de la complexité, du moment et de la source des interruptions. Ces caractéristiques d'une interruption avaient déjà été étudiées, mais leur effet ou l'explication de leur effet ne faisait pas consensus. D'autres caractéristiques n'ont cependant jamais fait l'objet d'une recherche, comme par exemple l'effet de l'agréabilité de l'interruption. Est-ce que le fait d'apprécier la tâche interromptrice influence l'effet qu'elle a sur la productivité ? Vaut-il mieux être interrompu par une tâche plaisante ou déplaisante à faire ? Bien que cette caractéristique semble très importante, surtout en contexte professionnel, la littérature ne permet pas à l'heure actuelle de répondre directement à cette question. Pourtant, de nombreuses recherches déjà menées investiguant l'effet des émotions sur la cognition pourraient nous permettre de prédire un effet spécifique de l'agréabilité des interruptions.

La charge émotionnelle contenue dans une tâche est l'un des prédicteurs les plus puissant de sa réussite (Lazarus, 2000), car elle détermine l'état émotionnel, la motivation et l'intérêt à faire la tâche. Les émotions ont ainsi une fonction régulatrice sur la plupart des fonctions cognitives (Forgas, 2017). Malheureusement, il n'apparaît pas de consensus clair sur le sens de l'effet des émotions. Certains chercheurs ont montré que les émotions positives diminuent le contrôle inhibiteur et le maintien d'informations en mémoire de travail et allongent le changement de tâches (Liu et al., 2015; Martin & Kerns, 2011; Phillips et al., 2002; Rowe et al., 2007), alors que d'autres ont montré que les émotions positives améliorent la flexibilité mentale, la créativité et l'orientation de l'attention (Pe et al., 2013; Pool et al., 2016; Wang et al., 2017). A l'inverse, des études ont montré que ressentir des émotions négatives augmente la charge cognitive, diminue les capacités de la mémoire de travail et de flexibilité mentale et interfère avec les processus inhibiteurs (Georgiou et al., 2005; Kensinger & Corkin, 2003; Song et al., 2017), alors que Xie et Zhang (2017) ont montré que les émotions négatives améliorent la précision mnésique. Nous ne pouvons donc tirer qu'une seule conclusion à la vue de ces résultats parfois contradictoires : l'émotion que l'on ressent en faisant une tâche influence sa réussite car elle affecte, positivement ou négativement, un ensemble de processus cognitifs tels que l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité mentale et l'orientation de l'attention. Tous ces processus étant théoriquement impliqués dans la suspension et la reprise d'une activité, il

est donc attendu que l'émotion ressentie en faisant la tâche interruptrice influence la capacité à reprendre la tâche principale après l'interruption.

Pour évaluer l'effet de l'agréabilité de l'interruption, nous avons construit une expérience dans laquelle les participants devaient à nouveau rechercher des emails-cibles dans de fausses boîtes de réception, comme dans les études précédentes. Pour manipuler l'agréabilité de la tâche interruptrice, nous n'avons pas réutilisé la tâche de mise-à-jour, mais une tâche d'additions : les participants devaient taper le résultat de huit additions simples qu'ils voyaient à l'écran. A chaque fois que le participant donnait une réponse, un fragment d'image apparaissait sur l'écran, l'image se dévoilant au fur et à mesure que le participant progressait dans l'interruption. Après avoir répondu à huit additions, l'image était entièrement présentée. Les images étaient à valence positive ou à valence négative.

Pour évaluer l'agréabilité de la tâche interruptrice, nous avons demandé aux participants à la fin de chaque essai (une fois la tâche principale terminée) de juger à l'aide d'une échelle SAM (Bradley & Lang, 1994) (i) la valence de l'image, (ii) son intensité et (iii) à quel point ils avaient trouvé la tâche agréable quand l'image avait été présentée. Ainsi, nous pouvions analyser le ressenti de chaque participant pour chaque essai.

DO NOT INTERRUPT ME IF IT MAKES ME
FEEL SOMETHING – STUDY OF THE EFFECT
OF THE PLEASANTNESS OF
INTERRUPTIONS ON PERFORMANCE

Paul Brazzolotto et George A. Michael

Révision Soumise

Retranscrite en version manuscrite

Abstract

Interruptions are mostly related to negative outcomes. Researchers found that the complexity or the length of interruptions modulate their deleterious effect on performance, but none of them investigated the effect of the pleasantness of interruptions on both, the interrupting and the interrupted task performance. We designed a realistic email searching primary task during which 46 participants were either not interrupted or interrupted by a simple math addition task during which a positive or a negative picture was progressively revealed. We then asked participants how pleasant they found the interrupting task and investigated the effects of perceived pleasantness both on the interrupting task and on resuming the primary task. Results showed that performance on the interrupting task was worst and the time to resume the primary task was longer when participants found the task very pleasant or very unpleasant. Performance in both tasks was the best when participants gave intermediate pleasantness judgments. The findings were independent of the valence and arousal of the pictures used to manipulate task pleasantness. These results are discussed in light of empirical studies assessing the deleterious effects of emotions on cognition, and practical implications are proposed.

Keywords: Interruptions; Pleasantness; Emotion; Email search task.

I. INTRODUCTION

Being able to complete a single activity from the beginning to its end without being interrupted is hard to achieve. Although literature provide some evidence of a beneficial effect of interruptions (Jett & George, 2003; O’Conaill & Frohlich, 1995; Zijlstra, Roe, Leonora, & Krediet, 1999), in most of the cases, they have detrimental effects on well-being and productivity (Couffe & Michael, 2017). Researchers have focused on the factors that influence the resumption of the primary task after interruptions, for instance the complexity, the length, the frequency of interruptions or the time at which the interruption occurs (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2015; Monk, Boehm-Davis, & Trafton, 2002; Zish, Hassanzadeh, McCurry, & Trafton, 2015). The pleasantness of a task may influence performance too, especially if it interrupts another one (Speier, Vessey, & Valacich, 2003). Even if emotion affects cognition (Forgas, 2008), to our knowledge the effect of the pleasantness of interruptions has been little investigated. Moreover, none of the researches seemed to investigate the effect of the pleasantness of interruptions on both, the interrupting and the interrupted task performance. The current study thus focuses on the pleasantness of interruptions in order to highlight its foreseeable effect on an interrupted activity.

An interruption is the suspension of a task to initiate another one with the assumption that the initial task will be resumed (Brixey et al. 2007). The consequences of interruptions can take the form of a longer time to perform actions relative to the primary task immediately after the interruption (e.g., Blumberg et al., 2015; Monk et al., 2008), an increase in the time required to complete the primary task (e.g., Bailey & Konstan, 2006; Gupta, Li, & Sharda, 2013), a fall-off in accuracy (e.g., Drews & Musters, 2015) or an increase of stress (Bawden & Robinson, 2009). When the progression of the primary task is interrupted, the operator has to switch to the interrupting task (Couffe & Michael, 2017). This flexible behavior is possible by activating processes related to the new task and inhibiting those related to the interrupted one. Resuming the interrupted task requires a new shift of the operator’s activity and the reactivation of the related processes shortly stored in memory during the interrupting task. This forth and back behavior is resources consuming. Flexibility, working memory, inhibition, and cognitive resources are thus involved in the resumption of the primary task and are all influenced by the pleasantness of the task (Forgas, 2008).

Completing a pleasant task makes happier, and increases interest and motivation (Reeve, 1989), although there is no consensus on whether it improves or impairs cognition and

performance. By impairing attention and generating distracting thoughts, positive emotions decrease inhibitory control, disengagement from the current task and flexibility, and impair information storage and retrieval from memory (Liu, Wang, Quan, & Li, 2015; Martin & Kerns, 2011; Phillips, Bull, Adams, & Fraser, 2002; Rowe, Hirsh, & Anderson, 2007). However, there is also evidence that positive emotion may enhance cognition. Indeed, by accelerating the change of goals and rules, it seems to improve flexibility and creativity, but it also increases working memory and facilitates orienting of attention (Pe, Koval, & Kuppens, 2013; Pool, Brosch, Delplanque, & Sander, 2016; Wang, Chen, & Yue, 2017).

As for negative emotions, they increase cognitive demands, decrease working memory and disengagement from the current task, and interfere with cognitive control and inhibition (Georgiou et al., 2005; Kensinger & Corkin, 2003; Song et al., 2017). However, there is no convergent evidence that negative emotions enhance cognition, except from a recent study showing that they increase mnemonic precision (Xie & Zhang, 2017). The inconsistency in the above-mentioned findings may be due to the methodological difference between the studies, such as the way emotion was assessed and the experimental paradigm.

Since processing an interruption involves flexibility, working memory, inhibition and cognitive resources (Couffe & Michael, 2017) and emotions seem to affect all these processes, we may hypothesize that emotion can exert an influence on performance in the context of interruptions, without knowing if the influence provides positive or negative outcomes. To test this hypothesis, a realistic primary task of email search interrupted by another task consisting of simple math additions, the completion of which revealed progressively a ground picture of negative or positive valence, was proposed. The objective of the study is to evaluate the impact of these pictures on performance both on the correct completion of the interrupting task (i.e., math additions) and on the analysis of the time needed to resume the primary task.

II. METHOD

Participants

Forty-six volunteers (18 male, 28 females; mean age = 20.4 ± 1.8 years) with normal or corrected-to-normal vision took part in this experiment. They were recruited among undergraduate students in classrooms from varied fields of study. All had normal or corrected-to-normal vision and reported no specific characteristics that could influence their performance.

The experiment was administered in a closed room in the laboratory and each participant completed it alone. An informed consent was obtained from each participant. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki.

Stimuli and material for the Primary Task

The experiment was administered on a laptop (screen: 15.6 inches) running the OpenSesame software (Version 3.1.4; Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). The participants had to find emails in pages that resembled a typical inbox (see Figure 1). Each page contained a banner of options on the left of the screen and ads on the right, which were the same on each page. Participants could not interact with them. Each page contained a list of 30 emails at the center of the screen. Each line consisted of visual elements, some of which were relevant to the task [an empty square, the name of the sender, a colored circle (either blue, light-gray or black), and an attachment symbol (a paper clip)], while other elements were irrelevant [a star (either black or white), a blue flag (either present or not), the subject line, the first words of the email, and the date of sending].



Figure 1. An example of the primary task used in the present study.

The participants had to click on the empty box on the left of the target emails, which were described by a combination of three criteria listed across the top of the page. These were

the name of the sender with an adjacent circle in a specific color and a paper clip. A click caused a cross to appear inside the empty box. Each page contained 10 target emails. In each new trial and for each email item, the combination of the three criteria and the sender names was different. When participants had finished scanning the page, they had to click on the trash icon, causing a new page to appear.

Stimuli and material for the Interrupting Task

Table 1. Judgment of the 20 ground pictures displayed during the interrupting task in the IAPS and in the current study.

Description	Picture n°	IAPS				The Current Study (46 participants)					
		Valence		Arousal		Pleasantness		Valence		Arousal	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Battered Woman	3180	1.92	1.13	5.77	2.21	2.78	1.92	2.04	1.75	6.39	2.05
Disabled Child	3300	2.74	1.56	4.55	2.06	3.07	1.34	2.93	1.57	5.07	2.13
Soldier	6212	2.19	1.49	6.01	2.44	3.09	1.53	2.22	1.72	6.52	1.92
Attack	6313	1.98	1.38	6.94	2.23	3.17	1.39	2.30	1.17	5.87	2.11
Roach On Pizza	7380	2.46	1.42	5.88	2.44	2.87	1.50	2.52	1.36	5.33	2.52
Needle	9008	3.47	1.85	4.45	2.10	2.43	1.44	2.09	1.13	5.7	2.26
Cow	9140	2.19	1.37	5.38	2.19	2.35	1.48	1.72	0.89	6.65	2.08
Dirty	9300	2.26	1.76	6,00	2.41	2.39	1.56	1.91	1.30	5.78	2.47
Handicapped	9415	2.82	2,00	4.91	2.35	3.33	1.75	2.80	1.88	5.91	2.17
Auto accident	9910	2.06	1.26	6.20	2.16	3.11	1.69	2.20	1.47	5.20	2.44
Seal	1440	8.19	1.53	4.61	2.54	6.65	1.57	7.41	1.33	5.24	2.16
Kitten	1460	8.21	1.21	4.31	2.63	6.33	1.76	6.83	1.45	4.91	2.29
Puppies	1710	8.34	1.12	5.41	2.34	6.41	1.80	7.33	1.65	5.09	2.10
Jaguars	1722	7.04	2.02	5.22	2.49	6.41	1.87	7,00	1.87	5.33	2.21
Couple	2550	7.77	1.43	4.68	2.43	6.43	1.82	7.30	1.71	5.20	2.21
Hang Glider	5626	6.71	2.06	6.10	2.19	6.11	1.72	6.80	1.36	4.85	1.92
Sky	5982	7.61	1.48	4.51	2.85	6.09	1.95	6.76	1.46	3.74	1.97
Desert	7580	7.51	1.60	4.59	2.72	5.72	1.56	6.46	1.53	3.87	2.30
Skier	8190	8.10	1.39	6.28	2.57	5.85	1.46	6.41	1.51	3.87	2.20
Athletes	8380	7.56	1.55	5.74	2.32	6.37	1.48	7.35	1.39	4.91	2.17

For the purpose of the study, thirty pictures (15 positive and 15 negative) were preselected from the International Affective Pictures System (IAPS; Lang, Bradley, & Cuthbert, 1999). We then asked a different sample of 66 participants (30 male, 36 females; mean age = 20.2 ± 1.4 years), to judge the valence and the arousal of each picture with a 9-point SAM Scale (Bradley & Lang, 1994). Among those pictures, 20 (10 positive and 10 negative) were selected with the caution that the mean arousal level for positive and negative pictures be similar (see Table 1). Each picture was used as a visual background during the interrupting task.

The interrupting task was an addition task. Participants saw successively 8 simple math additions (24-point Calibri white font) ranging from “0 + 0” to “9 + 9”.

Procedure

Each trial consisted of one inbox page and the participants completed 30 trials. Twenty trials were postponed by the interrupting task, which contained either a positive picture (10 trials) or a negative picture (10 trials). Remaining trials were uninterrupted. The tested conditions were randomly presented.

Participants started with training on each of the two tasks before completing the entire experiment. They were not informed that they would be interrupted but rather that they should do what the program told them, as quickly and accurately as possible. In the case of interrupted trials, the interruption occurred after that the participant selected a certain number of target emails between 1 to 9, randomly and equiprobably chosen by the computer. The new task appeared instantaneously on a black screen that covered the inbox and the criteria. Simple math additions were then presented on the screen one by one. For each addition, participants had 3 seconds to type the answer on the keyboard. Each time an answer was given, 1/8th of a ground picture was revealed (see Figure 2). A new addition was then presented, and so on until the 8 additions were completed. The full picture was visible at the end of the eighth addition and remained on the screen for 2 seconds. Once the interrupting task was over, the inbox reappeared in the same state as it had been left immediately before the interruption and the participants carried on with the primary task and finish it by clicking on the trash icon. If the trial contained an interruption, they then saw the picture displayed during the task and they had to judge it in three ways with a modified 9-point SAM Scale (Bradley & Lang, 1994). First, participants judged the degree at which the picture made the interrupting task pleasant (1 = very unpleasant; 9 = very pleasant). Then, they judged the valence of the picture (1 = very negative; 9 = very

positive). Finally, they judged the arousal of the picture (1 = not arousing at all; 9 = very arousing). After that, a new inbox page appeared. The entire experiment lasted approximately 40 minutes and a very short break was introduced half-way through.

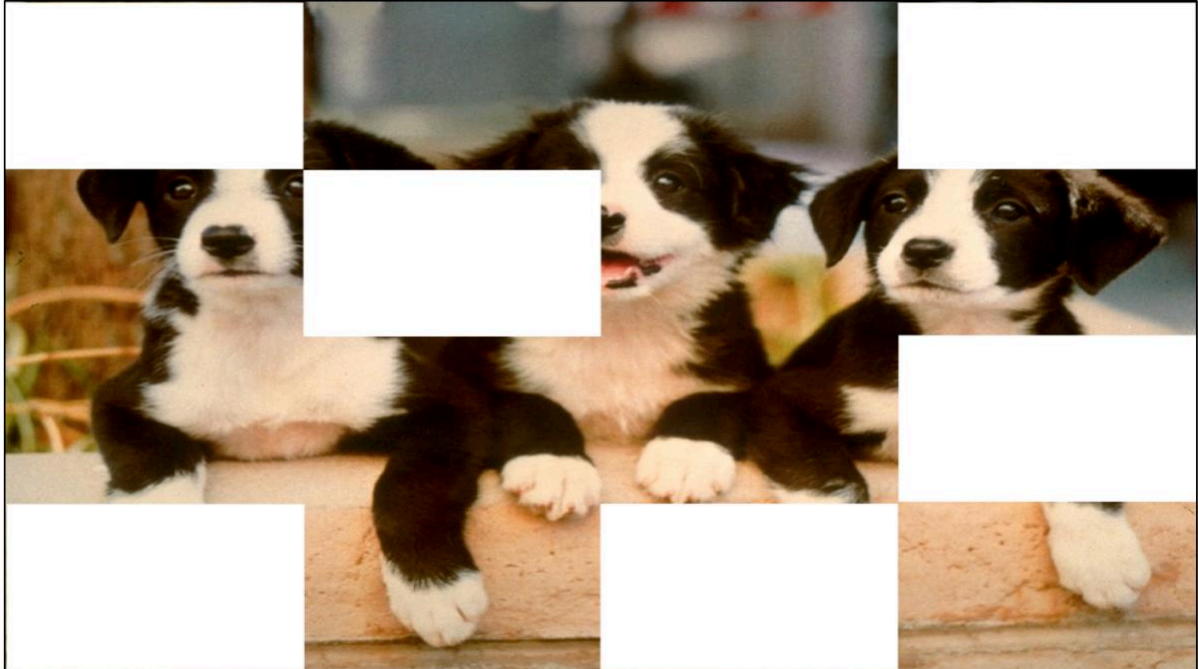


Figure 2. An example of the interrupting task used in the present study.

Two dependent variables were collected: (i) the percentage of correct responses in the interrupting tasks (i.e. Accuracy), and (ii) the time that elapsed between the reappearance of the inbox once the interruption over and the first next selected email was recorded and called Resumption Lag (i.e. RL), as defined by Altmann and Trafton (2002). For uninterrupted trials, we extracted the mean time to select an email, that we called Inter-Click-Interval (i.e. ICI); ICI can then be used as a control variable for RL.

III. RESULTS

Analyses were carried out with Statistica 12.0. We conducted correlations, trial-by-trial Analyses of Variance (ANOVA) with Bonferroni-corrected comparisons and mediation analyses. 10% of interrupted trials were removed from analyses because the participants did not select enough target emails in order to trigger the interruption. The aim was to use task pleasantness as dependent variable. However, because some participants did not rate the

interrupting task using the entire scale (1 to 9), the resulting table of means was incomplete (e.g. a participant never rated the pleasantness of the interrupting task as 3 and 6), and 33 % of the values were missing. Therefore, trial-by-trial analyses were used since using subjects as a grouping factor in a repeated measures analysis was impossible. Autocorrelations were computed in order to ensure that trials were independent from each other. The lag 1 autocorrelation coefficient was obtained for each participant and, subsequently, the average autocorrelation coefficient of the whole sample was computed using the Fisher transform. For Accuracy, the autocorrelation coefficient was not significant ($r = -0,063$; $p = 0.68$), neither for Resumption Lag ($r = 0.018$; $p = 0.90$). This suggests that the trials can be considered as being independent from each other and trial-by-trial analyses can be used.

First of all, we conducted trial-by-trial correlations analyses on valence, arousal, and task pleasantness. A positive correlation was found between valence and task pleasantness ($r = 0.81$, $p < .01$) and a negative correlation between valence and arousal ($r = 0.15$, $p < .01$) and between arousal and task pleasantness ($r = -0.15$, $p < .01$).

The second step consisted in assessing the influence of task pleasantness on Accuracy in the interrupting task independently of the valence and the arousal of the ground pictures, and the timing of the interruption. To this aim, we first extracted the residual Accuracy on the basis of multiple regression analyses with trial-by-trial Accuracy as dependent variable, and valence, arousal of pictures and timing as predictors. The residual Accuracy was then used in a trial-by-trial ANOVA with the score of task pleasantness (from 1 to 9) as inter-trial factor. The main effect of task pleasantness was significant (see Figure 3; $F_2(8, 823) = 3.56$, $p < .01$, $\eta^2p = 0.03$). A V-shaped curve was observed with accuracy being the lowest when the interrupting task was judged only as being extremely pleasant (i.e., 9) or very unpleasant (i.e., 2). Accuracy was the highest for median scores of pleasantness (5). Bonferroni-corrected comparisons showed that the only reliable differences were found between 2 and 5 ($p < .04$) and between 5 and 9 ($p < .02$); no difference was found between 2 and 9 ($p = 1.0$).

Since, the V-shaped curve resembles the Yerkes-Dodson law (Yerkes & Dodson, 1908), which states that performance is an inverted V-shaped as a function of arousal, we decided to conduct a trial-by-trial ANOVA on the residual Accuracy (computed with the valence of pictures, the perceived task pleasantness and timing as predictors) with the score of pictures arousal (from 1 to 9) as inter-trial factor. The main effect of pictures arousal was not significant

($F_2(8, 823) = 1.79$, NS, $\eta^2p = 0.02$). In the same way, the main effect of valence of the pictures was not significant ($F_2(8, 823) = 0.39$, NS, $\eta^2p = 0.004$).

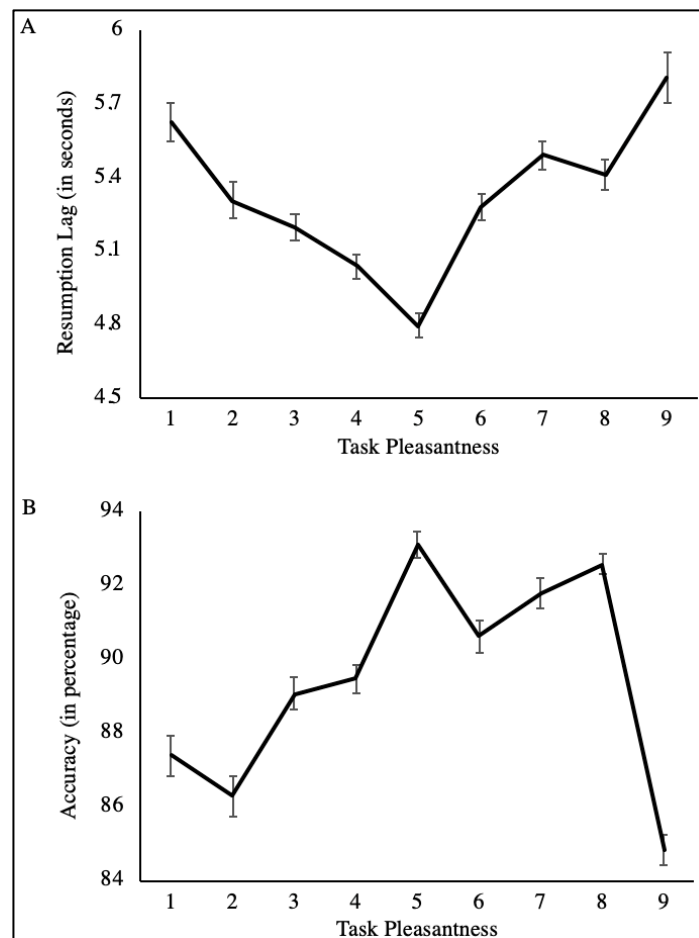


Figure 3. Mean (± 1 SEM) RL expressed in seconds (A) and Accuracy expressed in percentage (B) and plotted as a function of Interrupting Task Pleasantness and Mean ICI (A).

The third step was to demonstrate that the occurrence of an interruption, whatever its pleasantness, affected the performance of the interrupted primary task. A trial-by-trial ANOVA was used to compare ICI and RL. The analysis showed that RL (5.26 s) was significantly longer than ICI (3.36 s; $F_2(458) = 403.06$; $p < .001$; $\eta^2p = .47$), suggesting a deleterious effect of interruptions on the email search.

Finally, the effect of the pleasantness of the interrupted task on the primary task was assessed through the analysis of RL. The same logic was as before. We first extracted the residual RL on the basis of multiple regression analyses with trial-by-trial RL as dependent variable, and valence and arousal of pictures and timing as predictors. The residual RL was then used in a trial-by-trial ANOVA with the score of task pleasantness of the interrupting task (from 1 to 9) as inter-trial factor. The main effect of task pleasantness was significant (see Figure 3;

$F_2(8, 823) = 3.44$, $p < .01$, $\eta^2p = 0.03$). Once again, a V-shaped curve was observed with RL being the slowest in the extremities (1 and 9) and the shortest for the median score (5). Bonferroni-corrected comparisons showed that the only reliable differences were found between 1 and 5 ($p < .01$) and between 5 and 9 ($p < .04$); no difference was found between 1 and 9 ($p = 1.0$).

Just as for Accuracy, we decided to conduct a trial-by-trial ANOVA on the residual RL (computed with the valence of pictures, the perceived task pleasantness, and timing as predictors) with the score of pictures arousal (from 1 to 9) as inter-trial factor. The main effect of arousal of the pictures was not significant ($F_2(8, 823) = 0.58$, NS, $\eta^2p = 0.006$). In the same way, the main effect of valence of the pictures was not significant ($F_2(8, 823) = 1.34$, NS, $\eta^2p = 0.01$).

The same pattern of results was thus found for the effect of task pleasantness on Accuracy and RL. However, a question remains: does task pleasantness influences directly the RL or does it affect accuracy at first place which in turns influences RL? Indeed, succeeding the task may be a factor of pleasantness. Therefore, a mediation analysis was conducted with task pleasantness as the independent variable, the RL as the dependent variable and accuracy as the mediator. The analysis did not reveal a mediated effect of accuracy (Sobel $z = -1.5$, $p = .13$; Sobel, 1982). Accuracy in the primary task reached ceiling level since it was over 95% across all participants. Therefore, it was not analyzed.

IV. DISCUSSION

The aim of the current study was to investigate the effect of the pleasantness of an interrupting task on completing it, as well as on the time taken to resume a primary task. Participants were required to find target emails among distractors and could be interrupted by a task the background picture of which could render it pleasant or unpleasant.

As shown many times before, we found that interrupting the primary task slowed down performance (Blumberg et al., 2015; Hodgetts & Jones, 2006). However, our results mainly showed that the more the participants found the interrupting task pleasant or unpleasant, the worst they performed in it. Furthermore, under the same conditions, participants took more time to resume the primary task. Interrupting tasks that were judged as being rather neutral (or of

intermediate pleasantness) were the less deleterious both for the interrupting task and the interrupted one.

That very pleasant and very unpleasant interrupting tasks are less well performed could be due to the fact that performing emotion-charged tasks is resources consuming, whether pleasant or unpleasant (Yiend, 2010). Cognitive resources being limited, few remain available to complete the task, thus performance decreases.

That the time to resume the primary task was the longest with very pleasant and very unpleasant interrupting tasks could be understood by the impairment by emotions of processes underlying the resumption of the primary task: flexibility, working memory, inhibition, and cognitive resources. Switching from an emotion-charged interrupting task seems to be more difficult because flexibility has been shown to be impaired by positive emotions through distracting thoughts and slowing attentional shifting (Phillips et al., 2002). But also, negative emotions may dampen flexibility through impairing disengagement (Georgiou et al., 2005). Positive and negative emotions have also been shown to impair working memory (Kensinger & Corkin, 2003; Martin & Kerns, 2011), leading to disrupt the storage of processes related to the primary task, thus increasing the time to reactivate them once the interruption is over. By capturing attention, emotions could interfere with current processes and decrease performance (Liu et al., 2015; Song et al., 2017). Therefore, it could be more difficult to inhibit an interrupting task and move on when it is emotion-charged. Finally, the allocation of cognitive resources is seemingly hindered by emotions, which demand a great amount of cognitive resources (Yiend, 2010). Being limited (Kahneman, 1973), dividing resources during the interruption should then be more difficult, resulting in a higher deactivation of processes related to the primary task and then a longer time to resume it. However, this remains heavy speculative since there are no clear clues as far as which of these processes is the most impacted, and this constitutes a limitation of the present study. Future investigations could shed some light on this issue.

Overall, our results support that task pleasantness has a deleterious effect on cognition and performance, and this tallies well with numerous studies which found similar effects of emotions with simpler and less naturalistic tasks. Moreover, we found a pattern similar of the Yerkes-Dodson law (Yerkes & Dodson, 1908), but the analysis showed that the V-shaped curve of performance was not due to task pleasantness, not to arousal. Our study is novel in several regards. Usually, the effect of emotions is investigated after manipulating the valence or the arousal and the effects are analyzed as a function of these manipulations. Here, instead, we used

the judgment of pleasantness provided by each participant for each ground picture and in each new trial as independent variable in order to assess its effect on trial-by-trial performance. Moreover, all effects were analyzed independently of the perceived valence and arousal of every single items. This ensured that what was assessed was truly and solely the pleasantness of the interrupting task as perceived by each participant. Finally, we are also, to our knowledge, the first to assess the effect of the pleasantness of the interrupting task, showing that it may affect not only the interrupting task but also the interrupted one. We thus showed some effects on the current performance, and some after-effects when trying to move one. Our results could probably be extended to a real-world situation mainly because of the naturalistic and ecological aspect of our paradigm. For instance, we investigated the pleasantness through the use of ground pictures, but this could also be achieved through doing repetitive and annoying activities or creative and stimulating ones, or even through the work atmosphere and pressure. Would the results be similar? Many questions merit answers for better understanding how the pleasantness of interruptions could influence productivity and well-being at work and then resolve the subsequent issues.

The study has some limitations yet. The magnitude of the effects was low, suggesting that the effect of pleasantness was small, even if it exists. The number of trials was also quite large, what could have led to an overestimation of the significance of our trial-by-trial analyses (comparing to participant-to-participant analyses). Moreover, the collection of judgements was problematic since we wanted to ask the participant during or right after the interrupted task, but this would break the continuity of the task. Collecting the judgements between two trials was thus decided, but we are aware that times are spent before the collection. Finally, the choice of the interrupting task can be discussed. Presenting the pictures as puzzles differed from the literature, but we wanted to participants stay motivated in order to ensure that induction works. We also used pictures of the IAPS because, although they are quite old, they are frequently used.

In conclusion, very pleasant interrupting tasks as much as very unpleasant ones were both performed less well and, as a negative after-effect, impaired performance on the task that was interrupted. Our results provide empirical support to the deleterious effect of emotions on cognition, especially in the context of an interrupted activity.

V. REFERENCES

- Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: an activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_2
- Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behavior*, 22(4), 685–708. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.12.009>
- Bawden, D., & Robinson, L. (2009). The dark side of information: overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Information Science*, 35(2), 180–191. <https://doi.org/10.1177/0165551508095781>
- Blumberg, E. J., Froughi, C. K., Scheldrup, M. R., Peterson, M. S., Boehm-Davis, D. A., & Parasuraman, R. (2015). Reducing the Disruptive Effects of Interruptions With Noninvasive Brain Stimulation. *Human Factors*, 57(6), 1051–1062. <https://doi.org/10.1177/0018720814565189>
- Borst, J., Taatgen, N., & van Rijn, H. (2015). What Makes Interruptions Disruptive? A Process-Model Account of the Effects of the Problem State Bottleneck on Task Interruption and Resumption. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2971–2980. <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702156>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Brixey, J. J., Robinson, D. J., Johnson, C. W., Johnson, T. R., Turley, J. P., & Zhang, J. (2007). A concept analysis of the phenomenon interruption. *ANS. Advances in Nursing Science*, 30(1), E26-42.
- Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures Due to Interruptions or Distractions: A Review and a New Framework. *The American Journal of Psychology*, 130(2), 163–181. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.2.0163>
- Drews, F. A., & Musters, A. (2015). Individual differences in interrupted task performance: One size does not fit all. *International Journal of Human-Computer Studies*, 79, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.01.003>
- Forgas, J. P. (2008). Affect and Cognition. *Perspectives on Psychological Science*, 3(2), 94–101. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2008.00067.x>

- Georgiou, G., Bleakley, C., Hayward, J., Russo, R., Dutton, K., Eltiti, S., & Fox, E. (2005). Focusing on fear: attentional disengagement from emotional faces. *Visual Cognition*, 12(1), 145–158. <https://doi.org/10.1080/13506280444000076>
- Gupta, A., Li, H., & Sharda, R. (2013). Should I send this message? Understanding the impact of interruptions, social hierarchy and perceived task complexity on user performance and perceived workload. *Decision Support Systems*, 55(1), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.12.035>
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>
- Jett, Q. R., & George, J. M. (2003). Work Interrupted: A Closer Look at the Role of Interruptions in Organizational Life. *Academy of Management Review*, 28(3), 494–507. <https://doi.org/10.5465/AMR.2003.10196791>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.
- Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2003). Effect of negative emotional content on working memory and long-term memory. *Emotion (Washington, D.C.)*, 3(4), 378–393. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.3.4.378>
- Lang, P. J., Bradley, M., & Cuthbert, B. N. (1999). *The international affective pictures system (IAPS). Technical manual and affective ratings*. Gainesville: University of Florida.
- Liu, Y., Wang, Z., Quan, S., & Li, M. (2015). The effect of positive affect on conflict resolution: Modulated by approach-motivational intensity. *Cognition & Emotion*, 31(1), 69–82. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1081874>
- Martin, E. A., & Kerns, J. G. (2011). The influence of positive mood on different aspects of cognitive control. *Cognition & Emotion*, 25(2), 265–279. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.491652>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2002). The Attentional Costs of Interrupting Task Performance at Various Stages. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(22), 1824–1828. <https://doi.org/10.1177/154193120204602210>
- Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption

- duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299–313. <https://doi.org/10.1037/a0014402>
- O’Conaill, B., & Frohlich, D. (1995). Timespace in the Workplace: Dealing with Interruptions. *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, 262–263. <https://doi.org/10.1145/223355.223665>
- Pe, M. L., Koval, P., & Kuppens, P. (2013). Executive well-being: Updating of positive stimuli in working memory is associated with subjective well-being. *Cognition*, 126(2), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.10.002>
- Phillips, L. H., Bull, R., Adams, E., & Fraser, L. (2002). Positive mood and executive function: Evidence from Stroop and fluency tasks. *Emotion*, 2(1), 12–22. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.2.1.12>
- Pool, E., Brosch, T., Delplanque, S., & Sander, D. (2016). Attentional bias for positive emotional stimuli: A meta-analytic investigation. *Psychological Bulletin*, 142(1), 79–106. <https://doi.org/10.1037/bul0000026>
- Reeve, J. (1989). The interest-enjoyment distinction in intrinsic motivation. *Motivation and Emotion*, 13(2), 83–103. <https://doi.org/10.1007/BF00992956>
- Rowe, G., Hirsh, J. B., & Anderson, A. K. (2007). Positive affect increases the breadth of attentional selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 383–388. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605198104>
- Sobel, M. E. (1982). Asymptotic Confidence Intervals for Indirect Effects in Structural Equation Models. In *Sociological Methodology*, 290–312.
- Song, S., Zilverstand, A., Song, H., d’Oleire Uquillas, F., Wang, Y., Xie, C., ... Zou, Z. (2017). The influence of emotional interference on cognitive control: A meta-analysis of neuroimaging studies using the emotional Stroop task. *Scientific Reports*, 7(1), 2088. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2>
- Speier, C., Vessey, I., & Valacich, J. S. (2003). The Effects of Interruptions, Task Complexity, and Information Presentation on Computer-Supported Decision-Making Performance. *Decision Sciences*, 34(4), 771–797.
- Wang, Y., Chen, J., & Yue, Z. (2017). Positive Emotion Facilitates Cognitive Flexibility: An fMRI Study. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01832>
- Xie, W., & Zhang, W. (2017). Negative emotion enhances mnemonic precision and subjective feelings of remembering in visual long-term memory. *Cognition*, 166, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.05.025>
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of

- habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459–482.
<https://doi.org/10.1002/cne.920180503>
- Yiend, J. (2010). The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information. *Cognition and Emotion*, 24(1), 3–47. <https://doi.org/10.1080/02699930903205698>
- Zijlstra, F. R. H., Roe, R. A., Leonora, A. B., & Krediet, I. (1999). Temporal factors in mental work: Effects of interrupted activities. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 72(2), 163–185. <https://doi.org/10.1348/096317999166581>
- Zish, K., Hassanzadeh, S., McCurry, J. M., & Trafton, J. G. (2015). Interruptions can Change the Perceived Relationship between Accuracy and Confidence. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 59(1), 230–234. <https://doi.org/10.1177/1541931215591047>

ÉTUDE 6 -
INTERRUPTIONS ET ERREURS SSM : RECHERCHE
D'ARMES MULTIPLES DANS DES IMAGES DE
VALISES PASSEES AUX RAYON-X

Dans toutes les études précédentes, nous avons utilisé une tâche principale qui simule une activité réalisée au quotidien par de nombreuses personnes : trier ses emails. Bien que ce type d'activité soit très chronophage et que, comme nous l'avons montré de multiples fois, les interruptions augmentent le temps passé sur cette tâche, les conséquences des interruptions sont au final relativement faibles. En effet, être interrompu rajoute seulement quelques secondes supplémentaires et oublier de voir un email n'a pas d'incidences vraiment dangereuses. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés dans une dernière étude à une activité professionnelle pour laquelle les interruptions pourraient avoir de réelles conséquences néfastes pour la sécurité de la population : la détection d'armes dans des valises passées aux rayons-X. On peut imaginer qu'un agent de sécurité a besoin de concentration pour regarder attentivement le contenu des bagages qui passent dans les détecteurs et que chaque erreur, comme ne pas détecter la présence d'une arme dans une valise, peut avoir des conséquences désastreuses. On peut également penser que les agents de sécurité travaillent dans des environnements bruyants, comme dans les aéroports, et qu'ils sont donc facilement distraits. C'est donc une activité particulièrement à risques pour les interruptions.

Il existe dans la littérature un ensemble d'études qui ont été spécifiquement menées pour étudier les capacités des agents de sécurité à détecter des armes dans des bagages. Il semble qu'un phénomène soit particulièrement récurrent sur ce type d'activité : face à un nombre inconnu de cibles à trouver (i.e. recherche de cibles multiples), la possibilité de trouver une cible après en avoir déjà détecté une diminue. Cet effet s'appelle « Subsequent Search Miss » (erreur SSM ; Adamo, Cain, & Mitroff, 2013). Cet effet n'est pas spécifique à la sécurité car il a été initialement montré dans le secteur médical : Tuddenham (1962) avait démontré ce phénomène chez des radiologues analysant des radiographies de leurs patients. Il avait appelé cet effet à l'époque « Satisfaction of Search », car il pensait que les radiologues ne trouvaient pas la deuxième anomalie car ils étaient « contents » d'en avoir déjà trouvé une et arrêtaient de chercher. Cette explication a depuis été contredite, car les observateurs ne s'arrêteraient pas de chercher après avoir trouvé une cible, mais ils ne verraient seulement pas les cibles restantes (Cain et al., 2013; Mitroff et al., 2015). Depuis, deux explications ont été proposées : (i) la théorie du biais perceptif, qui stipule que la détection d'une première cible biaise le système cognitif qui aura plus de facilité à détecter des cibles identiques ; la détection de cibles différentes serait donc plus difficile (Gorbunova, 2017) et (ii) la théorie de l'épuisement des ressources, qui stipule que détecter une cible nécessiterait un engagement des ressources cognitives qui ne pourraient donc pas être utilisées pour détecter une autre cible (Adamo et al.,

2013). Quelle que soit la théorie, un effet de l'interruption est prédictible. En effet, interrompre la recherche permettrait de supprimer le biais attentionnel vers la première cible en distrayant l'attention vers une autre tâche, et libérerait les ressources cognitives engagées sur la première cible (Cain et al., 2014). Mais l'interruption peut-elle avoir un effet plus général, et influencer la performance à une tâche de recherche de cibles multiples même si elle intervient avant qu'une cible n'ait été trouvée ?

Deux expériences ont ainsi été conduites pour évaluer l'effet des interruptions sur une tâche de recherche de cibles multiples et donc sur la probabilité de faire des erreurs SSM, en fonction de son moment de survenue. Pour cela, nous avons construit une nouvelle tâche principale dans laquelle les participants devaient inspecter des images de valises passées au Rayon-X (les images ont été réalisées avec un logiciel de traitement d'images) et cliquer sur toutes les armes qu'ils trouvaient. Les armes se trouvaient au milieu de distracteurs, i.e. des objets qui se trouvent généralement dans des valises. La moitié des essais étaient interrompus par la même tâche d'additions que celle utilisée dans l'étude 5, mais sans les images. Dans l'expérience 1, les participants devaient inspecter 60 valises qui possédaient une, deux, ou pas d'armes et ils étaient interrompus 1500 ms après la première apparition de la valise pour faire en sorte que l'interruption apparaisse avant qu'une arme n'ait été trouvée. Dans l'expérience 2, les participants étaient interrompus immédiatement après avoir cliqué sur une première arme ; les valises sans armes ont donc été retirées dans cette expérience.

Suspensions and SSM errors: the case of multiple weapons in luggage X-ray images

Paul Brazzolotto et George A. Michael

Article Soumis

Retranscrite en version manuscrite

Abstract

Some workers ensure the security of individuals and suspensions could produce deleterious issues. The aim of the study is to assess the effect of interruptions on such activities and thus on a kind of errors, i.e. the SSM errors, which is a lower probability to detect a target after having already detected one. We carried out 2 experiments in which participants had to detect weapons in luggage X-ray images. In Experiment 1, suspensions occurred before any target had been detected and in Experiment 2, suspensions occurred after the first weapon had been detected. Results showed a beneficial effect of suspensions. They showed the expected SSM errors effect, with lower accuracy, poorer target detectability and a bias toward "present" responses for the second weapon, without influence from suspensions. We demonstrate experimentally that searching from weapons creates SSM errors and although suspensions improved performance, they cannot reduce this kind of errors.

Keywords: SSM errors; Multiple-target Search; Suspensions; Weapons; Airport Security

I. INTRODUCTION

Multiple-target search is a common activity in everyday life and some workplaces mitigate the security of large group of individuals, such as airport security agents looking for weapons on luggage X-rays or radiologists looking for abnormalities on scans. In these settings, misses and false positives can create very detrimental issues. However, one aspect of this research that has been completely neglected is that any task does not usually go uninterrupted. It is well known that human observers are less efficient when they have to suspend a task and afterwards continue it. The aim of the current study is thus to assess the effects of the suspension of an X-ray luggage multiple-target search task, when it occurs at the very beginning and before any target is detected, or after having detected one target.

Multiple-target search tasks are frequently associated with one peculiar kind of errors consisting in missing targets after having detected one of them. These errors are pervasive and detrimental since they may account for many professional errors (Biggs & Mitroff, 2014b). Several interpretations have been given. They were previously called errors from Satisfaction of Search, due to observers becoming supposedly “satisfied” after finding a first target. This “satisfaction” was thought to cause observers to prematurely terminate their search, even if the entire search display had not been fully inspected (Tuddenham, 1962). Although this hypothesis was fully adopted in the past, it received few empirical supports from laboratory studies (Adamo, Cain, & Mitroff, 2018). Indeed, observers seem to continue searching for targets after having detected one; they simply fail to detect them (Cain et al., 2013; Mitroff, Biggs, & Cain, 2015). This runs counter any prematurely terminated search.

The term of Subsequent Search Miss errors (SSM) was thus preferred, and two hypotheses were proposed. A first explanation of SSM errors refers to “perceptual bias”. The first target would act like a prime and thus attract attention by generating mental activation for its perceptual and semantic features. The observer is thus more likely to find perceptually and conceptually similar targets and less likely to find targets that are dissimilar. This hypothesis was supported by the fact that perceptual and conceptual similarity between targets reduces SSM errors (Biggs, Adamo, Dowd, & Mitroff, 2015; Gorbunova, 2017). A further explanation referring to “resource depletion” was given in order to account for SSM errors (Cain & Mitroff, 2012). It is assumed that the location or identity of the target that has been detected is maintained in working memory for the rest of the search. This consumes resources that are no more available to other search processes (Adamo, Cain, & Mitroff, 2017; Cain, Biggs, Darling,

& Mitroff, 2014; Cain et al., 2014; Stothart, Clement, & Brockmole, 2018). Some factors were highlighted to influence the probability to commit SSM errors, for instance the state and characteristics of the detector, the targets, or the situation it-self (Biggs et al., 2015; Biggs, Clark, & Mitroff, 2017; Biggs & Mitroff, 2014a; Fleck, Samei, & Mitroff, 2010). Indeed, time pressure and fatigue increase SSM errors (Fleck et al., 2010; Krupinski, Berbaum, Schartz, Caldwell, & Madsen, 2017) while poor vigilance, poor attentional modulation (Adamo et al., 2017) and controlled, planned and conscientious individuals are associated with less SSM errors.

What about suspensions? Does the probability to commit SSM errors change when the search task is briefly interrupted? For instance, while searching for forbidden objects in X-ray of luggage, an airport security agent may be solicited by a colleague. Search may then be stopped briefly and continued afterwards. Would the agent be as efficient as when he is not interrupted? In suspended situations accuracy drops (Hodgetts & Jones, 2006), probably because brief suspensions create an additional demand in cognitive resources (Trafton, Altmann, & Ratwani, 2011). This would predict an increase in SSM errors in situations where multiple-target search is suspended. However, a brief suspension could also suppress the perceptual prime and free the cognitive resources posited in the target that has already been found (Cain et al., 2014). If this were the case, the number of SSM errors would be expected to decrease. Yet, such an effect would be observed only if the suspension occurred after having detected one target. If the search task were suspended before any target was found, no effect would be expected.

The aim of the current study was therefore to investigate the probability to commit SSM errors when the multiple-target search task is suspended. Participants searched for weapons on luggage X-ray pictures that was suspended in order to complete a simple and brief addition task. In order to assess the effect of the timing of the suspension, in Experiment 1 the search task was suspended before any weapon was found and, in Experiment 2 it occurred just after the first target was found.

II. METHOD

Participants

A total of 111 healthy volunteers took part in this study: 57 (26 male, 31 female; mean age = 21.2 ± 2.9 years) in Experiment 1, and 54 (3 male, 51 female; mean age = 20.5 ± 1.8

years) in Experiment 2. They were all under-graduate students, and all reported normal or corrected-to-normal vision. Participants were not remunerated and all of them gave their informed written consent for their participation prior to the test. This research complied with the American Psychological Association Code of Ethics and the tenets of the Declaration of Helsinki.

Stimuli and material for the Search Task

Participants had to find weapons on X-ray luggage pictures. Each picture (see Figure 1) showed a suitcase containing entangled items. We applied visual filters so that items were transparent and unicolored. In this way, the suitcase was orange, half of the items were blue, and the other half were green. There were two kinds of items: weapons and fillers. Weapons could be a knife, a screwdriver, a gun, a grenade, a box cutter and a pair of scissors. Fillers were items that we usually find in a suitcase, e.g. a wallet, a hairbrush, shoes, or a cellphone.



Figure 1. *An example of the primary task used in the present study. Participants had to find all the weapons hidden in the luggage X-Ray pictures as quickly and accurately as possible*

There was a total of 36 possible fillers, randomly and equiprobably distributed through the X-ray displays. The number of fillers was calculated as a function of the number of weapons in order that there were always 18 objects in each suitcase. This aimed at avoiding any set size effects (Treisman & Gelade, 1980). The participants were instructed to scan each luggage X-ray as fast as possible, to position their mouse cursor on each weapon and to click, causing a

check mark to appear. The mark also appeared if the selected object was a filler. When they estimated they found all the weapons, participants had to click on an arrow displayed on the right of the luggage, causing a new luggage to appear.

Stimuli and material for the Addition Task

An addition task was proposed. Participants saw a black screen with successively 8 simple math additions (24-point Calibri white font) ranging from “0 + 0” to “9 + 9”. They had three seconds to type the answer on the keyboard before a new addition appeared. The distractor task always lasted 25 seconds.

Experimental design and procedure

The experiments were administered on a laptop (screen: 15.6 inches) running the OpenSesame software (Version 3.1.4; Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). Each trial consisted in one X-Ray luggage picture. In Experiment 1, each luggage contained either none, one or two weapons and participants completed 60 trials (i.e, 20 luggage pictures per number of weapons). Half of the trials were suspended. The distractor task appeared just 1500 ms from the beginning of each trial in order that participants had no sufficient time to find and click on any weapon. In Experiment 2, participants completed 40 trials, with luggage containing either 1 or 2 weapons. In both experiment, there were never twice the same weapon in double-weapons trials. Half of the trials were suspended after the participants had clicked on a first weapon. The distractor task did not occur if the first click was a false positive, but it occurred if the participant found a target afterwards. Trials with no target were not included since we were interested in the effect of the suspension after the detection of a first target. The type of weapon and its location in the luggage were randomly and equiprobably distributed between conditions.

Participants started by watching and memorizing the six weapons they could find in the luggage. They were then trained on the two tasks before completing the experiment. They were not informed that they would be interrupted but rather that they should do what the program told them. At each new trial, the mouse icon appeared in a red square in the bottom right of the screen in order that the icon could not stand directly on a weapon. In the case of suspended trials, a black screen that covered the luggage, making it impossible to continue the weapon search. The distractor task appeared instantaneously on this black screen. Once the distractor task was over, the luggage reappeared, and participants had to continue scanning the suitcase. All the marked objects found before the suspension were still marked after the suspension.

To measure SSM errors, we compared detection of one target of single-target trials with detection of the second target on two-target trials when another target had been found first (Biggs & Mitroff, 2014a). We decided to measure SSM errors in three different ways: (i) the proportion of correct responses in the weapon search task, i.e. sum of hits and correct rejections/sum of hits, omissions, false alarms and correct rejections (PC). For trials with no weapons (Experiment 1), PC was calculated as follows: corrected rejections/ sum of correct rejections and false alarms; (ii) signal detection analyses were also carried out in order to unravel the effects of suspensions on the ability to detect the first and the second weapons (d' index), and (iii) response criterion C , i.e. trend toward target-present (permissive) or target-absent (conservative) responses. Hit rates (i.e. clicking on a weapon) and false alarms (i.e. clicking on a filler) were used to compute the d' and the C index for each participant. The Fienberg correction (Fienberg, 2007) was applied to all data in order to preserve group homogeneity.

III. RESULTS OF EXPERIMENT 1

Suspended trials in which the participants clicked on a weapon before the suspension were removed and this accounted for less than 2 % of the total number of trials. Moreover, in order to calculate SSM errors, trials with two weapons in which no weapon was found were also removed, and this accounted for less than 3 % of the total number of trials.

Proportion of correct responses

Firstly, we compared the unsuspended to the suspended zero-weapon trials through a t-test. No difference was found (Without Suspension: $M = 0.996$, $SD = 0.000$; With Suspension: $M = 0.995$, $SD = 0.001$; $t(56) = 0.65$, $p = .52$, Cohen's $d = 0.086$).

Next, a repeated measures Analysis of Variance (ANOVA) was carried out with Suspension (With vs. Without) and the Weapon order (1st vs. 2nd) as within-participant factors (see Figure 2). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 56) = 18.10$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.24$. Accuracy was greater when the primary task was suspended ($M = 0.986$, $SD = 0.001$) than when it was not ($M = 0.981$, $SD = 0.001$). The classical SSM errors was found since the main effect of Weapon Order was also significant, $F(1, 56) = 4.80$; $p < .03$, $\eta^2p = 0.08$,

with greater accuracy for the first weapon ($M = 0.985$, $SD = 0.001$) than for the second weapon ($M = 0.983$, $SD = 0.001$). Finally, the Suspension x Number of Weapons interaction did not reach significance, $F(1, 56) = 0.01$; $p = .92$, $\eta^2p = 0.00$.

Sensitivity index d'

A repeated measures ANOVA was carried out on the d' with Suspension and the weapon Order as within-participants factors (see Figure 2). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 56) = 14.25$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.20$. Sensitivity was greater when the search task was suspended ($M = 3.51$, $SD = 0.11$) than when it was not ($M = 3.29$, $SD = 0.12$). The main effect of Weapon Order was also significant, $F(1, 56) = 7.52$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.12$. Sensitivity was greater for the first weapon ($M = 3.50$, $SD = 0.09$) than for the second weapon ($M = 3.31$, $SD = 0.10$). Finally, the Suspension x Weapon Order interaction did not reach significance, $F(1, 56) = 0.39$; $p = .53$, $\eta^2p = 0.01$.

Criterion C

A repeated measures ANOVA was carried out on the C with Suspension and Weapon Order as within-participants factors (see Figure 2). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 56) = 12.63$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.18$. C values were lower when the search task was suspended ($M = 0.78$, $SD = 0.02$) than when it was not ($M = 0.89$, $SD = 0.03$). A low C value reflecting permissive response criterion, this analysis suggests that, following a suspension, participants were more inclined to say that a weapon was present than when the primary task was not suspended. The main effect of Weapon Order was also significant, $F(1, 56) = 101.14$; $p < .001$, $\eta^2p = 0.64$. Criterion C was higher for the 2nd weapon ($M = 1.02$, $SD = 0.02$) than for the 1st weapon ($M = 0.66$, $SD = 0.04$). This suggests that participants were less inclined to say that a weapon was present after having detected the first one. Finally, the Suspension x Weapon Order interaction did not reach significance, $F(1, 56) = 0.39$; $p = .53$, $\eta^2p = 0.01$.

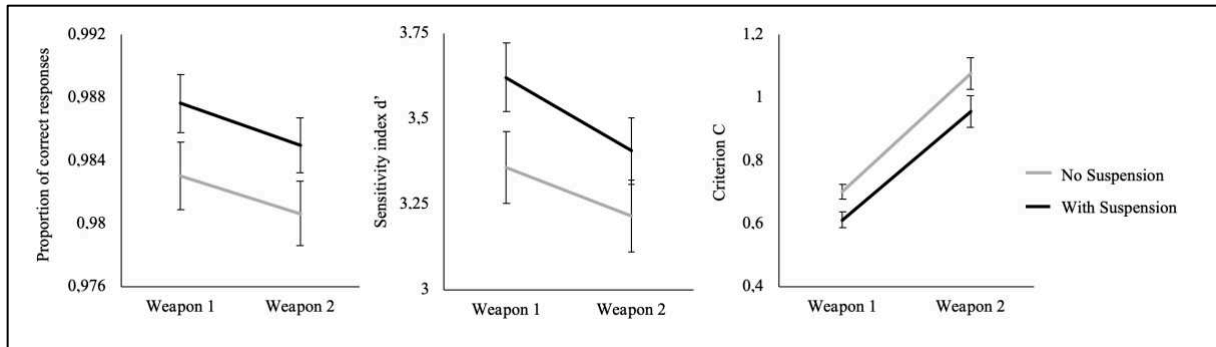


Figure 2. Experiment 1 - Mean (± 1 SEM) Proportion of correct responses, d' index and Criterion C plotted as a function of Weapon order and the Presence of a Suspension.

Results thus show the expected SSM pattern since participants detected less well the second weapon and used a conservative response criterion for it by being less inclined to respond that it was present. Results also showed that suspensions had a beneficial effect on performance. Indeed, more correct responses and higher sensitivity were observed after suspension, but also a permissive response criterion suggesting that participants were more willing to respond that a target was present. Finally, suspensions do not seem to influence the occurrence and the amplitude of the SSM pattern since we did not find any interaction in any of the three analyzed variables.

IV. RESULTS OF EXPERIMENT 2

As for Experiment 1, trials with two weapons in which no weapon was found were removed, and this accounted for less than 2 % of the total number of trials.

Proportion of correct responses

A repeated measures ANOVA was carried out on the PC with Suspension and the Weapon Order as within-participant factors (see Figure 3). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 53) = 4.00$; $p = .04$, $\eta^2p = 0.07$ (Without Suspension: $M = 0.992$, $SD = 0.001$; With Suspension: $M = 0.994$, $SD = 0.001$), as well as the main effect of Weapon Order, $F(1, 53) = 33.18$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.39$ (1st Weapon: $M = 0.996$, $SD = 0.001$; 2nd Weapon: $M = 0.991$, $SD = 0.001$). The Suspension \times Weapon Order interaction was also significant, $F(1, 53) = 4.97$; $p < .02$, $\eta^2p = 0.09$. Newman-Keuls post-hoc comparisons showed that for

trials with 1 weapon, there was no difference as a function of the Suspension (Without Suspension: $M = 0.996$, $SD = 0.001$; With Suspension: $M = 0.996$, $SD = 0.001$; $p = .93$). For the second weapon, accuracy was greater when the search task was suspended ($M = 0.993$, $SD = 0.001$) than when it was not ($M = 0.989$, $SD = 0.001$; $p < .01$).

Sensitivity index d'

A repeated measures ANOVA was carried out on the d' with Suspension and the weapon Order as within-participants factors (see Figure 3). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 53) = 15.61$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.23$. Sensitivity was greater when the search task was suspended ($M = 4.06$, $SD = 0.05$) than when it was not ($M = 3.86$, $SD = 0.07$). The main effect of Weapon Order was also significant, $F(1, 53) = 58.65$; $p < .01$, $\eta^2p = 0.53$. Sensitivity was greater for the first weapon ($M = 4.15$, $SD = 0.05$) than for the second weapon ($M = 3.77$, $SD = 0.06$). Finally, the Suspension x Weapon Order interaction was only marginally significant, $F(1, 53) = 3.07$; $p = .09$, $\eta^2p = 0.05$. Nevertheless, we conducted Newman-Keuls post-hoc comparisons which showed similar differences than PC, with no difference as a function of the Suspension for trials with 1 weapon (Without Suspension: $M = 4.10$, $SD = 0.06$; With Suspension: $M = 4.19$, $SD = 0.04$; $p = .29$). For the second weapon, sensitivity was greater when the search task was suspended ($M = 3.93$, $SD = 0.06$) than when it was not ($M = 3.62$, $SD = 0.08$; $p < .01$).

Criterion C

A repeated measures ANOVA was carried out on the C with Suspension and Weapon Order as within-participants factors (see Figure 3). The main effect of Suspension was significant, $F(1, 53) = 31.32$; $p < .001$, $\eta^2p = 0.37$. C values were lower when the search task was suspended ($M = 0.57$, $SD = 0.02$) than when it was not ($M = 0.72$, $SD = 0.04$) suggesting that participants were more inclined to say that a weapon was present when the search task was suspended. The main effect of Weapon Order was also significant, $F(1, 53) = 72.02$; $p < .001$, $\eta^2p = 0.58$. Criterion C was higher for the 2nd weapon ($M = 0.77$, $SD = 0.03$) than for the 1st weapon ($M = 0.52$, $SD = 0.03$), suggesting that participants were less inclined to say that a weapon was present after having detected the first one. Finally, the Suspension x Weapon Order interaction did not reach significance, $F(1, 53) = 0.31$; $p = .58$, $\eta^2p = 0.01$.

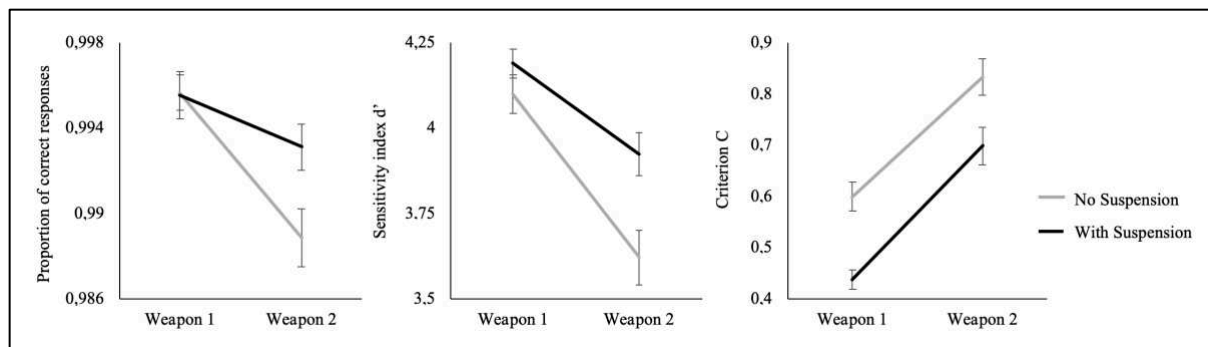


Figure 3. Experiment 2 - Mean (± 1 SEM) Proportion of correct responses, Sensitivity d' index and Criterion C plotted as a function of Weapon order and the Presence of a Suspension.

V. DISCUSSION

The aim of the current study was to assess the effects of suspensions on a multiple-target naturalistic X-ray luggage search task and, therefore, on a peculiar kind of errors, the SSM. We also manipulated the timing of the suspension: in Experiment 1, suspensions occurred before any weapon could be found, and in Experiment 2 suspensions occurred just after the first weapon had been found.

Results of both experiments showed the expected SSM errors, with lower overall accuracy for detecting a weapon among distractors after having already found one (Biggs, Kramer, & Mitroff, 2018; Mitroff et al., 2015). The signal detection analysis suggests that this effect is at least due to low-level processes, like the ability to distinguish targets from fillers. This may be a reminiscence of the repetition blindness, a phenomenon consisting in poor detection and recognition of an item that occurs twice (Kanwisher, Kim, & Wickens, 1996; Mozer, 1989). Repetition blindness has not only been reported for physically identical items, but also for semantically related ones (Buttle, Ball, Zhang, & Raymond, 2003). This is why the SSM errors might be a kind of repetition blindness since participants are serially searching for items from the same semantic category, even though they are physically different. Such kind of drop in detectability has already been reported previously in tasks involving low-level visual mechanisms (Derrington, 1990), and the dominant interpretation is that it reflects attentional limitations during visual image processing (Buttle et al., 2003).

Also, the signal detection analysis reveals something new. An SSM-like pattern was found in response criterion, suggesting that this might also be a matter of high-level decisional

processes. Participants seemingly adopt a more conservative response criterion after having detected the first weapon, meaning that they hesitate to decide whether another target is present. Even though participants may continue searching (Cain et al., 2013), they may make probabilistic hypotheses about finding a second target (the Neyman-Pearson lemma; Neyman & Pearson, 1933). Adopting a more conservative response criterion may be a good strategy for avoiding false positives, leading therefore to responding that no other weapon is present in the luggage. We can therefore suggest that SSM errors might reflect a combination of attentional limitations (Buttle et al., 2003) and a shift toward hesitant decision-making after the detection of the first target.

We wanted to know if a suspension could influence the performance in a multiple-target search task. Both experiments showed a beneficial effect of suspensions, with higher overall accuracy for detecting a weapon among distractors after suspension. The signal detection analysis suggests that this reflects enhanced signal-to-noise ratio, such as it becomes easier to distinguish weapons from fillers. This improving effect of suspension is quite surprising since the majority of research reports a deleterious (or, in some cases, no effect at all) of the suspension on performance (Brazzolotto & Michael, in press; Drews & Musters, 2015). Yet, it was also proposed that suspending a task could have a recreational or rejuvenating function (Jett & George, 2003). Also, an alerting effect may occur when forcing the shift from one task to another, increasing therefore readiness, enhancing perceptual processing, but also increasing motivation and willingness to complete the task. This is may be what is reflected through the shift towards a permissive response criterion after suspension.

The fact that suspensions had the same effect on performance whatever their timing, is a quite surprising finding. Indeed, the results of Experiment 1 showed that suspensions influenced equally well the processing of the first and the second target. The beneficial effect of suspensions is seemingly long living since they continue after the detection of a first weapon. And this, despite the fact that the detection of the first weapon decreases the detection of the second weapon. Our results cannot support the "resource depletion" account (Cain et al., 2014) since it would be expected that suspensions free cognitive resources posited in the first target, leaving them available to continue searching for another target. In Experiment 1, suspensions also influence the detectability of the 1st weapon, while no weapon was found before (and, hence, no resources had been used at this aim). The detection of the second weapon was also improved by the suspension although it did not occur just before. SSM patterns and the effects

of suspensions seemingly involve different and independent processes. Here, we suggest that attentional limitations and shifts toward hesitant decision-making (which may determine the SSM patterns), but also changes in target detectability and alerting due to suspensions do not share any locus of interaction.

Our study brings important novelties in the understanding of behavior in multiple-target search. First, we show that finding a first target does not only decrease the probability to find a second one (i.e. an SSM error), but also produces changes in response criterion, reflecting shifts in decision-making. Second, we show that suspending a multiple target search task improves subsequent searching by increasing accuracy and ability to distinguish weapons from fillers, but also a shift towards a more permissive response criterion. Once again, this is quite new in the multiple target search literature. We demonstrated that SSM errors are not influenced directly by suspensions, meaning that they probably do not share any common processes. Even if this would be in conflict with all the recommendations on previous works built upon interrupted activities, our results could be taken into considerations in medical and security settings where SSM errors may have dramatic consequences. This interrogates the working conditions of airport security agents looking for weapons on luggage X-rays since they would probably perform better after suspensions. Thus, it would be interesting to investigate the improving effect of suspensions in a real context, with professional security agents.

The study has some limitations yet. Indeed, we wanted to use a search task as naturalistic as possible, contrary to the majority of research exploring SSM errors. We made it realistic but, at the same time, sufficiently controlled to exclude unwanted effects. There is thus some randomness, like the placement and the entanglement of the objects in luggage. Moreover, the addition task being not naturalistic, so the whole experiment cannot truly mimic a realistic work situation. This was nevertheless the only way to ensure that the suspension did not create unwanted side effects, since we could control all the parameters which can have an effect on the resumption of the primary task (e.g. the length, arousal, similarity to the primary task, etc.).

To conclude, we would like to pinpoint that the novel patterns of findings reported in this paper do not tally well with both the extant theoretical accounts concerning SSM errors and those of interrupted activity. This is why, new theoretical directions are given. Future research may extend and complete these findings and, therefore, contribute to both theoretical and practical/applied aspects of this kind of research.

VI. REFERENCES

- Adamo, S. H., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2017). An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention. *Vision Research*, 141, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.10.010>
- Adamo, S. H., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2018). Satisfaction at last: evidence for the “satisfaction” account for multiple-target search errors. *Proceedings Volume 10577, Medical Imaging 2018: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*. Presented at the Houston, Texas, USA. <https://doi.org/10.1117/12.2293692>
- Biggs, A. T., Adamo, S. H., Dowd, E. W., & Mitroff, S. R. (2015). Examining perceptual and conceptual set biases in multiple-target visual search. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77(3), 844–855. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0822-0>
- Biggs, A. T., Clark, K., & Mitroff, S. R. (2017). Who should be searching? Differences in personality can affect visual search accuracy. *Personality and Individual Differences*, 116, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.045>
- Biggs, A. T., Kramer, M. R., & Mitroff, S. R. (2018). Using Cognitive Psychology Research to Inform Professional Visual Search Operations. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(2), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.04.001>
- Biggs, A. T., & Mitroff, S. R. (2014a). Different Predictors of Multiple-Target Search Accuracy between Nonprofessional and Professional Visual Searchers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(7), 1335–1348. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.859715>
- Biggs, A. T., & Mitroff, S. R. (2014b). Improving the Efficacy of Security Screening Tasks: A Review of Visual Search Challenges and Ways to Mitigate Their Adverse Effects. *Applied Cognitive Psychology*, 29(1), 142–148. <https://doi.org/10.1002/acp.3083>
- Brazzolotto, P., & Michael, G. A. (in press). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*.
- Buttle, H., Ball, C. K., Zhang, J., & Raymond, J. E. (2003). Semantic repetition blindness: Picture versus word effects. *Journal of Vision*, 3(9), 592–592. <https://doi.org/10.1167/3.9.592>

- Cain, M. S., Adamo, S. H., & Mitroff, S. R. (2013). A taxonomy of errors in multiple-target visual search. *Visual Cognition*, 21(7), 899–921. <https://doi.org/10.1080/13506285.2013.843627>
- Cain, M. S., Biggs, A. T., Darling, E. F., & Mitroff, S. R. (2014). A little bit of history repeating: Splitting up multiple-target visual searches decreases second-target miss errors. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 20(2), 112–125. <https://doi.org/10.1037/xap0000014>
- Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2012). Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 39(5), 1398–1408. <https://doi.org/10.1037/a0030726>
- Derrington, A. M. (1990). Mechanisms for coding luminance patterns: are they really linear? In *Vision: coding and efficiency* (C. Blakemore). Cambridge University Press.
- Drews, F. A., & Musters, A. (2015). Individual differences in interrupted task performance: One size does not fit all. *International Journal of Human-Computer Studies*, 79, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.01.003>
- Fienberg, S. E. (2007). *The Analysis of Cross-Classified Categorical Data* (2nd ed.). Retrieved from <https://www.springer.com/gp/book/9780387728247>
- Fleck, M. S., Samei, E., & Mitroff, S. R. (2010). Generalized “Satisfaction of Search”: Adverse Influences on Dual-Target Search Accuracy. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 16(1). <https://doi.org/10.1037/a0018629>
- Gorbunova, E. S. (2017). Perceptual similarity in visual search for multiple targets. *Acta Psychologica*, 173, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.11.010>
- Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>
- Jett, Q. R., & George, J. M. (2003). Work Interrupted: A Closer Look at the Role of Interruptions in Organizational Life. *Academy of Management Review*, 28(3), 494–507. <https://doi.org/10.5465/AMR.2003.10196791>
- Kanwisher, N. G., Kim, J. W., & Wickens, T. D. (1996). Signal detection analyses of repetition blindness. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22(5), 1249–1260.
- Krupinski, E. A., Berbaum, K. S., Schartz, K. M., Caldwell, R. T., & Madsen, M. T. (2017).

- The Impact of Fatigue on Satisfaction of Search in Chest Radiography. *Academic Radiology*, 24(9), 1058–1063. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2017.03.021>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Mitroff, S. R., Biggs, A. T., & Cain, M. S. (2015). Multiple-Target Visual Search Errors: Overview and Implications for Airport Security. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 2(1), 121–128. <https://doi.org/10.1177/2372732215601111>
- Mozer, M. C. (1989). Types and tokens in visual letter perception. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 15(2), 287–303.
- Neyman, J., & Pearson, E. S. (1933). On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 231, 289–337. Retrieved from JSTOR.
- Stothart, C., Clement, A., & Brockmole, J. R. (2018). Satisfaction in motion: Subsequent search misses are more likely in moving search displays. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 409–415. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1300-1>
- Trafton, J. G., Altmann, E. M., & Ratwani, R. M. (2011). A memory for goals model of sequence errors. *Cognitive Systems Research*, 12(2), 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2010.07.010>
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Tuddenham, W. J. (1962). Visual search, image organization, and reader error in roentgen diagnosis. *Studies of the psycho-physiology of roentgen image perception. Radiology*, 78, 694–704. <https://doi.org/10.1148/78.5.694>

SYNOPSIS

Dans le synopsis, nous allons synthétiser et comparer tous les résultats obtenus dans ce travail de thèse. Pour rappel, six études différentes ont été menées. Dans l'étude 1, nous avons manipulé simultanément la complexité et le moment de l'interruption pour mettre en évidence une interaction entre ces deux facteurs. Dans l'étude 2, nous avons comparé les performances des participants en situation d'interruption à leur performance sur des tests cognitifs mesurant des processus cognitifs spécifiques pour identifier les fonctions cognitives nécessaires pour suspendre une activité. Dans l'étude 3, nous nous sommes concentrés sur la complexité de la tâche interruptrice pour isoler une théorie parmi celles proposées dans la littérature pour expliquer l'effet de ce facteur. Dans l'étude 4, nous avons investigué l'effet de la source des interruptions, pour montrer les différences entre interruptions auto et hétérogénérées. Dans l'étude 5, nous avons évalué l'effet de l'agréabilité de la tâche interruptrice. Enfin, nous nous sommes intéressés dans l'étude 6 à une situation de travail pour laquelle les interruptions auraient pu avoir des conséquences désastreuses, à savoir la détection d'armes dissimulées dans des valises. Nous allons discuter des apports théoriques de ces études, en montrant comment les résultats que nous avons obtenus permettent de mieux comprendre les effets des interruptions et de leurs caractéristiques. Nous allons ainsi proposer des améliorations aux modèles existants, et spécifiquement sur le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017) qui est le modèle le plus récent mais aussi le plus exhaustif. Nous aborderons ensuite les implications pratiques de nos travaux et les recommandations que nous pouvons proposer à la vue de nos résultats. Enfin, nous discuterons les moyens existants pour lutter contre le nombre et l'effet négatif des interruptions dans le monde du travail et nous proposerons des solutions pour améliorer les dispositifs déjà mis en place dans les entreprises, ou pour en créer de nouveaux.

I. LES INTERRUPTIONS SONT-ELLES VRAIMENT TOUJOURS PERTURBANTES ?

L'une des conclusions indéniables des six études exposées précédemment est qu'être interrompu perturbe la réalisation de la tâche en cours. Mais cette assertion est toutefois à nuancer. Toutes les tâches principales ne semblent pas être impactées de la même façon par l'interruption et toutes les tâches interruptrices n'impactent pas l'efficacité de la tâche principale de la même façon. Il est donc nécessaire de distinguer chaque composante des situations d'interruptions

I.A. Ne m'interromps pas, je suis en train de trier mes emails...

C'est le résultat le plus robuste de ce travail de thèse. Être interrompu alors que l'on est en train de chercher des emails à supprimer est délétère pour la majorité des 370 participants testés dans les études 1 à 5, car du temps est nécessaire pour reprendre la recherche après l'interruption. Ce résultat semble faire consensus dans le monde scientifique et est une conviction adoptée par le plus grand nombre. En effet, il est communément admis que les interruptions sont perturbantes, car elles nous distraient et enrayent notre concentration. Cette idée est étayée par de nombreux résultats montrant qu'être interrompu augmente le temps total pour finir la tâche principale (Bailey & Konstan, 2006; Bailey et al., 2000; Monk, 2004), allonge la première action post-interruption (Blumberg et al., 2015; Brazzolotto & Michael, 2019; Cades et al., 2008; Monk et al., 2004; Ratwani & Trafton, 2008; Salvucci, 2010) et augmente le nombre d'erreurs (Drews & Musters, 2015; Eyrolle & Cellier, 2000; Foroughi, Malihi, et al., 2016; Li et al., 2008; Szumowska & Kossowska, 2016; Zish & Trafton, 2014). Les interruptions peuvent également avoir des effets négatifs sur l'individu, car elles peuvent augmenter sa charge mentale (Adamczyk & Bailey, 2004). Cependant, contrairement à une grande partie des études précédemment citées, nous faisons partie des rares à avoir étudié l'impact des interruptions sur une tâche de recherche visuelle aussi simple, et qui a pu montrer un effet des interruptions sur le temps de reprise de la tâche principale. En effet, notre tâche de tri d'emails est courte, répétitive, plutôt ennuyante et ne demande pas une charge mentale élevée. Le choix de cette tâche était voulu, car elle représente un type d'activité fréquemment réalisé au quotidien. Cela montre que n'importe quelle tâche peut subir l'effet des interruptions, quelles que soient ses caractéristiques.

I.B. ... mais je cherche des armes maintenant, tu peux y aller !

Cependant, toutes les études scientifiques n'ont pas forcément mis en évidence un effet délétère des interruptions. Plusieurs ont ainsi montré qu'être interrompu produisait soit aucun effet particulier sur la performance (Adamczyk & Bailey, 2004; Bailey & Konstan, 2006; Gillie & Broadbent, 1989), soit améliorait les performances dans la tâche principale (Jett & George, 2003; Zijlstra et al., 1999). Certaines tâches, mais surtout certaines mesures sont ainsi plus ou moins sensibles à l'effet des interruptions. C'est ce qui permettrait par exemple d'expliquer pourquoi les interruptions ont un effet bénéfique sur la détection des armes dans l'étude 6. Dans

certains cas, notamment dans une tâche principale de recherche d'un nombre inconnu de cibles courte et attrayante (chercher des armes dans des valises est plus agréable que chercher des emails dans des boîtes de réception d'après les participants), être interrompu peut avoir une fonction rafraichissante et récréative, car des efforts sont redéployés pour terminer correctement la tâche principale, même à long terme (Jett & George, 2003). De plus, un effet d'alerte peut se produire lorsque l'on force le passage d'une tâche à une autre, augmentant ainsi la réactivité, améliorant le traitement perceptuel, mais aussi la motivation pour accomplir la tâche. C'est peut-être ce qui se reflète dans le passage à un critère de réponse plus laxiste après la suspension. Cependant, l'interruption ne parvient pas complètement à supprimer les erreurs SSM (plus faible probabilité de trouver une cible après en avoir trouvé une), car bien que la précision soit meilleure après l'interruption, elle reste toujours plus faible pour la deuxième cible.

Ces résultats ne peuvent toutefois pas être directement comparés à ceux des études 1 à 5 car les mesures étudiées sont complètement différentes et ne sont pas appréciables de la même façon. La mesure choisie pour évaluer les effets des interruptions est donc un élément important à prendre en compte dans l'évaluation de l'effet des interruptions.

I.C. Une multitude d'interruptions pour une multitude d'effets

Un deuxième enseignement à tirer de ce travail de thèse est que toutes les interruptions sont différentes. Il est donc nécessaire d'étudier isolément chaque type d'interruption, puis de les manipuler avec d'autres caractéristiques. Grâce à cette méthode, nous avons pu approfondir nos connaissances concernant certains facteurs dont l'effet était soit mal connu (i.e. la complexité, le moment et la source des interruptions), soit inconnu (i.e. l'agréabilité de la tâche interromptrice).

I.C.1. Déclinez les tâches interromptrices trop complexes

La complexité de la tâche interromptrice est l'une des caractéristiques des interruptions les plus étudiées dans la littérature et son effet fait consensus : augmenter la complexité de la tâche interromptrice augmente le temps de reprise de la tâche principale (Borst et al., 2015; Cades et al., 2007, 2008, 2008; Eyrolle & Cellier, 2000; Gillie & Broadbent, 1989; Hodgetts & Jones, 2005, 2006; Pankok et al., 2017; Zijlstra et al., 1999). Cependant, tous les chercheurs ne sont pas d'accord sur les raisons de cet effet. Trois hypothèses sont mises en concurrence : (i) une

tâche interruptrice complexe empêche la réactivation des informations de la tâche principale maintenues en mémoire, conduisant à leur désactivation (Altmann & Trafton, 2002; Cades et al., 2008), (ii) une tâche interruptrice complexe crée une plus grande interférence, augmentant le temps de réactivation des informations de la tâche principale (Altmann & Trafton, 2002; Hodgetts & Jones, 2006) et (iii) il est plus long de se désengager d'une tâche interruptrice complexe car elle demande plus de ressources cognitives (Eyrolle & Cellier, 2000; Kahneman, 1973). Malheureusement, il n'est pas possible de distinguer ces hypothèses avec les études menées dans la littérature. Grâce à quatre études utilisant des méthodologies différentes, nous pensons avoir isolé la dernière hypothèse.

Notre premier constat est que l'effet de complexité, comme nous l'avons manipulé et opérationnalisé, est robuste. Nous avons réussi à montrer à chaque fois qu'une tâche de mise-à-jour complexe est suivie d'une plus longue reprise de la tâche principale. L'un des atouts de cette tâche et que nous pouvions isoler sa complexité et supprimer tous les autres facteurs qui peuvent influencer la reprise à la tâche principale, notamment sa durée ou la similarité entre tâche principale et tâche interruptrice. Ces facteurs sont d'ailleurs utilisés pour manipuler la complexité de la tâche interruptrice, alors que nous envisageons ce facteur comme étant la charge cognitive demandée pendant l'interruption. Isoler ce facteur permet d'être certain que l'effet observé est dû uniquement à la complexité, mais il n'est cependant pas suffisant pour conclure sur ses causes. C'est pourquoi l'originalité de nos études est que nous avons manipulé conjointement la complexité de la tâche interruptrice avec d'autres facteurs.

Ainsi, dans l'étude 1, la présence d'une interaction entre la complexité, le moment et la section a joué en faveur de l'hypothèse basée sur les ressources cognitives (Eyrolle & Cellier, 2000; Kahneman, 1973), puisque les résultats observés ne pouvaient pas être expliqués par le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002). Dans l'étude 2, nous avons répliqué l'effet d'interaction entre l'effet de complexité et du moment. L'analyse des différences interindividuelles sur les performances à des tests cognitifs a montré que l'effet de la complexité serait lié à l'attention sélective mais aussi à l'automatisation de la tâche. Ces analyses suggèrent donc que l'effet de la complexité est lié aux capacités du focus attentionnel et de gestion des ressources cognitives, toutes deux nécessaires pour changer de tâches ; de bonnes capacités réduisant le temps de reprise de la tâche principale. L'étude 2 apporte donc un autre support à l'hypothèse des ressources cognitives. Dans l'étude 3, nous avons isolé l'effet de complexité et testé spécifiquement chaque hypothèse en manipulant un intervalle entre la fin de l'interruption et la réapparition de la tâche principale. Le fait que cet intervalle supprime l'effet de la

complexité ne peut encore une fois être expliqué que par l'hypothèse des ressources cognitives, puisque le délai permet un désengagement passif de la tâche interromptrice. Enfin, l'absence d'interaction entre la complexité de la tâche interromptrice et sa source dans l'étude 4, alors que l'explication de l'effet de ce deuxième facteur ne peut pas être uniquement basée sur le modèle MfG, rajoute un argument pour dire que l'effet de la complexité ne peut pas être expliqué par les hypothèses basées sur ce modèle.

Ainsi, grâce à quatre études utilisant des méthodologies différentes, nous avons réussi à isoler une des trois théories proposées pour expliquer l'effet de la complexité de la tâche interromptrice : une tâche interromptrice complexe demande une plus grande quantité de ressources cognitive pour être traitée, il est donc plus difficile et plus long de s'en désengager. Le changement de tâche est ainsi plus long, augmentant le temps de reprise à la tâche principale. Les autres hypothèses peuvent être exclues puisque l'effet de la complexité ne semble pas dépendre des capacités de la mémoire de travail et qu'elles prédisent une interaction entre l'effet de la complexité et du délai après interruption qui ne correspond pas à celle que nous avons obtenue.

1.C.2. Évitez les interruptions en début d'activité

La deuxième caractéristique d'une situation d'interruption qui nous a intéressée est le moment de l'interruption. Ce facteur a été étudié de nombreuses fois dans la littérature, mais il n'existe pas pour autant de consensus sur l'effet de l'interruption en fonction du moment de sa survenue. Le fait qu'il existe plusieurs façons d'étudier ce facteur contribue en grande partie aux divergences dans la littérature. En effet, les chercheurs ont évalué l'effet du moment selon deux axes : (i) existe-t-il des moments critiques dans la tâche principale qui souffriraient plus que d'autres de l'effet des interruptions ? et (ii) la progression dans la tâche principale influence-t-elle l'effet de l'interruption ? Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés au deuxième axe, car les données empiriques sont contradictoires. En effet, une étude a montré que les interruptions intervenant en début d'activité sont les plus délétères (Law et al., 2004), d'autres ont trouvé cet effet pour les interruptions intervenant en fin d'activité (Czerwinski et al., 2000; Monk et al., 2002), une autre a montré un effet délétère de l'interruption intervenant aux extrémités de l'activité (Bailey & Konstan, 2006), et enfin d'autres n'ont pas montré d'effet du moment (Peters et al., 2017; Ratwani et al., 2006).

Pourtant, trois modèles théoriques semblent prédire que plus les interruptions apparaissent vers la fin de la tâche, moins elles sont délétères. Selon le modèle SAS (Norman & Shallice, 1986) et le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017), plus nous progressons dans la tâche principale, plus les processus s'automatisent, demandant de moins en moins de ressources cognitives. Selon la théorie de la Cognition Filée (Salvucci et al., 2009), les buts et informations liés à la tâche principale sont stockés en mémoire déclarative si l'interruption intervient en début d'activité, alors qu'en progressant dans la tâche principale, ils sont stockés dans la mémoire procédurale, pour laquelle la récupération d'informations est plus rapide. Enfin, selon une théorie développée à partir du modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002; Monk et al., 2008), progresser dans la tâche principale augmente l'activation de son but, qui sera ainsi plus activé au moment de reprendre la tâche principale après l'interruption.

Dans nos études, nous avons évalué les différences qui existent entre des interruptions intervenant au début et à la fin d'activité. Nous nous sommes concentrés sur deux moments particuliers, à savoir après la première action et avant la dernière action. Dans les études 1 et 2, nous avons montré que les participants mettaient plus de temps pour recommencer la tâche principale après avoir été interrompus après la première action. Ces résultats corroborent donc les trois modèles cités précédemment, sans pour autant pouvoir les distinguer. Cependant, le fait que le moment et la complexité de l'interruption interagissent semble être un argument en faveur de l'hypothèse basée sur les modèles SAS et DETOUR. En effet, nous avons trouvé que faire une action était plus rapide en fin d'activité, même sans interruption, ce qui ne peut pas être expliqué par la Cognition Filée et le modèle MfG, qui prédisent un stockage d'informations en mémoire pendant l'interruption. Sans interruption, il n'y aurait pas de stockage. Les analyses des différences interindividuelles sur les performances à des tests cognitifs dans l'expérience 2 ont montré que l'effet du moment est lié à la capacité de la mémoire de travail, visuelle et verbale. Ainsi, plus les participants avaient de bonnes capacités, moins ils souffraient des interruptions intervenant en début d'activité. Cette analyse corrobore donc uniquement les prédictions du modèle DETOUR, car c'est le seul modèle pouvant prendre en compte à la fois des situations interrompues et non interrompues. Selon le modèle, les schémas d'actions doivent être maintenus en mémoire pendant l'interruption. En début d'activité, ils sont moins activés, mais de bonnes capacités en mémoire de travail permettent tout de même de les maintenir activés. Enfin, dans l'étude 4, nous avons observé que les participants qui s'auto-interrompaient au début de la tâche étaient également moins rapides pour recommencer la tâche

principale qu'après s'être interrompus à la fin de la tâche. Ce résultat apporte un argument supplémentaire à un effet plus délétère des interruptions intervenant en début d'activité.

I.C.3. Gare aux auto-interruptions !

Quand on pense aux interruptions, on imagine souvent exclusivement à celles provenant de l'extérieur, comme une sonnerie de téléphone, une notification ou un collègue qui vient discuter. Pourtant, les auto-interruptions, c'est-à-dire, des interruptions qu'on s'impose à nous-mêmes, représenteraient entre 40 et 50 % des interruptions au quotidien (González & Mark, 2004; Mark et al., 2016). Leur étude est donc primordiale, car si certaines interruptions externes sont difficilement réductibles, il est peut-être plus aisé de modifier ses propres comportements. Les auto-interruptions proviennent de l'individu lui-même, sans stimulation extérieure. Plusieurs raisons expliqueraient une suspension volontaire de l'activité en cours, comme (i) une frustration, un besoin de nouveauté ou de stimulation (Adler & Benbunan-Fich, 2013) (ii) viser à une performance optimale en quittant une tâche qu'on n'arriverait pas à finir (Csikszentmihalyi, 2008) (iii) chercher des informations supplémentaires ou se rappeler d'une tâche à faire (Jin & Dabbish, 2009). De plus, on s'auto-interromptrait préférentiellement quand la tâche ne requiert qu'une faible charge cognitive et peu d'éléments à mémoriser (Katidioti et al., 2014; Katidioti & Taatgen, 2013).

Aucun modèle théorique ne fait de véritables prédictions pour expliquer les différences entre auto-interruptions et interruptions externes, car soit ils ne prennent pas du tout en compte l'existence des auto-interruptions, soit ces deux sources d'interruptions sont considérées comme dépendant des mêmes processus. Cependant, pouvoir décider quand s'interrompre permettrait de se préparer à l'interruption, améliorant ainsi l'encodage des buts et schémas d'action de la tâche principale (Couffe & Michael, 2017; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016; Trafton et al., 2003). Ces informations étant mieux encodées, elles seraient également mieux rappelées après l'interruption, accélérant ainsi la reprise de la tâche principale. Cependant, la décision de l'interruption prend du temps et consomme des ressources avant l'interruption, augmentant ainsi le temps total pour compléter la tâche principale. Malheureusement, ces deux effets n'ont pas toujours été retrouvés, et jamais conjointement. En effet, une tâche auto-interrompue serait mieux réussie (McFarlane, 1999, 2002), mais en plus de temps (Katidioti et al., 2014; Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016). D'autres études ne montrent cependant pas d'effet de la source de l'interruption (Mark et al., 2005; Panepinto, 2010). Une seule étude a montré que la reprise de la tâche principale était plus rapide après une interruption autogénérée

(Cades et al., 2010), mais jamais dans une expérience de laboratoire (Katidioti, Borst, van Vugt, et al., 2016).

Dans l'étude 4, nous avons montré que retourner à la tâche principale était plus rapide après une auto-interruption et que cette accélération pouvait être associée à une augmentation du temps total pour faire la tâche principale, comme proposé dans la littérature. Cependant, après avoir enlevé l'action nécessaire pour déclencher l'auto-interruption, les différences sur le temps total ont disparu, montrant donc que soit la décision de l'auto-interruption n'est pas prise juste avant l'interruption, soit cette décision ne prend pas suffisamment de temps pour qu'elle soit visible dans les performances. L'observation des fixations du regard avant l'interruption suggère que les participants ne regardent l'emplacement du déclencheur de l'auto-interruption qu'au dernier moment, suggérant ainsi que la décision était soit prévue très en avance, soit non préméditée. De plus, l'analyse des moments d'auto-interruption montre que les participants s'interrompaient préférentiellement après la première action et avant la dernière, comme nous l'avions opérationnalisé dans les études 1 et 2. Cela corrobore les prédictions de la littérature, puisque les participants choisissaient de s'auto-interrompre à un moment où la charge cognitive était la plus basse (à la fin de la tâche) et parce que c'était le dernier moment pour s'interrompre. Ce choix est également rationnel car comme il ne restait qu'une cible pour la dernière action, sa position était donc moins aléatoire. S'interrompre après la première action peut également être considéré comme un moment rationnel car il est plus facile de retrouver un nouvel email après en avoir trouvé un seul. Cela permettait également aux participants d'être sûrs de ne pas oublier de faire la tâche interromptrice.

I.C.4. Préférez des interruptions neutres

Enfin, la dernière caractéristique que nous avons voulu étudier dans ce travail de thèse est l'agrément de la tâche interromptrice. Ce facteur est peu investigué, et ne l'a jamais été en contexte d'interruption. Pourtant, il est facile d'imaginer que des interruptions agréables et désagréables n'ont pas le même impact sur la tâche principale. Pour comprendre l'effet de ce facteur, nous devons donc nous reposer sur des études évaluant l'effet des émotions sur la performance, car l'agrément joue également sur les émotions (Zenasni & Lubart, 2011). Il s'avère que les émotions influencent la plupart des processus cognitifs (Forgas, 2008), dont ceux impliqués dans le retour à la tâche principale après interruption, comme la mémoire de travail, l'orientation de l'attention, l'inhibition ou la flexibilité mentale. Cependant, il ne semble pas y avoir de consensus sur le sens de cette influence. En effet, des études ont montré un effet

délétère des émotions positives (Biss & Hasher, 2011; Forgas, 2017; Isen & Reeve, 2005; Y. Liu et al., 2015; Martin & Kerns, 2011; Pessoa, 2009; Phillips et al., 2002; Rowe et al., 2007) alors que d'autres leur trouvent un effet facilitateur (Dreisbach, 2006; Levens & Gotlib, 2010; Lin et al., 2014; Pe et al., 2013; Pessoa, 2009; Pessoa et al., 2012; Pool et al., 2016; Reeve, 1989; Wang et al., 2017). A l'inverse, des études ont montré un effet délétère des émotions négatives (Gendolla & Silvestrini, 2011; Georgiou et al., 2005; Kensinger & Corkin, 2003; Padmala et al., 2011; Song et al., 2017; Wang et al., 2017) et à notre connaissance une seule a montré un effet facilitateur (Xie & Zhang, 2017). Il fut donc difficile d'émettre des hypothèses claires sur le sens de l'influence des émotions sur la cognition.

Dans l'étude 5, nous avons montré que la reprise de la tâche principale était plus rapide quand les participants jugeaient la tâche interromptrice comme étant neutre, et elle ralentissait quand ce jugement allait vers les extrêmes, positifs comme négatifs. L'agréabilité de la tâche interromptrice influence donc bien la reprise de la tâche principale. Plus celle-ci transporte une charge émotionnelle forte et valencée, plus elle détériore les processus cognitifs nécessaires à la reprise de la tâche principale, pendant et après l'interruption. La performance de la tâche interromptrice est d'ailleurs également touchée par le ressenti du participant. Il est intéressant de noter que l'agréabilité perçue par le participant est indépendante de la caractéristique du contenu de la tâche interromptrice. L'effet de l'agréabilité ne provient donc pas d'une simple réponse émotionnelle à la valence et l'intensité de l'image présentée pendant la tâche interromptrice, mais émanerait davantage d'une élaboration émotionnelle créée par la tâche en générale.

II. CONSIDERATIONS THEORIQUES : REFORME DES MODELES EXISTANTS

Bien que l'étude des interruptions ait intéressé un grand nombre de chercheurs depuis les années 2000, peu de modèles théoriques spécifiques ont été développés pour expliquer l'effet de ces événements. L'une des raisons probables est que, comme nous allons le montrer, il est difficile de prendre en compte toutes les situations. Nous allons commencer par discuter les différents apports théoriques de ce travail de thèse et comment ils permettent d'améliorer les modèles existants, en proposant des pistes de recherche pour répondre aux questions laissées

sans réponses. Nous détaillerons plus précisément comment modifier le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017) qui est à notre avis le plus exhaustif, mais qui nécessite tout de même des améliorations.

II.A. Contributions générales et perspectives

Quatre modèles théoriques sont prédominants dans la littérature des interruptions : le modèle MfG (Altmann & Trafton, 2002; Trafton et al., 2011), qui est le premier à avoir été publié, la Cognition Filée (Salvucci & Taatgen, 2008), le modèle MfPS (Borst et al., 2010, 2015) et le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017). Ces modèles permettent d'expliquer plusieurs effets retrouvés dans la littérature, pourtant ils ne sont pas suffisants pour comprendre tous les effets observés dans ce travail de thèse.

La première contribution de ce travail de thèse est que toutes les tâches principales ne souffrent pas forcément des interruptions. Même si être interrompu (ou s'interrompre) perturbe la recherche d'emails, les interruptions améliorent les performances lors de la recherche d'armes. Deux éléments semblent différencier ces deux tâches : l'attrait (chercher des armes est plus distrayant que chercher des emails) et le nombre de cibles à chercher (dix emails contre un maximum de deux armes). Si ces deux éléments sont vraiment responsables de la différence observée dans l'effet de l'interruption, alors ils doivent être pris en compte dans les modèles théoriques, ce qui n'est pas le cas pour l'instant. D'ailleurs, tous les modèles prédisent un effet délétère des interruptions. Le modèle MfPS fait bien des prédictions concernant la nature de tâche principale car ses auteurs proposent un effet de l'interruption uniquement si la tâche principale demande des calculs intermédiaires. Dans les deux tâches que nous avons utilisées, la tâche principale ne requiert pas particulièrement ce genre de calcul donc aucun effet de l'interruption n'était prédictible, contrairement à nos résultats. Il a également été proposé que la difficulté de la tâche principale influence l'effet de l'interruption (Salvucci & Taatgen, 2008; Speier, Valacich, & Vessey, 1999), les interruptions ayant des effets moins délétères, voire bénéfiques sur des tâches principales très simples. Il est cependant difficile d'évaluer si la complexité est différente entre nos deux tâches principales, car les deux ont été globalement bien réussies.

De plus, l'effet de l'interruption semble être déterminé par la variable mesurée. En effet, nous avons montré qu'une action est plus longue si elle suit une interruption, mais il semblerait que les interruptions améliorent la détectabilité des cibles, réduisent la sensibilité aux distracteurs,

mais surtout change le critère de réponses, qui devient plus laxiste après l'interruption. Être interrompu aurait donc un effet récréatif, ce qui n'est pour l'instant pas évoqué dans les modèles théoriques. On pourrait donc imaginer que la réactivation des informations de la tâche principale (buts ou schémas d'action) en mémoire altère la durée du retour à la tâche principale, mais n'est pas responsable de la qualité du retour, à court et à long terme. Ou alors, seules les caractéristiques de la tâche principale (10 cibles versus 2 cibles, tâche habituelle versus tâche inhabituelle) permettraient d'expliquer cette différence dans nos résultats. De futures recherches sont nécessaires pour explorer l'effet de ses caractéristiques, comme le type de tâche principale (répétitive versus variée), le type de processus engagés (mémorisation versus recherche visuelle versus planification), son attrait (engageante ou pas), etc.

La deuxième contribution est que reprendre la tâche principale après une interruption complexe est plus long, car il serait plus difficile de se désengager d'une telle tâche. Ce résultat n'est en adéquation avec aucun des quatre modèles théoriques car ils prédisent que la complexité influence le rappel du but ou des schémas d'actions de la tâche principale maintenus en mémoire pendant l'interruption. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer pourquoi nos résultats ne suivent pas ces modèles : la tâche interruptrice était plutôt longue (environ 40 secondes), alors que le modèle DETOUR prédit qu'après 30 secondes, les schémas d'actions et les buts de la tâche principale sont complètement désactivés (Couffe & Michael, 2017). L'effet de la complexité ne pourrait donc pas provenir de l'activation de ces informations au moment de recommencer la tâche principale. Il est donc difficile de conclure : est-ce que l'effet de la complexité est toujours dû à une charge cognitive plus élevée lors d'interruptions complexes qui ralentit le passage à la tâche principale, ou est-ce que cela intervient uniquement quand l'interruption est trop longue ? Cette question doit être adressée dans les modèles théoriques et nécessite de nouvelles recherches. L'assertion indiquant que les informations de la tâche principale sont désactivées après 30 secondes peut également être remise en cause, ce qui peut être une des contributions de ce travail de thèse. De plus, le modèle MfPS ne prédit un effet de la complexité que si ce facteur implique la présence de calculs intermédiaires à mémoriser (i.e. un *problem state*, *PS*). Dans nos expériences, les tâches interruptrices simples et complexes requéraient toutes deux un PS mais avec plus d'informations à mémoriser dans le cas d'une interruption complexe (plus de chiffres étaient visionnés). La variation de présence du PS n'est donc pas suffisante pour expliquer l'effet de la complexité et on pourrait proposer que la variation du nombre d'éléments à conserver dans le PS est également à prendre en compte.

La troisième contribution est que l'interruption change d'effet en fonction de sa survenue dans la progression sur la tâche principale. Alors que ça n'avait jamais clairement été montré de façon empirique, nous avons observé que des interruptions intervenant vers la fin de la tâche principale étaient moins délétères pour sa reprise. Cet effet semble pouvoir être expliqué par le modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017), bien qu'il ne propose pas explicitement un tel effet. Les modèles MfG et MfPS ne sont à ce stade pas satisfaisants, car ils ne permettent pas d'expliquer pourquoi la performance est améliorée à la fin de la tâche, même sans interruption. En effet, les modèles semblent prédire (mais pas directement) que progresser dans la tâche principale augmente l'activation de son but, qui sera plus activé au moment de la reprendre après l'interruption. Cependant, rien dans les modèles n'indique qu'avoir un but très activé améliore les performances par rapport à un but peu activé. Il est donc nécessaire qu'ils prennent en compte cet aspect. La Cognition Filée, quant à elle, ne permet pas vraiment de prendre en compte l'effet de la progression dans la tâche principale, car la théorie repose exclusivement sur la mémorisation des éléments de la tâche principale. Ils seraient stockés en mémoire déclarative en début de tâche et passeraient progressivement en mémoire procédurale, dont la récupération est plus rapide. D'autres pistes sont encore à explorer pour mieux comprendre l'effet du moment de l'interruption : dépend-il d'un nombre d'actions effectué avant l'interruption ou du temps passé sur la tâche ? Est-ce que le caractère répétitif ou varié de la tâche principale modifie-t-il l'effet du moment ?

La quatrième contribution est que s'auto-interrompre est moins délétère pour la reprise de la tâche principale qu'être interrompu par un événement extérieur. Alors que le modèle MfPS et la Cognition Filée ne prennent pas du tout ce facteur en considération, les modèles DETOUR et MfG semblent prédire que pouvoir décider de s'interrompre améliore la qualité de l'encodage des buts et schémas d'action de la tâche principale juste avant l'interruption, augmentant ainsi leur activation et accélérant la reprise de la tâche principale. Cependant, nous avons observé que la décision d'auto-interruption ne semble pas allonger le temps total passé sur la tâche principale, alors que c'est l'un des effets prédits par ces deux modèles. Donc soit la décision se fait de manière diffuse ou automatique, ne prenant ainsi pas de temps, soit la performance post auto-interruption est plus lente qu'après une interruption externe, ce qui n'est pas prédit par les modèles pour l'instant. Cela peut venir du paradigme, qui forçait le participant à s'auto-interrompre. La décision venait finalement peut-être dès le début de l'essai, quand le participant prenait connaissance qu'il allait devoir s'interrompre. On pourrait donc imaginer dans ce cas-là que les informations de la tâches principales s'activent plus dès le début de la tâche, en

prévision de l'interruption. Cette situation est donc comparable uniquement aux situations de la vie réelle où l'on désire changer de tâches mais que l'on doit attendre un évènement particulier. On peut donc se préparer sur le long terme et non au dernier moment. Il est donc nécessaire d'évaluer ce facteur en contexte de laboratoire. De plus, quelles sont les différences entre s'auto-interrompre pour faire une autre tâche et s'auto-interrompre parce qu'on se met à penser à autre chose ? Ces situations sont-elles comparables ? Influencent-elles les mêmes processus cognitifs ?

Enfin, la dernière contribution est que l'interruption influence différemment la reprise de la tâche principale, qu'elle soit ressentie comme très agréable ou très désagréable à faire. Ce facteur n'a, à notre connaissance, jamais été étudié en contexte d'interruptions. Aucun modèle théorique ne le prend donc en compte dans ses prédictions, bien qu'il soit assez facile d'en faire. Comme l'émotion ressentie en faisant la tâche interromptrice détériore l'ensemble des processus cognitifs, on peut penser que les buts et les schémas d'action de la tâche principale seront moins bien maintenus en mémoire pendant l'interruption et donc moins bien récupérés. Plus de temps sera également nécessaire pour se désengager d'une tâche valencée, car celle-ci engage plus de ressources cognitives. L'effet de l'agréabilité de la tâche interromptrice est donc facilement explicable par les modèles théoriques basés sur les interruptions, et doit être pris en compte dans leurs prédictions. Qu'en est-il en situation réelle ? Bien que nous ayons évalué l'agréabilité de la tâche interromptrice de manière spécifique pour chaque participant, la tâche n'était à la base pas particulièrement agréable ou désagréable. Est-ce que les sentiments vis-à-vis de l'initiateur de l'interruption influencent également la reprise à la tâche principale ? Est-ce que l'état émotionnel au moment de l'interruption a une influence ? Est-ce que l'état émotionnel conditionne les auto-interruptions ? Ces questions sont pour l'instant sans réponses.

II.B. Amélioration du modèle DETOUR

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, les données récoltées dans ce travail de thèse contribuent à la littérature des interruptions. Mais les modèles théoriques actuels ne permettent pas d'expliquer tous les résultats que nous avons obtenus. Il faut donc les revoir et nous allons prendre l'exemple du modèle DETOUR (Couffe & Michael, 2017), qui est le modèle le plus récent et le plus exhaustif, puisqu'il est basé sur tous les autres modèles et les recherches les plus récentes. Pour rappel, le modèle DETOUR propose un découpage d'une situation d'interruptions à partir de l'alerte de l'interruption et décrit toutes les étapes à passer

avant de reprendre la tâche principale (voir Figure 4). Les auteurs estiment qu'il faut compléter cinq étapes : (i) décider de répondre ou non à l'interruption (ii) encoder la tâche principale (iii) passer à la tâche interromptrice (iv) faire la tâche interromptrice et mettre à jour les informations de la tâche principale puis (v) retourner à la tâche principale en réactivant ces informations et en changeant de tâche. Chacune de ses étapes influence l'activation des schémas d'action et des buts liés à la tâche principale (les auteurs ont simplifié l'expression en n'utilisant que le terme « schémas » ; nous utiliserons le terme « informations » pour éviter les confusions). La phase d'encodage permet une augmentation de l'activation des informations de la tâche principale. Lors du changement de tâche, elles doivent être inhibées pour permettre l'activation de celles liées à la tâche interromptrice, puis elles se désactivent progressivement pendant l'interruption jusqu'à être complètement désactivées si l'interruption dure plus de 30 secondes. Mettre à jour ces informations pendant l'interruption permet de les maintenir activées plus longtemps. Une fois l'interruption terminée, les informations de la tâche principale doivent être réactivées et dépasser l'activation de celles de la tâche interromptrice avant de pouvoir recommencer cette tâche.

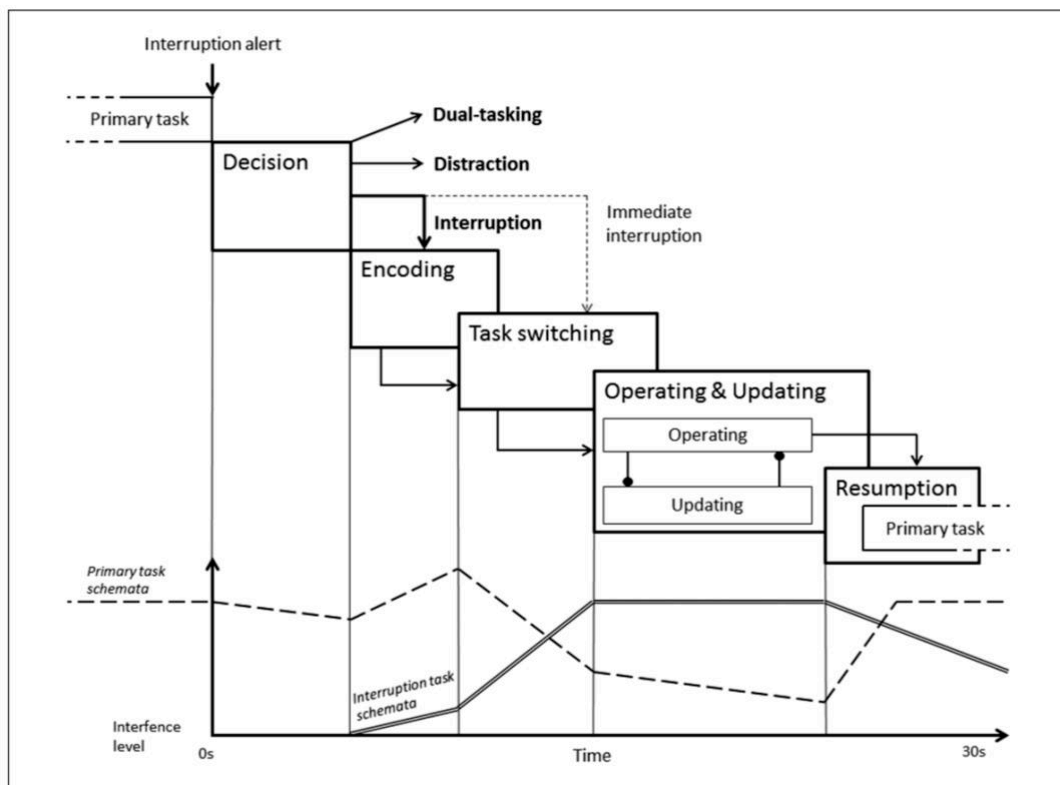


Figure 2. Déroulement temporel d'une situation d'interruption (adapté de Couffe & Michael, 2017). Chaque étape est associée à l'activation ou la désactivation des schémas d'action associés à chacune des tâches

La première modification à apporter se situerait au début du modèle. En effet, il ne prend pas en compte tout ce qu'il s'est passé avant l'alerte de l'interruption, ce qui influence pourtant le niveau d'activation préalable des buts et schémas d'action liés à la tâche principale. Par exemple, plus le nombre d'actions effectuées avant l'interruption augmente, plus ces informations s'activent. De plus, bien que la phase de décision prenne en compte les interruptions autogénérées, nos résultats suggèrent que l'auto-interruption n'est pas forcément décidée tout de suite avant l'interruption, mais peut l'être bien avant. Le fait que l'auto-interruption puisse être préméditée mais pas générée immédiatement peut influencer l'activation des informations liées à la tâche principale. Cet aspect doit donc être rajouté.

Nos résultats permettent d'apporter des éclaircissements sur les processus mis en jeu pendant l'interruption. Le modèle prédit que les informations de la tâche principale ne peuvent être maintenues plus de 30 secondes, avant leur complète désactivation. Cette hypothèse signifie donc qu'aucun effet de la manipulation de caractéristiques nécessitant ces informations n'est attendu, car elles seraient entièrement désactivées. Or, nous avons montré, avec des interruptions durant plus de 30 secondes, que la complexité et le moment de l'interruption influence la reprise de la tâche principale (alors que ces facteurs n'ont en principe pas pu améliorer le maintien des informations de la tâche principale). Cette période de 30 secondes avant désactivation doit donc être remise en cause. De plus, l'agréabilité de la tâche interromptrice semble jouer un rôle dans la désactivation des informations de la tâche principale, car apprécier la tâche interromptrice consommerait des ressources non disponibles pour le maintien de ces informations. L'émotion apportée par la tâche interromptrice agirait ainsi pendant la phase « *Operating and Updating* », et perturberait ainsi la réactivation des informations de la tâche principale lors de son retour.

Enfin, le modèle prédit que pour recommencer la tâche principale à la fin de la tâche interromptrice, il faut réactiver les informations de la tâche principale, ainsi que tout ce qui a été traité avant l'interruption. Si la tâche principale nécessite d'enchaîner un certain nombre d'actions dans un ordre bien défini, on peut supposer qu'il est nécessaire de se souvenir de la dernière étape réalisée afin de continuer la séquence d'actions. Du temps est nécessaire pour se rappeler de cette information, et une mauvaise action peut être réalisée. Il est également attendu que si un grand nombre d'étapes a été terminé avant l'interruption, il y a plus d'éléments à rappeler. Mais dans le cas des tâches utilisées dans nos études, il n'y avait pas particulièrement de séquences d'actions à réaliser dans un ordre précis, et le participant pouvait voir facilement où il en était une fois la tâche principale réapparue. L'encodage et la récupération des éléments

traités avant l'interruption ne sont donc pas nécessaires (ou systématiques) lors de tâches non séquencées. Un autre argument à cette hypothèse est que la reprise de la tâche principale était plus rapide après une interruption intervenant après un grand nombre d'actions. Si elles avaient dû toutes être mémorisées, alors l'effet inverse aurait été observé. De plus, nous avons montré que la qualité des réponses s'améliorait après interruption, augmente la proportion de bonne réponse et la sensibilité aux distracteurs. Ces effets de bas-niveau sont également accompagnés d'effets de plus haut-niveau, puisque le critère de décisions change après l'interruption, les participants devenant plus laxistes pour répondre. Or, le modèle DETOUR ne prend pas encore en compte cet effet qualitatif de l'interruption. On peut donc imaginer que d'autres processus que la flexibilité mentale et la réactivation des schémas d'action de la tâche principale opèrent lors de la phase de retour, comme des changements de bas et haut-niveaux dans le comportement des participants, qui améliorent certains aspects de la performance post-interruption.

Le modèle DETOUR propose également que la complexité de la tâche interromptrice influence le maintien des informations de la tâche principale pendant l'interruption, or nous avons montré qu'augmenter la complexité ne semble pas diminuer le maintien des informations de la tâche principale en mémoire et leur récupération. La complexité influence uniquement la phase de retour à la tâche principale, augmentant le temps nécessaire au désengagement de la tâche interromptrice. Enfin, le temps de reprise de la tâche principale n'est pas cité comme étant une variable importante pour étudier l'effet des interruptions. Nous pensons au contraire qu'elle est sans doute l'une des mesures les plus importantes, car c'est à ce moment-là qu'il est possible d'observer l'effet de toutes les étapes précédentes. C'est une valeur fine, qui comporte par exemple moins d'éléments parasites que le temps total pour faire la tâche principale.

III. RESISTER MIEUX AUX INTERRUPTIONS : LIMITES ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus grâce à ce travail de thèse nous permettent de mieux comprendre l'effet des interruptions au travail. Ils nous donnent ainsi des indices pour réduire leurs effets ou leur nombre au quotidien. Voici quelques recommandations à essayer de mettre en place au quotidien et des mises en garde pour éviter la surinterprétation de nos résultats.

III.A. Analyser chaque situation au cas par cas

Comme nous l'avons vu avec les six études précédemment exposées, il n'existe pas qu'une seule situation d'interruption mais bien une multitude, en fonction de plusieurs paramètres : les caractéristiques de la tâche principale et de la tâche interromptrice, comme leur durée, leur complexité ou leur agréabilité, ou bien les caractéristiques de l'individu et de l'émetteur de l'interruption. D'autres paramètres peuvent également influencer la façon dont l'interruption sera gérée, comme le niveau de fatigue de l'individu, sa connaissance des tâches principales et interromptrices, la qualité de ses relations avec l'émetteur de l'interruption, les moyens technologiques mis à disposition, etc. Chaque situation est donc à prendre au cas par cas, et l'effet d'une interruption précise ne doit pas être généralisé à toutes les situations. Certaines redondances existent pourtant, et il est donc important de savoir (par expérimentation) comment réagir individuellement dans chaque contexte. Par exemple, certains peuvent être particulièrement perturbés par des interruptions trop longues, alors que pour d'autres, la longueur de l'interruptions n'a pas d'influence. Certains ne seront pas gênés par des variations de la complexité de la tâche interromptrice, alors que d'autres sont bien plus rapides après une interruption simple. Il est donc essentiel d'identifier les situations pour lesquelles les interruptions peuvent être problématiques, et ainsi adapter son comportement face à une situation difficile. Par exemple, avec une sensibilité à la longueur des interruptions, on évite les interruptions trop longues quand on est en train de faire une tâche importante. Il est aussi très important de hiérarchiser toutes les situations, afin de connaître les tâches qui souffriraient particulièrement des interruptions, et celles qui au contraire peuvent en bénéficier. Des tâches difficiles, qui nécessitent des enchainements précis d'actions sont par exemple particulièrement sensibles aux interruptions alors que des tâches simples de recherche visuelles le sont moins. L'effet de l'interruption dépend également de la variable que l'on mesure : être interrompu allonge en général le temps passé sur la tâche, mais permet de diminuer les erreurs et d'augmenter la motivation. Il est donc important d'identifier les situations pour lesquelles les interruptions peuvent avoir des effets bénéfiques, pour ne pas les supprimer.

III.B. Bientôt tous champions des interruptions ?

Nous avons vu qu'il existe de grandes différences entre les individus quand il s'agit de faire face aux interruptions. Certains sont plus à même de recommencer rapidement une tâche interrompue, d'autres ne sont pas plus dérangés par des interruptions longues que courtes. Il s'avère que ces différences sont principalement dues à des différences cognitives. En effet, nous avons chacun des compétences naturelles pour certaines fonctions cognitives, qui, si elles soutiennent la suspension de la tâche en cours comme la mémoire de travail, la flexibilité mentale ou l'inhibition, conditionnent notre capacité à suspendre et reprendre efficacement la tâche en cours. On sait que ces fonctions cognitives se développent tout au long de la vie, en partie grâce à nos expériences et nos activités. On pourrait ainsi être tenté de penser qu'entraîner son cerveau permettrait de le booster et de devenir meilleur pour gérer les interruptions. Par exemple, s'entraîner à mémoriser des listes de mots permettrait de préserver les informations stockées en mémoire pendant l'interruption. Dans les faits, s'entraîner sur une tâche précise permet effectivement d'améliorer ses performances, mais il semblerait que cet apprentissage se limite à la tâche entraînée et les bénéfices ne se généralisent pas sur d'autres tâches, même si elles partagent des processus communs (Sala & Gobet, 2019).

Une autre façon de devenir plus résistant aux interruptions serait d'apprendre à être interrompu. On pourrait en effet penser qu'à force d'être interrompu, on recommencerait plus facilement la tâche suspendue. Subir un grand nombre d'interruptions permettrait-il *in fine* de réduire leur coût ? Il semblerait que subir des interruptions successives permette effectivement de diminuer leur impact, mais uniquement pour un même couple de tâches (principale et interruptrice). On peut donc apprendre à reprendre une tâche spécifique après avoir été interrompu par une tâche spécifique. Cependant, cet enseignement ne se transfère pas à d'autres couples de tâches (Cades et al., 2011, 2006).

IV. UN MONDE PROFESSIONNEL A TRANSFORMER : PERSPECTIVES

Les différentes études menées pendant ce travail de thèse nous ont permis d'en apprendre plus sur les interruptions et leurs conséquences. Ces nouveaux savoirs ne sont pas seulement théoriques, car ils donnent également des pistes pour améliorer notre productivité et notre bien-être au travail. Nous allons discuter les pratiques existantes pour lutter contre les effets nuisibles des interruptions au travail que ce soit sur les espaces de travail à réorganiser, les moyens de communication à repenser et les comportements de chacun à adapter. Pour éclairer au mieux chacun de ses points, nous nous appuyerons sur des témoignages entendus lors de formations dispensées avec l'entreprise Cog'X.

IV.A. Vers une modification des espaces de travail

« Travailler en Open Space est un vrai calvaire. Il y a constamment un bruit de fond, sans compter les sonneries de téléphone et les conversations professionnelles ou personnelles des collègues d'à côté. On se sent en plus constamment épié, on n'a plus aucune intimité. Mais jamais je ne retournerai dans un bureau toute seule. »

La modification des espaces de travail a été l'un des plus gros créateurs d'interruptions dans les entreprises. La grande majorité des bureaux individuels sont progressivement devenus des bureaux partagés puis ont été transformés en espaces de travail ouverts (i.e. Open Space), où tout le monde travaille dans un même grand espace ouvert, plus ou moins cloisonné. En 2011, 11% des 1204 salariés interrogés par le baromètre Actineo/CSA travaillaient en espaces ouverts. Aujourd'hui, ce chiffre serait passé à 18%. Leur création a de multiples origines. La première, et la plus évidente, est le gain financier : la surface des bureaux est drastiquement réduite. Mais d'autres avantages semblent également pertinents pour celles et ceux qui y travaillent. L'absence de bureaux cloisonnés réduit l'isolement et permet une meilleure coopération entre les employés (Kim & de Dear, 2013). Mais l'une des raisons principales de l'adoption de ces espaces de travail ouverts est sûrement que les salariés sont mieux surveillés : les supérieurs hiérarchiques peuvent donc s'assurer plus facilement du rendement de leurs équipes (Shafaghat, Keyvanfar, Lamit, Mousavi, & Majid, 2014). L'idée est bonne : se sentir surveillé force à travailler plus et à éviter la procrastination. Dans les faits, travailler en espace

ouvert augmente le nombre de distractions et d'interruptions externes (Mark et al., 2005), et conduit à la création ou l'amplification de certains troubles cognitifs, tels que le stress ou l'anxiété (Jahncke, Hygge, Halin, Green, & Dimberg, 2011). De plus, même si les employés apprécient cet environnement pour la communication, ils se sentent moins concentrés et moins efficaces qu'en bureaux fermés ou partagés (De Been & Beijer, 2014).

C'est pourquoi on voit depuis quelques années l'émergence d'un nouveau type d'espace de travail, les bureaux flexibles (i.e. Flex Office). L'idée est qu'au lieu d'adapter sa pratique à l'environnement, c'est l'environnement qui s'adapte à notre pratique. Ainsi, l'espace de travail est composé de différentes zones qui ont chacune une fonction précise (travail au calme/travail collaboratif/conversation téléphonique/etc.). Il n'y a donc plus de bureaux attitrés par salarié mais des zones de travail en fonction du besoin. Si j'ai besoin de faire une tâche qui demande de la concentration, je vais dans la zone silencieuse ; si j'ai besoin de travailler en équipe, je vais dans la zone de travail collaboratif. Ainsi, comme chaque activité est différente et ne nécessite pas la même concentration, on peut choisir son environnement de travail, et donc le nombre d'interruptions potentielles. L'émergence des bureaux flexibles étant récente, peu d'études ont encore démontré leur réelle efficacité. Théoriquement, c'est l'agencement de l'espace de travail le plus satisfaisant, car il est adaptable à ses besoins propres et ceux de l'activité à réaliser, mais il semblerait que ce type d'environnement n'apporte pas plus de satisfaction que les espaces ouverts (De Been & Beijer, 2014).

IV.B. Vers une modification des moyens de communication

« Le nombre d'emails que je reçois par jour est tellement démentiel que ça en devient ridicule. Par exemple, mon supérieur hiérarchique m'envoie un email ainsi qu'à 10 autres collègues pour proposer un horaire de réunion. Et à chaque fois, toutes les destinataires envoient leur réponse à toutes les personnes. On se retrouve donc pollué de nouveaux emails qui ne sont pas si importants que ça pour nous. »

Avec la digitalisation du travail mais aussi de nos vies en général, nous avons maintenant à notre disposition, grâce à Internet, un flux continu d'informations nouvelles : actualités, réseaux sociaux, moyens de communication asynchrones comme les emails ou synchrones comme les messageries instantanées. Les employés sont maintenant « connectés », et tous ces moyens de communication digitalisés sont accompagnés de notifications qui alertent en continu leur utilisateur et donc créent des interruptions. Un employé recevrait en moyenne

88 emails par jour (Radicati Group, 2015) et passe près de trois heures par jour sur des activités de communication grâce à un média numérique (Adobe, 2017; Wajcman & Rose, 2011). L'apport principal de ces moyens de communication est que l'information circule plus rapidement.

Il ne faut pas non plus oublier les moyens de communication plus historiques, tels que les téléphones (fixes ou portables) et les communications en face-à-face. En effet, un employé recevrait environ 41 appels téléphoniques par jour (Enquête réalisée par Gallup et The Institute For the Future) et les communications non digitalisées sont aussi nombreuses que celles qui le sont (Wajcman & Rose, 2011). Ces moyens de communication « oraux » sont cependant privilégiés pour les échanges plus personnels (Mark, Iqbal, Czerwinski, & Johns, 2015). Ils représenteraient donc des moyens de communications moins productifs et participent à la surcharge d'informations et la sur-sollicitation au travail.

Du temps et des efforts cognitifs sont donc nécessaires pour décrypter et hiérarchiser les informations qui nous parviennent par de multiples sources, nous forçant à être sans cesse flexibles, ce qui crée une surcharge d'informations (Bawden & Robinson, 2009). Mais des solutions faciles à mettre en place semblent pourtant évidentes. La plupart des logiciels ou systèmes d'exploitation proposent la suppression des alertes intempestives. La plupart des entreprises proposent que les appels soient transférés ou renvoyés sur un répondeur si on ne veut pas être dérangé. On peut aussi expliquer à ses collègues qu'on ne veut pas être dérangé (Jett & George, 2003). Différentes recommandations peuvent être proposées pour améliorer ces dispositifs, comme par exemple utiliser un canal de communication spécifique en fonction du besoin : envoyer un email pour délivrer une information mais téléphoner ou aller voir la personne en face pour discuter d'un problème. Envoyer des emails avec un objet clair permet également de les désambiguïser, ce qui facilitera son traitement pour le destinataire (Boehm-Davis & Remington, 2009). Toutes ces propositions permettent de contrer notre comportement parfois compulsif à la réception d'une notification. A vouloir se rendre (ou paraître) disponible à tout moment, nous encourageons des pratiques néfastes pour soi et pour ses collaborateurs.

IV.C. Vers une modification des comportements

« Je reçois un grand nombre d'emails par jour. Ce trop-plein d'informations, cette "infobésité", est fatigante, surtout qu'on nous force à travailler dans l'urgence et être interrompus sans cesse n'aide pas. Mais d'un autre côté, je me sens obligé de lire et répondre à

chaque nouvel email que je reçois, soit parce que j'ai peur de rater une information importante, soit pour me faire bien voir de mes supérieurs ou de mes collaborateurs. »

Finally, au-delà des interruptions provoquées par l'environnement sur lesquelles nous n'avons que peu de contrôle, un grand nombre de perturbations proviennent de notre propre comportement. Les moyens de communication étant nécessaires pour la collaboration entre collègues, il n'est pas envisageable de les supprimer complètement. Ce sont donc les pratiques qui ont besoin d'être adaptées. Un employé regarderait en moyenne sa boîte de réception soixante-dix-sept fois par jour, et cela représenterait un tiers de ses interactions avec un ordinateur (Mark et al., 2016). Cinquante pour cent des employés interrogés par Hair, Renaud, et Ramsay (2007) vérifient leur boîte de réception toutes les heures et trente-cinq pour cent toutes les quinze minutes. Un nouvel email serait lu en moyenne dans les deux minutes suivant sa réception, mais la majorité est lue dans les six secondes (Jackson et al., 2003), et nous le faisons alors même que nous savons que cela va augmenter notre sentiment de surcharge de travail (Renaud, Ramsay, & Hair, 2006).

Nous aurions donc un comportement compulsif vis-à-vis de ce flux d'informations qui nous est accessible, et certains n'hésitent pas à parler d'addiction (Jackson & Marulanda-Carter, 2012). Il faut donc trouver des solutions pour nous y adapter de façon plus satisfaisante. Tout d'abord, il faut comprendre d'où proviennent les interruptions. Excepté pour les managers qui sont interrompus en majorité par des éléments extérieurs, les autres corps de métier seraient autant interrompus par l'extérieur que par eux-mêmes (Mark et al., 2005). Une autre étude montre que seulement 31% des interruptions proviendraient de notre environnement (Mark et al., 2016). Mais pourquoi interrompons-nous autant ? Mark et al. (2015) ont examiné le type de tâche qui était réalisé avant de décider de passer à une autre. Ils ont montré que faire une tâche ennuyeuse et répétitive amenait à aller sur les réseaux sociaux ou à parler à des collègues alors que faire une tâche plus engageante et qui demande des efforts de concentration amenait à envoyer des emails. Selon les auteurs, notre état attentionnel prédit le type de tâche avec lequel on va s'interrompre : l'ennui appelle à la distraction et l'engagement appelle à l'échange et la productivité. Leur constat, bien qu'on puisse le trouver logique, montre une réalité : le nombre d'interruptions autogénérées, au travail comme dans sa vie personnelle, est un signe d'ennui. Nous avons appris à être constamment abreuvés d'informations, et nous en cherchons quand nous sommes en manque.

Plusieurs méthodes peuvent être proposées pour réduire le nombre d'interruptions que l'on subit au quotidien. Par exemple, demandez à ne pas être dérangé alors que vous

commencez tout juste une nouvelle activité. Cette recommandation fonctionne également dans le sens inverse : questionnez vos collègues avant de les interrompre vraiment pour savoir si votre intervention ne sera pas trop délétère pour eux. Vous pouvez également « planifier » vos interruptions et ainsi réduire leur nombre. Par exemple, au lieu de vérifier vos emails à leur arrivée, il faudrait organiser des plages horaires dédiées. Le principe est donc de ne traiter les emails que lorsque vous en avez le temps. Spontanément, nous aurions tous ce comportement. En effet, les boîtes de réception sont principalement visitées en début et en fin journée, ainsi qu'avant et après la pause déjeuner (Jackson, Wilson, & Dawson, 2001). Mark et al., (2016) ont montré d'ailleurs que les employés qui regardent leurs emails seulement à des moments précis de la journée passent moins de temps sur leur boîte de réception et perdent donc moins de temps.

Notre concentration au travail est donc très fragile, mais de nombreuses solutions existent, notamment pour réduire le nombre d'interruptions que l'on reçoit. Questionner ses pratiques et en expérimenter de nouvelles est le seul moyen de conserver une bonne qualité de vie au travail.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Adamczyk, P. D., & Bailey, B. P. (2004). If Not Now, When?: The Effects of Interruption at Different Moments Within Task Execution. *In CHI '04: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 271–278. ACM Press.

Adamo, S. H., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2013). Self-induced attentional blink: A cause of errors in multiple-target search. *Psychological Science*, 24(12), 2569–2574. <https://doi.org/10.1177/0956797613497970>

Adamo, S. H., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2017). An individual differences approach to multiple-target visual search errors: How search errors relate to different characteristics of attention. *Vision Research*, 141, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.10.010>

Adamo, S. H., Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2018). Satisfaction at last: evidence for the “satisfaction” account for multiple-target search errors. *Proceedings Volume 10577, Medical Imaging 2018: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*. Presented at the Houston, Texas, USA. <https://doi.org/10.1117/12.2293692>

Adler, R. F., & Benbunan-Fich, R. (2012). The Effects of Positive and Negative Self-interruptions in Discretionary Multitasking. *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1763–1768. <https://doi.org/10.1145/2212776.2223706>

Adler, R. F., & Benbunan-Fich, R. (2013). Self-interruptions in discretionary multitasking. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.040>

Adobe. (2017). *Adobe Consumer Email Survey Report 2017*. Marketing. Retrieved from https://www.slideshare.net/adobe/adobe-consumer-email-survey-report-2017?from_action=save

Altmann, E. M. (2005). Repetition priming in task switching: Do the benefits dissipate? *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(3), 535–540.

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2002). Memory for goals: An activation-based model. *Cognitive Science*, 26(1), 39–83. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_2

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2004). *Task Interruption : Resumption Lag and the Role of Cues*.

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2007). Timecourse of recovery from task interruption: Data and a model. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(6), 1079–1084. <https://doi.org/10.3758/BF03193094>

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (2015). Brief Lags in Interrupted Sequential Performance: Evaluating a Model and Model Evaluation Method. *International Journal of Human-Computer Studies*, *79*, 51–65.

Altmann, E. M., Trafton, J. G., & Hambrick, D. Z. (2014). Momentary interruptions can derail the train of thought. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(1), 215–226. <https://doi.org/10.1037/a0030986>

Anderson, J. R. (2007). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* (1st ed.). Oxford ; New York: OUP USA.

Andrews, A., Ratwani, R., & Trafton, J. G. (2009). Recovering from Interruptions: Does Alert Type Matter? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *53*(4), 409–413. <https://doi.org/10.1177/154193120905300451>

Bai, H., Jones, W. E., Moss, J., & Doane, S. M. (2014). Relating Individual Differences in Cognitive Ability and Strategy Consistency to Interruption Recovery during Multitasking. *Learning and Individual Differences*, *35*, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.07.002>

Bailey, B. P., & Konstan, J. A. (2006). On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state. *Computers in Human Behavior*, *22*(4), 685–708. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.12.009>

Bailey, B. P., Konstan, J. A., & Carlis, J. V. (2000). Measuring the effects of interruptions on task performance in the user interface. *2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, *2*, 757–762 vol.2. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2000.885940>

Batmaz, I., & Ozturk, M. (2008). Using Pupil Diameter Changes for Measuring Mental Workload under Mental Processing. *Journal of Applied Sciences*, *8*, 68–76.

Bawden, D., & Robinson, L. (2009). The dark side of information: Overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Information Science*, *35*(2), 180–191. <https://doi.org/10.1177/0165551508095781>

Beeftink, F., van Eerde, W., & Rutte, C. G. (2008). The effect of interruptions and breaks on insight and impasses : Do you need a break right now? *Creativity Research Journal*, 20(4), 358–364. <https://doi.org/10.1080/10400410802391314>

Berbaum, K. S., & Franken, E. A. (2011). Satisfaction of Search in Radiographic Modalities. *Radiology*, 261(3), 1000–1001. <https://doi.org/10.1148/radiol.11110987>

Berbaum, K. S., Franken, E. A., Dorfman, D. D., Rooholamini, S. A., Kathol, M. H., Barloon, T. J., ... el-Khoury, G. Y. (1990). Satisfaction of search in diagnostic radiology. *Investigative Radiology*, 25(2), 133–140.

Biggs, A. T., Adamo, S. H., Dowd, E. W., & Mitroff, S. R. (2015). Examining perceptual and conceptual set biases in multiple-target visual search. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77(3), 844–855. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0822-0>

Biggs, A. T., Clark, K., & Mitroff, S. R. (2017). Who should be searching? Differences in personality can affect visual search accuracy. *Personality and Individual Differences*, 116, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.045>

Biggs, A. T., Kramer, M. R., & Mitroff, S. R. (2018). Using Cognitive Psychology Research to Inform Professional Visual Search Operations. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(2), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.04.001>

Biggs, A. T., & Mitroff, S. R. (2014a). Different Predictors of Multiple-Target Search Accuracy between Nonprofessional and Professional Visual Searchers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(7), 1335–1348. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.859715>

Biggs, A. T., & Mitroff, S. R. (2014b). Improving the Efficacy of Security Screening Tasks: A Review of Visual Search Challenges and Ways to Mitigate Their Adverse Effects. *Applied Cognitive Psychology*, 29(1), 142–148. <https://doi.org/10.1002/acp.3083>

Biss, R. K., & Hasher, L. (2011). Delighted and distracted: Positive affect increases priming for irrelevant information. *Emotion (Washington, D.C.)*, 11(6), 1474–1478. <https://doi.org/10.1037/a0023855>

Blumberg, E. J., Foroughi, C. K., Scheldrup, M. R., Peterson, M. S., Boehm-Davis, D. A., & Parasuraman, R. (2015). Reducing the Disruptive Effects of Interruptions With Noninvasive Brain Stimulation. *Human Factors*, 57(6), 1051–1062. <https://doi.org/10.1177/0018720814565189>

Boehm-Davis, D. A., & Remington, R. (2009). Reducing the disruptive effects of

interruption: A cognitive framework for analysing the costs and benefits of intervention strategies. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 1124–1129. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.029>

Borst, J. P., & Taatgen, N. A. (2007). The Costs of Multitasking in Threaded Cognition. *Proceedings of the Eighth International Conference on Cognitive Modelling*, 133138.

Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2010). The problem state: A cognitive bottleneck in multitasking. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 363–382. <https://doi.org/10.1037/a0018106>

Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2015). What Makes Interruptions Disruptive? A Process-Model Account of the Effects of the Problem State Bottleneck on Task Interruption and Resumption. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2971–2980. <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702156>

Botvinick, M. M., & Bylsma, L. M. (2005). Distraction and action slips in an everyday task: Evidence for a dynamic representation of task context. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 1011–1017. <https://doi.org/10.3758/BF03206436>

Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)

Brazzolotto, P., & Michael, G. A. (2019). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, XXIII(Nr 2), 135–153. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23.08>

Brixey, J. J., Robinson, D. J., Johnson, C. W., Johnson, T. R., Turley, J. P., & Zhang, J. (2007). A concept analysis of the phenomenon interruption. *ANS. Advances in Nursing Science*, 30(1), E26-42.

Brudzinski, M. E., Ratwani, R. M., & Trafton, J. G. (2007). *Goal and Spatial Memory Following Interruption*.

Burgess, A., Jackson, T., & Edwards, J. (2005). Email Training Significantly Reduces Email Defects. *Int. J. Inf. Manag.*, 25(1), 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfo mgt.2004.10.004>

Buser, T., & Peter, N. (2012). Multitasking. *Experimental Economics*, 15(4), 641–655.

<https://doi.org/10.1007/s10683-012-9318-8>

Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2007). Does the Difficulty of an Interruption Affect our Ability to Resume? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 51(4), 234–238. <https://doi.org/10.1177/154193120705100419>

Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2011). Mitigating disruptive effects of interruptions through training: What needs to be practiced? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(2), 97–109. <https://doi.org/10.1037/a0023497>

Cades, D. M., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2006). Mitigating Disruptions: Can Resuming an Interrupted Task Be Trained? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(3), 368–371. <https://doi.org/10.1177/154193120605000333>

Cades, D. M., Werner, N., Boehm-Davis, D. A., Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2008). Dealing with Interruptions can be Complex, but does Interruption Complexity Matter: A Mental Resources Approach to Quantifying Disruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 52(4), 398–402. <https://doi.org/10.1177/154193120805200442>

Cades, D. M., Werner, N. E., Boehm-Davis, D. A., & Arshad, Z. (2010). What makes Real-World Interruptions Disruptive? Evidence from an Office Setting. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(4), 448–452. <https://doi.org/10.1177/154193121005400437>

Cain, M. S., Adamo, S. H., & Mitroff, S. R. (2013). A taxonomy of errors in multiple-target visual search. *Visual Cognition*, 21(7), 899–921. <https://doi.org/10.1080/13506285.2013.843627>

Cain, M. S., Biggs, A. T., Darling, E. F., & Mitroff, S. R. (2014). A little bit of history repeating: Splitting up multiple-target visual searches decreases second-target miss errors. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(2), 112–125. <https://doi.org/10.1037/xap0000014>

Cain, M. S., & Mitroff, S. R. (2012). Memory for found targets interferes with subsequent performance in multiple-target visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1398–1408. <https://doi.org/10.1037/a0030726>

Camos, V., & Portrat, S. (2015). The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(4), 1029–1034. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0772-5>

Carlson, S. (1951). *Executive Behaviour: A Study of the Work Load and the Working Methods of Managing Directors*. Stockholm: Strombergs.

Cartwright, D. (1942). The effect of interruption, completion, and failure upon the attractiveness of activities. *Journal of Experimental Psychology*, 31(1), 1–16.

Couffe, C., & Michael, G. A. (2017). Failures Due to Interruptions or Distractions: A Review and a New Framework. *The American Journal of Psychology*, 130(2), 163–181. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.2.0163>

Csikszentmihalyi, M. (2008). *Flow: The Psychology of Optimal Experience* (1 edition). New York: Harper Perennial Modern Classics.

Czerwinski, M., Cutrell, E., & Horvitz, E. (2000). Instant Messaging: Effects of Relevance and Timing. *Human-Computer Interaction*, 71–76.

Czerwinski, M., Horvitz, E., & Wilhite, S. (2004). A Diary Study of Task Switching and Interruptions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 175–182. <https://doi.org/10.1145/985692.985715>

Dabbish, L., Mark, G., & Gonzalez, V. M. (2011). Why do i keep interrupting myself?: environment, habit and self-interruption. *CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3127–3130. <http://dx.doi.org/10.1145/1978942.1979405>

De Been, I., & Beijer, M. (2014). The influence of office type on satisfaction and perceived productivity support. *Journal of Facilities Management*, 12(2), 142–157. <https://doi.org/10.1108/JFM-02-2013-0011>

Dreisbach, G. (2006). How positive affect modulates cognitive control: The costs and benefits of reduced maintenance capability. *Brain and Cognition*, 60(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.08.003>

Drews, F. A., & Musters, A. (2015). Individual differences in interrupted task performance: One size does not fit all. *International Journal of Human-Computer Studies*, 79, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.01.003>

Eyrolle, H., & Cellier, J. M. (2000). The effects of interruptions in work activity: Field and laboratory results. *Applied Ergonomics*, *31*(5), 537–543.

Fleck, M. S., Samei, E., & Mitroff, S. R. (2010). Generalized “Satisfaction of Search”: Adverse Influences on Dual-Target Search Accuracy. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *16*(1). <https://doi.org/10.1037/a0018629>

Forgas, J. P. (2008). Affect and Cognition. *Perspectives on Psychological Science*, *3*(2), 94–101. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2008.00067.x>

Forgas, J. P. (2017). Chapter 3 - Mood Effects on Cognition: Affective Influences on the Content and Process of Information Processing and Behavior. In M. Jeon (Ed.), *Emotions and Affect in Human Factors and Human-Computer Interaction* (pp. 89–122). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801851-4.00003-3>

Foroughi, C. K., Malihi, P., & Boehm-Davis, D. A. (2016). Working Memory Capacity and Errors Following Interruptions. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.05.002>

Foroughi, C. K., Werner, N. E., McKendrick, R., Boehm-Davis, D. A., & Cades, D. M. (2016). Individual differences in working-memory capacity and task resumption following interruptions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(9), 1480–1488. <https://doi.org/10.1037/xlm0000251>

Gendolla, G. H. E., & Silvestrini, N. (2011). Smiles make it easier and so do frowns: Masked affective stimuli influence mental effort. *Emotion (Washington, D.C.)*, *11*(2), 320–328. <https://doi.org/10.1037/a0022593>

Georgiou, G., Bleakley, C., Hayward, J., Russo, R., Dutton, K., Eltiti, S., & Fox, E. (2005). Focusing on fear: Attentional disengagement from emotional faces. *Visual Cognition*, *12*(1), 145–158. <https://doi.org/10.1080/13506280444000076>

Gillie, T., & Broadbent, D. (1989). What makes interruptions disruptive? A study of length, similarity, and complexity. *Psychological Research*, *50*(4), 243–250. <https://doi.org/10.1007/BF00309260>

González, V. M., & Mark, G. (2004). “Constant, Constant, Multi-tasking Craziiness”: Managing Multiple Working Spheres. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 113–120. <https://doi.org/10.1145/985692.985707>

Gorbunova, E. S. (2017). Perceptual similarity in visual search for multiple targets. *Acta*

Psychologica, 173, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.11.010>

Graf, P., & Yu, M. (2015). Valenced cues and contexts have different effects on event-based prospective memory. *PloS One*, 10(2), e0116953. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116953>

Hair, M., Renaud, K. V., & Ramsay, J. (2007). The influence of self-esteem and locus of control on perceived email-related stress. *Computers in Human Behavior*, 23(6), 2791–2803. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2006.05.005>

Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2003). Interruptions in the Tower of London Task: Can Preparation Minimise Disruption? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 47(8), 1000–1004. <https://doi.org/10.1177/154193120304700810>

Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2005). Interrupting problem solving: Effects of interruption position and complexity. In M. Katsikitis (Ed.), *Past reflections, future directions: proceedings of the 40th Australian Psychological Society Annual Conference, Melbourne, Australia*. Retrieved from <http://orca.cf.ac.uk/33012/>

Hodgetts, H. M., & Jones, D. M. (2006). Interruption of the Tower of London task: Support for a goal-activation approach. *Journal of Experimental Psychology. General*, 135(1), 103–115. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.103>

Iani, C., & Wickens, C. D. (2007). Factors Affecting Task Management in Aviation. *Human Factors*, 49(1), 16–24. <https://doi.org/10.1518/001872007779598118>

INSEE. (2010). 50 ans de mutations de l'emploi - Insee Première - 1312. Retrieved March 7, 2019, from Institut National de la statistique et des études économiques website: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/version-html/1283207/ip1312.pdf>

INSEE. (2018). Emploi par activité – Tableaux de l'économie française | Insee. Retrieved March 7, 2019, from Institut National de la statistique et des études économiques website: https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/3303413/TEF2018_047.pdf

Isen, A. M., & Reeve, J. (2005). The Influence of Positive Affect on Intrinsic and Extrinsic Motivation: Facilitating Enjoyment of Play, Responsible Work Behavior, and Self-Control. *Motivation and Emotion*, 29(4), 295–323. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9019-8>

Jackson, T. W., Dawson, R., & Wilson, D. (2003). Understanding Email Interaction Increases Organizational Productivity. *Commun. ACM*, 46(8), 80–84. <https://doi.org/10.1145/859670.859673>

Jackson, T. W., & Farzaneh, P. (2012). Theory-based model of factors affecting information overload. *Int J. Information Management*, *32*, 523–532. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2012.04.006>

Jackson, T. W., & Marulanda-Carter, L. (2012). Effects of e-mail addiction and interruptions on employees. *Journal of Systems and Information Technology*, *14*(1), 82–94. <https://doi.org/10.1108/13287261211221146>

Jackson, T., Wilson, D., & Dawson, R. (2001). The cost of email interruption. *Journal of Systems and Information Technology*, *5*(1), 81–92. <https://doi.org/10.1108/13287260180000760>

Jahncke, H., Hygge, S., Halin, N., Green, A. M., & Dimberg, K. (2011). Open-plan office noise: Cognitive performance and restoration. *Journal of Environmental Psychology*, *31*(4), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.07.002>

Jett, Q. R., & George, J. M. (2003). Work Interrupted: A Closer Look at the Role of Interruptions in Organizational Life. *Academy of Management Review*, *28*(3), 494–507. <https://doi.org/10.5465/AMR.2003.10196791>

Jin, J., & Dabbish, L. (2009). Self-interruption on the computer: a typology of discretionary task interleaving. *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1799–1808. <http://dx.doi.org/10.1145/1518701.1518979>

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.

Katidioti, I., Borst, J. P., de Haan, D. J. B., Pepping, T., Vugt, M. K. van, & Taatgen, N. A. (2016). Interrupted by Your Pupil: An Interruption Management System Based on Pupil Dilation. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *32*(10), 791–801. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1198525>

Katidioti, I., Borst, J. P., & Taatgen, N. A. (2014). What happens when we switch tasks: Pupil dilation in multitasking. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, *20*(4), 380–396. <https://doi.org/10.1037/xap0000031>

Katidioti, I., Borst, J. P., van Vugt, M. K., & Taatgen, N. A. (2016). Interrupt me: External interruptions are less disruptive than self-interruptions. *Computers in Human Behavior*, *63*, 906–915. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.06.037>

Katidioti, I., & Taatgen, N. A. (2013). Choice in Multitasking How Delays in the Primary Task Turn a Rational Into an Irrational Multitasker. *Human Factors: The Journal of*

the Human Factors and Ergonomics Society, 0018720813504216. <https://doi.org/10.1177/0018720813504216>

Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2003). Effect of negative emotional content on working memory and long-term memory. *Emotion (Washington, D.C.)*, 3(4), 378–393. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.3.4.378>

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. <https://doi.org/10.1037/a0019842>

Kim, J., & de Dear, R. (2013). Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/2gq017pb>

Kim, S., Park, Y., & Niu, Q. (2017). Micro-break activities at work to recover from daily work demands. *Journal of Organizational Behavior*, 38(1), 28–44. <https://doi.org/10.1002/job.2109>

Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(1), 1–14. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.1.1>

Kosch, T., Hassib, M., Buschek, D., & Schmidt, A. (2018). Look into My Eyes: Using Pupil Dilation to Estimate Mental Workload for Task Complexity Adaptation. *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188643>

Kowalczyk, A. W., & Grange, J. A. (2017). Inhibition in Task Switching: The Reliability of the $n - 2$ Repetition Cost. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(12), 2419–2433. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1239750>

Latorella, K. A. (1996). Investigating Interruptions: An Example from the Flightdeck. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 40(4), 249–253. <https://doi.org/10.1177/154193129604000423>

Law, A. S., Logie, R. H., Pearson, D. G., Cantagallo, A., Moretti, E., & Dimarco, F. (2004). Resistance to the impact of interruptions during multitasking by healthy adults and dysexecutive patients. *Acta Psychologica*, 116(3), 285–307. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.04.003>

Lazarus, R. S. (2000). How Emotions Influence Performance in Competitive Sports. *The Sport Psychologist, 14*(3), 229–252. <https://doi.org/10.1123/tsp.14.3.229>

Lee, B. C., Chung, K., & Kim, S.-H. (2018). Interruption Cost Evaluation by Cognitive Workload and Task Performance in Interruption Coordination Modes for Human–Computer Interaction Tasks. *Applied Sciences, 8*(10), 1780. <https://doi.org/10.3390/app8101780>

Lee, B. C., & Duffy, V. G. (2015). The Effects of Task Interruption on Human Performance: A Study of the Systematic Classification of Human Behavior and Interruption Frequency. *Hum. Factor. Ergon. Manuf., 25*(2), 137–152. <https://doi.org/10.1002/hfm.20603>

Levens, S. M., & Gotlib, I. H. (2010). Updating Positive and Negative Stimuli in Working Memory in Depression. *Journal of Experimental Psychology. General, 139*(4), 654–664. <https://doi.org/10.1037/a0020283>

Li, S. Y. W., Blandford, A., Cairns, P., & Young, R. M. (2008). The effect of interruptions on postcompletion and other procedural errors: An account based on the activation-based goal memory model. *Journal of Experimental Psychology. Applied, 14*(4), 314–328. <https://doi.org/10.1037/a0014397>

Lin, W.-L., Tsai, P.-H., Lin, H.-Y., & Chen, H.-C. (2014). How does emotion influence different creative performances? The mediating role of cognitive flexibility. *Cognition & Emotion, 28*(5), 834–844. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.854195>

Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics, 42*(6), 553–568. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.09.001>

Liu, Y., Wang, Z., Quan, S., & Li, M. (2015). The effect of positive affect on conflict resolution: Modulated by approach-motivational intensity. *Cognition & Emotion, 31*(1), 69–82. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1081874>

Mark, G., Gonzalez, V. M., & Harris, J. (2005). No task left behind? Examining the nature of fragmented work. *Proceedings of ACM CHI 2005, ACM*, 321–330. ACM Press.

Mark, G., Iqbal, S., Czerwinski, M., & Johns, P. (2015). Focused, Aroused, but So Distractible: Temporal Perspectives on Multitasking and Communications. *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, 903–916. <https://doi.org/10.1145/2675133.2675221>

Mark, G., Iqbal, S., Czerwinski, M., Johns, P., & Sano, A. (2016). Email Duration,

Batching and Self-interruption: Patterns of Email Use on Productivity and Stress. *Microsoft Research*. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858262>

Martin, E. A., & Kerns, J. G. (2011). The influence of positive mood on different aspects of cognitive control. *Cognition & Emotion*, 25(2), 265–279. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.491652>

McFarlane, D. (1999). Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction. *INTERACT*.

McFarlane, D. (2002). Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human-computer Interaction. *Hum.-Comput. Interact.*, 17(1), 63–139. https://doi.org/10.1207/S15327051HCI1701_2

Mehrabian, A., & West, S. (1977). Emotional Impact of a Task and its Setting on Work Performance of Screeners and Nonscreeners. *Perceptual and Motor Skills*, 45(3), 895–909. <https://doi.org/10.2466/pms.1977.45.3.895>

Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component Processes in Task Switching. *Cognitive Psychology*, 41(3), 211–253. <https://doi.org/10.1006/cogp.2000.0736>

Meys, H. L., & Sanderson, P. M. (2013). The Effect of Individual Differences on How People Handle Interruptions. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 868–872. <https://doi.org/10.1177/1541931213571188>

Mitroff, S. R., Biggs, A. T., & Cain, M. S. (2015). Multiple-Target Visual Search Errors: Overview and Implications for Airport Security. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 2(1), 121–128. <https://doi.org/10.1177/2372732215601111>

Miyata, Y., & Norman, D. A. (1986). Psychological Issues in Support of Multiple Activities. In *User Centered System Design* (Lawrence Erlbaum, pp. 265–284). Hillsdale, USA.

Monk, C. A. (2004). The Effect of Frequent versus Infrequent Interruptions on Primary Task Resumption. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(3), 295–299. <https://doi.org/10.1177/154193120404800304>

Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2002). The Attentional Costs of Interrupting Task Performance at Various Stages. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(22), 1824–1828. <https://doi.org/10.1177/154193120204602210>

Monk, C. A., Boehm-Davis, D. A., & Trafton, J. G. (2004). Recovering From Interruptions: Implications for Driver Distraction Research. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 46(4), 650–663. <https://doi.org/10.1518/hfes.46.4.650.56816>

Monk, C. A., Trafton, J. G., & Boehm-Davis, D. A. (2008). The effect of interruption duration and demand on resuming suspended goals. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 299–313. <https://doi.org/10.1037/a0014402>

Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7)

Monsell, S., Yeung, N., & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, 63(3–4), 250–264. <https://doi.org/10.1007/s004269900005>

Nivoix, M.-C., & Lebreton, P. (2006). *L'efficacité sans stress*. Paris: Editions d'Organisation.

Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. Davidson, R. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory IV*. Plenum Press.

O'Conaill, B., & Frohlich, D. (1995). Timespace in the Workplace: Dealing with Interruptions. *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, 262–263. <https://doi.org/10.1145/223355.223665>

Padmala, S., Bauer, A., & Pessoa, L. (2011). Negative Emotion Impairs Conflict-Driven Executive Control. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00192>

Panepinto, M. (2010). Voluntary versus Forced Task Switching. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54, 453–457. <https://doi.org/10.1177/154193121005400438>

Pankok, C., Zahabi, M., Zhang, W., Choi, I., Liao, Y.-F., Nam, C. S., & Kaber, D. (2017). The effects of interruption similarity and complexity on performance in a simulated visual-manual assembly operation. *Applied Ergonomics*, 59, Part A, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.022>

Pe, M. L., Koval, P., & Kuppens, P. (2013). Executive well-being: Updating of positive stimuli in working memory is associated with subjective well-being. *Cognition*, 126(2), 335–

340. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.10.002>

Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>

Pessoa, L., Padmala, S., Kenzer, A., & Bauer, A. (2012). Interactions between cognition and emotion during response inhibition. *Emotion (Washington, D.C.)*, 12(1), 192–197. <https://doi.org/10.1037/a0024109>

Peters, N., Romigh, G., Bradley, G., & Raj, B. (2017). When to Interrupt: A Comparative Analysis of Interruption Timings Within Collaborative Communication Tasks. In I. L. Nunes (Ed.), *Advances in Human Factors and System Interactions* (pp. 177–187). https://doi.org/10.1007/978-3-319-41956-5_17

Phillips, L. H., Bull, R., Adams, E., & Fraser, L. (2002). Positive mood and executive function: Evidence from Stroop and fluency tasks. *Emotion*, 2(1), 12–22. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.2.1.12>

Pool, E., Brosch, T., Delplanque, S., & Sander, D. (2016). Attentional bias for positive emotional stimuli: A meta-analytic investigation. *Psychological Bulletin*, 142(1), 79–106. <https://doi.org/10.1037/bul0000026>

Raban, M. Z., & Westbrook, J. I. (2014). Are interventions to reduce interruptions and errors during medication administration effective?: A systematic review. *BMJ Quality & Safety*, 23(5), 414–421. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2013-002118>

Ratwani, R. M., & Trafton, J. G. (2008). Spatial memory guides task resumption. *Visual Cognition*, 16(8), 1001–1010. <https://doi.org/10.1080/13506280802025791>

Ratwani, R. M., Trafton, J. G., & Myers, C. (2006). Helpful or Harmful? Examining the Effects of Interruptions on Task Performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(3), 372–375. <https://doi.org/10.1177/154193120605000334>

Redick, T. S. (2016). On the Relation of Working Memory and Multitasking: Memory Span and Synthetic Work Performance. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2016.05.003>

Reeve, J. (1989). The interest-enjoyment distinction in intrinsic motivation. *Motivation and Emotion*, 13(2), 83–103. <https://doi.org/10.1007/BF00992956>

Renaud, K., Ramsay, J., & Hair, M. (2006). "You've Got E-Mail!" ... Shall I Deal With It Now? Electronic Mail From the Recipient's Perspective. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 21(3), 313–332. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc2103_3

Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Environmental Psychology*, 124(2). Retrieved from <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:6180113d-b831-419b-8716-46652110880d>

Rowe, G., Hirsh, J. B., & Anderson, A. K. (2007). Positive affect increases the breadth of attentional selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 383–388. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605198104>

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>

Sala, G., & Gobet, F. (2019). Cognitive Training Does Not Enhance General Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(1), 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.10.004>

Salvucci, D. D. (2010). On Reconstruction of Task Context After Interruption. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 89–92. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753341>

Salvucci, D. D., & Beltowska, J. (2008). Effects of memory rehearsal on driver performance: Experiment and theoretical account. *Human Factors*, 50(5), 834–844. <https://doi.org/10.1518/001872008X354200>

Salvucci, D. D., & Bogunovich, P. (2010). Multitasking and Monotasking: The Effects of Mental Workload on Deferred Task Interruptions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 85–88. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753340>

Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101–130. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.1.101>

Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., & Borst, J. P. (2009). Toward a Unified Theory of the Multitasking Continuum: From Concurrent Performance to Task Switching, Interruption, and Resumption. *Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1819–1828. ACM.

Sasangohar, F., Donmez, B., Easty, A. C., & Trbovich, P. L. (2017). Effects of Nested Interruptions on Task Resumption: A Laboratory Study With Intensive Care Nurses. *Human*

Factors, 0018720816689513. <https://doi.org/10.1177/0018720816689513>

Sasangohar, F., Donmez, B., Trbovich, P. L., & Easty, A. C. (2012). Not All Interruptions are Created Equal: Positive Interruptions in Healthcare. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 824–828. <https://doi.org/10.1177/1071181312561172>

Sasangohar, F., Scott, S. D., & Cummings, M. L. (2014). Supervisory-level interruption recovery in time-critical control tasks. *Applied Ergonomics*, 45(4), 1148–1156. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.02.005>

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1–66. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>

Shafaghat, A., Keyvanfar, A., Lamit, H., Mousavi, S. A., & Majid, M. Z. A. (2014). Open Plan Office Design Features Affecting Staff's Health and Well-being Status. *Jurnal Teknologi*, 70(7). <https://doi.org/10.11113/jt.v70.3583>

Song, S., Zilverstand, A., Song, H., d'Oleire Uquillas, F., Wang, Y., Xie, C., ... Zou, Z. (2017). The influence of emotional interference on cognitive control: A meta-analysis of neuroimaging studies using the emotional Stroop task. *Scientific Reports*, 7(1), 2088. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2>

Speier, C., Valacich, J. S., & Vessey, I. (1999). The influence of task interruption on individual decision making: An information overload perspective. *Decision Sciences*, 30(2), 337–356.

Speier, C., Vessey, I., & Valacich, J. S. (2003). The Effects of Interruptions, Task Complexity, and Information Presentation on Computer-Supported Decision-Making Performance. *Decision Sciences*, 34(4), 771–797. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5414.2003.02292.x>

Srinivas, P., Reddy, M. C., & Faiola, A. (2017). Better managing technology-mediated interruptions in the ICU: Examining the role of patient information for improving text message notifications. *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2016, 1159–1168.

Sykes, E. R. (2011). Interruptions in the workplace: A case study to reduce their effects. *International Journal of Information Management*, 31(4), 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2010.10.010>

Szumowska, E., & Kossowska, M. (2016). Need for closure and multitasking performance: The role of shifting ability. *Personality and Individual Differences*, *96*, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.02.055>

Trafton, J. G., Altmann, E. M., Brock, D. P., & Mintz, F. E. (2003). Preparing to resume an interrupted task: Effects of prospective goal encoding and retrospective rehearsal. *International Journal of Human-Computer Studies*, *58*(5), 583–603. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00023-5)

Trafton, J. G., Altmann, E. M., & Ratwani, R. M. (2011). A memory for goals model of sequence errors. *Cognitive Systems Research*, *12*(2), 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2010.07.010>

Trafton, J. G., Jacobs, A., & Harrison, A. M. (2012). Building and Verifying a Predictive Model of Interruption Resumption. *Proceedings of the IEEE*, *100*(3), 648–659. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2175149>

Trafton, J. G., & Monk, C. A. (2007). Task Interruptions. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, *3*(1), 111–126. <https://doi.org/10.1518/155723408X299852>

Tuddenham, W. J. (1962). Visual search, image organization, and reader error in roentgen diagnosis. Studies of the psycho-physiology of roentgen image perception. *Radiology*, *78*, 694–704. <https://doi.org/10.1148/78.5.694>

Wajcman, J., & Rose, E. (2011). Constant Connectivity: Rethinking Interruptions at Work. *Organization Studies*, *32*(7), 941–961. <https://doi.org/10.1177/0170840611410829>

Wang, Y., Chen, J., & Yue, Z. (2017). Positive Emotion Facilitates Cognitive Flexibility: An fMRI Study. *Frontiers in Psychology*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01832>

Wel, P. van der, & Steenbergen, H. van. (2018). Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1–11. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1432-y>

Werner, N. E., Cades, D. M., Boehm-Davis, D. A., Chang, J., Khan, H., & Thi, G. (2011). What Makes Us Resilient to Interruptions? Understanding the Role of Individual Differences in Resumption. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *55*(1), 296–300. <https://doi.org/10.1177/1071181311551062>

Werner, N. E., & Holden, R. J. (2015). Interruptions in the wild: Development of a

sociotechnical systems model of interruptions in the emergency department through a systematic review. *Applied Ergonomics*, 51, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.05.010>

Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455. <https://doi.org/10.1518/001872008X288394>

Xie, W., & Zhang, W. (2017). Negative emotion enhances mnemonic precision and subjective feelings of remembering in visual long-term memory. *Cognition*, 166, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.05.025>

Yiend, J. (2010). The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information. *Cognition and Emotion*, 24(1), 3–47. <https://doi.org/10.1080/02699930903205698>

Zacks, J. M., Braver, T. S., Sheridan, M. A., Donaldson, D. I., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., ... Raichle, M. E. (2001). Human brain activity time-locked to perceptual event boundaries. *Nature Neuroscience*, 4(6), 651–655. <https://doi.org/10.1038/88486>

Zacks, J. M., & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin*, 127(1), 3–21. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.1.3>

Zenasni, F., & Lubart, T. (2011). Pleasantness of creative tasks and creative performance. *Thinking Skills and Creativity*, 6(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2010.10.005>

Zijlstra, F. R. H., Roe, R. A., Leonora, A. B., & Krediet, I. (1999). Temporal factors in mental work: Effects of interrupted activities. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 72(2), 163–185. <https://doi.org/10.1348/096317999166581>

Zish, K., & Trafton, J. G. (2014). Interruption Practice Reduces Procedural Errors at the Post-Completion Step. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 265–269. <https://doi.org/10.1177/1541931214581055>

PRODUCTIONS ET MISSIONS REALISEES AU COURS DE LA THESE

Publication dans des revues internationales à comités de lecture :

Articles publiés / en révision

- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (2019). Interrupting an email search: influence of the complexity and the timing of the interruption. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, XXIII (Nr 2), 135–153. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23.08>
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (revision submitted). Complexity of interruptions: evidence supporting a non-interruption-based theory
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (revision submitted). Do not interrupt me if it makes me feel something – Study of the effect of the pleasantness of interruptions on performance

Articles soumis

- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (submitted). Do not interrupt me, I do it better myself – Investigation of the effect of self-interruptions
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (submitted). Investigating the processes underlying the resumption of interrupted tasks
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (submitted). Suspensions and SSM errors: the case of multiple weapons in luggage X-ray images

Communications orales :

- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (2018). Do not interrupt me, I do it better myself – Investigation of the effect of self-interruptions. Présentée au 29ème meeting de l'ICAP, Montréal.
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A.** (2018). Investigating the processes underlying the resumption of interruptions. Présentée au 29ème meeting de l'ICAP, Montréal.

- **Brazzotto, P., & Michael, G. A. (2018).** Ne m'interromps pas, je le fais mieux moi-même – Étude des interruptions autogénérées. Présentée au 68ème meeting annuel de la Société Française de Psychologie, Reims.

Communications affichées :

- **Brazzotto, P., & Michael, G. A. (2018).** Interromps-moi seulement si c'est déplaisant – Etude de l'effet de l'agréabilité des interruptions. Présenté au 68ème meeting annuel de la Société Française de Psychologie, Reims.
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A. (2018).** Interrupt me but only if this is unattractive - Study of the effect of the attractiveness of interruptions. Présenté au 29ème meeting de l'ICAP, Montréal.
- **Brazzotto, P., & Michael, G. A. (2019).** Complexity of the interruptions: evidence supporting a non-interruptions-based theory. Présenté au 21ème meeting de l'ESCoP, Tenerife.
- **Brazzotto, P., Michael, G. A. (2017).** Interrupting an email search: how can we manage that? Présenté au 20ème meeting de l'ESCoP, Potsdam.
- **Brazzotto, P., Yatoui, M. and Michael, G. A. (2019).** Interruptions improve performance in multiple-target visual search: The case of detection of multiple weapons in luggage x-ray images. Présenté au 21ème meeting de l'ESCoP, Tenerife.
- **Couffe, C., Brazzotto, P., Deval, S., Michael, G. A. (2015).** Une étude appliquée de la complexité et du moment d'une interruption. Présenté au 56ème meeting annuel de la Société Française de Psychologie, Strasbourg.

Articles de vulgarisation parus sur internet :

- **Brazzotto, P. (2019).** Paroles de chercheurs : les effets des interruptions au travail. Usine Cognitive, Usine Nouvelle.

Présentation invitée :

- **Brazzotto, P. (2019).** Table ronde des doctorants de l'EMC, organisée par l'association ESTIGMA.

Enseignements effectués :

- TD Fonctionnement cognitif : Attention, parcours Sciences Cognitives L2 (96,25 heures)
- TD Neuropsychologie, parcours Psychologie L1 (21 heures)
- TD Introduction à OpenSesame, M2 Neurosciences (5 heures)

Encadrement d'étudiants :

- 1 étudiante de Licence 2 (Stage de recherche volontaire)
- 19 étudiants de Licence 3 (TER Neuropsychologie)
- 2 étudiants de Master 1 (Stage de recherche)

Autres fonctions au cours de la thèse :

- Représentant des doctorants au laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs
- Membre de comités d'organisation d'évènements scientifiques (43^{èmes} Journées de Printemps de la Société de Neuropsychologie de Langue Française, Journées des Doctorants de l'EMC 2, 3 et 4)
- Membre du groupe de Communication et de Valorisation de la Recherche du Laboratoire EMC
- Consultant pour l'entreprise Cog'X

Formations suivies au cours de la thèse (114h) :

- Comment publier des articles et sa thèse en Lettres, sciences humaines et sociales ? (6 heures)
- Rédiger un article de vulgarisation scientifique (21 heures)
- Programmation (21 heures)
- Projet Voltaire (15 heures)
- Communiquer sa recherche à tous : Ma thèse en 180 secondes (27 heures)
- De la thèse à l'emploi : valoriser ses compétences pour convaincre l'entreprise (21 heures)
- Les carrières de l'enseignement supérieur et de la recherche (3 heures)