



**HAL**  
open science

# Approche multimodale de l'impact des fluctuations attentionnelles sur l'encodage en mémoire épisodique

Philippe Blondé

► **To cite this version:**

Philippe Blondé. Approche multimodale de l'impact des fluctuations attentionnelles sur l'encodage en mémoire épisodique. Psychologie. Université Paris Cité, 2021. Français. NNT : 2021UNIP5099 . tel-03828500

**HAL Id: tel-03828500**

**<https://theses.hal.science/tel-03828500>**

Submitted on 25 Oct 2022

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

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



Université  
de Paris

**Université de Paris**

Cognition, Comportements, Conduites Humaines (ED 261)

Laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition (LMC<sup>2</sup>)

# **Approche multimodale de l'impact des fluctuations attentionnelles sur l'encodage en mémoire épisodique**

Par **Philippe Blondé**

Thèse de doctorat de Sciences Cognitives

Dirigée par **Pascale Piolino**

Présentée et soutenue publiquement le 29/06/2021

Devant un jury composé de :

**Pascale Piolino**, Professeure des Universités, Université de Paris, *directrice de thèse*

**Arnaud d'Argembeau**, Directeur de Recherche, Université de Liège, *rapporteur*

**Laurence Taconnat**, Professeure des Universités, Université de Tours, *rapporteuse*

**Arnaud Delorme**, Directeur de Recherche, Université Paul Sabatier, *examineur*

**Jean-Philippe Lachaux**, Directeur de Recherche, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, *examineur*

**Marco Sperduti**, Maître de Conférence, Université de Paris, *membre invité*



Except where otherwise noted, this is work licensed under <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

*À mon père*  
*Semper vigilat*



# Remerciements

Comme de coutume, je commencerai cette thèse en adressant mes remerciements – souvent trop brefs mais toujours sincères – aux différentes personnes qui ont su m'accompagner, me soutenir et m'aider à mettre en œuvre ce long projet.

En premier lieu, je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury, Arnaud d'Argembeau, Laurence Taconnat, Arnaud Delorme et Jean-Philippe Lachaux, pour me faire l'honneur d'évaluer ce travail de thèse. Plus je m'aventure dans le domaine de la recherche, plus je me rends compte que la vie d'un chercheur est trop courte pour la quantité de travail à réaliser. Ainsi, je prends la mesure de ce que cela implique de dédier du temps à la lecture et à l'évaluation d'un travail aussi important que celui d'une thèse.

Ensuite, j'adresse mes remerciements à ma famille, en particulier mes cousines Élise et Cécile pour ces rares moments, chez *Madame la Comtesse*, qui sont les seuls que j'ai pu considérer comme de véritables vacances. Merci à la baie de la Somme, au spritz à la tombée du jour, aux conversations à l'ombre des feuilles, et au plaisir de partager à nouveau ces moments avec vous.

À mes amis maintenant. Vaste sujet. À ces longues discussions passionnantes qui m'ont tant apporté. À cette fameuse question “ça va ?”, si nerveusement prononcée. À ces moments précieux, autour d'un verre de whisky, d'un buffet à volonté ou sous une tente perdue dans le désert. À Benjamin, Guillaume, Thiboph... Pardon, Thibaut et Théophile. Ce dernier, en particulier, dont le sens esthétique marquera à jamais mon travail. À Maxime et Mathieu, aubes de longues journées nostalgiques dont le souvenir ensoleillé me poursuit encore. À Constance, pour avoir toujours été là et pour réussir l'exploit de me faire sourire et rêver en toutes circonstances. À Samantha, pour ta bienveillance, pour ce ton perpétuellement mesuré et pour ces mots choisis à la perfection. À Maria Laura, pour ces étincelles entre nous, parfois crépitantes, mais toujours rayonnantes.

Aux anciens de la deuxième génération du PCFA, malheureusement trop peu vus durant cette thèse. À Dylan, Iliana, Mehdi et Paul, à qui je souhaite tout le succès possible. À Joy et Vanessa, pour avoir réalisé cette aventure ensemble.

À Manali, pour ces pauses clopes riches en ragots et ces charmantes escapades théâtrales.

Mes pensées vont à présent au laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition. À l'ensemble de l'équipe, bien sûr, mais également au lieu, où j'ai probablement passé plus de temps que dans ma propre maison. Aux bons moments passés avec Alexandre, Emma, Léo, Laurie, Samy ou Sylvain. À Fred bien sûr, dont la bonne humeur et l'énergie débordante suffisent à égayer la plus grise journée. À mes stagiaires, Lilya notamment, à qui j'accorde toute ma confiance pour la poursuite de mon projet. Aux stagiaires des autres, Léa et Charlotte, sans qui ces derniers mois de thèse auraient été bien mornes. À Kouloud également, pour ton écoute et tes sages conseils. À Filippia, pour ta candeur, ta gentillesse et ces moments de réconfort mutuel.

A Stefania, per la sua immensa empatia e sensibilità. Grazie per le indimenticabili gite culturali a Parigi, e quell'incredibile buffet siciliano ! Grazie per tutto. Mangio la mela!

J'adresse également quelques mots aux membres du laboratoire Vision, Action, Cognition, si proches et si distants à la fois. À Katia et Gabriella, pour ces  $n$  et ces  $r$ , pour ces soupirs exaspérés à la vue d'une chaise trafiquée, et pour m'avoir fourni en films serbes et en anecdotes médicales quand j'en avais besoin. À son altesse, Anne Hillairet de Boisferon, pour tes conseils avisés et ce verre qu'il nous reste toujours à boire. Enfin, j'adresse des remerciements très spéciaux à Dorine Vergilino-Perez, pour l'excellence de son encadrement durant le Master.

Maintenant, comment poursuivre dans ses remerciements sans mentionner Dominique ? Merci d'avoir été un modèle, tant dans les ambitions à poursuivre que dans les erreurs à ne pas commettre. J'attends depuis longtemps ce jour où je peux te rejoindre au sein de l'Ordre de la Recherche. Nous avons tous les deux passé les épreuves, celles officielles bien sûr, mais surtout celles officieuses. Celles du Clan. Celles du bar pirate, des longues routes enneigées et de Poitiers. Avançons à présent, diplôme au poing, brandi face à l'obscurantisme, et plongeons notre regard dans l'abysse jusqu'à ce qu'elle détourne le sien. Faisons à présent la fierté des royaumes de France et de Pologne !

Für Lukas. Danke, dass du dieses Büro über so viele Monate mit mir geteilt hast. Ich hätte mir keinen besseren Dissertationsbegleiter wünschen können: ernsthaft, gründlich, aber mit großem Einfühlungsvermögen. Ich werde dir nie genug für all die Momente danken können, in denen du dich selbst übernommen und deine kostbare Zeit geopfert hast, um mich in den schwierigen Momenten zu unterstützen. Gott weiß, wie zahlreich sie waren! Ich habe keinen Zweifel daran, dass deine harte Arbeit und Motivation dich bei deinen Projekten weit bringen wird und ich hoffe, dich bald so ruhmreich wie König Friedrich selbst zu sehen! Tschüss.

Pour Jean-Charles. Que dire ? Que je t'ai toujours senti à mes côtés, malgré la distance ? Que tu me ferais presque aimer le fait de repasser mes chemises, du moment que je suis au téléphone avec toi ? Tout cela, et bien plus. Merci pour tes conseils de vieux marin, pour ta franchise et pour tes métaphores foireuses. Je sais combien le futur peut sembler trouble et incertain, particulièrement ces temps-ci. Malgré cela j'ai la conviction que, quelles que soient les difficultés, tu sauras toujours retomber sur tes pattes, comme le vieux matou rusé et débrouillard que tu es. J'attends avec impatience le cidre et les galettes que nous partagerons ensemble lorsque toi aussi tu parviendras, victorieux, à la fin de cette longue aventure de thèse. Embrasse très fort Ali, ainsi que leurs majestés Maximus et Minimus.

Pour Angélique, que j'ai hésité à inclure dans ces remerciements, juste pour le plaisir de te voir boudier. Mais comment aurais-je pu faire cela à une amie aussi adorable que toi ? Je n'imagine même pas combien cette thèse aurait été triste sans toi, sans tes blagues nulles, tes plaintes et tes soupirs exaspérés. Merci pour tout cela, mais surtout merci pour ces petites pauses café, pour ces vocaux dans le métro (parle plus fort !) et pour cette amitié sincère. Merci pour m'avoir montré ce qu'était la définition même d'*attachante*. Je ne serai pas présent en personne pour t'accompagner lors de ta dernière année de thèse, mais je pars confiant car je sais qu'avec ton intelligence, ta rigueur et ta volonté, aucun obstacle ne pourra te résister ! (et tu as intérêt à me faire des remerciements aussi cools dans ta propre thèse !!!)

A Itsaso. Gracias por hacerme entender lo que siente una garza cuando se enfrenta al mar.



Pour Pascale, qu'exceptionnellement je n'appellerai pas madame Piolino. Je me souviens encore de ce jour d'été 2015, où j'ai fait le trajet depuis ma province tourangelle jusqu'à Paris pour vous rencontrer. C'était une journée brûlante et je portais un costume trois-pièces. Peu familier avec les transports en commun dans la capitale, j'étais désespérément en retard et je vous ai croisée *in extremis* lorsque vous sortiez de l'hôpital Sainte-Anne. Vous avez alors commis l'irréparable impair de m'appeler monsieur *Blonde*. J'étais loin d'imaginer à ce moment-là que vous m'accompagneriez six ans durant, de la première année de master jusqu'à cette quatrième année de cette thèse. Je vous remercie pour m'avoir accordé, en ce jour brûlant de 2015, votre confiance et m'avoir permis de poursuivre mon rêve de faire de la recherche. Je vous remercie pour m'avoir toujours donné la liberté de poursuivre mes recherches comme je l'entendais, tout en me fournissant un support lorsque j'en avais besoin.

À Marco. Merci au mentor, pour ses nombreux coups de bâton assésés avec dureté mais toujours avec justesse. Merci au leader, qui m'a toujours entraîné dans ses projets révolutionnaires et a su envoyer mes doutes au goulag. Merci au camarade, pour ces montagnes de pizzas et ces torrents de grappa que nous avons conquis ensemble. Tes coups de sabre ont réduit la longueur de mes manuscrits autant qu'ils m'ont fait grandir. À défaut de m'avoir transmis la maîtrise de la pleine conscience, tu as insufflé à mon esprit un vagabondage créatif permanent. De tes enseignements, je retiens l'orthodoxie margheritaine et l'essence profondément esthétique de la démarche scientifique. De la Tripletta à Amsterdam, j'ai incidemment encodé toutes ces aventures passées ensemble, et je reste à présent attentif aux futures occasions qui nous permettront de continuer à élaborer ce *pseudo-profound bullshit* qui fait l'essence et la joie de nos interactions.

*And last but not least*, merci à mes parents, de demeurer, malgré la nuit, le brouillard et la tourmente, cette lumière d'évidence vers laquelle je peux toujours me tourner. Merci pour tout.

# Sommaire

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>13</b>
<b>NOMENCLATURE</b> .....	<b>15</b>
<b>CHAPITRE 1 : RÉSUMÉ GLOBAL</b> .....	<b>17</b>
<b>CHAPITRE 2 : INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>23</b>
2.1 MÉMOIRE ÉPISODIQUE.....	23
2.1.1 <i>Modèle Sériel-Parallèle-Indépendant</i> .....	23
2.1.2 <i>Processus de la mémoire épisodique</i> .....	26
2.1.2.1 Encodage .....	26
2.1.2.2 Stockage.....	30
2.1.2.3 Récupération .....	31
2.1.2.4 Mémoire de source.....	35
2.1.3 <i>Liens entre mémoire épisodique et mémoire de travail</i> .....	37
2.2 ATTENTION ET MÉMOIRE .....	39
2.2.1 <i>Framework de l'attention</i> .....	39
2.2.1.1 Modèles de filtre.....	39
2.2.1.2 Modèles de capacité.....	40
2.2.1.3 Limites structurelles de l'attention .....	42
2.2.1.4 Modèle des réseaux attentionnels .....	44
2.2.2 <i>Liens entre attention et mémoire épisodique</i> .....	45
2.2.2.1 Attention et mémoire de travail .....	45
2.2.2.2 Attention divisée et performances en mémoire épisodique .....	46
2.2.2.3 Attention divisée et processus de recollection/familiarité .....	50
2.2.2.4 Attention divisée et mémoire de source .....	51
2.2.2.5 Conception unifiée de l'attention et de la mémoire.....	52
2.3 <i>MIND WANDERING</i> .....	53
2.3.1 <i>Comment définir le mind wandering ?</i> .....	53
2.3.1.1 Lien avec la tâche.....	56
2.3.1.2 Indépendance aux stimuli externes .....	57
2.3.1.3 Spontanéité.....	58
2.3.1.4 Dynamique.....	60

2.3.2 Propriétés complémentaires.....	62
2.3.2.1 Temporalité.....	62
2.3.2.2 Valence émotionnelle .....	63
2.3.3 Mécanismes d'apparition .....	64
2.3.3.1 Déclenchement par les problèmes en cours .....	64
2.3.3.2 Ressources exécutives.....	65
2.3.3.3 Conséquence d'un échec exécutif.....	66
2.3.3.4 Hypothèse de disponibilité globale .....	67
2.3.4 Arguments en faveur d'un impact négatif sur la cognition .....	68
2.3.4.1 Impact sur la mémoire de travail .....	68
2.3.4.2 Impact sur l'attention soutenue.....	70
2.3.5 Arguments en faveur d'un impact positif sur la cognition .....	71
2.4 MIND WANDERING ET MEMOIRE EPISODIQUE.....	73
2.4.1 Introduction à la revue .....	73
2.4.2 Revue systématique de la littérature.....	74
2.4.3 Synthèse et problématique.....	159
<b>CHAPITRE 3 : MÉTHODE ET OUTILS .....</b>	<b>161</b>
3.1 IMPORTANCE DE L'APPROCHE ECOLOGIQUE .....	161
3.2 PREDICTION DES SCORES DE MEMOIRE PAR CEUX DU MIND WANDERING .....	165
3.3 UTILISATION DES STATISTIQUES BAYESIENNES .....	170
<b>CHAPITRE 4 : ÉVALUATION DU LIEN ENTRE MIND WANDERING ET MEMOIRE ÉPISODIQUE EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL .....</b>	<b>177</b>
4.1 INTRODUCTION .....	177
4.2 ARTICLE PUBLIE (BLONDE ET AL., 2020) .....	178
4.3 CONCLUSION .....	193
<b>CHAPITRE 5 : INFLUENCES CONJOINTES DU MIND WANDERING ET DE L'ENNUI SUR LA MEMOIRE ÉPISODIQUE .....</b>	<b>195</b>
5.1 INTRODUCTION .....	195
5.2 ARTICLE ACCEPTE (BLONDE ET AL., ACCEPTED) .....	196
5.3 CONCLUSION .....	245
<b>CHAPITRE 6 : INFLUENCE DU CONTENU DU MIND WANDERING SUR LA MÉMOIRE ÉPISODIQUE.....</b>	<b>247</b>
6.1 INTRODUCTION .....	247
6.2 ARTICLE EN PREPARATION (BLONDE ET AL., IN PREP) .....	248
6.3 CONCLUSION .....	285

---

<b>CHAPITRE 7 : DISCUSSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>287</b>
7.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS .....	287
7.2 COMPOSANTES DE L'ENCODAGE AFFECTÉES PAR LE <i>MIND WANDERING</i> .....	294
7.3 CONSOLIDATION EN MÉMOIRE ET <i>MIND WANDERING</i> .....	297
7.3 PREDICTION DE LA MÉMOIRE GRÂCE À LA VARIABILITÉ DU <i>MIND WANDERING</i> .....	300
7.4 CONCLUSION .....	303
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>307</b>
<b>MATÉRIEL SUPPLÉMENTAIRE.....</b>	<b>361</b>



# Liste des figures

<b>Figure 1</b> Représentation schématique du modèle SPI.....	<b>24</b>
<b>Figure 2</b> Représentation schématique des différentes théories explicatives de la période psychologique réfractaire.....	<b>43</b>
<b>Figure 3</b> Représentation schématique du <i>mind wandering</i> selon la vue de ressemblance familiale.....	<b>56</b>
<b>Figure 4</b> Représentation graphique des différents états mentaux pouvant survenir, selon la distinction Dépendance/Indépendance d'un stimulus et Lien/Sans lien avec la tâche.....	<b>58</b>
<b>Figure 5</b> Représentation graphique des réseaux supportant une distinction des phénomènes mentaux.....	<b>61</b>
<b>Figure 6</b> Illustration de l'effet du focus attentionnel sur l'encodage en mémoire épisodique. .....	<b>293</b>



# Nomenclature

**MRT** : *Metronome Response Task*

**PRAM** : *Perceptive Reflexive Attention Memory*

**RKG** : *Remember-Know-Guess*

**RMSSD** : *Root Mean Square of Successive Differences*

**ROC** : *Receiver-Operating-Characteristic*

**SART** : *Sustained Attention to Response Task*

**SDT** : *Stimulus-Dependent Thought*

**SIT** : *Stimulus-Independent Thought*

**SPI** : *Sériel-Parallèle-Indépendant*

**TRT** : *Task-Related Thought*

**TUT** : *Task-Unrelated Thought*





# Chapitre 1

## Résumé global

Toute personne un peu dans la lune pourra le confirmer, le monde physique et le monde mental ne sont pas si distants que l'on voudrait le croire, et se superposent dans de nombreuses situations. En effet, que ce soit lors d'un cours particulièrement ennuyeux ou lors d'une promenade en pleine campagne, nombreuses sont les situations où notre environnement physique s'efface pour laisser place à des rêveries, des souvenirs ou l'anticipation de situations futures. Que se passe-t-il alors durant ces intrusions du monde mental dans notre perception consciente ? Sera-t-on en mesure de retenir le contenu du cours auquel on assiste ou de détailler les paysages que l'on traverse ? L'expérience subjective nous démontre régulièrement que si l'on ne prête pas attention à ce qui se passe autour de nous, il n'en restera qu'un souvenir très flou. Ce lien entre attention et mémoire est si prévalant que certains auteurs considèrent les souvenirs comme des traces persistantes de l'attention (Chun & Johnson, 2011; Chun & Turk-Browne, 2007; Long et al., 2018). Malheureusement, les ressources attentionnelles que nous pouvons dédier au traitement de l'information sont limitées et fluctuent en permanence. Ces fluctuations de l'attention ont été nommées différemment en fonction de l'évolution de la recherche. *Rêverie éveillée* ou *pensées sans lien avec la tâche* sont des termes qui ont pu être employés pour décrire ce phénomène (Giambra, 1989; Klinger, 1971). Un autre terme s'est cependant peu à peu imposé : il s'agit du *mind wandering* (Smallwood & Schooler, 2006), que l'on peut traduire par « vagabondage de l'esprit » ou « errance mentale », mais qui sera employé tel quel dans la présente thèse.

Le *mind wandering* correspond, comme illustré plus haut, au basculement des ressources attentionnelles du traitement de notre environnement physique vers celui de notre environnement mental (Smallwood & Schooler, 2006). C'est un phénomène courant (Killingsworth & Gilbert, 2010), et qui évolue de manière dynamique (Christoff et al., 2016;

Mills et al., 2018). De faibles capacités cognitives, ou tout simplement des moments d'ennui ou de démotivation peuvent en être la cause (Danckert et al., 2018; McVay & Kane, 2010; Seli et al., 2019). Lorsque ce phénomène survient, les ressources attentionnelles sont mobilisées pour traiter en priorité les stimuli internes, souvent liés aux préoccupations des individus (Klinger, 1999, 2015) et visant à anticiper leur résolution future (Baird et al., 2011; Stawarczyk, Cassol, et al., 2013). Cependant, même si ce phénomène disposerait d'une utilité concrète, son émergence entraîne un découplage dans notre perception du monde réel (Baird et al., 2014; Schooler et al., 2011; Smallwood & Schooler, 2006). Ce découplage perceptif est la cause de nombreux inconvénients pour le système cognitif, comme en témoignent les erreurs d'inattention qui se multiplient (Christoff et al., 2009; Seli, Carriere, et al., 2015), de même que les erreurs de compréhension (Dixon & Li, 2013; Smallwood, 2011; Unsworth & McMillan, 2013). Ces disruptions du traitement des stimuli externes auront alors des conséquences importantes pour leur mémorisation, ce qui sera reflété par des liens négatifs entre taux de *mind wandering* et performances mnésiques.

Les performances mnésiques dont il est question sont cependant décrites de manière assez vague dans la littérature portant sur le *mind wandering*. Le terme de *mémoire* est employé de manière générique, et les mesures utilisées pour en rendre compte sont assez sommaires, souvent constituées de listes de mots ou d'items statiques et décontextualisés. Pourtant, la mémoire est loin d'être un processus résumable à l'apprentissage d'items isolés, et correspondrait davantage à un système complexe divisé en plusieurs sous-ensembles mnésiques (Atkinson & Shiffrin, 1968; Tulving, 1972; Yonelinas et al., 1996). En particulier, la mémoire épisodique correspond à une forme spécifique de mémoire permettant de revivre des événements passés tels que nous les avons vécus, dans leur contexte spatio-temporel d'acquisition (Tulving, 1972, 1993, 2002). La mémoire épisodique correspond à la création de *souvenirs* à proprement parler, là où d'autres types de contenu tels que les *savoirs* et les *apprentissages moteurs* seront associés à d'autres types de mémoire : sémantique et procédurale. Ces informations, lorsqu'elles reviennent à l'esprit, ne sont pas caractérisées par un rappel contextuel, ni par une reviviscence du moment d'acquisition. La description de ces différentes mémoires met en lumière deux modes principaux de récupération de l'information : soit par une *recollection* des informations, associée à une reviviscence de son moment d'acquisition, soit par un sentiment de *familiarité*, vague et décontextualisé (Jacoby, 1991; Yonelinas, 1994, 2002). Ce concept est illustré par l'exemple de Mandler (1980), qui décrit une situation où le visage d'un passager

dans un bus nous est familier. Dans cette situation, nous savons que nous avons déjà vu le passager quelque part, mais sans pour autant parvenir à situer l'information. Alors, à force de réfléchir à la question « où/quand/dans quel contexte ai-je pu voir cette personne ? », le souvenir revient soudainement et avec clarté : il s'agit du boucher du supermarché, que l'on peut se représenter de manière vivide. En plus d'illustrer les deux modes de récupération des informations, cet exemple met également en évidence le fait que la mémoire est un processus associatif. En effet, la récupération d'un souvenir peut être aussi accompagnée du rappel de sa source – c'est-à-dire son contexte d'acquisition – ou d'informations contextuelles spécifiques telles que des informations temporelles ou spatiales (M. K. Johnson et al., 1993; Ranganath, 2010).

Si les liens entre le *mind wandering* et la mémoire épisodique commencent à être explorés, certains écueils subsistent néanmoins. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les stimuli employés sont souvent basiques et ne permettent pas nécessairement de capturer les différentes facettes de la mémoire épisodique (item, source et phénoménologie associée au rappel), celles-ci étant d'ailleurs rarement étudiées ensemble. L'approche écologique, caractérisée par une volonté de rendre compte des processus cognitifs tels qu'ils se manifestent au quotidien (Burgess et al., 1998; Schmuckler, 2001), permettrait d'effectuer une analyse approfondie des liens entre *mind wandering* et mémoire épisodique. L'étude du lien entre *mind wandering* et la mémoire épisodique est une approche qui se prête facilement aux évaluations écologiques, étant donné que le *mind wandering* correspond à une forme naturelle de division de l'attention. L'étude de ce lien permet de rendre compte de l'importance de l'attention pour l'encodage sans avoir recours à des manipulations artificielles de l'attention. De même, l'encodage incident, employé seulement dans une poignée d'études évaluant le *mind wandering* (Chinchanachokchai et al., 2020a, 2020b; deBettencourt et al., 2018; Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016b; Smallwood et al., 2006), correspondrait à la manière dont la plupart des souvenirs sont créés dans la vie quotidienne (Goetschalckx et al., 2019; Hale et al., 2020) et permettrait de tester l'impact direct des fluctuations de l'attention, sans l'influence de stratégies de mémorisation pouvant être employées lors de l'encodage volontaire. Enfin, la réalité virtuelle, outil permettant de mettre en place des situations proches de la vie quotidienne tout en disposant d'un contrôle important sur le déroulement de l'expérience (Rizzo et al., 2004), fournit un cadre adéquat pour une évaluation plus écologique du *mind wandering* et de la mémoire. Pour effectuer une telle évaluation, nous avons choisi d'employer, tout au long de la thèse,

une méthodologie prédictive. Cette méthode vise à quantifier l'intensité du *mind wandering* par des sondes de pensées durant l'encodage et à évaluer comment ces scores attentionnels permettent de prédire la probabilité de récupération d'items, ainsi que la richesse du souvenir (phénoménologie, mesures de source). Cette méthodologie prédictive permet de palier un écueil courant dans la littérature, qui consiste à lier de manière sommaire la mémoire et le *mind wandering* par l'utilisation de scores globaux. En effet, ceux-ci ne rendent pas forcément compte du lien causal entre les fluctuations de l'attention et l'encodage d'informations. En effet, l'attention et la mémoire, souvent étudiés de manière séparée, pourraient être considérés comme des processus continus, selon le modèle *Perceptive Reflexive Attention Memory* (PRAM ; Chun & Johnson, 2011). L'attention perceptive, portée sur l'environnement externe, et l'attention réflexive, portée sur le monde interne, impliqueraient des processus associatifs automatiques permettant d'encoder l'objet de l'attention, qu'il soit externe ou interne. Le *mind wandering*, reflétant justement le basculement de l'attention externe vers l'attention interne permettrait d'opérationnaliser et de tester dans quelle mesure la mémoire découle bel et bien de l'attention à l'encodage.

En résumé, la présente thèse vise à établir une évaluation systématique et plus écologique de l'impact du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique, caractérisé par ses différents aspects lors de la récupération : rappel factuel, phénoménologie associée au rappel et rappel contextuel.

La thèse commencera donc par une définition de la mémoire épisodique, principalement selon le modèle de Tulving (1972), et une description de ses différentes composantes, qu'elles soient partagées avec d'autres types de mémoire (encodage, stockage, récupération) ou spécifiques à la mémoire épisodique (mémoire factuelle, phénoménologie associée à la récupération, mémoire contextuelle). Dans une seconde partie, le concept d'attention sera défini au travers de plusieurs modèles principaux (modèle de filtre, de capacité, de réseaux attentionnels), avant de mettre en évidence les liens entre l'attention et les différentes composantes de la mémoire épisodique. Enfin, nous aborderons en détail la conceptualisation, le fonctionnement, ainsi que les conséquences du *mind wandering* sur les performances cognitives. Cette dernière partie permettra alors d'introduire une revue systématique de la littérature, soumise à *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* (Blondé et al, *submitted*), décrivant en détail l'état de la littérature sur l'impact du *mind wandering* à l'encodage en mémoire épisodique. Une fois les principaux concepts théoriques présentés,

nous décrivons, dans la partie méthodes et outils, trois aspects importants de ce travail de thèse qui en font sa spécificité : la notion d'évaluation écologique du *mind wandering* et de la mémoire épisodique, l'emploi d'une méthodologie prédictive mettant en avant le lien causal entre ces deux phénomènes et la mise en avant des statistiques bayésiennes. En effet, nous avons choisi d'employer, tout au long de cette thèse, des statistiques bayésiennes, jugés plus fiables que les statistiques fréquentistes, celles-ci étant souvent employées de manière incorrecte (Colquhoun, 2014, 2017; X.-K. Lyu et al., 2020).

Les différents travaux réalisés au cours de cette thèse seront alors inclus un par un, en fonction de leur degré d'avancement dans le processus de publication : Article publié dans *Psychological Research* pour la première étude (Blondé et al., 2020), manuscrit accepté dans *Quarterly Journal of Experimental Psychology* pour la seconde étude (Blondé et al., *accepted*), et manuscrit en cours de préparation pour la dernière étude (Blondé et al., *in prep*).

La première expérience réalisée dans cette thèse (Blondé et al., 2020) prend pour point de départ l'utilisation de la réalité virtuelle afin de tester comment, dans un environnement complexe, les fluctuations de l'attention permettent de prédire l'encodage incident de scènes naturelles. Des sondes de pensées, interrogeant les participants sur leur état attentionnel, furent placées immédiatement après la rencontre de différentes scènes de l'environnement, permettant, au moyen de régressions logistiques, de prédire la probabilité de reconnaissance ultérieure des scènes, ainsi que la phénoménologie associée à ce rappel, leur contexte spatial et leur contexte temporel. Une évaluation rétrospective du *mind wandering* a également été effectuée en conjonction des mesures en temps réel, afin de comparer les deux méthodes.

Si l'environnement complexe employé dans la première étude permettait une évaluation réaliste du lien *mind wandering*/mémoire épisodique, la grande richesse des détails de l'environnement rendait imprécise l'évaluation de l'objet du focus attentionnel. La seconde expérience (Blondé et al., *accepted*) fut donc construite sur la base d'un paradigme de laboratoire se voulant particulièrement ennuyeux, consistant en des images uniques défilant lentement à l'écran et devant être comparée les unes aux autres à la manière d'une tâche de *n-back*. Une tâche d'encodage incident fut réalisée par les participants dans deux conditions, l'une consistant en une faible charge de mémoire de travail (comparaison de l'image avec l'image précédente), l'autre en une forte charge de mémoire de travail (comparaison avec l'image présente trois essais auparavant). Des sondes de pensée évaluant soit le *mind wandering* soit l'ennui furent interpolés pour tenter de déterminer, au moyen de régressions

logistiques et de comparaisons de modèles bayésiens, lequel de ces deux prédicteurs expliquaient le mieux les scores de mémoire. Des mesures physiologiques (fréquence cardiaque et conductance cutanée) furent évaluées en continu afin de mesurer implicitement à la fois le *mind wandering* et l'ennui.

Enfin, une dernière étude expérimentale (Blondé et al., *in prep*) a été lancée afin d'explorer les résultats de la première étude. Deux mots sont présentés à l'écran, l'un devant recevoir un jugement syntaxique (nom ou verbe ?), l'autre ne faisant l'objet d'aucune consigne particulière. Des sondes de pensées évaluant à la fois le niveau de *mind wandering*, mais aussi son contenu, ont été incorporées à l'étude afin de déterminer si la relation entre le *mind wandering* et l'encodage des mots changeait selon qu'ils étaient l'objet de la tâche ou non pertinents pour celle-ci. Cette étude sert de base à une prochaine étude, en cours de réalisation, qui est décrite en détail dans la discussion de l'article. Elle consiste en une adaptation du paradigme employé dans la première partie, avec des stimuli visuels complexes employés en conjonction avec des mesures d'*eye tracking*.

Enfin, le chapitre final de cette thèse synthétisera l'ensemble des résultats obtenus dans ces trois études expérimentales afin de les comparer et d'avoir une perspective globale sur les apports de cette thèse. Nous décrirons ensuite différentes pistes de recherche n'ayant pas été testées et permettant d'explorer les liens entre *mind wandering* et encodage en mémoire épisodique.

## Chapitre 2

# Introduction générale

### 2.1 Mémoire épisodique

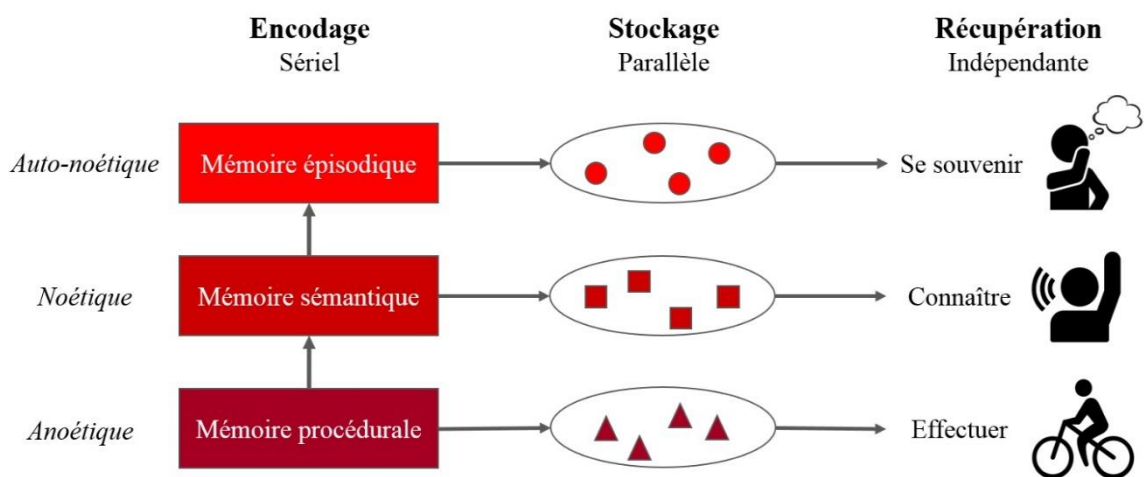
#### 2.1.1 Modèle Sériel-Parallèle-Indépendant

Dans le langage courant, la mémoire est un concept général recouvrant à la fois les savoirs, les connaissances et les souvenirs. Cependant, différentes observations mettent en question cette conception monolithique. À travers l'étude de patients cérébrolésés, il nous est possible d'observer des asymétries entre certaines formes de mémoires dégradées et d'autres préservées. Le cas célèbre du patient HM (Scoville & Milner, 1957) en est l'exemple-type. Celui-ci dû subir, suite à des crises épileptiques répétées, une résection hippocampique bilatérale qui a engendré une amnésie antérograde ainsi qu'une amnésie rétrograde s'étendant sur environ deux ans avant son opération, mais laissant certains souvenirs plus anciens préservés (Corkin, 1984). Une telle distinction dans les fonctions impactées permet d'affiner le processus mnésique en distinguant le processus d'encodage des nouveaux souvenirs de ceux responsables du stockage et de la récupération d'anciens souvenirs. De plus, le patient HM pouvant se rappeler sans problèmes d'informations ayant été vues quelques instants avant, une dissociation entre un système de mémoire à court terme et un système à long terme est suggérée par ses symptômes. En plus des opérations mnésiques altérées différemment, le patient HM ne présentait d'amnésie antérograde que pour la création de souvenirs conscients. L'acquisition de compétences motrices, elle, était préservée chez ce patient, alors même qu'aucun souvenir conscient n'était associé à cet apprentissage (Milner, 1962). Une telle distinction sous-tend l'idée que différents systèmes de mémoire co-existent et traitent différents types d'informations. Des dissociations similaires entre processus cognitifs peuvent se retrouver également chez des participants sains. Par exemple, en comparant la reconnaissance d'une liste de mots (récupération



explicite de l'information présentée) ou la complétion de trigrammes correspondant à ces mêmes mots (récupération implicite), il apparaît que les performances à la tâche de complétion de trigrammes ne diminuent pas après un long délai, en comparaison aux performances à la tâche de reconnaissance, qui décroît avec le temps (Tulving et al., 1982). Une telle asymétrie dans les résultats implique que différents processus sous-tendent la mémorisation, rendant nécessaire de conceptualiser la mémoire en tant que systèmes de processus distincts.

Tulving (1972) propose une distinction fondamentale dans la conceptualisation de la mémoire : il existerait une mémoire *épisode*, dédiée aux souvenirs personnels, et une mémoire *sémantique*, dédiée aux savoirs généraux. Ces différentes mémoires auraient des propriétés spécifiques les rendant distinctes, bien qu'elles interagissent ensemble. Cette idée sera par la suite étoffée et représentée par un modèle théorique où la mémoire est décomposée en différents sous-systèmes organisés de manière hiérarchique (Tulving, 1985a, 1985b). Dans ce modèle, les trois étapes du processus mnésique, à savoir l'encodage, le stockage et la récupération, sont associées à trois modes de fonctionnement distincts. L'encodage, qui correspond à l'acquisition des informations dans l'environnement pour les placer en mémoire, serait sériel. C'est-à-dire que l'encodage dans les systèmes de mémoire supérieurs se ferait nécessairement après l'encodage dans les systèmes de mémoire



**Figure 1** Représentation schématique du modèle SPI. À gauche sont présentées les principales catégories de mémoire du modèles, organisées de manière hiérarchique avec leur niveau de conscience associé. Au centre sont représentées les informations caractérisant chacune de ces mémoires, stockées de manière parallèle. À droite sont illustrés différents modes de récupération indépendants.

inférieurs. Le stockage des informations, c'est-à-dire le maintien des informations encodées dans le temps, serait quant à lui parallèle. Cela signifie que les informations contenues dans les différents sous-systèmes seraient stockées dans des réservoirs distincts. Enfin, la récupération des informations stockées se ferait de manière indépendante. Ces trois caractéristiques des processus mnésiques ont ainsi donné son nom au modèle : le modèle *Sérial-Parallèle-Indépendant* (SPI ; voir **Figure 1**).

Une des distinctions théoriques les plus retenues dans ce modèle est cependant celle des différents sous-systèmes de mémoire, chacun associé à un contenu différent mais aussi à un degré de conscience spécifique.

- La mémoire procédurale correspond à la mémoire des apprentissages implicites. C'est la mémoire comprenant les activités motrices acquises telles que la marche, le fait de jouer d'un instrument ou le fait de conduire. C'est une mémoire *anoétique*, car peu accessible à la conscience.
- La mémoire sémantique comprend les savoir généraux. C'est une mémoire *noétique*, car elle est accessible à la conscience, mais est dissociée de tout contexte d'acquisition.
- La mémoire épisodique, enfin, prend en charge les souvenirs personnels. Ces souvenirs sont caractérisés par une reviviscence de leur contexte d'acquisition et une forte imagerie mentale. C'est une mémoire *auto-noétique* car elle est non seulement accessible à la conscience, mais permet également de devenir conscient de sa propre identité, au travers de l'expérience mentale de son passé, ainsi que de la projection dans le futur.

La mémoire épisodique se distingue des autres types de mémoire par son contenu particulièrement riche. En effet, l'information présente en mémoire épisodique n'est pas encodée seule, mais se trouve associée à d'autres informations contextuelles caractérisant à la fois la situation dans laquelle l'événement a été encodé, de même que l'état mental de l'individu lors de l'encodage. Ainsi, l'événement est associé à des informations factuelles, idiosyncratiques, spatiales et temporelles. L'événement, lorsqu'il est remémoré, peut être associé à une vivacité sensorielle élevée, grâce à la présence d'imagerie mentale ou du souvenir de sons ou d'odeurs. La récupération de l'événement se rapproche donc moins d'un simple rappel de connaissances et plus à un voyage mental permettant de revivre subjectivement l'événement. Cette forme de mémoire a un intérêt évolutif évident, car elle

permet de se souvenir de situations dangereuses à éviter, mais elle a aussi une fonction moins évidente qui est d'aider à la projection vers le futur. L'imagination de scènes futures est en effet largement basée sur les souvenirs que nous possédons. Les souvenirs dont nous disposons sont ainsi liés temporellement les uns avec les autres et permettent de favoriser la cohésion du soi, étant donné que ceux-ci sont remémorés comme si on y était.

Enfin, avant d'aller plus loin dans la description du fonctionnement de la mémoire selon le modèle de Tulving, il convient de rappeler qu'un débat existe concernant le fonctionnement de la mémoire et la nature des informations qui s'y trouve. Le modèle de Tulving, ainsi que d'autres modèles multi-systèmes (pour une courte revue, voir Squire, 2004) postulent que différentes mémoires existent, chacune associée à un contenu spécifique. *A contrario*, les modèles mono-systèmes arguent que la nature des expériences encodées (épisodique ou sémantique) est qualitative et ne correspond pas à des informations stockées différemment. Ainsi, ces informations peuvent changer avec le temps, caractérisant ainsi moins des informations propres à des systèmes de mémoire distincts qu'à des changements de nature de l'information (Hintzman, 1986; Versace et al., 2014).

### 2.1.2 Processus de la mémoire épisodique

Le processus mnésique n'étant pas un phénomène unifié, nous allons à présent décrire les différentes étapes le composant (l'encodage, le stockage et la récupération) ainsi que les mécanismes sur lesquels ils reposent, plus particulièrement dans le contexte de la mémoire épisodique.

#### 2.1.2.1 Encodage

L'encodage d'événements épisodiques est un processus pouvant se produire de manière automatique ou bien contrôlée (Hasher & Zacks, 1979). Lorsqu'il survient automatiquement, on parle d'encodage incident, une forme d'encodage spontané effectué sans la mise en place de processus stratégiques et permettant d'effectuer d'autres tâches plus ou moins en parallèle. Lorsqu'il survient de manière contrôlée, on parle d'encodage volontaire. Ce deuxième cas correspond au déploiement de ressources attentionnels et peut impliquer l'utilisation de stratégies (Taconnat et al., 2007, 2009) nécessitant donc plus d'efforts de la part de l'individu. Le coût cognitif d'un encodage volontaire est néanmoins compensé par un meilleur rappel subséquent, dû à un traitement plus élaboré ( Craik & Tulving, 1975). Cependant, la nécessité d'un encodage volontaire est très relative, certains auteurs pointant

du doigt le fait que la plupart des souvenirs personnels dont nous disposons ont été encodés de manière incidente (Goetschalckx et al., 2019; Hale et al., 2020; Köster et al., 2014; Vingerhoets et al., 2005). L'utilité de ce type d'encodage est évidente, étant donné qu'il serait particulièrement coûteux et inefficace que la mémorisation de chaque événement de notre vie se fasse de manière contrôlée.

La meilleure mémorisation des informations encodées volontairement peut découler de l'utilisation de stratégies et être liée à la réalisation d'un traitement plus profond de l'information. En effet, les traitements effectués sur l'information à encoder varient selon leur niveau de profondeur ( Craik & Tulving, 1975). La lecture d'un mot, par exemple, peut nécessiter différents niveaux de traitement. Il est possible de réaliser un traitement perceptif (couleur, forme des lettres, etc...) correspondant à un traitement superficiel de l'information, un traitement grammatical (identifier s'il s'agit d'un verbe ou d'un nom), plus complexe et mobilisant des connaissances particulières, ou un traitement sémantique nécessitant un traitement profond du mot et la mobilisation de connaissances générales. La réalisation d'un traitement profond nécessitera d'effectuer les traitements des niveaux superficiels et augmentera la probabilité d'encodage de l'information (Craik & Tulving, 1975; Hyde & Jenkins, 1969; Seamon & Murray, 1976; Till & Jenkins, 1973; Walsh & Jenkins, 1973). En effet, un traitement profond de l'information implique la mobilisation de processus associatifs mettant en relation des informations déjà encodées avec celles à encoder, ce qui favorise la constitution d'une trace mnésique épisodique (Galli, 2014). De plus la manière dont est codée l'information va également influencer sur sa probabilité d'encodage. Par exemple, une information peut être codée à la fois de manière verbale et visuelle, ce double codage assurant la création d'une trace mnésique plus robuste qu'une information codée *via* une seule de ces modalités (Paivio & Csapo, 1973). Les caractéristiques de l'information à encoder ainsi que les opérations effectuées lors de l'encodage sont donc d'une importance cruciale pour un rappel subséquent. Très tôt, différents facteurs ayant un impact significatif sur la réussite de l'encodage ont été mis en évidence, comme le nombre d'information à retenir, leur répétition ou leur similarités perceptives et sémantiques (Atkinson & Juola, 1973).

Le fait que les relations entre les informations à traiter impacte leur encodage illustre bien qu'elles ne sont pas traitées de manière indépendante, mais sont au contraire associées les unes avec les autres. Telle que Tulving l'a définie, la mémoire épisodique ne se résume

pas à la rétention d'informations isolées, mais au contraire d'informations contextualisées. On peut distinguer dans la remémoration d'un épisode : son contenu (Quoi ?), les informations spatiales associées (Où ?) ainsi que les informations temporelles (Quand ?). Le succès d'une telle opération dépend de l'association réussie entre les informations à l'encodage, grâce au processus de *binding* (Diana et al., 2007; Yonelinas et al., 2019). Ce processus est ce qui permet de faire en sorte que les informations présentes lors de l'encodage soient incluses dans un tout cohérent permettant la formation de souvenirs complexes. Il peut s'agir du *binding* des différentes propriétés d'un stimulus entre elles (forme, couleur, détails...) ou du *binding* entre le stimulus et son contexte (position, détails de l'environnement...). Ce processus a lieu dès le traitement des informations en mémoire de travail et peut s'effectuer de manière automatique (Baddeley et al., 2011). Par exemple, la détection d'un élément possédant une saillance émotionnelle forte va capter l'attention de manière automatique, résultant en un meilleur *binding* des informations constitutive de cet élément mais aussi un moindre *binding* d'autres informations contextuelles (Mather, 2007). Par exemple, une victime d'un braquage de banque pourra se souvenir en détail d'informations contextuelles liées à la présentation d'une photo de l'agresseur (ses vêtements, son arme, etc...) mais aura peut-être plus de mal pour rappeler des détails contextuels du lieu où s'est produit l'agression. Cependant, si le *binding* des informations perceptives semble plutôt automatique, il semblerait que le maintien temporel d'une représentation intégrant différentes informations requiert un effort attentionnel (Wheeler & Treisman, 2002). De même, le *binding* d'items différents et complexes entre eux nécessite une mobilisation attentionnelle (Peterson & Naveh-Benjamin, 2017). À noter également que lorsque des informations perceptives sont similaires (même forme, même couleur), elles vont entrer en compétition pour être encodées, tandis que les informations différentes peuvent être traitées de manière parallèle, sans coût attentionnel (Wheeler & Treisman, 2002). La simultanéité des informations présentées semble également très importante pour leur intégration, étant donné que la présentation d'informations en séquence diminue spécifiquement ce processus, par rapport à une présentation simultanée (R. J. Allen et al., 2006). Ainsi, d'une part le *binding* pourrait s'effectuer de manière automatique, générant des associations relativement faibles, maintenue sur de courtes durées, ou fortes mais dépendantes de la saillance des informations traitées (R. J. Allen et al., 2006; Mather, 2007). D'autre part, le *binding* pourrait requérir un effort cognitif lors du traitement d'informations complexes (Peterson & Naveh-Benjamin, 2017; Wheeler & Treisman, 2002). Un argument

en faveur de cette distinction entre *binding* automatique et contrôlé est que les deux processus ne se développent pas de la même manière tout au long de la vie. En effet, le *binding* d'informations semble être diminué chez les enfants, comme les âgés, comparés aux adultes, présentant un développement en forme de U inversé, tandis que les processus de saillance affectant le *binding* évolue de manière monotonique (Cowan et al., 2006).

L'encodage des informations est caractérisé par un *pattern* d'activations cérébrales distinct, mobilisant différentes structures cérébrales selon la nature des informations encodées et les opérations mentales effectuées sur celles-ci (pour une revue, voir Buckner et al., 2000). Un événement serait en effet plus prompt à être encodé s'il bénéficie d'un traitement élaboratif, manifesté par un engagement des structures frontales. Par exemple, le cortex frontal gauche serait particulièrement impliqué dans l'encodage conscient de matériel verbal (Kapur et al., 1996), reflétant la mise en place de stratégies et de traitements sémantiques pour optimiser l'encodage. L'information non verbalisable (images abstraites, visages inconnus) serait associée à des activations dans l'hémisphère droit du cortex frontal, tandis que les informations visuelles verbalisables seraient associées à des activations bilatérales (Kelley et al., 1998), révélant un double codage à la fois perceptif et sémantique de l'information. L'importance des structures frontales est telle qu'une lésion à ce niveau va fortement diminuer la probabilité d'encodage (pour une revue, voir Wheeler et al., 1995). Cependant, malgré leur implication évidente, les structures frontales ne sont pas les seules recrutées lors du processus d'encodage. L'hippocampe, ainsi que d'autres régions du lobe temporal médian, ont été montrés de manière répétée comme étant d'une importance capitale pour le processus d'encodage (Eichenbaum, 2004; Eichenbaum et al., 1994; Squire & Zola-Morgan, 1991). Ces structures du lobe temporal médian joueraient un rôle crucial dans l'intégration des informations traitées, permettant ainsi d'enclencher le processus de *binding* entre les différentes informations associées à l'encodage (Diana et al., 2007; Henke et al., 1997). L'information serait ainsi traitée en premier lieu par les structures frontales avant d'être intégrée par les structures temporales médiales, résultant en la formation d'un souvenir épisodique. En explorant plus en détail le rôle fonctionnel du lobe temporal médian, il est possible de distinguer les structures sous-tendant le traitement des items, comme le cortex perirhinal, celles sous-tendant plus spécifiquement l'encodage du contexte, comme le gyrus parahippocampique, et enfin celles gérant le *binding* des informations factuelles et contextuelles entre elles, comme l'hippocampe (Brown & Aggleton, 2001; Diana et al., 2007; Eichenbaum et al., 2007; Hunsaker et al., 2013; Montaldi & Mayes, 2010; Ranganath,

2010). Ce type de dissociations neuroanatomiques soutient ainsi l'idée qu'il existerait deux processus distincts responsables du traitement des items et de leur contexte.

#### 2.1.2.2 Stockage

Le second processus majeur dans la mémoire épisodique est le stockage de l'information dans le temps. Si la durée de stockage d'un souvenir est théoriquement infinie, il va de soi que nous ne nous souvenons pas de tout ce que nous avons vécu dans notre vie. Ainsi, certains souvenirs vont se dégrader avec le temps, tandis que d'autres vont être préservés. Le phénomène de consolidation est largement responsable pour déterminer la persistance des souvenirs en mémoire à long terme. Ce processus correspond à la stabilisation d'un souvenir afin de le rendre plus résistant aux interférences liées au passage du temps. Il correspond tout d'abord à une stabilisation rapide du souvenir, appelée « consolidation synaptique », puis à une stabilisation sur le long-terme, appelée « consolidation de système » (Nader & Einarsson, 2010). La consolidation synaptique se réfère au processus de stabilisation de la trace mnésique précoce, encore instable juste après l'encodage, et sa transformation en trace à long-terme. La consolidation de système, quant à elle, correspond à la réorganisation cérébrale des représentations en mémoire à long terme.

Il serait tentant d'envisager que chaque souvenir ne soit consolidé qu'une fois, après l'encodage initial. L'information serait ainsi encodée, puis consolidée, générant une trace stable au cours du temps. Cependant, plusieurs résultats ont suggéré au contraire que le phénomène de consolidation n'était pas statique, mais au contraire dynamique et propice aux changements tout au long de la vie (pour revue, voir Nadel et al., 2012). Ainsi, il a été proposé de distinguer deux types de stockage de souvenirs, un stockage en mémoire active, et un stockage en mémoire inactive (Lewis, 1979). La mémoire inactive correspondrait à la vision classique du stockage en mémoire : un réservoir d'informations relativement stables et peu propices au changement. La mémoire active, elle, correspondrait aux souvenirs nouvellement encodés ainsi qu'aux souvenirs anciens venant d'être récupérés. Les souvenirs de la mémoire active seraient susceptibles d'être modifiés, puis consolidés à nouveau. Ainsi, la réactivation d'un souvenir ancien conduirait à sa reconsolidation (Alberini & LeDoux, 2013). Lors de la reconsolidation, le souvenir est à nouveau fragile et susceptible d'être modifié (Hupbach et al., 2007; Scully et al., 2017). Cette instabilité transitoire du souvenir lors de sa récupération en mémoire lui permet d'être mis à jour et consolidé à nouveau, afin de maintenir sa pertinence (Lee, 2009; Lee et al., 2017). La capacité de changement de ce

phénomène peut être illustrée par le fait qu'un souvenir effrayant peut être modifié lors de sa réactivation, afin de diminuer le sentiment de peur associé (Agren et al., 2012; Golkar et al., 2017; Liu et al., 2014; Schiller et al., 2010). Dans cet exemple, l'instabilité du souvenir lors de sa réactivation permet de le modifier et de diminuer sa valence émotionnelle. Ainsi, une information stockée en mémoire épisodique est loin de rester figée et subira probablement des transformations à mesure que le temps passe. Il sera même possible, avec le temps, qu'un souvenir épisodique se transforme en connaissance sémantique, *via* le processus de sémantisation. Ce phénomène est caractérisé par une décontextualisation progressive du souvenir, associé à un désengagement de l'hippocampe en lui-même, en faveur d'une consolidation dans les structures extra-hippocampiques (Winocur & Moscovitch, 2011).

### 2.1.2.3 Récupération

Enfin, la troisième étape du processus mnésique est le rappel de l'information précédemment encodée. L'évaluation de la récupération en mémoire épisodique se fait typiquement au travers de tâches telles que le rappel libre, où le participant récupère de lui-même les informations précédemment encodées, ou le rappel indicé, où un élément associé à l'information est présenté pour favoriser le rappel. Enfin, la reconnaissance implique la présentation d'informations précédemment vues, mêlées à des distracteurs, que le participant doit distinguer en indiquant lesquelles sont anciennes (*Old*) et lesquelles sont nouvelles (*New*).

Pour expliquer le processus permettant de reconnaître quelles informations ont été vues précédemment ou non, les premières théories explicatives de la récupération en mémoire épisodique postulaient que le processus de reconnaissance obéissait aux règles de la théorie de détection du signal (Green & Swets, 1966). La similarité entre un item et les informations contenues en mémoire, qu'elles correspondent à l'item en question ou à du « bruit » généré par d'autres items semblables, va déterminer le fait de considérer un item comme ayant été vu ou non. Ce processus, appelé *familiarité*, implique qu'une plus grande exposition à un stimulus va le rendre plus familier, et donc plus propice à être reconnu plus tard. La reconnaissance correcte d'un item sera alors basée sur un critère de décision indexé sur la force de la trace mnésique (Verde & Rotello, 2007). Ainsi, des items similaires à l'item précédemment encodé auront plus de chance d'être incorrectement jugés comme ayant été vus, car ils partagent des caractéristiques semblables et seront donc perçus comme familiers.



Le C, indicateur de la précision de la reconnaissance variera donc en fonction du rapport bonnes réponses/fausses alarmes.

Cependant, plusieurs travaux ont remis en cause cette conception unitaire de la récupération en mémoire (Gardiner & Parkin, 1990; McElree et al., 1999; Yonelinas, 1999) au profit d'un modèle de récupération basé sur deux processus distincts : la *recollection* et la *familiarité*. La recollection correspondrait à un rappel conscient de l'information encodée, associée à un sentiment de reviviscence, tandis que la familiarité serait un rappel décontextualisé. Gardiner (1988) voit dans cette dissociation deux modes de récupération caractérisant d'une part la mémoire épisodique et d'autre part la mémoire sémantique, selon le modèle SPI (Tulving, 1985a, 1985b). En effet, comme nous l'avons vu précédemment, l'une des caractéristiques de la mémoire épisodique est la mise en place d'un voyage mental permettant de revivre subjectivement un événement, ce qui correspond à la mise en place d'un processus recollectif. À l'inverse, la mémoire sémantique correspond au rappel de connaissances décontextualisées, pouvant être potentiellement attribuable à des processus de familiarité. La phénoménologie associée à la récupération de l'information caractériserait donc à la fois le processus mis en place pour y accéder et le type de mémoire impliqué (Gardiner, 1988; Tulving, 1989). Jacoby (1991) va proposer une autre forme de distinction basée sur le niveau de conscience associé à la récupération de l'information. Une récupération recollective sera consciente et contrôlée, tandis qu'une récupération basée sur la familiarité sera inconsciente et automatique. Enfin, Yonelinas (1994) propose que les deux processus aient un mode de fonctionnement différent. En effet, l'observation des courbes ROC (*Receiver-Operating-Characteristic*) lors de la reconnaissance a permis la mise en évidence de deux types de profils associés au niveau de confiance lors de la récupération des items nouveaux par rapport aux anciens. L'un est symétrique et caractérisé par une distribution gaussienne du niveau de confiance à la reconnaissance, que ce soit pour les items anciens comme pour les items nouveaux. L'autre est asymétrique, caractérisé par une distribution biaisée en faveur d'un plus haut niveau de confiance pour les anciens items. Le premier type de courbe est très bien expliqué par le modèle de processus simple, où le niveau de familiarité pour les anciens items (directement indexé sur le niveau de confiance) suivra une distribution gaussienne cohérente avec la théorie du signal. Le second type, cependant, est moins bien expliqué par ce modèle, car il implique une large proportion de réponses « oui » associées à des anciens items et à un très haut degré de confiance. Ce profil correspondrait aux réponses recollectives et illustrerait un fonctionnement différent des

réponses basées sur la familiarité. La recollection serait en effet caractérisée par un processus « tout-ou-rien », illustrant que, si une information ancienne est récupérée, cela entraînerait de manière automatique le souvenir des éléments associés, générant ainsi un fort niveau de confiance. *A contrario*, si ce seuil n'est pas atteint, aucun élément associé ne pourra être récupéré, et la récupération de l'information sera basée sur la familiarité.

Ces différentes perspectives utilisent des méthodes différentes pour mettre en avant une distinction des réponses de recollection et de familiarité. Tulving (1985b) propose d'estimer les processus de recollection et de familiarité de manière explicite, en demandant si, après avoir récupéré une information, le participant s'en souvient (*Remember* - R) ou s'il sait simplement qu'elle était présente (*Know*- K). Dans le premier cas, la récupération est associée à une reviviscence de l'information encodée, associée à des détails contextuels riches, tandis que dans le second cas, l'information est rappelée sans détails, sans contexte, simplement sur la base d'une sensation de familiarité. Plus tard, une troisième option (*Guess* - G) sera ajoutée afin de mieux délimiter les distinctions entre réponses R et K. Cette option, indiquant une réponse incertaine, permet de diminuer la variance due aux réponses aléatoires ainsi qu'à des processus inférentiels, qui pourraient être confondus avec les réponses K (Gardiner, Java, et al., 1996; Gardiner, Kaminska, et al., 1996). D'où le nom du test : le paradigme RKG (*Remember – Know – Guess* ; pour une revue, voir Gardiner et al., 1998). En comparaison, Jacoby (1991, 1998) va employer une méthode d'évaluation implicite, en se basant sur des paradigmes de dissociation de processus (*process-dissociation*). Ces paradigmes se basent sur la comparaison d'une condition d'inclusion (compléter un trigramme avec un mot précédemment vu) avec une condition d'exclusion (compléter un trigramme avec un mot qui n'était **pas** vu précédemment). La probabilité qu'un mot soit récupéré sur la base de la recollection correspondra alors à la différence entre la probabilité de rappeler un mot précédemment vu en condition d'inclusion et celle de rappeler un mot précédemment vu en condition d'exclusion (Jacoby et al., 1993). L'influence de la familiarité sera alors déduite de ce score. Il s'agit donc d'une mesure indirecte et implicite des processus de recollection et familiarité, basée sur l'idée que l'un est volontaire et contrôlé, l'autre involontaire et automatique.

Les partisans de l'existence de deux processus de récupération en mémoire s'appuient sur un large corpus d'études montrant des différences tant comportementales que cérébrales entre les rappels basés sur la recollection ou sur la familiarité. Les différentes propriétés de

l'encodage vont influencer différemment la manière dont le matériel est rappelé. Par exemple, le niveau de traitement à l'encodage va affecter différemment les deux processus. La propension de recollection est en effet plus grande lors d'un traitement profond (sémantique) du matériel étudié, par rapport à un traitement superficiel (graphémique), là où le nombre de reconnaissances basées sur la familiarité ne diffère pas entre les deux conditions (Gardiner, Java, et al., 1996; Gregg & Gardiner, 1994). De même, la présentation de matériel familier (musiques célèbres ou d'un genre familier) génère un nombre plus important de recollections par rapport à un matériel peu connu (Gardiner, Kaminska, et al., 1996; Java et al., 1995). Par ailleurs, un apprentissage élaboratif ainsi qu'un effort cognitif plus importants entraînent plus de recollections que de récupérations basées sur la familiarité (Dewhurst & Hitch, 1999; Gardiner et al., 1994). Ces résultats concernant des opérations différentes à l'encodage montrent que la recollection est un mode de récupération représentant un encodage plus abouti. La trace mnésique associée à un souvenir recollectif est plus spécifique que celle associée à un jugement de familiarité (Dewhurst & Anderson, 1999; Dewhurst & Conway, 1994). Au-delà des particularités de l'encodage, la distinction entre deux processus contribuant à la récupération est renforcée par le fait que les informations associées à une recollection sont préservées plus longtemps que celles associées à la familiarité (Gardiner & Java, 1991; Yonelinas & Levy, 2002). Chose intéressante, les informations associées à une expérience recollective peuvent, avec le temps, être récupérées sur la base de la familiarité, illustrant ainsi la dégradation des souvenirs avec le temps et montrant que, bien que distincts, les deux processus sont en interaction (Knowlton & Squire, 1995).

D'un point de vue neuronal, l'implication de différentes structures a pu être mise en évidence pour ces deux processus. En particulier, l'hippocampe serait surtout impliqué dans le processus recollectif (Daselaar et al., 2006; Duzel et al., 2001; Huimin et al., 1999; Ranganath et al., 2004), étant donné qu'il s'agit d'une structure clé dans l'intégration des détails au sein d'une même trace mnésique (Diana et al., 2007; Norman & O'Reilly, 2003). À l'inverse, le cortex périrhinal serait responsable de la création de représentations partagées entre les stimuli, sur lesquelles se repose le processus de familiarité (LaRocque et al., 2013; Staresina & Davachi, 2008). L'analyse des potentiels évoqués supporte également une distinction entre ces deux processus (pour revue, voir Friedman & Johnson, 2000; Mecklinger, 2000). Les récupérations associées à la familiarité sont caractérisées par une *négativité frontale précoce* entre 300 et 500ms après l'apparition d'un stimulus-cible. La

recollection d'une information ancienne serait, elle, associée à un *effet pariétal*, positif, situé entre 400 et 800ms après l'apparition de l'item (Curran, 2000, 2004; Duzel et al., 1997, 2001; Smith, 1993; Yu & Rugg, 2010).

Malgré ces différentes lignes d'évidences qui nous ont poussé à privilégier dans cette thèse, l'étude de la récupération selon la perspective d'un double processus, cette théorie est toujours critiquée. Certains auteurs soutiennent encore récemment que la recollection et la familiarité correspondent simplement à deux niveaux différents d'un unique processus correspondant à la force de la trace mnésique (Berry et al., 2008; Donaldson, 1996; Dunn, 2008; Haaf et al., 2021; Hirshman & Master, 1997).

#### 2.1.2.4 Mémoire de source

Quel que soit l'angle théorique dans lequel on se place pour conceptualiser le mode de récupération de l'information, les rappels basés sur la recollection sont, par définition, bien plus riches en informations contextuelles que les rappels basés sur la familiarité. Bien qu'idéalement les informations encodées et les informations contextuelles associées devraient être intégrées les unes aux autres, il est tout à fait possible d'observer des dissociations entre la récupération de l'item et celle de son contexte d'acquisition, notamment chez certains patients amnésiques (Shimamura & Squire, 1987). Ce phénomène, appelé amnésie de source (Evans & Thorn, 1966), a été ensuite confirmé chez des sujets sains, bien qu'à un degré moindre (Schacter et al., 1984). En effet, lors de la récupération d'une information en mémoire, celle-ci peut être associée à une *source*, c'est-à-dire un élément caractérisant la situation dans laquelle l'information a été encodée (le lieu, la condition expérimentale d'encodage, etc...). Le processus de *source monitoring* (M. K. Johnson et al., 1993) permet d'effectuer des attributions concernant la source des informations encodées. Ainsi, un individu ayant correctement lié les informations entre elles lors de l'encodage aura plus de chance de récupérer la source de l'information rappelée lors du rappel.

Les résultats expérimentaux confirment l'idée que la recollection est davantage associée à la récupération correcte d'informations spatio-temporelles que la familiarité (Java & Gregg, 1997; Perfect et al., 1996). La manipulation des informations contextuelles lors de l'encodage entraînera une augmentation des réponses recollectives (Unsworth & Brewer, 2009; Yonelinas, 1999). Celles-ci augmenteront d'autant plus lorsque la manipulation des informations à l'encodage est difficile (Dewhurst & Hitch, 1999). Ces manipulations de

l'information à l'encodage favorisent le rappel recollectif, car elles reposent sur la création d'associations (*binding*) entre les informations encodées. Lorsque l'une d'entre elles est rappelée, les informations associées seront activées simultanément. Une des plus fameuses illustrations de l'importance des processus associatifs lors de l'encodage est la méthode des lieux, datant de l'antiquité. Cette technique visant à améliorer la mémorisation requiert de visualiser un lieu connu (sa propre maison, par exemple) et d'y placer mentalement les informations à encoder. Lors de la récupération, il suffira de voyager mentalement dans le lieu choisi et de se rendre dans les différents lieux où les informations ont été stockées pour en faciliter le rappel (Bower, 1970). Cette technique n'est pas sans rappeler l'effet de congruence contextuelle (spécificité d'encodage), où la présentation du contexte dans lequel une information a été précédemment encodée va favoriser la récupération de cette information (Tulving & Thomson, 1973). De même, les stimuli visuels riches en informations, telles que les images, seront d'avantage récupérés sur la base de la recollection que des stimuli plus simples, comme des mots, étant donné qu'ils favorisent plus d'associations entre les stimuli perçus (Dewhurst & Conway, 1994). Il est à noter cependant que mémoire de source et expérience recollective ne sont pas nécessairement synonymes. Il a été montré qu'une récupération basée sur la familiarité peut entraîner une proportion conséquente de jugements de source corrects, étant donné que les informations générales associées à ce mode de rappel peuvent être suffisantes pour estimer correctement la source de l'information (Hicks et al., 2002). Néanmoins, le lien entre mémoire de source et recollection reste prédominant et est renforcé par les bases cérébrales liant les deux processus. Comme nous l'avons vu précédemment, l'hippocampe serait particulièrement activé lors de l'association d'items à l'encodage, ce qui en fait une structure cruciale pour la mémoire de source (Davachi & Wagner, 2002; Duarte et al., 2011; Henke et al., 1997; Prince, 2005). Ainsi, sans surprise, les lésions hippocampiques impactent particulièrement le rappel de source (Kan et al., 2007; Turriziani et al., 2004). En plus de l'hippocampe, le cortex préfrontal est également crucial dans la mémoire de source, notamment lors du rappel d'informations associées (Cabeza et al., 1997; Hayes et al., 2004; Henson et al., 1999), ce que confirment également les études de patients avec lésions frontales (Butters et al., 1994; Janowsky et al., 1989; Shimamura et al., 1990).

### 2.1.3 Liens entre mémoire épisodique et mémoire de travail

Maintenant que nous avons abordé les différents processus caractérisant le fonctionnement de la mémoire épisodique et décrit leur fonctionnement, il nous reste à voir comment s'effectue l'entrée des informations perçues dans le processus mnésique.

Comme nous l'avons évoqué dès la définition du concept de mémoire, il est possible de dissocier ce concept en différents types de mémoire interagissant ensemble. Une des distinctions classiques est celle de mémoire à court terme et de mémoire à long terme (Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971). Cette distinction repose sur l'idée qu'il existerait un espace de stockage à court terme, de capacité limitée, tant en quantité d'information qu'en durée de stockage. Ce stockage à court terme permettrait de traiter l'information provenant du système perceptif avant qu'elle ne soit incluse en mémoire à long terme, qui serait de durée et de capacité théoriquement illimitée. Un des arguments les plus connus en faveur de cette distinction est l'effet de récence, caractérisant une supériorité des informations récemment encodées lorsque le rappel est immédiat, mais pas lorsque celui-ci est différé, suggérant que l'information récente est toujours stockée en mémoire à court terme (Glanzer & Cunitz, 1966). Bien que cette théorie ait depuis été revue et critiquée (Tarnow, 2010), l'idée d'une dissociation entre deux systèmes mnésiques a servi de base pour l'élaboration de concepts plus élaborés. L'un des plus influents est celui de la mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974). Ce système mnésique reprend l'idée d'un stockage limité de l'information avant l'entrée en mémoire à long terme, mais insiste sur la notion de manipulation des informations stockées et décrit plus en détail les processus permettant cette manipulation. Ces processus correspondent à la boucle phonologique, au calepin visuo-spatial et à l'administrateur central. La boucle phonologique permet de maintenir l'information verbale en mémoire de travail par des processus de répétition, tandis que les informations visuelles et spatiales sont prises en charge par le calepin visuo-spatial. Ces deux processus ne permettent de traiter qu'une quantité limitée d'information, mais peuvent fonctionner de manière indépendante. Leur coordination va être assurée par l'administrateur central, qui va sélectionner et exécuter les opérations de traitement à effectuer. Enfin, le buffer épisodique, ajouté plus tard dans la conception du modèle (Baddeley, 2000, 2003), permet de mettre en lien l'information manipulée avec les informations stockées en mémoire à long terme, et ainsi effectuer des associations entre les informations perçues et d'autres informations passées.

Si l'on considère que la mémoire de travail est l'une des portes d'entrées principale du système mnésique, alors les opérations qui y sont réalisées seraient cruciales pour encoder correctement une information. Cette importance de la mémoire de travail pour l'encodage en mémoire épisodique est mise en évidence par de nombreuses études comportementales et en neuroimagerie. En effet, la perturbation d'une tâche de mémoire de travail visuo-spatiale, en particulier dans les phases précoces du traitement – caractérisant une consolidation de l'information en mémoire de travail (Jolicœur & Dell'Acqua, 1998; Naveh-Benjamin & Jonides, 1984) – entraînerait une moindre récupération de l'information étudiée (Ranganath et al., 2005) et impacterait particulièrement l'encodage d'informations contextuelles (Plancher et al., 2018). La capacité de mémoire de travail serait également prédictive du succès de l'encodage en mémoire épisodique (Unsworth & Spillers, 2010). Les performances mnésiques seraient en effet liées aux activations du cortex préfrontal dorsal et de l'hippocampe pendant le traitement de l'information en mémoire de travail (Buckner & Koutstaal, 1998; Cabeza et al., 2002; Davachi & Wagner, 2002; Nauer et al., 2015; Ranganath et al., 2005; Ranganath & D'Esposito, 2001). En particulier, le cortex préfrontal dorsolatéral serait associé à la manipulation d'information en mémoire de travail, améliorant ainsi leurs chances d'être encodées (Blumenfeld, 2006). L'implication du cortex préfrontal, tant dans la manipulation d'informations en mémoire de travail que dans l'encodage en mémoire épisodique, suggère que l'encodage des informations dépend en partie des traitements de l'informations effectués en mémoire de travail (pour une revue, voir Wagner, 1999). L'implication de l'hippocampe en mémoire de travail rendrait compte de la mise en place d'associations détaillées entre les informations manipulées (Yonelinas, 2013), qui seraient nécessaires pour la création de souvenirs recollectifs. Cette implication de l'hippocampe en mémoire de travail permet également le *binding* entre l'information et son contexte (Bergmann et al., 2012; Davachi & Wagner, 2002; Hannula & Ranganath, 2008; Luck et al., 2010; Olson, 2006). À l'inverse, lorsque les opérations effectuées en mémoire de travail sont simples et peu élaboratives (répétition de mots), une augmentation des rappels dues à la familiarité est observée (Dobbins et al., 2004).

La réussite d'un encodage en mémoire épisodique, que ce soit au niveau de la récupération de l'information, de son contexte ou de la phénoménologie associée, est donc en grande partie dépendante des opérations mentales effectuées lors de l'encodage et du traitement qu'a reçu l'information. Cependant, cette mémoire étant de capacité limitée, il est

nécessaire de filtrer et sélectionner les informations qu'il serait pertinent de traiter. C'est là qu'interviennent les processus attentionnels.

## 2.2 Attention et mémoire

### 2.2.1 Framework de l'attention

Avant d'aborder de quelle manière les processus attentionnels sont mobilisés dans l'encodage en mémoire épisodique, nous allons passer en revue les modèles principaux permettant de conceptualiser l'attention.

#### 2.2.1.1 Modèles de filtre

Le pionnier de la psychologie scientifique, William James (1890), évoque déjà dans son ouvrage *The Principles of Psychology* comment l'attention peut être vue comme un filtre évacuant certaines informations au profit d'autres :

« Everyone knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence. It implies **withdrawal from some things** in order to **deal effectively with others**, and is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatterbrained state which in French is called *distracted*, and *Zerstreutheit* in German. » (p.256)

Cette idée d'un filtrage des informations perceptives est au cœur des premières théories qui ont été développées pour conceptualiser l'attention. Broadbent (1958) propose que le système sensoriel reçoive et détecte toutes les informations environnementales à chaque instant, puis qu'un filtre attentionnel en sélectionne certaines sur la base de leurs caractéristiques physiques (forme, saillance visuelle, etc...). Celles-ci seront ensuite traitées de manière sémantique avant de pouvoir être utilisées en mémoire à court terme. Les autres informations sensorielles seront tout simplement filtrées et ne seront pas prises en charge par les processus cognitifs tardifs (traitement sémantique, mémoire de travail), afin d'éviter une surcharge d'informations. Le problème avec ce modèle est qu'il n'est valide que dans le cadre de l'attention *top-down*, c'est-à-dire qu'il n'explique que les situations où l'attention est portée volontairement sur une tâche particulière. Or nous savons que certains stimuli en dehors de la tâche à réaliser peuvent capter notre attention, alors même que nous ne la focalisons pas volontairement dessus (Cherry, 1953; Gray & Wedderburn, 1960). Par



ailleurs, la capture involontaire de l'attention peut se faire sur la base d'informations sémantiques (ex : entendre son nom dans une conversation), ce que les modèles de filtrage précoce de l'attention n'expliquent pas. Le filtrage sémantique pourrait alors prendre place avant la mise en place d'un filtre perceptif (Deutsch & Deutsch, 1963; Mackay, 1973). Cependant, il semble relativement coûteux que chaque stimulus de l'environnement soit traité de manière sémantique. Treisman (1964) proposa alors que les informations non pertinentes à la réalisation de la tâche en cours ne soient pas supprimées mais simplement atténuées par le filtre attentionnel, et pourraient ainsi parvenir jusqu'à la mémoire à court terme, si elles sont porteuses d'informations sémantiques pertinentes. Il a également été proposé, pour résoudre le dilemme entre modèles de filtres précoces et tardifs, que le filtrage sémantique soit mis en place de manière adaptative en fonction des demandes de la tâche. C'est ce qu'a démontré Lavie (1995), en montrant que l'influence des distracteurs sur une tâche de détection n'était présente que lorsque la tâche présentait une faible charge en mémoire de travail.

### 2.2.1.2 Modèles de capacité

Si les théories de filtres sont utiles pour décrire comment le système attentionnel privilégie le traitement de certaines informations au détriment d'autres, elles ne sont cependant pas suffisantes pour décrire certaines composantes importantes de l'attention, telles que l'attention divisée, par exemple.

Une conceptualisation développée par Kahneman (1975) permet de palier cet écueil. Il s'agit du concept des ressources attentionnelles. Selon cette théorie, l'attention pourrait être conceptualisée comme un réservoir de ressources en quantité limitée et déployées différemment en fonction des caractéristiques de la tâche à effectuer. Cette manière de concevoir l'attention en tant que réservoir de ressources limitées permet d'envisager une distribution de ces ressources sur différentes tâches ou stimuli de l'environnement. L'exécution de plusieurs tâches simultanées devrait ainsi être possible si tant est que les ressources du système attentionnel ne sont pas excédées. L'idée de ressources attentionnelles à distribuer se retrouve également dans les modèles d'attention visuo-spatiale, qui font l'analogie entre l'attention et une lampe torche (Posner et al., 1980) ou une loupe (Eriksen & St. James, 1986; Eriksen & Yeh, 1985). Les informations présentes au centre de cette "loupe" disposent d'une probabilité maximale d'accès au système cognitif tandis que plus l'on s'éloigne du centre, moins il est probable que les éléments soient traités. Cette analogie

avec une loupe implique que l'on peut centrer son attention sur un point particulier en réduisant les ressources allouées aux autres stimuli, entraînant une attention focalisée. À l'inverse, il est possible d'élargir le plus possible le focus attentionnel en réduisant la quantité de ressources attentionnelles allouée à chaque stimulus. La distribution de l'attention sur l'environnement est donc flexible, dépendant à la fois des caractéristiques de l'environnement et des intentions de l'individu.

Afin d'étudier comment s'effectue la répartition de ressources attentionnelles limitées, il suffit d'observer les performances des participants lorsqu'ils effectuent plusieurs tâches simultanément. Ces paradigmes d'attention divisée permettent ainsi de tester dans quelle mesure une activité requiert la mobilisation des ressources attentionnelles. Le principe est simple : deux tâches sont effectuées de manière concurrente. Parfois une tâche sera spécifiée comme étant principale tandis qu'une autre sera secondaire, et de difficulté variable. Si les performances de la tâche principale sont altérées par la présence de la tâche secondaire, notamment lorsqu'elle est plus difficile, c'est que les processus impliqués dans la tâche principale sont dépendants des ressources attentionnelles. En effet, étant donné que celles-ci ne sont disponibles qu'en quantité limitée, deux processus contrôlés réalisées conjointement vont entrer en compétition pour en bénéficier. Ces paradigmes ont permis de mettre en évidence que la capacité du système attentionnel n'est pas le seul facteur qui va déterminer la quantité de ressources attentionnelles disponible pour une tâche. Certaines caractéristiques de la tâche ou des stimuli vont requérir des quantités différentes de ressources attentionnelles. Par exemple, certaines tâches vont être réalisées de manière *automatique*, c'est-à-dire sans interférence avec des tâches concurrentes (Posner & Snyder, 2004). Une démonstration de ce concept a été donnée par Spelke et al. (1976), qui montrent que la réalisation conjointe de tâches de lecture et de dictée peut être effectuée sans interférence après un entraînement de plusieurs semaines, reflétant ainsi une automatisation dans l'exécution de processus initialement contrôlés.

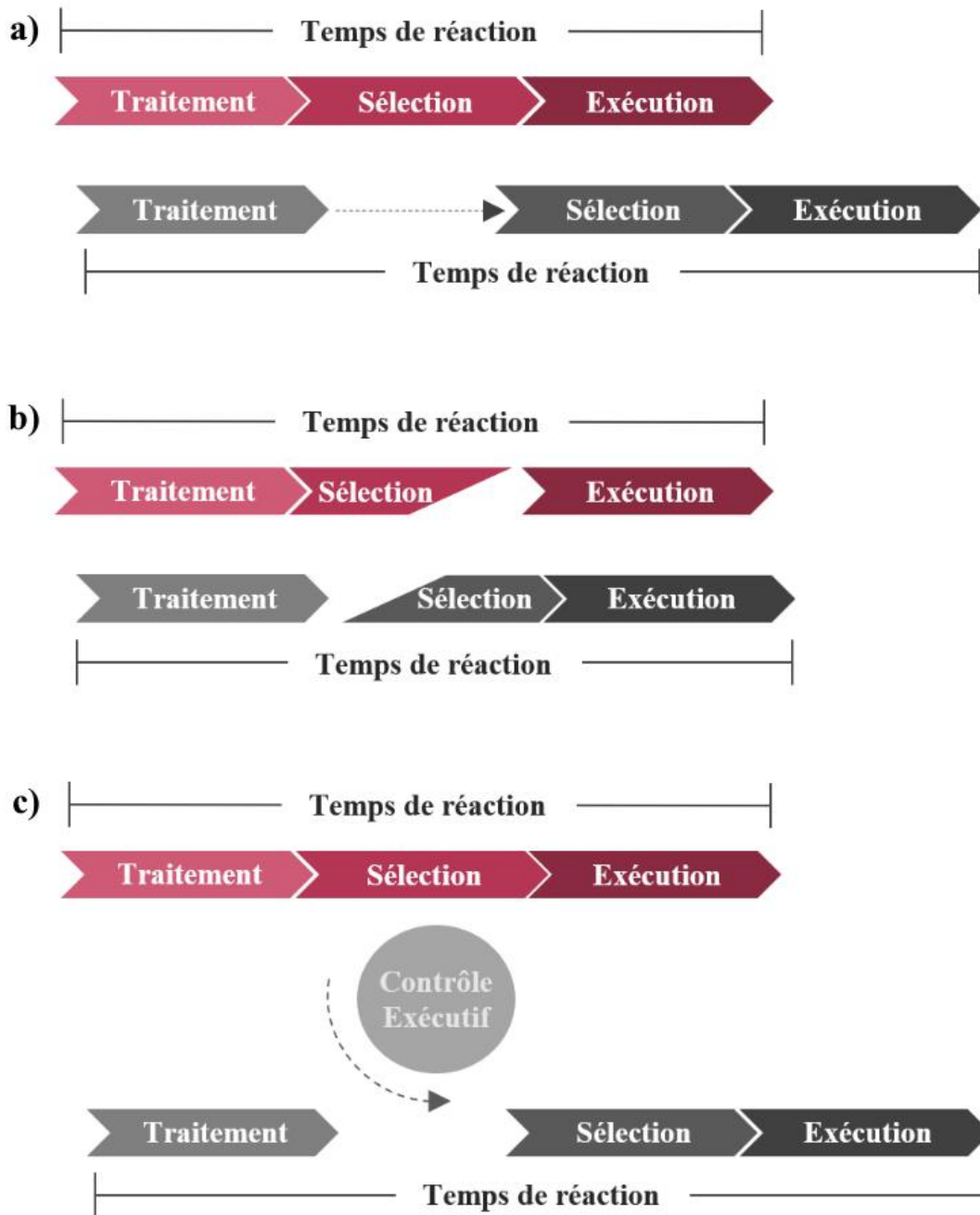
Kahneman (1975) avait initialement pensé que les ressources attentionnelles seraient contenues dans un réservoir unique, mais il a également été proposé que les ressources attentionnelles pourraient correspondre à différents réservoirs (Wickens, 1991), chacun associé à une modalité particulière. Ainsi, seules les tâches similaires puiseraient dans le même réservoir attentionnel et seraient en compétition les unes avec les autres. Ces réservoirs correspondraient aux différentes étapes du traitement de l'information, aux canaux

d'entrée et de sortie ainsi qu'au code de l'information (spatial ou verbal). Indépendamment de la théorie employée, le constat reste le même : chaque tâche contrôlée nécessite la mobilisation de ressources attentionnelles et peut potentiellement parasiter d'autres tâches contrôlées.

### 2.2.1.3 Limites structurelles de l'attention

Si les différentes tâches que nous effectuons sont en permanence en compétition pour les ressources attentionnelles, nous pouvons légitimement nous demander s'il est véritablement possible d'effectuer deux tâches à la fois, ou si les tâches sont réalisées conjointement grâce à une distribution alternée des ressources attentionnelles. Plusieurs phénomènes laissent à penser que les ressources attentionnelles sont limitées par des contraintes structurelles suggérant un traitement principalement sériel des stimuli (Marois & Ivanoff, 2005). Concernant le canal d'entrée de l'information, il semble que le traitement attentionnel de deux stimuli consécutifs présente des limites. En effet, si la perception de stimuli en succession rapide est tout à fait possible, le fait d'être attentif à l'apparition d'un stimulus précis et d'exécuter une réponse lors de sa détection rend particulièrement difficile le traitement du stimulus suivant. C'est le phénomène du clignement attentionnel (Raymond et al., 1992), qui suggère que l'entrée des stimuli en mémoire de travail se fait de manière sérielle. Ce traitement sériel lors de l'étape d'entrée des informations se retrouve également lors du traitement central. En effet, lorsque deux tâches concurrentes doivent être effectuées et que deux stimuli se succédant rapidement nécessitent chacun d'être traités, nous observons un ralentissement des temps de réaction pour le second stimulus. Il s'agit de la période psychologique réfractaire (Welford, 1959). Elle serait la résultante d'une impossibilité d'exécuter des opérations centrales au même moment, celles-ci devant être effectuées de manière sérielle, délayant ainsi le traitement d'une tâche lorsqu'une autre est déjà en cours de traitement (Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989, voir **Figure 2a**). Il est également possible que le traitement des informations ne soit pas totalement sériel, mais puiserait dans un réservoir attentionnel partagé. Les ressources seraient initialement toutes déployées pour le traitement de la première cible, puis lorsque la seconde serait détectée, les ressources seraient progressivement basculées vers le traitement de la seconde, représentant ainsi un partage progressif de l'attention plus qu'un traitement sériel (Tombu & Jolicoeur, 2003, voir **Figure 2b**). Si ces limites peuvent-être considérées comme structurelles, il est aussi possible d'imaginer qu'il s'agisse de la conséquence d'une stratégie mise en place *via* le contrôle

exécutif, favorisant la réponse à un stimulus donné en délayant la réponse à un stimulus concurrent (Logan & Gordon, 2001, voir **Figure 2c**).



**Figure 2** Représentation schématique des différentes théories explicatives de la période psychologique réfractaire. **a)** traitement sériel dans la sélection de la réponse, impliquant un délai dans le choix de la réponse au second stimulus. **b)** partage des ressources lors de la sélection de la réponse, permettant d'effectuer deux actions en parallèle. **c)** mobilisation du contrôle exécutif priorisant le traitement d'un stimulus par rapport à un autre pour permettre de meilleures performances. (adapté de Marois & Ivanoff, 2005).

#### 2.2.1.4 Modèle des réseaux attentionnels

Si les modèles proposés auparavant conceptualisent l'attention en tant qu'une ressource ou en fonction de ses caractéristiques, Posner et Peterson (1990) ont proposé une conception plus structurelle de l'attention, qui consisterait en trois réseaux interconnectés : l'alerte, l'orientation et le contrôle exécutif. Ces différentes composantes de l'attention diffèreraient tant par leurs indices comportementaux que les bases cérébrales sous-jacentes.

Premièrement, l'alerte consiste en la création et le maintien d'un état d'éveil permettant de traiter efficacement les informations de l'environnement. On distingue l'alerte *phasique*, un état transitoire qui caractérise le contrôle cognitif de l'éveil et de l'excitabilité émotionnel, et l'alerte *tonique* qui est un état d'éveil général, constant, lié à l'état d'activation générale du système cognitif (Sturm & Willmes, 2001). Sur le plan cérébral, ce sont surtout les régions frontales et pariétales qui sont impliquées dans les mécanismes de l'alerte (Coull et al., 2001) ainsi que le thalamus (Fan et al., 2005).

Ensuite, l'orientation caractérise la sélection d'informations spécifiques parmi d'autres stimuli. L'orientation implique trois étapes : le désengagement du focus attentionnel actuel, le déplacement vers un autre objet et la focalisation sur celui-ci. Ce processus de sélection peut se faire de manière *top-down*, c'est-à-dire qu'il sera dirigé volontairement (orientation endogène), ou de manière *bottom-up*, c'est-à-dire qu'il sera dirigé de manière réflexive (orientation exogène). L'orientation endogène inhibe de manière tonique l'orientation exogène, mais celle-ci peut court-circuiter l'orientation endogène si un stimulus extérieur est suffisamment important ou inattendu. Cette orientation exogène serait sous-tendue par le cortex temporo-pariétal et le cortex frontal inférieur, majoritairement à droite, formant ainsi la voie ventrale de l'attention. L'orientation endogène serait essentiellement gérée par la scissure intra-pariétale et le cortex frontal supérieur, formant donc la voie dorsale de l'attention (Corbetta et al., 2000; Corbetta & Shulman, 2002). L'orientation de l'attention peut être dirigée de deux manières : par les mouvements oculaires (*overt attention*) ou indépendamment de ces mouvements (*covert attention*). Si la *covert attention* est surtout sous-tendue par le cortex pariétal supérieur, l'*overt attention* serait plutôt en lien avec des aires comme le *frontal eye field* et les colliculi supérieurs (Corbetta, 1998).

Enfin, le contrôle attentionnel exécutif gère la détection et la résolution de conflits attentionnels. Le cortex cingulaire serait très impliqué dans ce processus, de même que le cortex préfrontal (Matsumoto & Tanaka, 2004). La partie dorsale du cortex cingulaire

s'activerait lorsqu'il y a un conflit, mais seulement lors de sa détection et non lors de sa résolution (Fan et al., 2002), tandis que la partie rostrale s'activerait après un conflit et serait impliquée dans l'évaluation émotionnelle de ce conflit (Pizzagalli et al., 2006). Van Veen et Carter (2002) suggèrent que le cortex cingulaire antérieur détecterait les conflits lors du traitement des informations et activerait des zones frontales pour les résoudre. Son rôle évaluatif se manifeste par une activation précédant la réponse afin de la préparer et une seconde activation *a posteriori*, pour comparer le résultat obtenu avec le résultat espéré. La résolution du conflit impliquerait surtout le cortex préfrontal dorsolatéral qui serait activé par le cortex cingulaire antérieur (Botvinick et al., 2004; Kerns et al., 2004). Westlye et al. (2011) ont montré que les scores d'alerte et de contrôle exécutif corrélaient avec la densité corticale des réseaux concernés. Seule l'orientation ne présentait pas de corrélation, probablement à cause de la large distribution des aires cérébrales impliquées dans cette fonction.

### **2.2.2 Liens entre attention et mémoire épisodique**

La compétition de différentes informations, aussi bien internes qu'externes, pour une capacité de traitement limitée place les mécanismes attentionnels au cœur du fonctionnement cognitif. Ainsi, il est difficilement envisageable d'imaginer que les processus mnésiques ne se basent pas, dans une large mesure, sur les processus attentionnels. Nous verrons dans cette partie les principales pistes d'évidences démontrant cette relation.

#### **2.2.2.1 Attention et mémoire de travail**

Comme nous l'avons vu, la mémoire de travail est, dans une conception sérielle des processus mnésiques, la porte d'entrée qui permet d'accéder en mémoire épisodique. Avant d'aborder les liens entre attention et mémoire épisodique, nous décrirons donc brièvement comment les processus attentionnels et la mémoire de travail interagissent (pour une revue, voir Awh et al., 2006).

L'attention et la mémoire de travail sont deux processus similaires, dans le sens où ils correspondent à des modules cognitifs dont la capacité limitée ne leur permet de ne traiter qu'une poignée de stimuli à la fois. Ainsi, le modèle de Cowan (1995) fusionne ces deux concepts, stipulant que la mémoire de travail correspondrait à une partie activée de la mémoire à long-terme, sur laquelle se porte le focus attentionnel. Dans cette conceptualisation, les limites concernant la quantité d'informations traitées au même

moment correspondent donc aux limites du focus attentionnel. Les modèles sériels, distinguant un stockage à court terme et un stockage à long terme (Atkinson & Shiffrin, 1968), mettent également l'accent sur l'importance de l'attention, car l'information perceptive doit être sélectionnée pour accéder en mémoire de travail. Les modèles de filtres, ainsi que certaines limites structurelles telles que le clignement attentionnel suggèrent que l'attention servirait de *contrôleur d'accès* à la mémoire de travail (Raymond et al., 1992; Reeves & Sperling, 1986). L'attention permettrait ainsi de ne pas surcharger ce système limité avec un surplus d'informations et de ne traiter que celles qui sont pertinentes pour les tâches en cours. Un fois l'information entrée en mémoire de travail, l'attention peut être alors utilisée pour maintenir et manipuler l'information qui y est contenue. Par exemple, l'information spatiale peut être maintenue en mémoire de travail *via* des déplacements de l'attention spatiale (Smyth & Scholey, 1994). Cette implication de l'attention spatiale est suggérée par des activations de la scissure intrapariétale et des *frontal eye fields*, caractéristiques de l'attention endogène, lors de la maintenance d'informations spatiales en mémoire de travail (Corbetta et al., 2002). Ces différents résultats suggèrent donc que les processus attentionnels sont directement impliqués dans le fonctionnement de la mémoire de travail. Considérant l'importance des mécanismes de mémoire de travail pour l'entrée en mémoire épisodique, il paraît raisonnable d'affirmer que l'attention joue un rôle prépondérant dans l'encodage en mémoire épisodique. Nous allons donc passer en revue les études ayant lié ces deux processus dans la partie suivante.

### 2.2.2.2 Attention divisée et performances en mémoire épisodique

Si le succès d'un encodage en mémoire épisodique repose effectivement sur le déploiement des ressources attentionnelles, alors cela en fait un processus sensible à l'exécution de tâches concurrentes. Ainsi, une large portion de la littérature liant attention et mémoire épisodique se base sur des paradigmes d'attention divisée. Baddeley et al. (1984) utilisèrent ce paradigme dans une série de neuf expériences qui permirent d'établir plusieurs résultats fondamentaux. Notamment, leurs résultats montrent que diviser l'attention lors de l'encodage diminue sévèrement la probabilité de récupération future, mais qu'une telle division de l'attention n'a que peu d'impact lorsqu'elle survient pendant le processus de récupération lui-même (diminuant simplement les temps de réponse). Cela sous-entend que le processus de récupération serait un processus davantage automatisé, au contraire du processus d'encodage qui serait davantage contrôlé. Effectivement, plusieurs études

supportent cette idée que la récupération de l'information se ferait de manière relativement automatique et indépendante de la division de l'attention ( Craik et al., 1996; Iidaka et al., 2000; Naveh-Benjamin et al., 1998, 2000), et ce même lorsqu'une tâche de rappel particulièrement difficile est employée (Naveh-Benjamin et al., 2000). Ces différentes études montrent cependant que, si la réussite de la récupération mnésique semble peu affectée par la division de l'attention lors de la récupération, elle s'accompagne malgré tout de ralentissements des temps de réponse à la tâche secondaire. Cette situation pose question, car si la récupération en mémoire épisodique était un processus totalement automatisé, elle ne devrait pas s'accompagner d'une quelconque interférence.

En réalité, quelques études suggèrent un *pattern* de résultats plus complexe qu'il n'y paraît, et montrent que la division de l'attention lors d'une phase de récupération peut en impacter le succès, bien que de manière moindre qu'à l'encodage (Anderson et al., 1998; Park et al., 1989). Il se pourrait que seule une partie du processus de récupération soit contrôlée et requiert la mobilisation de ressources attentionnelles. Moscovitch (1994) a montré que les capacités mnésiques ne sont dégradées que lorsqu'une tâche concurrente est effectuée à la fois à l'encodage et au rappel. Dans cette étude, la liste de mot à retenir était organisée de manière catégorielle, mobilisant ainsi des processus d'organisation stratégique. Le fait que la disruption des performances mnésiques ne soit présente que lorsqu'il y a une double division de l'attention reflète le fait que ce sont principalement les processus stratégiques d'organisation de l'information qui nécessitent la mobilisation des processus attentionnels. Si ceux-ci sont mis en place à l'encodage ou à la récupération, le rappel des informations se fera de manière automatique. Un argument en faveur de cette idée est que le profil des participants ayant reçu cette double division de l'attention est similaire à celui de patients présentant des lésions du lobe frontal, impliqué dans de tels processus stratégiques (Stuss et al., 1994; Taylor et al., 1990).

Au-delà de l'impact de l'attention divisée sur les processus stratégiques, Fernandes et Moscovitch (2000) ont montré que la division de l'attention peut également impacter de manière conséquente le processus de récupération, mais seulement quand les deux tâches mobilisent le traitement d'informations de même nature (traitement de mots dans les deux tâches). Par comparaison, la division de l'attention à l'encodage est plus générale et impacte le traitement des informations quelle qu'en soit leur nature. Étant donné que le processus d'encodage implique l'intégration des informations en une trace mnésique, celle-ci



dépendrait largement des ressources attentionnelles allouées lors de la tâche afin d'incorporer dans le système mnésique les différents éléments sur lesquels l'attention se portait. La récupération, quant à elle, impliquerait au moins deux étapes de traitement qui différeraient en termes d'implication des ressources attentionnelles. En premier lieu, il est nécessaire d'entrer dans un *mode de récupération* qui permet l'utilisation des informations en tant qu'indice de récupération (Lepage et al., 2000). Étant donné que le mode de récupération nécessite la mobilisation de l'attention, sa mise en place sera sensible à la division de l'attention, entraînant des effets de latence dans les temps de réponses, mais n'impactant pas forcément la réussite de la récupération en elle-même ( Craik et al., 1996; Naveh-Benjamin et al., 2000; Park et al., 1989). Dans un second temps, une fois que le mode de récupération est activé, l'accès au système de représentation de la trace mnésique va se faire de manière relativement automatique, mais pourra être parasité par une seconde tâche mobilisant le même système de représentation. Une autre forme de distraction, indépendante de la nature des informations concurrentes, a été également proposée par Wammes et Fernandes (2016). Leurs résultats montrent que les processus de traitement mobilisés par les deux tâches concurrentes pouvaient créer un effet de distraction, étant donné que le traitement de la configuration des visages était davantage parasité par une tâche mobilisant le même processus plutôt qu'un simple traitement perceptif.

Maintenant que nous avons vu pourquoi, dans certaines situations, les ressources attentionnelles peuvent être nécessaires lors de la récupération d'informations en mémoire épisodique, nous allons pouvoir nous intéresser plus spécifiquement à l'importance de l'attention lors de l'encodage. Comme nous l'avons vu, la disruption de l'attention lors de l'encodage serait générale et plus ou moins inconditionnelle. En réalité, l'effet d'une division de l'attention à l'encodage peut être modulé par la difficulté de la tâche secondaire, le rappel subséquent étant davantage impacté lorsque la tâche est difficile (Anderson & Craik, 1974; Naveh-Benjamin et al., 2000). Cet effet peut être simplement expliqué par la plus grande mobilisation des ressources attentionnelles de la tâche secondaire, laissant peu de ressources disponibles pour un traitement profond de l'information à encoder. Cette hypothèse est supportée par certains résultats montrant qu'en situation d'attention divisée, l'influence d'un niveau de traitement profond sur l'encodage est moindre (Rabinowitz et al., 1982). D'autres études ne trouvent cependant pas cet effet (Craik et al., 2018; Naveh-Benjamin et al., 2014). Naveh-Benjamin et Brubaker (2019) proposent que les processus stratégiques impliqués dans l'encodage ne soient pas les seuls à être impacté par une division de l'attention. En

segmentant la phase d'encodage en plusieurs sous-phase, Naveh-Benjamin et al. (2007) ont montré qu'une division de l'attention lors des phases précoces du traitement de l'information affectait tout autant la récupération ultérieure que les phases tardives. Par ailleurs, la perturbation des phases précoces de l'encodage était associée à une dégradation plus importante des temps de réaction de la tâche concurrente. Les phases précoces du traitement de l'information étant celles responsables de la perception de l'information, ce résultat va à l'encontre de l'idée que ce serait la perturbation des processus sémantiques et stratégiques qui serait responsable de l'effet de l'attention divisée à l'encodage. Allant dans le sens de cette idée, il a été montré que la division de l'attention impacte aussi bien l'encodage incident que volontaire (Naveh-Benjamin et al., 2014; Naveh-Benjamin & Brubaker, 2019). Si seuls les processus stratégiques étaient impactés par la division de l'attention, l'encodage incident n'aurait pas dû être perturbé.

Les causes de l'impact de la division attentionnelle sur les capacités mnésiques sont également supportées par des résultats en neuroimagerie. En effet, l'impact de l'attention divisée à l'encodage semble surtout diminuer l'activité du cortex préfrontal gauche (Anderson et al., 2000; Iidaka et al., 2000). Cet engagement du cortex préfrontal gauche était présent lors d'une tâche d'encodage incident en attention divisée peu difficile, mais disparaissait lors d'une tâche plus difficile (Kensinger et al., 2003). De plus, les items étaient davantage récupérés sur la base de la recollection dans la première condition par rapport à la seconde, qui était associée à plus de réponses liées à la familiarité. Enfin, Uncapher et Rugg (2005) répliquent le résultat attendu d'une moindre récupération en fonction de la difficulté de la tâche concurrente, et ont tenté de vérifier si cette différence était la résultante de processus neuronaux distincts ou s'il s'agissait des mêmes processus engagés de manière plus faible. L'utilisation de l'IRMf dans cette étude a ainsi permis de comparer les activations cérébrales lors de l'encodage et de la récupération en fonction de la difficulté de la tâche secondaire. À l'encodage, les activations du cortex préfrontal dorsolatéral gauche ainsi que celles du cortex pariétal latéral droit étaient réduites lors d'une tâche concurrente difficile. Cependant, le gyrus frontal inférieur ventral ainsi que l'hippocampe présentaient le même niveau d'activation, quel que soit le niveau de difficulté. Ce *pattern* asymétrique pourrait donc indiquer que les traitements d'encodage effectués sont les mêmes, mais que le déploiement de processus stratégiques dépend de la disponibilité des ressources attentionnelles et serait responsable des performances mnésiques ultérieures.

### 2.2.2.3 Attention divisée et processus de recollection/familiarité

L'effet de l'attention divisée à l'encodage étant bien établi, un certain nombre d'études se sont penchées sur la question des demandes attentionnelles des processus de récupération en mémoire épisodique, à savoir la recollection et la familiarité. La recollection étant un processus élaboratif, puisque reposant sur l'intégration des informations entre elles, l'attention devrait y jouer un rôle crucial. À l'inverse, la récupération d'informations due à la familiarité, davantage basée sur des associations d'informations similaires, serait un processus moins coûteux, et donc moins sensible à l'influence de l'attention.

Cette mobilisation différente des ressources attentionnelles à l'encodage semble en effet être confirmée par Gardiner et Parkin (1990) qui montrent que la proportion de réponses *Remember* décroît de manière linéaire avec la difficulté d'une tâche secondaire à l'encodage, tandis que les taux de réponses *Know* restent stables à travers les différentes conditions de division attentionnelle. Ce *pattern* de résultats a également été retrouvé pour la reconnaissance de visages (Parkin et al., 1995; Reinitz et al., 1994). Ces résultats ont aussi été reproduits grâce à des tâches de dissociation de processus montrant que la proportion de récupération due à la familiarité ne variait pas entre les conditions d'attention pleine et d'attention divisée, au contraire des réponses recollectives (Jacoby, 1998; Jacoby et al., 1989; Jennings & Jacoby, 1993). Enfin, Yonelinas (2001) trouve des résultats similaires en comparant à la fois les résultats trouvés *via* le paradigme RKG et les courbes ROC. Ces résultats montrent qu'à chaque fois, une situation d'attention divisée entraîne de manière consistante une forte diminution des réponses recollectives. Concernant la familiarité, une faible diminution est reportée, mais de manière inconsistante. Le *pattern* des courbes ROC associé aux réponses de familiarité est inchangé par la division de l'attention, tandis que celui associé aux réponses recollectives est légèrement plus symétrique, le rendant ainsi plus proche des courbes associées à la familiarité. De manière intéressante, une asymétrie a également été montrée lorsque l'attention était divisée pendant la récupération. La propension de réponses recollectives en serait fortement diminuée, sans effet notable sur le taux de réponses dues à la familiarité (Jacoby, 1991).

Kensinger et al. (2003), utilisant un paradigme similaire à celui de Uncapher et Rugg (2005), ont testé comment la difficulté d'une tâche secondaire impactait la nature de la récupération en mémoire épisodique, et si les bases neurales sous-tendant cette récupération était impactées par une division de l'attention. Sans surprise, les résultats indiquent une plus

faible propension à la recollection lorsque la tâche est difficile, en faveur de plus de réponses associées à la familiarité. L'activation de l'hippocampe gauche et du cortex préfrontal gauche lors de l'encodage serait associé à une meilleure mémorisation, mais seulement pour la tâche aisée. Lors de la tâche difficile, les activations du cortex préfrontal se trouvaient à droite, suggérant ainsi une différence de latéralisation lors du traitement de l'information en situation de forte division attentionnelle, conduisant à une diminution des rappels recollectifs. Enfin, les résultats comportementaux de Curran (2004), utilisant un paradigme *Remember/Know* couplé à des analyses EEG, vont dans le sens d'un effet de l'attention divisée sur les processus de recollection et, dans une moindre mesure, de familiarité. L'analyse des potentiels évoqués, quant à elle, montre que la N400 (négativité frontale, environ 400ms après l'apparition du stimulus), associée au processus de familiarité, est relativement inchangée par une division de l'attention, tandis que l'effet pariétal tardif (positivité pariétale, après environ 600ms) lié à la recollection était présent, mais réduit en situation d'attention divisée. Ainsi, les résultats de neuroimagerie supportent l'idée d'un impact différentiel de la division de l'attention, qui impacterait sélectivement le processus recollectif.

#### 2.2.2.4 Attention divisée et mémoire de source

Comme nous l'avons vu précédemment, la mémoire épisodique ne se résume pas à la mémorisation d'un item en particulier, car elle implique une mémorisation contextualisée. Étant donné que l'encodage du contexte, dans lequel l'item s'inscrit, requiert la mobilisation de processus associatif liant l'item à son contexte, l'encodage réussi de ces informations contextuelles pourrait mobiliser des ressources attentionnelles supplémentaires. Si tel est le cas, ces processus devraient être particulièrement touchés par des perturbations attentionnelles à l'encodage, résultant en un rappel contextuel significativement détérioré par rapport au rappel des items seuls.

Troyer et al. (1999) présentent en effet des résultats allant dans ce sens. La division de l'attention lors de l'encodage de mots ainsi que de leur source (voix ou informations spatiales) génèrerait une plus forte disruption de la récupération de la source, notamment lors de la récupération spatiale. Ainsi, l'association des informations entre elles serait bel et bien associée à une demande attentionnelle plus élevée, et la nature des informations contextuelles pourrait aussi faire varier le niveau de ressources attentionnelles nécessaire. Le processus d'encodage de la source d'un item ne serait donc pas automatique (Naveh-

Benjamin, 1988). L'impact de l'attention divisée sur la mémoire de source serait si prépondérant que les performances de jeunes adultes en attention divisée sont similaires à la dégradation de la mémoire de source dans le vieillissement (Craik et al., 2010). Ainsi, il n'est pas surprenant d'observer que le contrôle exécutif serait particulièrement important pour le *binding* des informations, et que ce processus est perturbé lorsqu'il y a un conflit pendant l'encodage des informations (Sperduti et al., 2017). Cependant, il est à noter que les résultats de Troyer et Craik (2000) relativisent quelque peu la plus grande dépendance aux ressources attentionnelles de l'encodage des informations contextuelles, par rapport à l'encodage des items. En effet, ils ont montré qu'en divisant l'attention à l'encodage, la récupération d'éléments contextuels, intrinsèques (couleurs) et extrinsèques (ordre temporel), était tout autant dégradée par une situation d'attention divisée à l'encodage que la récupération des items. De même, une division de l'attention lors de la récupération n'entraîne pas de résultats différents entre la récupération de l'item et de son contexte. Cependant, lorsque l'attention est divisée à la fois à l'encodage et à la récupération, nous observons une diminution drastique des performances de rappels temporels comparée à une situation de division attentionnelle seulement lors de l'encodage. Les auteurs proposent que des processus stratégiques pouvant être déployés lors de la récupération pour compenser un déficit à l'encodage, mais requièrent une attention pleine pour être mis en place.

### 2.2.2.5 Conception unifiée de l'attention et de la mémoire

Cette synthèse des études évaluant l'impact de l'attention divisée sur la mémoire épisodique montre que toutes ses composantes sont sensibles aux variations de l'attention, notamment à l'encodage. L'importance du lien entre ces deux sujets d'étude fondamentaux des sciences cognitives a poussé certains auteurs à envisager la mémoire comme une trace persistante de l'attention, les deux processus étant intégrés au sein du modèle *Perceptual/Reflective Attention/Memory* (PRAM ; Chun & Johnson, 2011). Ce modèle met en perspective l'attention *perceptive*, correspondant à l'attention allouée aux stimuli de l'environnement, et l'attention *réflexive*, qui se réfère à l'attention dirigée vers les représentations internes (Chun et al., 2011). Dans les deux cas, traiter un stimulus externe ou interne mobilise le focus attentionnel et entraîne un meilleur encodage de l'information (Brady et al., 2008; Hollingworth & Henderson, 2002; M. K. Johnson et al., 2002; Roediger & Karpicke, 2006). L'activation d'aires cérébrales impliquées dans la perception lors de la focalisation sur un stimulus interne met en évidence la similarité entre ces deux types

d'attention (Harrison & Tong, 2009; J. D. Johnson et al., 2009). Chun et Johnson (2011) mettent également en avant l'activation de l'hippocampe lors de tâches mobilisant l'attention perceptive ou réflexive (Baxter, 2009; Chun & Phelps, 1999; Chun & Turk-Browne, 2007; Olson et al., 2006). Comme nous l'avons vu précédemment, cette structure est particulièrement impliquée dans l'association des différentes caractéristiques d'items encodés. L'activation de l'hippocampe lors de tâches attentionnelles brouille la limite entre l'attention et la mémoire, étant donné que simplement porter son attention sur une information revient déjà à enclencher le processus de mémorisation. C'est pour cela que le modèle PRAM envisage la mémoire comme une trace persistante de l'attention.

Une autre spécificité de ce modèle est que les aspects perceptifs et réflexifs de l'attention ne sont pas synonymes de traitements *top-down* et *bottom-up*. Ainsi, ce modèle envisage aussi bien que l'attention soit portée volontairement sur des éléments de l'environnement que sur des pensées, mais aussi que ces informations capturent de manière automatique l'attention. Les deux types d'attention nécessitent chacun l'intervention de processus de contrôle exécutif visant à maintenir l'objet du focus attentionnel et combattre l'interférence d'autres informations (D'Esposito et al., 1999; Hopfinger et al., 2000; M. K. Johnson et al., 2005). Le modèle PRAM décrit uniquement le fait que les stimuli entrent en compétition au sein de chaque type d'attention et ne fait pas de prédiction explicite concernant le conflit entre informations externes et internes. Malgré cela, il paraît raisonnable de suggérer que les éléments internes et externes peuvent entrer en conflit entre eux pour l'accès en mémoire de travail et, par extension, en mémoire épisodique. Une situation courante illustre parfaitement ce cas de figure. En effet, il arrive parfois que l'attention vienne se porter sur du contenu mental, sans aucun lien avec la tâche, limitant ainsi la quantité d'attention qui y sera allouée et rendant plus difficile le traitement des informations externes. Ce phénomène attentionnel, probablement déjà expérimenté durant la lecture de la présente thèse, correspond au *mind wandering*.

## 2.3 *Mind wandering*

### 2.3.1 Comment définir le *mind wandering* ?

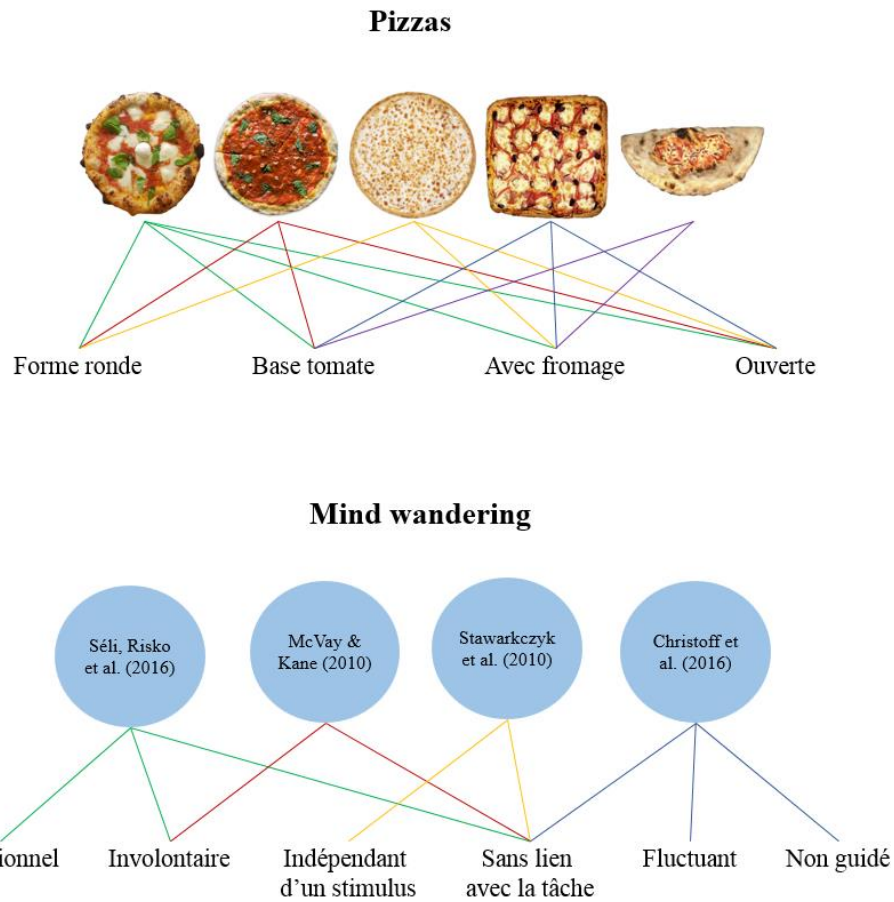
Précédemment, nous avons souligné la difficulté d'opérationnaliser certains concepts utilisés dans la vie de tous les jours, comme la mémoire. Dans le cas du *mind wandering* (aussi appelé « vagabondage de l'esprit »), la difficulté est d'autant plus grande que ce

phénomène n'est pas, en soit, une fonction cognitive visant un but spécifique et pouvant être défini au travers de celui-ci. Dans la vie de tous les jours, ce que l'on reconnaît comme étant le *mind wandering* correspond au relâchement momentané de l'attention, qui va s'éloigner du traitement des stimuli externes pour venir se porter sur des stimuli internes. Ces épisodes de relâchement attentionnel sont souvent brefs et transitoires, mais répétitifs. Un des exemples les plus parlant serait celui de la lecture d'un paragraphe ennuyeux où le lecteur peu concentré n'arrive pas à fixer son attention sur ce qui est écrit, et s'évade périodiquement dans ses pensées. Ce terme est analogue à celui de *daydreaming*, mais s'est peu à peu imposé par la suite (Smallwood & Schooler, 2006) et est progressivement devenu le terme de référence au cours de la dernière décennie (Callard et al., 2013). L'intérêt grandissant pour ce phénomène est indéniablement dû à sa grande prévalence dans la vie de tous les jours, allant jusqu'à correspondre à 30 ou même 45% des pensées quotidiennes (Kane et al., 2007; Killingsworth & Gilbert, 2010; McVay et al., 2009). Cette prévalence est d'autant plus alarmante que, comme nous le verrons après, ce phénomène peut être particulièrement handicapant dans de nombreuses situations.

Si ce phénomène est aisé à se représenter, en grande partie parce que nous l'avons tous vécu, il est plus difficile d'en établir une définition opérationnelle stricte. Par exemple, peut-on considérer qu'il s'agit de *mind wandering* lorsque les pensées du lecteur inattentif possèdent un lien avec ce qu'il lit ? Peut-on considérer qu'il est possible de s'engager volontairement dans des épisodes de *mind wandering*, ou s'agit-il d'un processus par définition spontané ? Par ailleurs, est-ce un processus strictement porté sur les stimuli internes, ou peut-il émerger suite à une capture attentionnelle due à un stimulus de l'environnement (distraction externe) ? Étant donné qu'aucune définition opérationnelle ne fait à ce jour consensus, Seli, Kane, et al. (2018) ont proposé d'envisager ce concept selon l'angle d'une vue de ressemblance familiale (*Family-Resemblance View*). Ainsi, dans cette perspective, les différentes définitions existantes du *mind wandering* seraient vues comme différents aspects complémentaires du phénomène. Chacune d'entre elles permettrait de mettre en avant différents attributs qui pourraient être représentatifs du *mind wandering*. Ces attributs pourraient être partagés par différentes définitions, ou propres à certaines. Les définitions regroupant les attributs les plus utilisés pour définir le *mind wandering* en seraient ses définitions les plus prototypiques. Cela ne signifie pas qu'elles seraient plus valides, mais plutôt qu'elles correspondent à une vision plus consensuelle du phénomène. Utilisons une analogie pour mieux comprendre cette organisation. Tout le monde sait ce qu'est une pizza,

mais comment la définir ? On pourrait dire qu'il s'agit d'une préparation culinaire de forme ronde, incluant une base de sauce tomate ainsi que du fromage. La garniture peut ensuite varier, mais ces caractéristiques semblent fondamentales et correspondent aux attributs principaux de la définition de la pizza. Pourtant, certaines pizzas parmi les plus emblématiques ne correspondent pas strictement à cette définition. La marinara est une pizza sans fromage, la calzone est repliée sur elle-même et certaines pizzas n'ont pas de base tomate ou sont de forme carrée. La margherita est la seule pizza qui correspond strictement aux attributs de base de la définition, ce qui en fait donc le modèle de pizza le plus prototypique (voir **Figure 3a**). Si l'on applique ce raisonnement au *mind wandering*, nous observons que certaines définitions se basent sur des attributs peu usités (Christoff et al., 2016), tandis que d'autres impliquent des attributs plus fréquents (McVay & Kane, 2010). De même, certains attributs, tels que la spontanéité ou le fait de ne pas être lié à la tâche, apparaissent comme des attributs plus emblématiques que le fait d'être indépendant d'un stimulus (voir **Figure 3b**). Les caractéristiques que nous allons décrire par la suite doivent donc plus être vues comme des aspects que peut prendre le *mind wandering* que comme des éléments de définition au sens strict.





**Figure 3** Représentation schématique du *mind wandering* selon la vue de ressemblance familiale. Les différentes théories du *mind wandering* emploient des attributs pouvant différer ou être partagés. (Adapté de Séli, Kane et al., 2018).

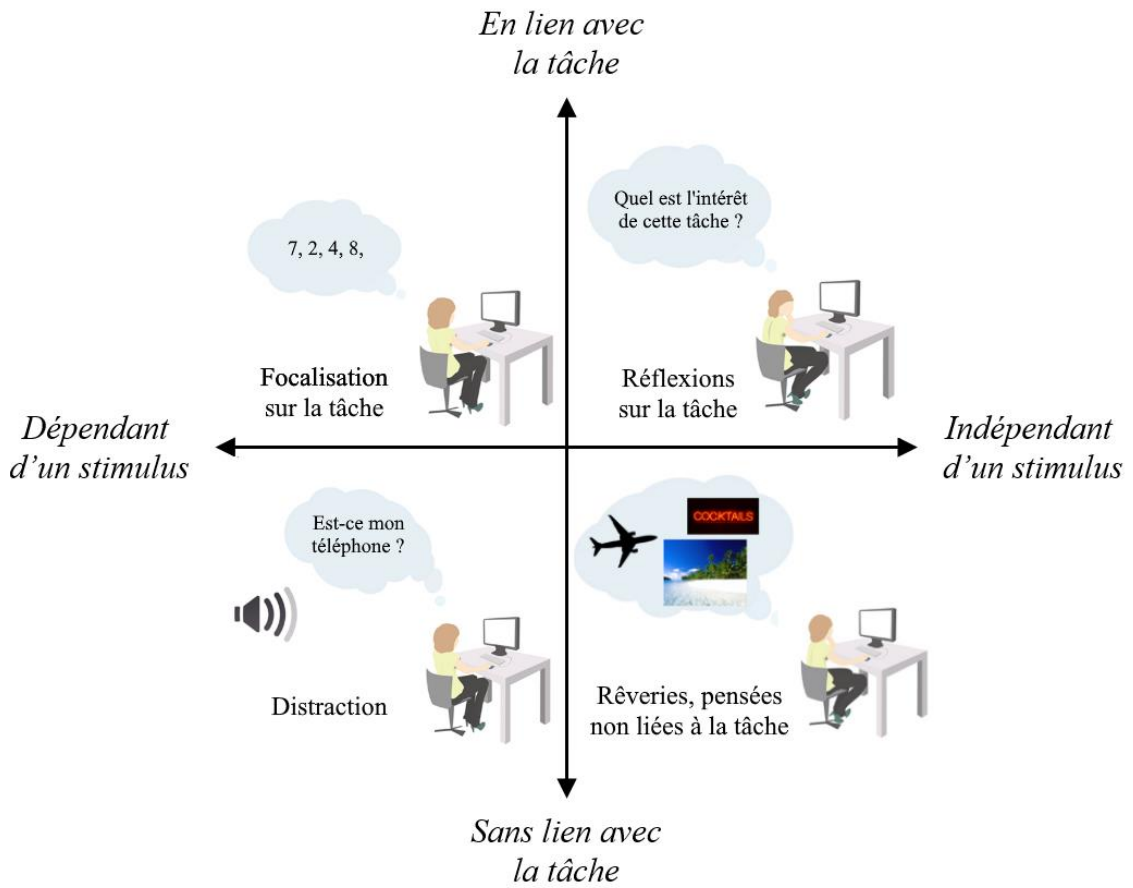
### 2.3.1.1 Lien avec la tâche

De très loin, la caractéristique la plus employée pour définir le *mind wandering* est celle de "pensées sans lien avec la tâche" (*task-unrelated thoughts*). Cette définition est celle qui a été proposée pour rendre compte du *mind wandering* lorsque le concept a été popularisé (Smallwood & Schooler, 2006). Son emploi prédominant vient notamment du fait qu'il est particulièrement commode de conceptualiser ainsi le *mind wandering* dans le cadre d'un paradigme expérimental. En effet, la majorité des expériences étudiant le *mind wandering* impliquent l'utilisation d'une tâche, souvent longue et monotone. Tout moment où les participants cesseront de porter leur attention sur la tâche pour venir se focaliser sur leurs pensées sera considéré comme du *mind wandering*. Une telle définition n'est pas fondamentalement mauvaise, car c'est souvent ainsi que ce phénomène se présente dans la vie de tous les jours (comme dans le cas de la lecture, par exemple). Cependant, il s'agit

également d'une définition trop restrictive et qui ne couvre pas de nombreuses situations que l'on considérerait comme étant des instances de *mind wandering*, simplement parce qu'aucune tâche spécifique n'est effectuée. Par exemple, le fait de laisser son esprit voguer lors d'un voyage en train peut tout à fait être considéré comme du *mind wandering*, alors même qu'aucune tâche n'est à effectuer dans cette situation.

### 2.3.1.2 Indépendance aux stimuli externes

Pour affiner la définition du *mind wandering*, et ne pas la restreindre simplement à son rapport avec la tâche, il a été proposé de définir le *mind wandering* non seulement par son manque de lien avec la tâche, mais également par son indépendance aux stimuli externes (Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011). Si l'on place de manière orthogonale un axe "lien/sans lien avec la tâche" et un axe "dépendance/indépendance des stimuli", alors le *mind wandering* correspondrait à un type de pensées à la fois sans lien avec la tâche, mais aussi indépendant de tout stimuli externes (voir **Figure 4**). Cette conceptualisation permet d'affiner la définition du phénomène, et de le distinguer d'autres formes de perturbations attentionnelles telles que la distraction (dépendance à un stimulus/sans lien avec la tâche), ou l'interférence liée à la tâche (indépendance à un stimulus/lien avec la tâche). Une telle définition est particulièrement utile dans le cadre expérimental, car elle permet de distinguer les contributions respectives de ces différents phénomènes (Stawarczyk et al., 2012; Stawarczyk, Cassol, et al., 2013; Stawarczyk, Majerus, Maquet, et al., 2011; Unsworth & Robison, 2016b). Cependant, l'ajout d'un second critère de définition rend le phénomène du *mind wandering* encore plus restrictif. En effet, notre compréhension intuitive du *mind wandering* accepte tout à fait l'idée que ce phénomène survienne en rapport avec certains stimuli de l'environnement. Par exemple, le lecteur inattentif pourra s'engager dans un épisode de *mind wandering* à la suite de la lecture d'une scène qui, par association, pourra lui rappeler un souvenir dans lequel il va s'évader. La définition de Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., (2011) ne considérerait pas ce phénomène comme du *mind wandering per se*, mais plutôt comme une interférence liée à la tâche. Par ailleurs, cette définition souffre toujours du problème d'être nécessairement lié à une tâche à effectuer.



**Figure 4** Représentation graphique des différents états mentaux pouvant survenir, selon la distinction Dépendance/Indépendance d'un stimulus et Lien/Sans lien avec la tâche. (adapté de Smallwood & Schooler, 2015)

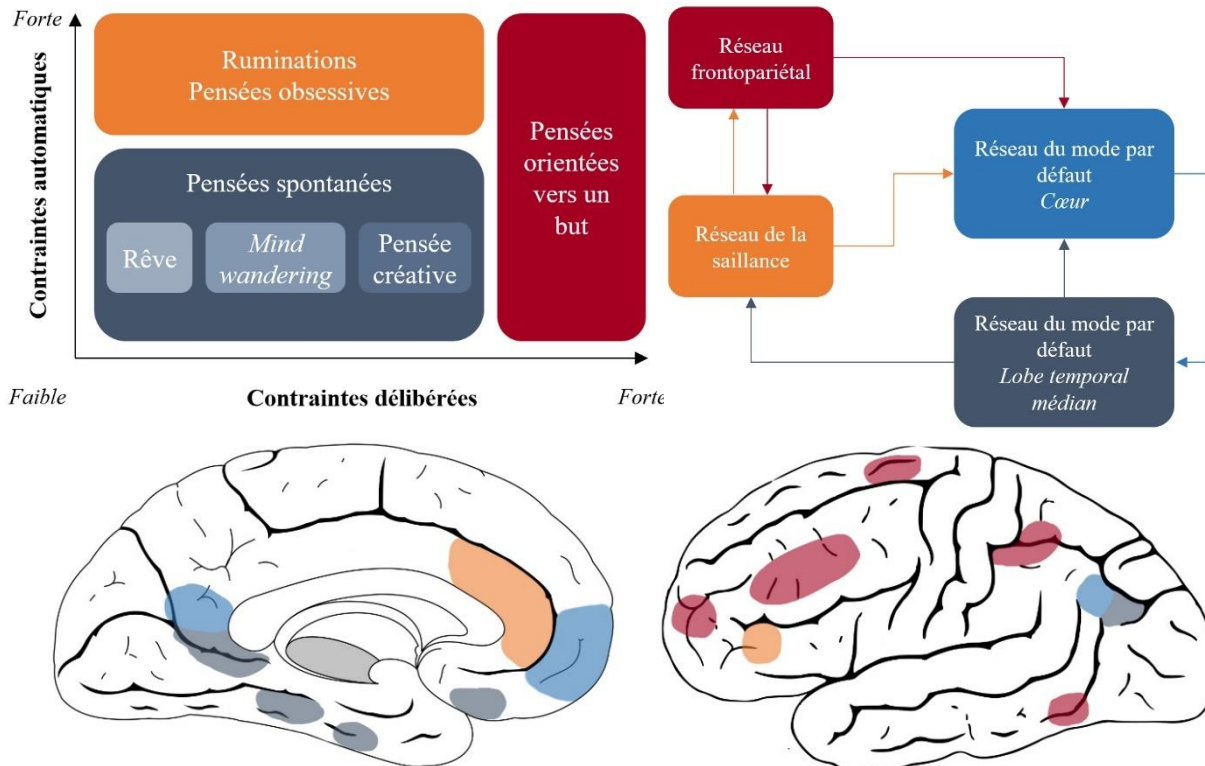
### 2.3.1.3 Spontanéité

La plupart des conceptualisations du *mind wandering* l'envisagent comme étant par définition spontané. Cependant, il a été suggéré que ce phénomène puisse également apparaître de manière volontaire. En effet, dans son interprétation courante, le *mind wandering* peut se référer à des glissements progressifs de l'attention depuis les stimuli externes vers les stimuli internes, mais également à la décision consciente de l'individu de se focaliser sur ses pensées plutôt que sur l'environnement, par exemple pour pallier l'ennui. Cette distinction théorique a été mise en évidence par l'analyse factorielle des résultats à un questionnaire de trait de *mind wandering* (Carriere et al., 2013), montrant que les items du questionnaire pouvaient se regrouper en deux axes, l'un caractérisant un *mind wandering* se déclenchant spontanément et l'autre caractérisant un *mind wandering* dans lequel les participants s'engagent volontairement. Cette distinction est renforcée par le fait que les deux formes de *mind wandering* corrélaient avec des construits différents. D'une part, le *mind*

*wandering* spontané est associé à une plus grande agitation corporelle (Carriere et al., 2013) ainsi qu'à certaines mesures de pleine conscience telles qu'une plus grande tendance à effectuer des actions sans en être conscient et une moindre tendance à être non réactif (Seli, Carriere, et al., 2015). D'autre part, le *mind wandering* volontaire serait, quant à lui, associé positivement au fait d'être non-réactif (Seli, Carriere, et al., 2015). En comparant les prédicteurs de ces différentes formes de *mind wandering*, nous observons que le *mind wandering* spontané aurait une source plus cognitive, c'est-à-dire qu'il serait majoritairement prédit par une faible capacité de mémoire de travail ainsi qu'une faible capacité d'alerte, tandis que le *mind wandering* volontaire serait plutôt associé négativement à la motivation des participants (Robison & Unsworth, 2017; Seli, Cheyne, et al., 2015). De même, le *mind wandering* spontané est plus fortement associé à un mauvais contrôle attentionnel et à une plus grande distractibilité que le *mind wandering* délibéré (Chiorri & Vannucci, 2019; Vannucci et al., 2020). Ainsi, il est cohérent de trouver qu'une tâche difficile générera plus de *mind wandering* spontané, car s'engager volontairement dans des instances de *mind wandering* serait coûteux pour la tâche. À l'inverse, une tâche plus simple générera plus de *mind wandering* délibéré, car elle sera associée à une moindre motivation et imposera moins de demande sur le système attentionnel (Arabacı & Parris, 2018; Seli, Cheyne, et al., 2015; Seli, Risko, & Smilek, 2016). Ces patterns distincts ont poussé Seli, Risko, Smilek et al. (2016) à suggérer que ces deux types de *mind wandering* reflètent l'implication de processus attentionnels distincts, le versant délibéré mobilisant un contrôle endogène de l'attention (et donc le réseau fronto-pariétal dorsal) tandis que le versant spontané mobilise un contrôle exogène (associé au réseau fronto-pariétal ventral). Les résultats de neuro-imagerie tendent à supporter cette idée, montrant ainsi une plus grande intégration entre les réseaux du mode par défaut et des réseaux fronto-pariétaux dans le cas du *mind wandering* délibéré, tandis que cette intégration est moindre dans le cas du *mind wandering* spontané (Golchert et al., 2017). La conception du *mind wandering* délibéré a cependant été critiquée, car si le *mind wandering* se définit par le fait de ne pas être concentré sur une tâche et qu'effectuer une activité délibérément consiste en une tâche, alors par définition il n'est pas possible que le *mind wandering* soit délibéré (Murray & Krasich, 2020). Néanmoins, la critique porte davantage sur la dénomination de ce phénomène et ne remet pas en cause le fait qu'il existe un phénomène impliquant l'orientation volontaire de l'attention vers ses propres pensées.

#### 2.3.1.4 Dynamique

Si la plupart des caractéristiques employées pour définir le *mind wandering* sont liées à son contenu, il existe une propriété de ce phénomène qui est souvent ignorée, alors qu'elle est pourtant explicitement présente dans le terme même de *mind wandering*. Il s'agit de son caractère dynamique. Caractériser le contenu du *mind wandering*, que ce soit en relation à la tâche à effectuer, aux stimuli externes ou à son intentionnalité, ne rend pas compte du fait qu'il s'agit d'un état d'esprit fluctuant continuellement. Irving (2016) propose de définir le *mind wandering* comme une forme d'attention non guidée. Dans une veine similaire, Christoff et al. (2016) proposent de caractériser le *mind wandering* comme un état à la dynamique spontanée, différent des pensées dirigées vers un but ainsi que des ruminations ou des pensées obsessionnelles (voir **Figure 5**). Les premières sont contraintes de manière délibérée et flexible, tandis que les secondes sont largement indépendantes du contrôle cognitif et surviennent automatiquement, de manière rigide et stéréotypée. Le *mind wandering* serait un état faiblement contraint, ni associé à un contrôle cognitif fort ni à de la rigidité. Il serait ainsi plus proche du rêve ou de la pensée créative. Ces différents phénomènes sont similaires non seulement du point de vue phénoménologique, mais aussi neuronal. En effet, ils sont tous les trois associés à des activations du réseau du mode par défaut (voir **Figure 5**). Cet ensemble de structures neuronales peut être divisé en 3 sous-parties (Christoff et al., 2016). La première, impliquée dans la cognition liée à soi, comprend le cortex préfrontal médian antérieur, le cortex cingulaire postérieur et le lobule pariétal inférieur (Andrews-Hanna et al., 2010; Christoff et al., 2009; D'Argembeau et al., 2010; S. C. Johnson, 2002; Mason et al., 2007; Ochsner et al., 2005). La seconde, associée à la mémoire et à la simulation mentale, est située au niveau du cortex temporal médian, comprenant principalement l'hippocampe et le cortex parahippocampique (Buckner et al., 2008; S. C. Johnson, 2002; McCormick et al., 2018). Enfin, la troisième composante, plus dispersée structurellement et dont la fonction est moins claire, inclut le cortex préfrontal dorso-médian, le cortex temporal latéral ainsi que le cortex temporo-polaire. Le réseau du mode par défaut est donc un ensemble de structure majoritairement dirigé vers la pensée interne, non lié à un but précis associé à l'environnement. Lorsque l'attention est capturée de manière automatique par un stimulus de l'environnement, le réseau de la saillance entre en action. Ce réseau inclut notamment la jonction temporo-pariétale et est impliqué dans le traitement *bottom-up* des stimuli (Corbetta et al., 2008). De surcroît, un réseau de saillance générale, composé du cortex cingulaire antérieur et de l'insula antérieure, a été décrit comme



**Figure 5** Représentation graphique des réseaux supportant une distinction des phénomènes mentaux. En rouge, le réseau fronto-pariétal va, lorsqu'il est engagé avec la section centrale du réseau du mode par défaut (en bleu), orienter les pensées vers un but. En orange, le réseau de la saillance va être associé à des ruminations et pensées obsessives. En gris, la partie temporale du réseau du mode par défaut va être associée à du *mind wandering* et des pensées spontanées. (d'après Christoff et al., 2016).

s'activant lors de la détection d'information saillante, aussi bien externe qu'interne (Seeley et al., 2007). Enfin, l'attention *top-down* serait associée au réseau du contrôle fronto-pariétal (Vincent et al., 2008). Ensemble, ces trois structures déterminent les alternances du focus attentionnel, tant vis-à-vis des stimuli externes qu'internes. Les interactions entre ces réseaux reflètent les différentes contraintes appliquées aux pensées internes. La section médio-temporale du réseau du mode par défaut engendre des pensées variées, dynamiques et sans contraintes (*mind wandering*). Lorsque le réseau de la saillance et la section principale du réseau du mode par défaut entrent en action, les pensées subissent des contraintes automatiques (ruminations). Enfin, lorsque le cortex fronto-pariétal prend le relais, il exerce des contraintes délibérées sur le flux de pensées (pensées contrôlées, orientées vers un but). L'argument de Christoff (2009) est que de telles dissociations structurelles supportent une distinction entre les pensées automatiques et contraintes, ce que ne permettrait pas une définition du *mind wandering* simplement basée sur son contenu (voir **Figure 5**).

### 2.3.2 Propriétés complémentaires

Les attributs mis en évidence précédemment sont ceux utilisés pour définir ce qu'est le *mind wandering*. Or il existe également différentes caractéristiques de ce phénomène qui ne sont pas forcément ses attributs fondamentaux (la “garniture”, si l'on reprend notre analogie avec la pizza). Ces caractéristiques complémentaires sont néanmoins cruciales, car elles peuvent modifier drastiquement la manière dont le *mind wandering* affecte les autres processus cognitifs. Voici une description des plus importantes.

#### 2.3.2.1 Temporalité

Les stimuli internes sur lesquels l'attention vient se porter lors d'une instance de *mind wandering* ne sont pas nécessairement des pensées décontextualisées (réflexions générales, questionnements internes, etc...). Au contraire, elles peuvent se situer temporellement, que ce soit en portant sur le passé, sur le présent ou sur le futur. En d'autres mots, le *mind wandering* coïnciderait fréquemment avec des instances de voyage mental dans le temps. Cette idée que le *mind wandering* comprendrait des instances de voyage mental est soutenue par des résultats en neuro-imagerie, montrant une forte intégration de l'hippocampe et du réseau du mode par défaut. Un tel *pattern* suggère que les pensées spontanées sont souvent associées à du contenu épisodique (Karapanagiotidis et al., 2017). Smallwood et al. (2009) ont montré que, lorsqu'une tâche à réaliser ne nécessite pas une grande implication de la mémoire de travail, les participants avaient tendance non seulement à s'engager dans du *mind wandering*, mais de plus ils effectuaient un *mind wandering* orienté principalement vers le futur. Dans une seconde étude, plus écologique, ils ont montré que l'orientation temporelle du *mind wandering* lors d'une tâche de lecture dépendait de la familiarité et de l'intérêt des participants pour le sujet de la lecture. En effet, lorsque l'intérêt ainsi que la familiarité avec le sujet sont faibles, le *mind wandering* est plus orienté vers le futur, tandis que lorsque l'intérêt est faible mais que la familiarité est grande, il est plus orienté vers le passé. La tendance naturelle du *mind wandering* serait donc plutôt d'être orienté vers le futur, mais son contenu peut s'orienter vers des souvenirs personnels lorsque des éléments de l'environnement sont propices à les évoquer. De même, des épisodes de *mind wandering* orientés vers le futur peuvent être déclenchés par l'évocation des buts personnels des participants (Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011) ou une période d'introspection (Smallwood, Schooler, et al., 2011). Ces résultats sont cohérents avec la théorie des préoccupations en cours et semblent pointer du doigt une potentielle fonction du *mind*

*wandering*. Celui-ci permettrait de se projeter dans le futur afin d'anticiper et de résoudre des problèmes. En effet, il semble improbable qu'un phénomène aussi prépondérant de notre vie mentale ne serve aucun but, et c'est précisément ce que Baird et al. (2011) montrent, en effectuant une analyse en profondeur du *mind wandering* durant une tâche de temps de réaction à choix. Ils ont mis en évidence que le *mind wandering* est de manière prédominante orienté vers le futur (48% du temps), et qu'il est particulièrement associé à un contenu autobiographique et orienté vers un but (53% des pensées), mettant en évidence l'intérêt du *mind wandering* pour les tâches prospectives. Ce biais prospectif du *mind wandering* pourrait expliquer pourquoi les pensées orientées vers le futur sont si courantes dans la vie de tous les jours (Berntsen & Jacobsen, 2008; D'Argembeau et al., 2011; Jason et al., 1989), étant donné la prévalence de ce phénomène. Les pensées orientées vers le futur auraient également plusieurs différences phénoménologiques avec les autres pensées, illustrant leur fonctionnalité. Par exemple, elles sont en moyenne plus concrètes, plus personnelles, se basent davantage sur le discours mental que l'imagerie visuelle et sont généralement plus structurées (Stawarczyk, Cassol, et al., 2013). Par ailleurs, les pensées orientées vers le futur seraient orientées davantage vers une temporalité proche (aujourd'hui - demain) que les pensées orientées vers le passé, renforçant l'idée d'un but prospectif du *mind wandering*. Cette idée est d'autant plus valide que, si l'on reprend la distinction entre *mind wandering* délibéré et spontané, nous observons que l'aspect délibéré est davantage orienté vers le futur et moins vague que l'aspect spontané (Seli et al., 2017).

### 2.3.2.2 Valence émotionnelle

Killingsworth et Gilbert (2010), dans leur fameuse étude sur l'occurrence du *mind wandering* dans la vie de tous les jours, montrent non seulement que ce phénomène est prévalent (un peu plus 45% d'instances reportées), mais aussi que les sujets sont globalement plus malheureux après une instance de *mind wandering*. Cet effet serait dû à une plus grande accessibilité des pensées négatives après un épisode de *mind wandering* et serait dépendant de la tendance à la dépression des individus (Marchetti et al., 2012). Cependant, cette relation causale a été critiquée, certaines études montrant que ce serait plutôt un état émotionnel négatif qui mènerait au *mind wandering* (Smallwood, Fitzgerald, et al., 2009) et que le *mind wandering* ne générerait d'émotions négatives que si son contenu est lui-même négatif (Mar et al., 2012; Poerio et al., 2013). Une description plus fine de la relation entre valence émotionnelle et *mind wandering* a été effectuée par Stawarczyk, Majerus, et al. (2013), qui



montrent que si l'induction d'une préoccupation future génère un état émotionnel négatif, alors celle-ci sera associée à plus de *mind wandering* par la suite. Par ailleurs, si le *mind wandering* est dirigé vers cette préoccupation, alors l'état émotionnel négatif perdurera plus longtemps. Ainsi, le *mind wandering* serait à la fois conséquence et cause d'un état émotionnel négatif. La temporalité et le contenu du *mind wandering* seraient donc cruciaux pour déterminer l'humeur associée à ce phénomène. Nous observons en effet que la présence d'un état émotionnel triste engendre une plus grande propension au *mind wandering* focalisé sur le passé (Poerio et al., 2013; Smallwood & O'Connor, 2011). Les pensées orientées sur le passé sont associées à une humeur négative tandis que les pensées orientées vers le futur engendrent une humeur positive (Ruby et al., 2013). Cette relation entre temporalité et valence du *mind wandering* a également été montrée dans le sens inverse, l'orientation vers le futur ou le passé étant déterminé par la présence d'indices négatifs et positifs respectivement (Plimpton et al., 2015). Enfin, il a également été proposé que l'effet négatif du *mind wandering* sur le bien-être était en grande partie dû à un manque de focalisation sur le moment présent (Stawarczyk et al., 2012). Ainsi, contrairement à ce que les premières études explorant la valence émotionnelle du *mind wandering* laissaient penser, le lien entre émotion et *mind wandering* est loin d'être évident. Ce phénomène pourrait en effet être aussi bien la résultante que la cause de différents états émotionnels (Mason et al., 2013)

### 2.3.3 Mécanismes d'apparition

Maintenant que nous avons une représentation plus claire des différentes caractéristiques que peut revêtir le *mind wandering*, nous allons nous intéresser aux mécanismes responsables de la survenue de ce phénomène.

#### 2.3.3.1 Déclenchement par les problèmes en cours

Le fait que le *mind wandering* soit en grande partie associé à des pensées orientées vers le futur a été remarqué très tôt par les chercheurs s'intéressant à ce phénomène. Avant l'introduction du concept de *mind wandering*, Varendonck (1951) parlait du concept de *daydreaming*, et a établi, par introspection, différentes propriétés caractérisant ce phénomène. Par exemple, les pensées seraient délimitées en segments et pourraient être décomposées en sous-unités, chacune d'entre-elle menant à la suivante. L'enchaînement de ces pensées serait naturel, sans discipline ni méthode, mais correspondrait souvent à des affaires importantes à régler. Klinger (1971, 1999, 2015) a proposé que la poursuite d'un but implique des *préoccupations en cours* (*current concerns*). Ces préoccupations en cours

correspondent à des états mentaux visant à la réalisation d'un but et restent actives jusqu'à ce que ce but soit atteint. Ainsi, l'enchaînement des pensées serait principalement déterminé par l'apparition d'un stimulus, interne ou externe, associé aux préoccupations en cours de l'individu. Par exemple, un étudiant en thèse se mettra à penser de manière presque automatique à l'écriture de celle-ci s'il est exposé à des éléments qui y sont liés. En plus d'avoir décrit quels facteurs influencent l'évolution des pensées, Klinger et Cox (1987) ont décrit, dans une étude écologique, différentes dimensions indépendantes permettant de caractériser les pensées, telles que leur intensité visuelle ou leur contrôlabilité. Ils ont établi que les segments de pensée moyens duraient une quinzaine de secondes et que près des trois-quarts des pensées comprenaient un monologue interne. Les pensées étaient globalement caractérisées comme moyennement contrôlables, peu dirigées et modérément associées au monde extérieur, caractéristiques évoquant une phénoménologie similaire à celle du *mind wandering*.

#### 2.3.3.2 Ressources exécutives

Smallwood et Schooler (2006) ont apporté une contribution majeure dans la compréhension du *mind wandering* en intégrant ce phénomène dans le *framework* du contrôle attentionnel. Ils proposent que le *mind wandering* soit un phénomène déclenché automatiquement par le traitement d'un stimulus non lié à la tâche, mais en lien avec les préoccupations en cours. Dès lors que le *mind wandering* est initié, sa maintenance requerrait la mobilisation de ressources attentionnelles, détournant celles-ci de la tâche en cours pour venir les focaliser sur les stimuli internes. Ainsi, le *mind wandering* surviendrait majoritairement lors d'activités automatisées ou ne demandant que peu de ressources attentionnelles. Lorsque les tâches requièrent plus de ressources attentionnelles, il resterait moins d'espace en mémoire de travail à allouer au *mind wandering*, impliquant ainsi sa suppression. Cependant, si jamais un épisode de *mind wandering* survient lors d'une tâche mobilisant les ressources attentionnelles, alors celle-ci s'en trouvera parasitée, car le *mind wandering* entrera en compétition avec la tâche en cours pour la disponibilité des ressources attentionnelles. La redirection des ressources attentionnelles depuis la tâche en cours vers les pensées correspond à une situation de *découplage perceptif* (*perceptual decoupling* ; Schooler et al., 2011; Smallwood et al., 2003). Cet état implique un traitement minimal et basique des stimuli externes, au profit d'un traitement des stimuli internes. Dans les faits, la notion de découplage perceptif n'est pas bien différente d'une situation d'attention divisée.

Simplement, au lieu d'avoir deux tâches clairement définies qui sont en compétition pour les mêmes ressources attentionnelles, le découplage perceptif divise l'attention entre une tâche externe clairement définie et une activité mentale, le plus souvent automatique et sans but explicite.

### 2.3.3.3 Conséquence d'un échec exécutif

Cependant, l'idée que le *mind wandering* mobilise et requiert des ressources attentionnelles n'est pas congruente avec plusieurs résultats expérimentaux. L'un des résultats mettant le plus en question cette vision du *mind wandering* est le fait que la capacité de stockage de la mémoire de travail corrèle négativement avec la propension au *mind wandering*. Si l'on considère la théorie de Smallwood et Schooler (2006), plus de ressources attentionnelles seraient libres lors de la réalisation d'une tâche si la capacité de stockage en mémoire de travail est élevée. Ainsi, il y aurait plus de chance que les ressources attentionnelles laissées libres soient dédiées au *mind wandering*, laissant envisager une corrélation positive entre les deux processus. Cette divergence entre les résultats observés et les prédictions de ce modèle a été relevée par McVay et Kane (2010), qui proposent une construction différente du *mind wandering*. Leur modélisation s'appuie sur le postulat que l'état mental de base est un état d'enchaînement libre des pensées et que celles-ci requièrent d'être activement supprimées par le système exécutif, afin de pouvoir se focaliser sur l'environnement. Cette conceptualisation n'envisage donc pas le *mind wandering* comme un phénomène dont l'émergence dépend de la disponibilité des ressources attentionnelles, mais plutôt comme un phénomène découlant d'échecs momentanés du système exécutif. Ainsi, une activité automatisée ou ne nécessitant que peu de ressources attentionnelles sera associée à plus de *mind wandering* non pas parce qu'elle libère de l'espace en mémoire de travail, mais parce qu'elle ne nécessite pas la suppression active des pensées pour être effectuée. Cette suppression peut s'effectuer soit de manière proactive (focaliser volontairement son attention sur une tâche) ou réactive (blocage du *mind wandering* lorsqu'il est automatiquement déclenché par un indice). Dans les deux cas, le blocage du *mind wandering* requiert la mobilisation continue du système exécutif. Ainsi, étant donné que la capacité en mémoire de travail est positivement liée aux capacités de contrôle exécutif (Engle & Kane, 2004), les individus disposant d'une faible mémoire de travail seront plus prompts aux échecs exécutifs, et effectueront donc plus de *mind wandering*. De même, cette conceptualisation implique que les facteurs réduisant la capacité de mémoire de travail – tels

la fatigue ou l'alcool – devraient augmenter la propension au *mind wandering*, ce qui est cohérent avec les données observées (Kane et al., 2007; Kane & Engle, 2003; McVay & Kane, 2009). La seule situation où la théorie de Smallwood et Schooler (2006) est plus cohérente avec les données observées est celle du vieillissement. En effet, le vieillissement est à la fois associé à une baisse de la capacité de mémoire de travail et une baisse de la fréquence du *mind wandering* (Craik & Salthouse, 2015; Jordão et al., 2019; Maillet et al., 2018; Maillet & Schacter, 2016a; McVay et al., 2013). McVay et Kane (2010) défendent cependant leur théorie en rappelant que la baisse de fréquence du *mind wandering* dans le vieillissement peut être attribuée à une augmentation de l'interférence due à la tâche lors d'un protocole expérimental, et correspondrait plus à un biais dans le report du contenu des pensées que d'une moindre occurrence du *mind wandering* (McVay et al., 2013). Enfin, une dernière limite à cette approche est que, par définition, elle ne peut être valable que pour le *mind wandering* spontané, étant donné que le *mind wandering* volontaire est sciemment déclenché et ne reflète donc pas un échec des processus de contrôle exécutif.

#### 2.3.3.4 Hypothèse de disponibilité globale

En plus des critiques concernant les inadéquations entre les prédictions de McVay et Kane (2010) et les observations relatives au vieillissement, il est à noter que la théorie de l'échec exécutif n'est pas fondamentalement opposée à la théorie de Smallwood et Schooler (2006). En effet, l'idée que le *mind wandering* reflète un échec du système exécutif n'enlève rien au fait que le *mind wandering* est un processus parasite mobilisant les ressources exécutives. Le principal point de débat, selon Smallwood (2010), viendrait de la conception de ce qu'est le contrôle exécutif. Smallwood (2010) avance l'idée que le contrôle exécutif peut être conceptualisé suivant un modèle d'espace de travail global (*global workspace* ; Dehaene & Naccache, 2001). Ce modèle postule que certaines informations sont activées globalement et accessibles à la conscience lorsque l'attention s'y focalise. Étant donné que le *mind wandering* est un phénomène verbalisable, cela implique qu'il est accessible à la conscience, et donc potentiellement disponible de manière globale. La disponibilité globale d'un phénomène nécessite l'existence d'un espace de stockage dédié à l'information consciente. Si le *mind wandering* est effectivement un phénomène disponible globalement, il monopoliserait donc, au moins temporairement, un espace de stockage qui n'est pas alloué à d'autres informations. Les processus de contrôle exécutif permettent de déterminer quelle information entre dans cet espace de stockage. Ainsi, que le *mind wandering* dépende ou

non d'un échec exécutif, il sera toujours en conflit avec les informations de la tâche en cours pour l'accès à cet espace de stockage global et, lorsqu'il accède à la conscience, mobilisera des ressources exécutives pour son maintien. Pour concilier les différentes théories portant sur le fonctionnement du *mind wandering*, il est nécessaire de fractionner ce phénomène en différentes étapes : le point d'ignition et le maintien de l'épisode au cours du temps. En effet, les hypothèses des préoccupations en cours et de l'échec exécutif portent davantage sur la manière dont le *mind wandering* se déclenche, mais renseignent peu sur le maintien de l'épisode, tandis que les hypothèses du découplage perceptif et de la disponibilité globale se focalisent davantage sur la manière dont cet épisode est maintenu un fois qu'il est accessible à la conscience (Smallwood, 2013). Il est possible que la théorie de l'échec exécutif soit en grande partie vérifiée à cause de la manière dont les chercheurs évaluent le *mind wandering*. Effectuer une tâche requérant de la concentration nécessite l'intervention des processus exécutifs pour empêcher le *mind wandering* de parasiter la tâche. À l'inverse, réaliser une tâche automatique ou très facile permettra d'allouer une partie de ses ressources attentionnelles au *mind wandering*, car il ne sera pas incapacitant pour la tâche. Ainsi, le *mind wandering* ne résulterait pas d'un échec exécutif dans ces cas-là (Golchert et al., 2017).

### 2.3.4 Arguments en faveur d'un impact négatif sur la cognition

Pour envisager l'effet du *mind wandering* sur la mémoire, il convient de comprendre comment ce phénomène affecte le reste des processus cognitifs. Par bien des aspects, le *mind wandering* est similaire à une situation d'attention divisée, non pas entre deux tâches externes, mais entre les pensées internes et stimuli externes. Il est donc raisonnable d'imaginer que seuls les processus cognitifs contrôlés soient parasités par l'émergence d'épisodes de *mind wandering*. En effet, différentes études convergent pour montrer que l'engagement dans un épisode de *mind wandering* s'accompagne d'un déclin des performances, notamment sur deux processus d'un intérêt particulier pour la mémoire épisodique : la mémoire de travail et l'attention soutenue.

#### 2.3.4.1 Impact sur la mémoire de travail

Que l'émergence de *mind wandering* soit favorisée par une grande ou une faible capacité de mémoire de travail, ce phénomène engendrera de manière homogène une baisse des performances sur les tests classiques de mémoire de travail. Les tâches testant la mise à jour de mémoire de travail, que ce soit la *Operation Span Task* (OSPAN ; Turner & Engle, 1989), la *Reading Span Task* (RSPAN ; Daneman & Carpenter, 1980) ou la *Symmetry Span Task*

(SSPAN ; Kane et al., 2004), impliquent de stocker et manipuler sur de brèves durées des informations mathématiques, sémantiques ou visuo-spatiales respectivement. D'autres tâches de mémoire de travail visuelle impliquent de détecter des changements dans l'environnement au niveau de détails variables. Lorsque des sondes de pensées sont incluses dans de telles tâches, les mesures de *mind wandering* associées seront corrélées négativement à leurs performances (Mrazek et al., 2012; Unsworth & Robison, 2016a). Cette relation entre *mind wandering* et performances en mémoire de travail est si robuste qu'il est possible de prédire l'existence d'un épisode de *mind wandering* sur la base de ces performances (Robison & Unsworth, 2019). La gestion du *mind wandering* est donc cruciale pour le bon fonctionnement de la mémoire de travail. Le contrôle exécutif permet d'adapter l'engagement dans des épisodes de *mind wandering* en fonction des demandes de la tâche. Plus un individu dispose d'une grande capacité de mémoire de travail, moins il s'engagera dans des épisodes de *mind wandering* lorsque la tâche est coûteuse, et moins il en sera parasité (Rummel & Boywitt, 2014). La modulation de l'émergence du *mind wandering* en fonction de la difficulté de la tâche affecte aussi bien le *mind wandering* volontaire qu'involontaire, représentant donc à la fois un changement dans la motivation induite par la tâche et une plus grande mobilisation du contrôle exécutif (Seli, Konishi, et al., 2018). Par ailleurs, la mémoire de travail supporterait effectivement le maintien d'épisodes de *mind wandering*, étant donné que ceux-ci sont diminués lorsque la mémoire de travail est requise. De plus, lorsque le niveau de charge en mémoire de travail est bas, une plus grande capacité de mémoire de travail est associée à plus de *mind wandering* (Levinson et al., 2012). On observe également qu'à mesure que la tâche s'étire dans le temps, les épisodes de *mind wandering* sont plus nombreux et ce, en particulier lorsque la tâche impose une grande charge de mémoire de travail (Krimsky et al., 2017). L'effet négatif sur les performances en mémoire de travail est également plus grand dans cette condition. Lorsque l'on regarde de plus près comment les sous-systèmes de mémoire de travail interagissent avec le *mind wandering*, il s'avère que moins d'épisodes surviennent lorsque la tâche en cours mobilise la boucle phonologique par rapport au calepin visuo-spatial (Sekiguchi, 2018). Étant donné que ces deux modules sont largement indépendants, le fait que plus d'épisodes de *mind wandering* surviennent lorsqu'une tâche visuo-spatiale est effectuée implique que le contenu de ces épisodes n'est pas de la même modalité. La verbalisation mentale est en effet un phénomène courant, dont les occurrences peuvent se chevaucher avec celles du *mind wandering* (Lœvenbruck et al., 2019; Perrone-Bertolotti et al., 2014). *A contrario*, la

moindre occurrence du *mind wandering* lorsque la boucle phonologique est utilisée sous-entend que son contenu est plus verbal que visuel. Malgré cela, le *mind wandering* (conceptualisé ici en tant que pensées indépendantes d'un stimulus) peut impacter les performances de tâches visuelles aussi bien que verbales (Teasdale et al., 1995). Enfin, concernant le contenu du *mind wandering*, il semble que ce soit surtout le *mind wandering* à contenu négatif qui soit à l'origine des perturbations des performances en mémoire de travail (Banks et al., 2016), reflétant potentiellement un effet de saillance vers les pensées internes.

### 2.3.4.2 Impact sur l'attention soutenue

L'attention soutenue correspond à la mobilisation de processus exécutifs maintenant l'attention sur la tâche pendant une longue durée. Sa mesure se fait habituellement *via* le *Sustained Attention to Response Task* (SART ; Robertson et al., 1997), une tâche de Go/No Go nécessitant de répondre le plus rapidement possible à une série de stimuli (des chiffres, le plus souvent) et de retenir sa réponse lors de l'apparition d'un stimulus rare (10% des essais). Les temps de réaction ainsi que le pourcentage d'erreurs sont des indicateurs de baisse d'attention. C'est une tâche employée régulièrement dans les études testant le *mind wandering*, même lorsque celles-ci ne s'intéressent pas à l'étude de l'attention soutenue, car la répétitivité et la simplicité de la tâche en font une situation idéale pour que le *mind wandering* survienne. Une autre tâche, le *Metronome Response Task* (MRT ; Seli et al., 2013) implique de presser une touche de manière synchronisée avec un métronome. La précision temporelle de la réponse ainsi que les omissions indiqueront une baisse attentionnelle.

Les études utilisant le SART montrent que le *mind wandering* augmente de manière linéaire au fur et à mesure de la tâche (Cuadra, 2020; McVay & Kane, 2009). Les erreurs à la tâche de SART sont plus fréquentes avant le report d'un épisode de *mind wandering* en comparaison avec le report d'un moment de concentration sur la tâche (Christoff et al., 2009). Les temps de réaction sont également plus longs juste avant le report d'un épisode de *mind wandering* (Leszczynski et al., 2017). Lorsque l'on s'intéresse plus précisément aux caractéristiques du *mind wandering* affectant l'attention soutenue, nous observons que la variabilité des temps de réaction ainsi que la précision des réponses baissent avant des reports de pensées sans lien avec la tâche ou indépendantes des stimuli (Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011). Il a été suggéré que le principal moteur pour la baisse des

performances due au *mind wandering* soit la valence négative, étant donné que seul ce type de *mind wandering* prédisait significativement les performances au SART dans un modèle de régression incluant la valence émotionnelle dans ses prédicteurs (Banks et al., 2016). Cet effet serait potentiellement dû à la plus grande capture attentionnelle des stimuli négatifs. Il est à noter que ces différents effets sont bien associés à des variations du *mind wandering*, et pas à des phénomènes associés tels que la somnolence (Stawarczyk & D'Argembeau, 2016) ou des capacités globales de contrôle attentionnel (Stawarczyk et al., 2014). De même, il a été montré que les temps de réaction n'étaient pas différents lorsque des sondes de pensées étaient présentes dans la tâche ou non (Wiemers & Redick, 2019). Le ralentissement du *mind wandering* ne peut donc pas être attribué aux interruptions causées par les sondes de pensée. Enfin, chose intéressante : il semblerait que l'intentionnalité ne joue pas de rôle dans l'effet délétère du *mind wandering* sur l'attention soutenue, étant donné que les formes spontanées et délibérées sont toutes deux associées à des baisses de performances dans le SART et le MRT (Seli, Carriere, et al., 2015). Ainsi, bien qu'ayant des processus de mise en place différents, ces deux aspects seraient tous deux associés à un découplage perceptif délétère pour le traitement des informations.

### 2.3.5 Arguments en faveur d'un impact positif sur la cognition

Si le *mind wandering* est, dans l'ensemble, un phénomène délétère pour les processus cognitifs – étant donné qu'il génère une division de l'attention entre le traitement des stimuli internes et externes – certaines études semblent pointer du doigt la possibilité que le *mind wandering* ait un rôle positif sur certains processus cognitifs. Nous allons donc brièvement exposer les quelques situations où un effet positif peut être décelé, et voir dans quelle mesure elles permettraient de postuler un effet positif du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique.

Tout d'abord, il a été avancé que le *mind wandering* (tant l'état que le trait) améliorerait les capacités de pensées divergentes, car il permettrait, par l'association libre des pensées, de générer de nouvelles idées ou de résoudre des problèmes (Gable et al., 2019; Preiss et al., 2016; Yamaoka & Yukawa, 2020; Zedelius & Schooler, 2015). Ainsi, l'émergence d'épisodes de *mind wandering* durant la phase d'incubation d'un problème en améliorerait sa réussite (Leszczynski et al., 2017) et permettrait une meilleure flexibilité dans une tâche de pensée divergente (Yamaoka & Yukawa, 2019) ou d'usages non-usuels (Baird et al., 2012). Cette relation, cependant, ne semble pas systématique (Smeekens & Kane, 2016;



Steindorf et al., 2020) et dans certains cas le *mind wandering* peut dégrader les résultats à des tâches de pensée divergente (Hao et al., 2015). Cela pourrait s'expliquer par la distance entre l'établissement d'un problème et sa résolution : une courte distance mobiliserait davantage les processus contrôlés, rendant néfaste l'influence du *mind wandering*, tandis qu'une plus longue distance reposerait surtout sur des processus associatifs, plus automatiques. Ce serait principalement dans ce second cas que l'effet bénéfique du *mind wandering* se manifesterait. Même si les résultats sont relativement hétérogènes, ces études portant sur la créativité suggèrent que le contenu du *mind wandering* peut servir à créer des associations avec d'autres informations, laissant envisager un meilleur traitement ainsi qu'une meilleure rétention de celles-ci.

Étant donné que le *mind wandering* est de manière prédominante orienté vers le futur et associé au planning autobiographique (Baird et al., 2011; Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011), ce contenu pourrait servir à faciliter l'encodage et l'exécution d'intentions futures (mémoire prospective). Cette idée a été investiguée par Kvavilashvili et Rummel (2020) qui ont passé en revue les travaux mettant en lien la nature et le contenu des pensées portant sur le futur. Cette revue confirme le fait que les pensées orientées vers le futur sont largement spontanées, focalisées sur le futur proche et concernent davantage des projets concrets que des projections abstraites. Les auteurs soulignent également que quelques études ont montré un impact positif de la répétition mentale spontanée d'une action sur son exécution future (Kvavilashvili & Fisher, 2007; Mason & Reinholtz, 2015; Szarras & Niedźwieńska, 2011), ce qui va dans le sens d'une fonction prospective du *mind wandering*. Malheureusement, encore peu d'études soutiennent empiriquement cette proposition à l'heure actuelle. Smallwood et al. (2011) montrent, après avoir démontré qu'une période de réflexion sur soi augmente la propension au *mind wandering* orienté vers le futur, comment l'orientation temporelle du *mind wandering* modulait l'effet de référence à soi (meilleur rappel d'adjectifs associés à soi plutôt qu'à autrui). Ainsi, ils ont démontré que la magnitude de cet effet était positivement prédite par la proportion d'épisodes de *mind wandering* associés au futur, entre l'encodage et la récupération des items. L'induction d'un point de vue focalisé sur soi a donc pu induire un biais prospectif du *mind wandering* via l'évocation implicite des problèmes en cours. Ce biais permettrait alors un meilleur traitement des informations qui y sont liées, d'où un meilleur rappel de ces informations.

Prises dans leur ensemble, ces quelques instances montrant un impact positif du *mind wandering* sur la cognition suggèrent que le contenu du *mind wandering* peut impacter la manière dont ce phénomène va interagir avec les processus cognitifs. En l'occurrence, lorsque le *mind wandering* est totalement déconnecté de ce que le participant fait à l'instant présent, l'impact du *mind wandering* sera analogue à une situation d'attention divisée et impactera négativement le traitement des stimuli de l'environnement. Cependant, lorsque le contenu du *mind wandering* est lié de manière plus ou moins directe avec certains stimuli externes, il pourra en favoriser le traitement, en générant des associations spontanées. Si l'on applique ce *pattern* de résultats à l'encodage en mémoire épisodique, alors nous pouvons prédire que, dans la majorité des cas, le *mind wandering* aura un impact négatif sur l'encodage, mais dans certains cas précis, où le participant fait l'expérience de pensées en lien avec les stimuli, ce traitement associatif permettra probablement un meilleur encodage de ceux-ci.

## 2.4 *Mind wandering* et mémoire épisodique

### 2.4.1 Introduction à la revue

Il est assez surprenant, considérant à quel point l'attention et la mémoire sont des thématiques fondamentales en psychologie cognitive, de constater qu'aucune revue de la littérature n'a été réalisée précédemment pour synthétiser l'effet du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique. Une revue théorique vient d'être publiée très récemment et concerne l'impact du *mind wandering* sur la lecture (D'Mello & Mills, 2021). Si la compréhension en lecture implique l'encodage et la rétention d'informations, cela reste une situation spécifique qui n'est pas généralisable à toutes les situations impliquant la mémoire. Les études portant sur le *mind wandering* et la mémoire possèdent des méthodologies distinctes, certaines employant des listes de mots, d'autres des images, d'autres encore étudiant la mémorisation dans le contexte d'un cours. L'encodage peut être incident ou volontaire et les différentes propriétés de la mémoire épisodique, comme la phénoménologie de la récupération ou la mémoire de source, peuvent ou non être évaluées. Enfin, si d'un point de vue théorique il semble raisonnable de penser que le *mind wandering* aura un impact négatif sur les différentes composantes de la mémoire épisodique, il est également possible que, dans certaines situations, le *mind wandering* puisse aider la mémorisation si son contenu est associé aux items encodés.

Ainsi, afin d’apporter un éclairage sur ces questions et avoir une perspective globale sur la littérature liant *mind wandering* et mémoire épisodique, nous avons conduit une revue systématique de la littérature, suivant le modèle PRISMA (Moher et al., 2009). Quatre bases de données ont été investiguées (*PsycNET*, *Pubmed*, *ScienceDirect* et *Taylor & Francis*), ce qui nous a conduit à un total de 39 études à examiner. Il est à noter que, étant donné que cette revue a été réalisée en dernière année de thèse, la première étude expérimentale que nous avons réalisée (Blondé et al., 2020) est incluse dans les études passées en revue. Cependant, nous tenons à inclure notre revue systématique dans l’introduction de cette thèse, avant la partie expérimentale, afin d’établir clairement les bases théoriques sur lesquelles les expériences sont fondées.

#### **2.4.2 Revue systématique de la littérature**

1     **A wandering mind is a forgetful mind: a systematic review on the influence of mind**  
2                                   **wandering on episodic memory encoding**

3             Philippe Blondé <sup>a,1</sup>, Jean-Charles Girardeau <sup>a</sup>, Marco Sperduti<sup>a</sup> & Pascale Piolino<sup>a, b</sup>

4

5             <sup>a</sup>Laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition (UR 7536), Institut de Psychologie,  
6                                    Université de Paris, Paris, France

7                                   <sup>b</sup>Institut Universitaire de France, France

8

9

10

11                                   **Author Note**

12     <sup>1</sup> Corresponding author

13     71 avenue Ed. Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt, Ile de France, France

14     Email addresses:

15     philippe.blonde@u-paris.fr (Philippe Blondé),

16     jean-charles.girardeau@u-paris.fr (Jean-Charles Girardeau),

17     marco.sperduti@u-paris.fr (Marco Sperduti),

18     pascale.piolino@u-paris.fr (Pascale Piolino)

19

20

21

**Abstract**

22           In the last two decades, mind wandering has received increased interest in the field of  
23 cognitive neuroscience. Despite the strong links between attention and memory, its effect on  
24 episodic memory encoding has only been recently investigated. To date, there is no systematic  
25 synthesis on this link. Following the PRISMA guidelines, a systematic review of the literature  
26 on mind wandering and episodic memory was conducted. Four online bibliographic databases  
27 (PsycNET, Pubmed, ScienceDirect and Taylor & Francis) were searched. Thirty-nine studies  
28 were eligible for the current review and were compared based on their methodologies and  
29 results. Overall, stimulus-independent mind wandering appeared to be a reliable negative  
30 factor influencing the encoding of words, audio-visual stimuli, and lecture material. However,  
31 a few studies pointed out the positive effect of stimulus-dependent mind wandering on  
32 episodic memory encoding. Theoretical explanations, the limits of existing investigations and  
33 avenues for potential future research are discussed.

34

35 **Keywords:** Attention; Mind Wandering; Episodic Memory

36

37

38

**Declarations of interest: none**

39

## 40           **1.       Introduction**

### 41           *1.1 Foreword*

42           Mind wandering is one of the fastest-growing cognitive science topics of the last few  
43 decades (Callard et al., 2013). The popularity of this topic is likely tied to its extreme  
44 relevance for everybody. For instance, which student has never stopped paying attention  
45 during a lecture in order to daydream about what she is going to do afterward? Or which  
46 researcher has never lost track during a boring conference talk, recalling a pleasant memory  
47 instead? In both cases, the distracted listener will probably not remember any of the  
48 information that the teacher or the speaker were trying to communicate. Indeed, the  
49 experience of day-to-day situations is often altered by mind wandering, potentially leading to  
50 deficits in episodic memory encoding. But to what extent does mind wandering affect  
51 memorization? Is mind wandering always detrimental to the encoding of information? Can  
52 the relationship between mind wandering and episodic memory change, depending on the  
53 situation? The present systematic review will attempt to answer these questions by examining  
54 the current literature, using the PRISMA guidelines to determine how mind wandering  
55 impacts episodic memory encoding.

### 56           *1.2 Definition of mind wandering*

57           Mind wandering is probably one of the most common inner mental activities that we  
58 engage in in our daily life. Various studies (Kane et al., 2007; Killingsworth & Gilbert, 2010;  
59 McVay et al., 2009) have reported that relatively high rates of mind wandering occur in  
60 numerous situations (up to 30-45% of daily mental activities), evidencing the high prevalence  
61 of this phenomenon in our life. However, this propensity should be considered with some  
62 caution, as what constitutes an episode of mind wandering remains a matter of debate. While  
63 this phenomenon is intuitively understood, it is difficult to provide a consensual operational  
64 definition. A few defining criteria have been proposed to characterize this phenomenon, such

65 as “stimulus independent thoughts” (SIT; Antrobus, 1968), “task-unrelated thoughts” (TUT;  
66 Giambra, 1989) or a combination of both “stimulus independent and task-unrelated thoughts”  
67 (SITUT). TUT, probably the most common operational definition of mind wandering  
68 (Smallwood & Schooler, 2006), pinpoints the attentional disengagement from the task at hand  
69 toward unrelated thoughts as the core definition of mind wandering. While this  
70 conceptualization is especially convenient for scientists (as it is easy to define a task in an  
71 experimental context), it may not be an adequate definition for everyday activities, as mind  
72 wandering can be experienced in situations where no task is clearly defined (e.g., waiting at  
73 the bus stop or sitting in a train). On the other hand, SIT suggests that the core definition of  
74 mind wandering is the disconnection between current thoughts and environmental stimuli.  
75 This means that thoughts can be task-related (such as concerns about performance or overall  
76 questioning about the task at hand) without being linked to environmental cues. However, this  
77 definition is at odds with some findings showing that external cues often trigger episodes of  
78 mind wandering and alter their content (McVay & Kane, 2013; Plimpton et al., 2015; Song &  
79 Wang, 2012; Vannucci et al., 2017), leading to the emergence of stimulus-dependent thoughts  
80 (SDT). Finally, defining mind wandering as SITUT can also be problematic since this  
81 criterion is quite restrictive and suffers from the same drawbacks as the previous two  
82 definitions.

83 Another feature to consider in the definition of mind wandering is the question of  
84 intentionality. Some studies have shown that engaging voluntarily or not in mind wandering  
85 can actually lead to different outcomes, potentially explaining some conflicting results in the  
86 literature (Robison & Unsworth, 2017; Seli et al., 2015, 2016). However, these content-based  
87 definitions of mind wandering focus only on the nature of the thoughts experienced during  
88 mind wandering and mostly ignore how this phenomenon occurs and evolves over time. Thus,  
89 the dynamic framework (Christoff et al., 2016, 2018) proposes an alternative operational

90 definition, arguing that the core feature of mind wandering is its spontaneous and dynamic  
91 evolution. According to this framework, the actual content of mind wandering should not be  
92 used as a defining criterion, and perseverative or voluntary thoughts should not be considered  
93 as mind wandering. To account for these various, often competing definitions, it has been  
94 proposed to consider mind wandering from a family-resemblance perspective (Seli, Kane,  
95 Smallwood, et al., 2018; Seli, Kane, Metzinger, et al., 2018). This perspective suggests that  
96 mind wandering can be described with multiple, hierarchically ordered definitions along with  
97 a probabilistic structure. For instance, a definition of mind wandering characterized by task-  
98 unrelatedness and unintentionality would describe a more prototypical form of mind  
99 wandering than one characterized only by a dynamic evolution, as these features are more  
100 frequently used as defining factors. Such features characterizing mind wandering include (but  
101 are not limited to) task-unrelatedness, unintentionality, stimulus-independence and dynamic  
102 attentional fluctuations. Even if it is not the aim of the present study to resolve the debate  
103 about the definition of mind wandering, it is important to keep in mind all these theoretical  
104 approaches because they impact the operationalization of mind wandering and, in turn,  
105 possibly its impact on cognitive processes.

### 106 *1.3 Mechanisms of mind wandering*

107 As different definitions of mind wandering co-exist, the actual mechanisms leading to  
108 its occurrence and core functioning are also debated. It has been proposed that mind  
109 wandering emerges from the need to attend to current concerns in that people will tend to  
110 daydream about preoccupations, worries or problems that they need to solve (see Klinger,  
111 2015 for a review). In this framework, mind wandering is understood as an automatic  
112 phenomenon triggered by the spontaneous activation of unresolved goals (Klinger, 1999).  
113 However, this view only states the reasons for the occurrence of mind wandering, not the  
114 actual mechanisms responsible for it. Smallwood and Schooler (2006) proposed that its



115 emergence relies on the availability of current executive resources, arguing that task-unrelated  
116 thoughts will occur if a task leaves some executive resources unused. Engaging in these  
117 thoughts will lead to a decoupled state of attention in which the processing of internal  
118 information will compete with the processing of external information (a phenomenon known  
119 as “perceptual decoupling”; Schooler et al., 2011). This is in line with several studies showing  
120 that an increase in task difficulty or cognitive load diminishes the rate of mind wandering  
121 (Forster & Lavie, 2009; Krimsky et al., 2017; Rummel & Boywitt, 2014; Seli, Konishi, et al.,  
122 2018; Smallwood et al., 2002), as fewer resources are available to trigger and maintain off-  
123 task thoughts. However, this conceptualization does not fit well with findings showing that  
124 mind wandering is negatively correlated with working memory capacity (Kane et al., 2007;  
125 McVay & Kane, 2009). If mind wandering does indeed emerge from spare executive  
126 resources, then a high working memory capacity should be associated with more mind  
127 wandering, as more resources are available. Thus, McVay and Kane (2010) proposed that  
128 mind wandering does not in fact depend on the availability of executive resources but rather  
129 reflects a failure of the executive control system to maintain attention on the task. In this  
130 perspective, thoughts are automatically and continuously generated but are inhibited by the  
131 executive system to prevent intrusion in the ongoing task. Thus, since low working memory  
132 capacity is associated with poorer executive control abilities (Engle & Kane, 2004), more  
133 mind wandering is experienced. This conceptualization better accounts for some findings such  
134 as the fact that mind wandering increases with fatigue (Kane et al., 2007; McVay et al., 2009;  
135 Ottaviani et al., 2013) or alcohol consumption (Finnigan et al., 2007; Sayette et al., 2009) as  
136 these two situations are associated with depleted executive resources. However, this  
137 proposition has also been criticized, as the claim that mind wandering does not rely on  
138 executive resources is at odds with both experimental results and theoretical  
139 conceptualizations of executive resources (Smallwood, 2010).

140 To reconcile the two theories, Smallwood (2013) suggested decomposing an episode of  
141 mind wandering into two components: its ignition point and its maintenance over time.  
142 According to this framework, the executive resources theory better explains the maintenance  
143 of mind wandering episodes, while the executive failure theory mostly explains the ignition  
144 point. It is the maintenance of mind wandering that draws upon executive resources, while its  
145 ignition reflects a failure to inhibit the occurrence of mind wandering. This distinction  
146 between the two phases of mind wandering can help us understand how off-task and on-task  
147 focus are intertwined, as both the ignition point and the maintenance of mind wandering will  
148 have an impact on several cognitive processes.

#### 149 *1.4 Impact of mind wandering on cognitive processes*

150 Since mind wandering is such a prevalent phenomenon, it can impact a great variety of  
151 cognitive processes (see Mooneyham & Schooler, 2013, for a review). As mind wandering is  
152 not a unitary construct, its effects depend strongly on its operationalization. Thus, to  
153 understand its consequences, we need to look at what an episode of mind wandering is. The  
154 content of mind wandering can be atemporal or either past- or future-oriented (Jackson et al.,  
155 2013), and this feature is directly tied to emotional and cognitive functioning. For instance, a  
156 common association is found between negative mood and past-oriented mind wandering  
157 (Smallwood & O'Connor, 2011), suggesting that people feeling sad or depressed are more  
158 inclined to think about the past rather than the future. However, in line with the idea that mind  
159 wandering is triggered by current concerns (Klinger, 1999), several studies found that the  
160 content of mind wandering is mostly goal-oriented, self-relevant and directed toward the  
161 future (Baird et al., 2011; D'Argembeau et al., 2011; Smallwood et al., 2009; Song & Wang,  
162 2012; Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011). Mind wandering episodes often consist in  
163 autobiographical planning and prospective thinking, usually triggered by a cue (for instance,  
164 seeing a cat when going to work and starting to think about buying food for your cat). This

165 future-oriented bias of mind wandering sheds light on one of its functionalities: to anticipate,  
166 plan and prepare future actions through mental simulation. As such, experiencing mind  
167 wandering has been associated with some beneficial effects on problem solving and idea  
168 generation (Baird et al., 2012; Gable et al., 2019; Leszczynski et al., 2017; Zedelius &  
169 Schooler, 2015). In these situations, experiencing mind wandering allows one to examine  
170 problems from another perspective. It also allows one to prepare future activities in advance  
171 in order to perform them correctly. However, while serving a useful function, mind wandering  
172 can be detrimental to the ongoing task, as processes such as autobiographical planning are  
173 controlled and resource-demanding (Smallwood et al., 2009; Smallwood, Schooler, et al.,  
174 2011; Spreng et al., 2010), and controlled activities are likely to be hindered when  
175 simultaneously engaging in mind wandering. Attentional processes such as sustained attention  
176 and vigilance are consistently reported to be impacted by mind wandering, leading to a  
177 decrease in performance and an increase in attentional errors (Cunningham et al., 2000;  
178 McVay & Kane, 2009, 2012; Robertson et al., 1997; Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011;  
179 Thomson, Seli, et al., 2014). These results, reminiscent of those found in divided attention  
180 paradigms, are often understood as a manifestation of the perceptual decoupling associated  
181 with mind wandering. In essence, maintaining an episode of mind wandering is akin to  
182 performing a secondary task that competes for the resources with the current task. This  
183 conceptualization is also supported by the fact that mind wandering harms the perceptual  
184 processing of external stimuli (Kam et al., 2011; Smallwood et al., 2008). A concrete example  
185 of the hindering effect of mind wandering on perceptual and attentional processes is its  
186 detrimental impact on driving, a common activity that relies heavily on those processes  
187 (Baldwin et al., 2017; He et al., 2011; Nijboer et al., 2016; Qu et al., 2015). Following these  
188 lines of evidence highlighting an impairment of perceptual and cognitive processes during

189 mind wandering, it is expected that this phenomenon may impact another function requiring  
190 both perception and attention: episodic memory encoding.

### 191 *1.5 Evidence in favor of an effect of mind wandering on episodic memory encoding*

192 While often used in a rather mundane way, “memory” is in fact a term that encompasses  
193 various contents and involves several cognitive processes. Episodic memory is the long-term  
194 memory system responsible for the encoding, storing, and retrieval of specific experiences,  
195 consisting of images, sounds, actions, and feelings in their spatiotemporal context (Tulving,  
196 1993; Tulving & Thomson, 1973). The retrieval of stored information usually occurs via  
197 either recollective or familiarity-based processes (Gardiner, 2001; Yonelinas, 1994, 2001b).  
198 Retrieving information based on recollection is associated with a conscious remembrance of  
199 the information itself, its spatio-temporal context, and a feeling of mental time travel and of  
200 reliving the event (Hasselmo, 2009; Tulving, 2002). In contrast, retrieving information based  
201 on familiarity is not associated with any contextual information or mental time travel but  
202 rather on semantic information. Episodic memory is a primordial function in human life,  
203 helping us to relive past events and plan future ones (Suddendorf et al., 2011). However, this  
204 core function is quite fragile and is especially sensitive to the effects of aging (Nilsson, 2003).  
205 But age is not the only factor affecting episodic memory, and numerous pieces of evidence  
206 point out that mind wandering has a major impact on its functioning, especially during the  
207 encoding phase. An extensive literature has already highlighted how critical the role of  
208 attentional processes is for the proper functioning of memory, leading some authors to  
209 consider memory as a persisting trace of attention (Chun & Johnson, 2011; Chun & Turk-  
210 Browne, 2007; Long et al., 2018). For instance, dividing attention during encoding is  
211 consistently associated with a decrease in later memory performances (Craig et al., 1996;  
212 Mickley Steinmetz et al., 2014; Naveh-Benjamin & Brubaker, 2019; Uncapher & Rugg,  
213 2005). This memory impairment is global and affects both the item itself and the associated

214 contextual information (Castel & Craik, 2003; Troyer et al., 1999; Troyer & Craik, 2000).  
215 Moreover, even if an item is successfully encoded, the phenomenology tied to its retrieval  
216 will also be affected by attentional division, leading to a specific impairment of recollection-  
217 based processes (Curran, 2004; Gardiner & Parkin, 1990; Iidaka et al., 2000; Kensinger et al.,  
218 2003; Parkin et al., 1995; Reinitz et al., 1994; Uncapher & Rugg, 2008; Yonelinas, 2001b).  
219 Conversely, attentional focusing during encoding was found to have an opposite effect, and to  
220 improve the probability of successfully encoding information (Richter & Yeung, 2016; Turk-  
221 Browne et al., 2013; Uncapher et al., 2011). Thus, if a mind wandering episode is similar to a  
222 divided attention situation, it is expected to hinder both the encoding of the item, its context,  
223 and the probability of retrieving it based on recollection. However, it is also reasonable to  
224 postulate that mind wandering can improve episodic memory encoding, depending on its  
225 content. SDTs could potentially help encode information by providing semantically-linked  
226 associations, thus improving the chances of a successful encoding (Addis & McAndrews,  
227 2006). However, while such predictions are quite straightforward, they may not hold true in  
228 the context of aging since, while episodic memory abilities are known to decrease during  
229 aging, it has been repeatedly reported that the propensity to mind wandering also decreases  
230 (see the meta-analysis by Jordão et al., 2019). This decrease in mind wandering may reflect a  
231 shift in its content, as older people are more sensitive to environmental information than  
232 younger adults (Lindenberger & Mayr, 2014), and this shift may modulate the influence of  
233 mind wandering on memory.

#### 234 *1.6 Measures of mind wandering and memory*

235 Before presenting the actual review, it is necessary to have a broad understanding of  
236 how mind wandering, and memory, are assessed. Mind wandering is usually evaluated  
237 through explicit self-reports, which are either self-caught or probe caught. The self-caught  
238 methodology relies more on executive control and meta-cognitive abilities but is ultimately a

239 more naturalistic way of assessing mind wandering (Seli, Smilek, et al., 2018; Varao-Sousa &  
240 Kingstone, 2019). On the contrary, including probes prompting the participant to report the  
241 content of their mind at various points during the experiment is an easier method of  
242 assessment, but can potentially have an influence on both the frequency of mind wandering  
243 (Seli et al., 2013) and on the response, depending on how the prompts are framed (Weinstein,  
244 2018). In parallel with such explicit assessments of mind wandering, a few behavioral  
245 measures known to correlate with mind wandering are sometimes used to assess this  
246 phenomenon implicitly. These implicit assessments include reaction times (Foulsham et al.,  
247 2013; Franklin et al., 2011), pupil dilatation (Kang et al., 2014; Smallwood, Brown, et al.,  
248 2011) or blink frequencies (Smilek et al., 2010).

249       Concerning memory, classical memory paradigms revolve around an encoding and a  
250 retrieval phase, both being either voluntary (conscious encoding of words, free recall task,  
251 recognition task...) or incidental (judging words that will be later retrieved, completing  
252 trigrams with the first word that comes to mind...). Concerning recollection and familiarity,  
253 two main ways are used to assess them. In the Recollection-Know-Guess paradigm (RKG;  
254 Gardiner et al., 1998; Tulving, 1985), the participants are simply asked to explicitly state  
255 whether they *remember* the item alongside its context, with a feeling of reliving it, whether  
256 they *know* it was present, but with no contextual clues, or whether they simply *guess* it was  
257 present. The first two answers correspond to recollective and familiarity-based retrievals,  
258 respectively. Alternatively, implicit methods can be used to determine the retrieval strategy,  
259 such as the process-dissociation method (Jacoby, 1991; Jacoby et al., 1993). This method  
260 relies on the comparison between an inclusion task (i.e., completing trigrams with previously  
261 seen words) and an exclusion task (i.e., completing them with any word *except* the previously  
262 seen words). By comparing the hits and involuntary retrievals in the two conditions, scores of

263 recollection and familiarity can be estimated. Finally, contextual information can be evaluated  
264 through the assessment of the item's source (Johnson et al., 1993).

### 265 *1.7 The present review*

266 Considering how crucial the interplay between attentional and mnemonic processes is in  
267 the field of cognitive psychology, the present paper provides a systematic review of the  
268 literature linking mind wandering and episodic memory in healthy subjects, both young and  
269 old, in order to shed light on questions such as: is the effect of mind wandering on episodic  
270 memory encoding always negative? Do the properties of the stimulus, the encoding strategies  
271 used or the contents of the mind wandering episode alter its relationship to memory  
272 formation? How does this relationship evolve with aging? To this end, we will review the  
273 studies showing the impact of mind wandering on episodic memory by considering:

- 274 - the nature of the information to be encoded (e.g., words, images, lectures...)
- 275 - the type of thoughts experienced during mind wandering (e.g., TUTs, SDTs...)
- 276 - the nature of its retrieval (e.g. recollective/familiarity-based retrieval, source  
277 memory...)
- 278 - the age of the participants
- 279 - the effect of methods aiming at reducing mind wandering so as to enhance memory  
280 encoding

281 Importantly, the present review will not focus on mind wandering during reading, since  
282 the retention of text material requires additional processing of the encoded material such as  
283 constructing a situation model. These elaborative processes do not necessarily constitute the  
284 core of episodic memory encoding and are often assessed by completing comprehension  
285 questionnaires, which rely more on the manipulation of information than on episodic retrieval.  
286 These processes could be impacted by mind wandering independently of episodic memory.

287 Furthermore, D’Mello and Mills (2021) have already conducted a theoretical review on the  
288 links between mind wandering during reading.

## 289 **2. Method**

### 290 *2.1 Literature search*

291 The PRISMA guidelines (Moher et al., 2009) were adopted for the present review. Four  
292 databases were investigated for the bibliographic research: *PubMed*, *ScienceDirect*, *Psychnet*  
293 and *Taylor & Francis*. The last search was conducted on June 2<sup>nd</sup>, 2020. The following  
294 combination of keywords was used: [“mind wandering” OR “task-unrelated thought” OR  
295 “stimulus-independent thought”] AND [“memory”].

### 296 *2.2 Screening criteria*

297 The following exclusion criteria were used to screen papers not fitting into the scope of the  
298 present review:

- 299 - The paper is a review, a meta-analysis or a book chapter
- 300 - The paper is not published in English
- 301 - The paper does not assess the impact of mind wandering on episodic memory itself,  
302 but rather on associated processes such as reading comprehension or working  
303 memory.

### 304 *2.3 Eligibility criteria*

305 The following eligibility criteria were used to screen each of the abstracts:

- 306 - The population recruited is comprised of healthy adults only, either young or old (thus,  
307 we excluded, for instance, studies focusing exclusively on depression, ADHD,  
308 Alzheimer, etc.)
- 309 - The paper describes at least one indicator attesting the presence of mind wandering  
310 during encoding, such as thought probes, retrospective questionnaires, and implicit  
311 measures.



- 312 - The paper describes at least one objective measure of episodic memory performances,  
313 such as recognition task, trigram completion, Remember-Know-Guess paradigm, and  
314 free recall.
- 315 - The paper describes at least one statistical analysis, whether parametric or not, linking  
316 mind wandering and episodic memory indicators.

### 317 **3. Results**

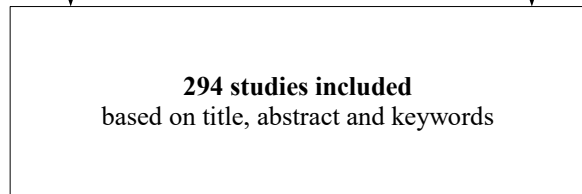
318 The search led to a total of 827 papers (235 on *Pubmed*, 100 on *ScienceDirect*, 424 on  
319 *Taylor & Francis*, and 68 on *PsychNet*). After assessing the title, abstract and key words, 160  
320 studies were selected on *PubMed*, 61 on *ScienceDirect*, 37 on *Psychnet*, and 19 on *Taylor &*  
321 *Francis*. Seventeen more studies, not appearing in any of the previous searches, were added  
322 by the authors, giving a total of 294 abstracts. Seventy-one duplicates were removed from the  
323 pool, bringing the total of relevant studies for the present review down to 223.

324 These studies were then screened for eligibility in the present review. 93 studies were  
325 removed because they focused on the interactions between mind wandering and working  
326 memory, not episodic memory. Eighteen studies did not assess episodic memory, but rather  
327 text comprehension. Thirty-five studies were not experimental, including 34 reviews and 1  
328 meta-analysis. And finally, 8 studies recruited a pathological population (e.g., dysphoria,  
329 attention-deficit hyperactivity disorder, Alzheimer...). After removing these 130 studies, the  
330 total number of studies assessable for eligibility was 93.

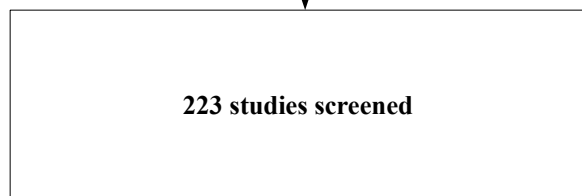
331 Among these studies, 39 were removed because they did not include an operational  
332 assessment of mind wandering, episodic memory, or both. Furthermore, 13 studies were  
333 removed because they did not focus on the impact of mind wandering on the encoding process  
334 itself. And finally, two more studies were excluded because they consisted in correlational  
335 studies linking dispositional traits of mind wandering and memory failures. Thus, 39 studies  
336 were included in the present review (See **Figure 1** for a graphical overview of the selection

337 process). All the eligible papers are summarized in **Table 1**, which describes how mind  
338 wandering and episodic memory were assessed, what procedure was used, what population  
339 was recruited and what were the main results, especially regarding their interplay.

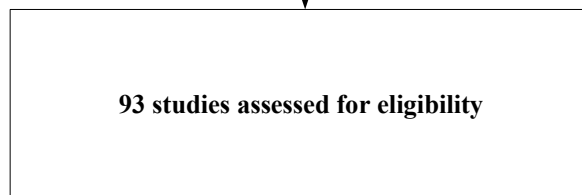
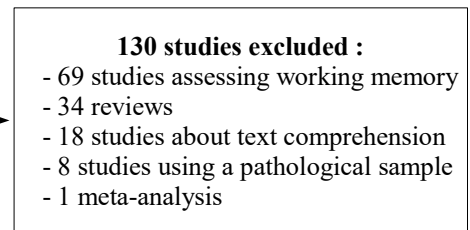
## Identification



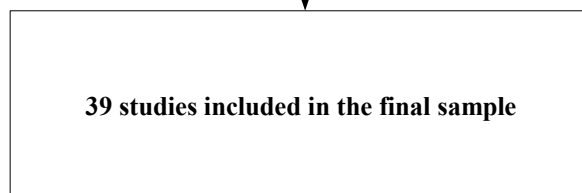
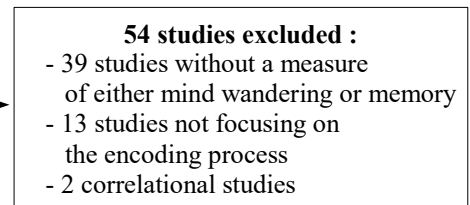
## Screening



## Eligibility



## Inclusion



Authors	Sample	Procedure	Mind wandering assessment	Memory assessment	Main results
<i>Memory for verbal material</i>					
<b>(Maillet et al., 2017)</b>	<p><i>Study 2</i> Shallow encoding: 30 students (23.23 ± 4.42; 63.33% ♀) Deep encoding: 30 students (24.17 ± 4.15; 70% ♀)</p>	<p><i>Study 2</i> Incidental encoding of 376 words in either deep or shallow condition. Delayed recognition task with certainty assessment.</p>	<p><i>Study 2</i> 25 categorical thought probes (on-task/SDT/TRI/SIT) associated with meta-awareness, vividness, temporality, and current concerns indexes.</p>	<p><i>Study 2</i> % high confidence hits - % high confidence misses</p>	<p><i>Study 2</i> SDTs positively predicted recognition scores in the shallow encoding condition, but not in the deep one</p>
<b>(Seibert &amp; Ellis, 1991)</b>	<p><i>Study 1</i> 45 students <i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Mood induction by showing 25 statements (sad/happy/neutral) Voluntary encoding of 7 trigram doublets by grouping them. Delayed free recall task (3 minutes later) <i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Thought listing after the task Assessment of relevancy, frequency and intensity <i>Study 2</i> Thought listing during the task (tape-recorded) Same assessment</p>	<p><i>Study 1</i> Number of correctly recalled letters <i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>In both studies</i> Irrelevant thoughts negatively predicted letter recall, regardless of the induction</p>
<b>(Smallwood, Baracalia, et al., 2003)</b>	<p><i>Study 1</i> 28 students (26.5 ± 9.9; 64.29% ♀) <i>Study 2</i> 28 students (30.5 ± 16.4; 46.43% ♀)</p>	<p><i>Study 1</i> Voluntary encoding of 16 categories of 12 words presented either randomly or in categories Immediate word completion and word recognition tasks at the end of each block <i>Study 2</i> Idem but each word was either repeated or studied (Shadowing/encoding task) The retrieval task occurred</p>	<p><i>Study 1</i> 8 verbal reports by condition (later categorized into TRI, TRI and TUT) Division of subjects between no TUT and TUT groups <i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Number of correctly completed fragments and correctly recognized words <i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Fewer TUTs and better performance for the word completion task in the categorical condition More false alarms reported for the TUT group for the word completion task <i>Study 2</i> Higher probability of a correct recognition when encoding than when shadowing in the no TUT group</p>

<b>(Smallwood, Obonsawin, et al., 2003)</b>	<i>Study 3</i> 20 students (24.5 ± 5.4)	once, at the end of the task <i>Study 3</i> Voluntary encoding of 4 blocks of 20 words, organized by category of alphabetical order, with a fast or slow pace Immediate production of previous words based on either a category or a letter	<i>Study 3</i> One verbal report (TRT/TRI/TUT) after each block	<i>Study 3</i> Mean number of words correctly recalled	<i>Study 3</i> Better memory performance, more TRTs, fewer TUTs and TRIs in the categorical encoding condition Better memory performance, fewer TUTs and TRIs in fast presentations
<b>(Smallwood et al., 2004)</b>	<i>Study 1</i> 30 students (34.5 ± 10; 3.33% ♀) <i>Study 3</i> 13 students (24.3 ± 7.6; 76.92% ♀)	<i>Study 1</i> Voluntary encoding of 5 blocks of 10 words and 5 blocks of 10 non-words Word-stem completion of four random critical items by block <i>Study 3</i> Same as Study 1 but with 8 blocks and either an encoding or a shadowing task	<i>Study 1</i> Verbal report of mental content (TUT/NTUT) after each block <i>Study 3</i> Same as study 1	<i>Study 1</i> Number of words correctly completed <i>Study 3</i> Idem	<i>Study 1</i> Better memory performance when NTUT are reported compared to TUT Better memory performance for words than non-words for NTUT but no difference when TUT were reported <i>Study 3</i> Better memory performance for encoding than shadowing for NTUT but no difference when TUT were reported
<b>(Thomson et al., 2014)</b>	90 students (19.34; 3.33% ♀)	Voluntary encoding of 6 blocks of 30 words either in deep (size judgment) or shallow encoding (case size judgment) Immediate recognition task after each block	2 categorical thought probes (On-task/Off-task) by block (12 in total)	Recognition sensitivity (d')	Better recognition in the deep encoding condition than in the shallow one Linear negative relationship between MW and memory in the deep encoding condition
<b>Memory for complex material</b>					
<b>(Chinchanachokchai et al., 2020a)</b>	<i>Study 1</i> 66 students (20.35 ± 1.23; 54.5% ♀) <i>Study 2</i> 112 students (20.41 ± 1.14; 56.2% ♀)	<i>Study 1</i> Incident encoding of 5 audio advertisements, the last one being either mundane or interesting. Immediate completion of a memory questionnaire for the	<i>Study 1</i> Retrospective mind wandering questionnaire <i>Study 2</i> Idem	<i>Study 1</i> Number of items of information retrieved for the target ad <i>Study 2</i> Idem	<i>Study 1</i> Better retrieval performance when the ad was interesting rather than mundane Significant and negative linear relationship between MW and memory performance <i>Study 2</i>

	<p><i>Study 3</i> 84 students (21.54 ± 2.43; 46.4% ♀)</p>	<p>last advertisement</p> <p><i>Study 2</i> Idem, but either with no secondary task, or either a low or a high perceptual secondary task</p> <p><i>Study 3</i> Incidental encoding of 5 visual ads during an online shopping simulation with either a low or a high perceptual load (items arranged by visual saliency or not) Immediate recognition task</p>	<p><i>Study 3</i> Idem</p>	<p><i>Study 3</i> Number of ads recognized</p>	<p>Better retrieval performance for mundane ad in the low perceptual condition compared to both high and no perceptual condition</p> <p>Less MW for mundane ad in the low-load condition compared to the no-task condition</p> <p>MW mediates the relationship between task load and memory performance when a mundane ad was presented</p> <p><i>Study 3</i> Better recognition and less MW in the low load condition compared to the high one</p> <p>MW mediated the relationship between task load and memory performance</p>
<p><b>(Chinchanachokchai et al., 2020b)</b></p>	<p>143 students (20.57; 53.1% ♀)</p>	<p>Incidental encoding of 5 auditory ads -the last one being the target one - while either performing no task, or either a high or a low perceptual task (finding an item among perceptually similar or dissimilar distractors) or either a high or a low cognitive task (maintenance of a 6 or 2-digit number in WM).</p> <p>Immediate completion of a memory questionnaire about the last advertisement</p>	<p>Retrospective mind wandering questionnaire</p>	<p>Number of items of information retrieved for the target ad</p>	<p>Better retrieval performance for the ad in the low perceptual task compared to both the control and high perceptual ones, which did not differ.</p> <p>Less MW in the low load task compared to the control but not the high load one.</p> <p>No difference in retrieval performance or MW level between the cognitive tasks.</p> <p>MW mediated the effect of the low perceptual load on memory performance (compared to the other two conditions)</p>
<p><b>(deBettencourt et al., 2018)</b></p>	<p><i>Study 1</i> 32 students (20.5; 78.75%)</p>	<p><i>Study 1</i> Incidental encoding of 500</p>	<p><i>Study 1</i> Average RT length of the</p>	<p><i>Study 1</i> Percentage of</p>	<p><i>Study 1</i> Average RT before a trial positively</p>

	♀ <i>Study 2</i> 24 (19.2; 62.5% ♀)	images presented in a SART task Recognition task with certainty assessment <i>Study 2</i> Idem but with specific items appearing when RT were slower or faster than one standard deviation	three trials preceding an image <i>Study 2</i> Idem	remembered images (correct high confidence response) <i>Study 2</i> Idem	predicted memory performance for that trial <i>Study 2</i> Items triggered after faster RT were less well remembered than those triggered by slower RT
<b>(Krasich et al., 2018)</b>	51 students (19 ± 1.1; 72.55% ♀)	Voluntary encoding of 12 city scenes Gaze patterns were recorded with an eye tracker during encoding Immediate recognition task	8 categorical thought probes (on-task/off-task)	Percentage of correctly recognized images	MW was negatively correlated with memory performance (for both foil and studied images) MW was associated with fewer and longer fixations, more dispersed fixations and more eye blinks
<b>(Zhang et al., 2021)</b>	57 students (18.84 ± 0.8; 64% ♀)	Voluntary encoding of 3 blocks of 60 real-word pictures (including 36 target pictures always followed by a probe) Gaze patterns were recorded with an eye tracker during encoding Immediate recognition test after each block	36 categorical thought probes (on-task/voluntary MW/unintentional MW)	Percentage of correctly recognized images	Both voluntary and unintentional MW negatively predicted recognition performances, with no differences between the two. For unintentional MW only, recurrence rate (fixations on previously inspected area), determinism (repeated fixation sequence) and eye blinks were higher compared to on-task For both intentional and unintentional MW, fixation dispersion, fixation count and area covered were smaller, while fixation durations were longer compared to on-task, with no difference between the two
<b>Quality of episodic memory</b>					
<b>(Blondé et al., 2020)</b>	52 students (21.04 ± 2.4; 88.14% ♀)	Incidental encoding of 8 scenes in a virtual environment Delayed recognition task (15	8 analogical thought probes (ranging from 0 to 10)	Ratio of correctly retrieved scenes Ratio of R responses	Overall MW negatively predicted memory performance Overall and on-line MW predicted R ratio

		<p>min later) associated with a RKG paradigm and two source memory questions (spatial and temporal information)</p>	<p>One categorical overall thought probe (task-related/unrelated and stimulus-dependent/independent)</p>		<p>following a quadratic trend</p> <p>No effect of either overall or on-line MW on source memory questions</p>
<p><b>(Maillet &amp; Rajah, 2014)</b></p>	<p>21 students (23.33; 57.14% ♀)</p>	<p>Voluntary encoding of 4 blocks of 69 words, with either a self-referential or semantic judgment fMRI recording Delayed recognition task (10 min later) with a source memory assessment</p>	<p>13-14 categorical thought probes by block (task-related/unrelated and stimulus-dependent/independent)</p>	<p>Index of source remembrance (% Source Hit - (% source misattribution + % false alarm)/2).</p>	<p>Trend for better source retrieval for on-task answers compared to off-task</p> <p>More source hits and less source misses for on-task answers compared to off-task</p> <p>Positive association between the activation in medial prefrontal cortex and source retrieval in the self-referential task while a negative association was found in the semantic judgement task.</p> <p>Activations in posterior cingulate cortex for both MW and encoding failure</p>
<p><b>(Riby et al., 2008)</b></p>	<p>20 students (24.8 ± 5.8; 65% ♀)</p>	<p>Voluntary encoding of 4 blocks of 24 words and 24 pictures ERP recording Immediate recognition task after each block</p>	<p>Retrospective assessment using the thinking component of the DSSQ (used to divide the group into low and high MW groups)</p>	<p>Percentage of correctly recognized pictures and words</p>	<p>No difference in memory performance between the two groups</p> <p>Presence of central-negativity effect for the high MW group</p> <p>Presence of left-parietal effect for the low MW group</p>
<p><b>(Smallwood, Baracata, et al., 2003)</b></p>	<p><i>Study 3</i> 32 students (25.4 ± 4.7; 66.62% ♀)</p>	<p><i>Study 3</i> Same as study one, but with a random presentation only Final completion of word stems either with any words (inclusion condition) or with words not seen during the encoding (exclusion condition)</p>	<p><i>Study 3</i> Item with the addition of the DSSQ after the task</p>	<p><i>Study 3</i> Indexes of recollection and familiarity (Jennings &amp; Jacoby, 1993)</p>	<p><i>Study 3</i> More likelihood of correctly retrieving an item based on recollection for the no TUT group but no difference in likelihood for the TUT group.</p>
<p><b>(Smallwood et al., 2007)</b></p>	<p>Low probability condition: 25 students</p>	<p>Voluntary encoding of 80 words in a Go-No Go task with</p>	<p>Categorical thought probes (on-task/off-task)</p>	<p>Indexes of recollection and familiarity (Jennings</p>	<p>Increase in MW with time and increase in familiarity-based retrieval when on-task for</p>



	High probability condition: 30 students	either a high or a low probability of targets Retrieval through an exclusion/inclusion paradigm (completing with a new word or any word)	with judgment of awareness (yes/no) Average RT length	& Jacoby, 1993)	the high probability condition  Increase in recollection-based retrieval when on-task for the low probability condition  No difference between recollection and familiarity rates when off task for both groups
<b>(Smallwood et al., 2006)</b>	Incidental encoding: 19 students (29.8 ± 11.1; 57.89% ♀) Voluntary encoding: 16 students (27.7 ± 5.9; 87.5% ♀)	Incidental or voluntary encoding of two blocks of 40 words in a semantic SART  Immediate retrieval through an exclusion/inclusion paradigm	Retrospective assessment using the thinking component of the DSSQ	Number of correctly retrieved words for the 4 words after a failure to withhold a response	Decrease in MW for the voluntary encoding block compared to the incidental encoding one  The probability of retrieval based on recollection increased after an error while the probability of retrieval based on familiarity stayed the same
<b>Memory for lectures</b>					
<b>(Farley et al., 2013)</b>	21 students (76.19% ♀)	Voluntary encoding of one video lecture divided into 8 blocks of 5 mins  Immediate completion of a retention test	One analogical thought probe after each block, ranging from 1 to 7	Proportion of correct test answers	MW negatively predicted test retention performance
<b>(Hollis &amp; Was, 2016)</b>	126 students	Completion of three WMC tasks (RSPAN, OSPAN, SSPAN). Voluntary encoding of a public relations lecture video or an advertising lecture video  Immediate completion of a multiple-choice questionnaire after each video	4 categorical thought probes (on-task/TRI/past-oriented TUT/future-oriented TUT/current state TUT /technology related TUT/Other)	Percentage of accurate responses for the tests (labelled “academic performance”)	No differences in TUT between the two videos More TRI was experienced in the public relation lecture  Structural equation modelling showed: - A negative prediction of TUTs by interest and WMC - A positive prediction of academic performance by WMC - A negative prediction of academic

						performance by TUT
<b>(Kane et al., 2017)</b>	200 students (between 18 and 35 years old) from two universities	Completion of several cognitive tasks and questionnaires (WMC, statistics background, multitasking questionnaire, etc.) Voluntary encoding of a 52 min video lecture about statistics either with note-taking or no note-taking.  Pre-test and delayed post-test (after a 10-item interest questionnaire) with 10 multiple choice questions	20 categorical thought probes (on-task/lecture-related) TRTs/Comprehension-related TRTs/TUTs about personal concerns/TUTs about daydreaming/TUTs about self-state of being/others)	Proportion of correct answers to the questions in the pre and post tests	MW mediated the effect of WMC on academic performance  MW was negatively predicted by pre-test performance (topic knowledge), interest in statistics (topic interest), and positively predicted by classroom media multitasking trait and note taking quality/quantity. MW negatively predicted post-test scores, and had the best predictive power (before traits, WMC and pretest scores) MW mediated the effects of pretest, math interest and media multitasking on post-test scores  TRT associated with lecture significantly predicted post-test performance, but TRT associated with comprehension did not.	
<b>(Risko et al., 2012)</b>	<i>Study 1</i> 60 students <i>Study 2</i> 35 students	<i>Study 1</i> Voluntary encoding of a one-hour video lecture  Immediate completion of a retention test assessing information presented before each probe <i>Study 2</i> Idem	<i>Study 1</i> 4 categorical thought probes (on-task/off-task) Division of subjects between low and high MW groups  <i>Study 2</i> Idem but with different timestamps	<i>Study 1</i> Percentage of correctly answered questions <i>Study 2</i> Idem	<i>Study 1</i> Better test performance was found for the low vs high MW group Negative correlation was found between MW and test performance <i>Study 2</i> Replication of the previous results	
<b>(Risko et al., 2013)</b>	61 (24; 64 % ♀) Control condition: 61 (26; 66 % ♀)  Computer condition: 61 (22; 60 % ♀)	Voluntary encoding of a 60 min video lecture of Greek history. Participants in the computer condition had to complete 10 tasks during the lecture on another computer	6 categorical thought probes assessing thoughts about the lecture, time, or something else (in the control condition) or the lecture, the computer, or	Number of correctly answered questions	Fewer thoughts about the lecture, poorer memory performance and less overall MW (when controlling for age) were found in the computer condition  Thoughts about the lecture fully mediated	

				something else (in the computer condition)		the effect of condition on memory performance
<b>(Varao-Sousa &amp; Kingstone, 2015)</b>	276 students (19.84 ± 3.41; 65.22 % ♀)	Immediate completion of a 10-question multiple-choice retention test Voluntary encoding of two 60-min lectures, one live and one in video (one session a day) Immediate True-False questionnaire after each lecture	6 categorical thought probes in each lecture (on-task/off-task)	Percentage of correctly answered questions	MW negatively correlated with memory performance for both conditions Better memory performance for the live compared to the video sessions No difference in MW between the two sessions Significant negative correlation between MW and memory performance for the video lecture but not for the live one.	
<b>(Varao-Sousa &amp; Kingstone, 2019)</b>	86 students (19.07 ± 1.72; 73.26 % ♀)	Voluntary encoding of three different live lectures (1h20) Immediate completion of a multiple-choice questionnaire after each lecture	Self-caught reports of mind wandering during each session. (on-task/off-task) 6 categorical thought probes in session 2 (on-task/off-task)	Percentage of correctly answered questions	No differences in self-caught MW rates across the three sessions. Overall, positive correlation between probe-caught and self-caught MW assessment No correlation between MW and memory performance.	
<b>(Varao-Sousa et al., 2019)</b>	279 students (20 ± 2.1; 70.97 % ♀)	Voluntary encoding of a 58-min lecture either with/without the teacher and either alone, in a group with a shared screen or in a group with individual screens Immediate completion of a multiple-choice questionnaire after the lecture	6 categorical thought probes (on-task/off-task)	Percentage of correctly answered questions	No effect of participant's visibility on either MW or memory performance. More MW was found when students were studying with a shared screen compared to being alone, but social setting didn't have an impact on memory performance. MW negatively predicted memory performance across all conditions, and this effect was significantly stronger for the individual screens group compared to the other two groups.	
<b>(Varao-Sousa et al., 2018)</b>	73 students (21.32 ± 3.57; 83.56% ♀)	Voluntary encoding of an audio book, either outside or inside	10 categorical thought probes (on-task/external)	Proportion of correctly answered questions	No correlation between MW rate and memory performance	

	<i>Inside condition</i> 34 students <i>Outside condition</i> 31 students	the laboratory Immediate completion of a multiple-choice questionnaire	distraction/off-task)		
<b>(Wammes et al., 2016)</b>	152 undergraduate students (20.12 ± 2.09; 62.99% ♀)	Voluntary encoding of 12 lectures of a physiological psychology course (one lecture each week)  Immediate completion of a test after each lecture Delayed completion of a final test, assessing memory for all lectures	0 to 3 thought probes (on-task/unintentional MW/deliberate MW) per lecture	Proportion of correctly answered questions for both follow-up tests and the final test	Memory performance was better for the inside condition compared to the outside one. A correlation between distractions and memory performance was also found in the inside condition  A higher proportion of distractions compared to MW was found in the outside condition  Correlation between unintentional and deliberate MW Higher proportion of correct answers when on-task at encoding compared to deliberate, but not unintentional MW Deliberate MW predicts follow-up test performance while unintentional MW predicts final test performance.
<b>(Wammes &amp; Smilek, 2017)</b>	<i>Study 1</i> 71 students (20.78 ± 3.28) <i>Study 2</i> 45 participants enrolled in the live physiological course 30 psychology students having not yet completed the course (19.40 ± 1.57; 63.33% ♀) 32 non-psychology students (20.31 ± 1.54; 50% ♀)	<i>Study 1</i> Voluntary encoding of lectures in a physiological psychology course (one lecture each week)  Immediate completion of a post-lecture test <i>Study 2</i> Voluntary encoding of one video lecture (from the first study)  Immediate completion of a post-lecture test	<i>Study 1</i> 27 analogical thought probes (1 to 5) distributed during the term (0 to 3 per lecture) <i>Study 2</i> 3 probes (same as the first study)	<i>Study 1</i> Proportion of correctly answered questions for both follow-up tests <i>Study 2</i> Idem	<i>Study 1</i> Reversed U-shaped evolution of MW during a lecture MW score negatively predicted memory performance for information associated to the probe  <i>Study 2</i> Decrease in MW during the lecture for the live enrolled group Increase in MW during the lecture for the other two groups No difference in memory performance between the groups No analysis of MW/memory

*Age-related effect of mind wandering on memory*

<p><b>(Maillet &amp; Rajah, 2013)</b></p>	<p>31 young adults (22.6; 70.97% ♀) 26 older adults (64.3; 57.69% ♀)</p>	<p>Voluntary encoding of 2 blocks of 122 words with either a subjective (pleasant/neutral) or objective (man-made/natural) judgment task  Delayed recognition task (3min) after each block, with a certainty assessment</p>	<p>Retrospective assessment using the thinking component of the DSSQ after each block</p>	<p>Pr index for both high and low certainty judgments</p>	<p>Young subjects: - More MW in the subjective judgment task - More TRI in the objective judgment task - Retrieval accuracy in the subjective judgment task was negatively predicted by MW score - Retrieval accuracy in the objective judgment task was negatively predicted by TRI score  Older subjects: Decrease in both TRI and MW compared to young adults</p>
<p><b>(Maillet &amp; Rajah, 2016)</b></p>	<p>20 young adults (23.4; 60% ♀) 16 older adults (67; 68.75% ♀)</p>	<p>Voluntary encoding of 4 blocks of 69 words with either a subjective or objective judgment task fMRI recording Delayed recognition task (10 min later) with a source memory assessment</p>	<p>Categorical thought probes (task-related/unrelated and stimulus-dependent/independent)</p>	<p>Frequency of: - Source hits - Item recognition without source - Item misses - Source misattribution False alarms</p>	<p>No difference in TUT frequency between groups Negative effect of TUT frequency on source hits for both groups Positive effect of TUT frequency on item misses for both groups Greater activation of bilateral middle/frontal gyri and precuneus during TUT and source misses compared to on-task thoughts and source hits for both groups Replication of the interaction between task and medial prefrontal activation on source retrieval, but only for the young adults' group.</p>
<p><b>(Maillet &amp; Schacter, 2016b)</b></p>	<p>30 young adults (23; 53.33% ♀) 30 older adults (71.1; 53.33% ♀)</p>	<p>Incidental encoding of 216 words-pictures pairs in a man-made/natural judgment task Immediate recognition task</p>	<p>28 categorical thought probes (on-task/SDT/SIT) associated with intentionality,</p>	<p>High confidence hits – high confidence false alarms</p>	<p>For both groups, SDTs predicted confidence judgment and were more past than future-oriented</p>

		with a certainty assessment	temporality, and pleasantness assessments.		For older subjects, more SDTs were experienced, and they positively predicted retrieval performance
<b>Methods to reduce the MW effect on memory</b>					
<b>(Fenesi et al., 2018)</b>	77 students (18.7 ± 1.4; 78 % ♀): - 26 in the exercise breaks condition - 23 in the non-exercise breaks condition in the no-break condition	Voluntary encoding of a 50-min psychology lecture video either without breaks, or interrupted by three 5-minute breaks with physical exercises or video game playing  Immediate and delayed (48h) multiple choice questionnaire	Three categorical thought probes (on-task/intentional MW/unintentional MW)	Proportion of correctly answered questions in both the immediate and delayed memory task	The sport-break condition led to more on-task thoughts than the other two conditions, no significant increase in MW during the task and better memory performance in both immediate and delayed tasks  No correlation between MW level and learning performance was found across conditions
<b>(Garlitch &amp; Wahlheim, 2020)</b>	132 students (19.02 ± 1.7; 71.96% ♀)	Voluntary encoding of 4 blocks of 72 word pairs The pairs were either: - unchanged across the four trials - changed during the last one - random pairs across trials  Immediate pair completion task with the last word presented, associated with a change awareness question and a recall of the previous word associate	9 categorical thought probes in blocks (on-task/off-task)	Number of correct word completions Proportion of change: - recollected (change noticed + recall of the previous word) - remembered (change noticed without recall of previous word) - not remembered (change unnoticed)	Correctly remembering a change was associated with a better retrieval of the changed word On-task thoughts were associated with better retrieval and change notification Decrease in on-task thoughts with time, but increase for the last block if a change occurred
<b>(Jing et al., 2016)</b>	<i>Study 1</i> 36 students (20.4; 53.85 % ♀): - 18 in the free recall task - 18 in the restudy task	<i>Study 1</i> Voluntary encoding of a 40-min sociology lecture video divided into 8 blocks of 5 mins After each block, completion of either a free recall of the block's information or a restudy.	<i>Study 1</i> Four categorical thought probes (on-task/off-task)  <i>Study 2</i> Four categorical thought probes (on-task/SDT related to earlier part of	<i>Study 1</i> Number of correct information in the free and cued recall  Integration score assessing how recalled information was clustered	<i>Study 1</i> No difference in MW between the groups  Better memory performance, better integration of information and more notetaking were found for the tested group in both free and cued recall

	<p><i>Study 2</i> 36 students (19.8; 58.97 % ♀)</p>	<p>Delayed (5 min) free recall and cued recall tasks <i>Study 2</i> Idem with reversed order between the two recall tasks</p>	<p>the lecture/SDT related to life/TUT/zone-out)</p>	<p>with other recalled information from the same segment <i>Study 2</i></p>	<p>A negative relationship between MW and memory performance was found in the restudy group for free and cued recall  <i>Study 2</i> No difference in overall MW between the groups Negative relationship between TUT/zone-out and memory performance for free and cued recall in both groups Positive relationship between SDTs and memory performance/integration for free and cued recall in both groups  More SDTs and fewer TUTs/zone-outs were found for the tested group Replication of previous findings on memory performance</p>
<p><b>(Martin et al., 2018)</b></p>	<p>75 students</p>	<p>Voluntary encoding of two 10-min videos, one being presented once, the other twice  Immediate completion of a multiple-choice retention test after the last presentation of each video</p>	<p>4 categorical thought probes in each video (on-task/intentional MW/unintentional MW)</p>	<p>Percentage of correct test answers</p>	<p>No difference in memory performance between the two encoding conditions More MW in the second watching of the video watched twice Presence of a negative but non-significant correlation between MW and memory performance</p>
<p><b>(Mills et al., 2019)</b></p>	<p>118 students (35.3 ± 20.1)</p>	<p>Voluntary encoding of a 16-min virtual learning session where a student learned about a topic with a tutor. Four versions existed, correct: the student gave the right answer each time, incorrect: the student gave the wrong answer each time, and two mixed conditions</p>	<p>9 categorical thought probes in each video (on-task/off-task)</p>	<p>Percentage of correct test answers for both pre and post-test  Difference between pre and post-test scores</p>	<p>Less mind wandering was found in the mixed conditions compared to the other two conditions which didn't differ.  No effect of the condition on post-test memory performance was observed  No mediation of mind wandering on the relationship between encoding condition</p>

		<p>where half the answers were correct.</p> <p>Completion of a multiple-choice questionnaire before and immediately after the task</p>			<p>and learning was found</p>
<p><b>(Pan et al., 2020)</b></p>	<p><i>Study 1</i> 105 students - 52 in control condition - 53 in pretest condition</p> <p><i>Study 2</i> 143 students - 47 in the control condition - 47 in the interpolated test - 49 in the conventional pretest</p>	<p><i>Study 1</i> Voluntary encoding of a 26-min video lecture The lecture was interrupted 4 times with either content-related questions or algebra problems (16 in total)</p> <p>Delayed multiple-choice test (5min) including the 16 questions presented to the pretest group</p> <p><i>Study 2</i> Idem but with another group completing all questions before the lecture (conventional pretest)</p>	<p><i>Study 1</i> 4 analogical thought probes (0 to 100)</p> <p><i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Percentage of correct responses during the pretests and the final test</p> <p><i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Better final test performance and less MW were found for the pretest group compared to the control one</p> <p>Significant negative relationship between MW and test performance for both groups</p> <p><i>Study 2</i> Replication of previous results No difference in test performance and mind wandering between the two pretest conditions</p> <p>Full mediation of the pretest effect on the final test by MW</p>
<p><b>(Peterson &amp; Wissman, 2020)</b></p>	<p><i>Study 1</i> 96 participants (38; 41% ♀) equally divided between the conditions</p> <p><i>Study 2</i> 260 participants</p>	<p><i>Study 1</i> Voluntary encoding of four blocks of 20 words After each block and a 1m distraction, participants either studied the words again or performed a free recall test (the last one being an overall free recall test)</p> <p><i>Study 2</i> Idem but with a 24h delay between encoding and retrieval</p>	<p><i>Study 1</i> One categorical thought probe after each block (on-task/TRT about performance/past-oriented TUT/future-oriented TUT/current state TUT/Other)</p> <p><i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Proportion of correct words recalled</p> <p><i>Study 2</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> No difference in recall performance between the two groups MW in the test condition was greater than in the study condition</p> <p><i>Study 2</i> Recall performances in the test condition were greater than in the study condition Replication of the previous MW effect</p> <p>Significant negative linear relationship between MW and memory performance</p>



<p><b>(Szpunar et al., 2013)</b></p>	<p><i>Study 1</i> 32 students <i>Study 2</i> 48 students</p>	<p>(which was a cued recall)</p> <p><i>Study 1</i> Voluntary encoding of a 20-min video divided into four blocks of 5 mins. One group was tested after each block, the other after the last one only Delayed final retention test (5 mins) <i>Study 2</i> Idem but with one more condition adding re-exposure to material after each block</p>	<p><i>Study 1</i> Retrospective analogical thought probe after the final test (ranging from 1 to 7) associated with an assessment of MW progression during the lecture <i>Study 2</i> Idem but with one categorical thought probe after each block (on-task/off-task)</p>	<p><i>Study 1</i> Proportion of correct responses in the retention test <i>Study 2</i> Idem</p>	<p>Full mediation of the testing condition effect on memory by MW level</p> <p><i>Study 1</i> Less MW and better memory performance were found for the tested group compared to the non-tested one <i>Study 2</i> Less MW and better memory performance were found in the tested group compared to non-tested and re-study conditions</p> <p>Negative relationship was found between MW and memory performance, in all groups</p>
<p><b>(Xu &amp; Metcalfe, 2016)</b></p>	<p><i>Study 1</i> 22 students (20.14 ± 1.93; 59.09% ♀) <i>Study 2</i> 26 students (22.23 ± 6.88; 61.54% ♀) <i>Study 3</i> 86 students (21.08 ± 4.27; 63.95% ♀)</p>	<p><i>Study 1</i> Voluntary encoding of 75 English-Spanish word pairs of varying similitude (easy – medium – difficult) Immediate cued recall task (completion of the word pair with the English word as a cue) <i>Study 2</i> Idem, but easy trials were based on the performance in a pre-test <i>Study 3</i> Voluntary encoding of 45 word pairs based on ease of learning judgements (easy, medium, and difficult) Two cued recall tasks</p>	<p><i>Study 1</i> 8 categorical thought probes (on-task/off-task) <i>Study 2</i> Idem <i>Study 3</i> Idem</p>	<p><i>Study 1</i> Proportion of correctly recalled Spanish words <i>Study 2</i> Idem <i>Study 3</i> Idem An index of mastery, based on the responses to the two tests was also computed</p>	<p><i>Study 1</i> Significant decrease in memory performance with each level of difficulty Significant increase in MW between the medium and high difficulty pairs No correlation between MW and performance, however items shown 10s before an on-task response were better remembered <i>Study 2</i> Replication of the previous effects of condition on memory and MW negative correlation between MW and learning performance <i>Study 3</i> Positive relationship between MW and mastery level for the easy words Negative relationship between MW and mastery level for the difficult words</p>

**Table 1** *Summary of the studies included in the review.*

**Generic abbreviations:** GSR: Galvanic skin response; GS, HR: Heart rate, MW: Mind wandering, NTUT: Non Task-unrelated thoughts, RT: Reaction time, SDT: Stimulus-dependent thoughts, SIT: Stimulus-independent thoughts, SITUT: Stimulus-independent task-unrelated thoughts, TRI: Task-related interference, TRT: Task-related thoughts, TUT: Task-unrelated thoughts, WMC: Working Memory Capacity

**Test abbreviations:**

DSSQ: Dundee Stress State Questionnaire, RKG: Remember-Know-Guess, SART: Sustained attention to response task

## 1           **1.           Literature review**

### 2           *4.1 Memory for verbal material*

3           Seibert and Ellis (1991) were among the first to experimentally assess the link between  
4 what they called “irrelevant thoughts” and memory recall. On inducing either a sad, neutral,  
5 or happy mood in the participants before a memory task, they found that happy and sad  
6 inductions led to more retrospectively reported irrelevant thoughts and a poorer memory  
7 performance than neutral induction. The occurrence of irrelevant thoughts negatively  
8 predicted memory performances regardless of the emotional state. This preliminary account  
9 revealed both an impairing effect of mind wandering on memory encoding and framed the  
10 emotional state as a potential cause for the occurrence of mind wandering. Smallwood,  
11 Baracaia, et al. (2003) conducted a more thorough examination of the effect of mind  
12 wandering on memory and established some key findings. They showed that words grouped  
13 by semantic category led to better memory performances and fewer TUT than the same words  
14 presented randomly, in both an explicit memory task (word recognition) and an implicit one  
15 (word completion). This result replicated another result by Smallwood, Obonsawin et al.  
16 (2003) showing a joint increase in both memory performance and task-related thoughts (TRT)  
17 associated with a decrease in TUT and task-related interference (TRI) when the words were  
18 presented by semantic category compared to alphabetical order in a free recall task. Thus,  
19 stimuli organized semantically can help maintain the attentional focus on-task, potentially  
20 contributing to a better encoding of the information. Smallwood, Baracaia, et al. (2003) also  
21 showed that, irrespective of the organization of stimuli, TUT were associated with more false  
22 alarms than on-task thoughts in the recognition task. Another finding of their study was that,  
23 when performing a shadowing task (simply repeating the words, with an additional instruction  
24 not to encode the material), there was no significant difference in memory performances when  
25 experiencing off-task compared to on-task thoughts. This result contrasts with the fact that,

26 when voluntarily encoding words, memory performances are better when on-task compared to  
27 off-task. Furthermore, the memory performances in the shadowing task were similar to the  
28 memory performances associated to off-task thoughts in the voluntary encoding task. This  
29 result is an eloquent demonstration of the attentional disruption caused by mind wandering, as  
30 it led to a memory impairment equivalent to voluntarily trying not to encode stimuli. In a  
31 second study, Smallwood et al. (2004) tested the hypothesis that the occurrence of mind  
32 wandering relied on both semantic processes and personal salience. First, the authors  
33 replicated the finding of Smallwood, Baracaia, et al. (2003), where the memory advantage of  
34 performing a voluntary encoding task (compared to a shadowing one) was nullified when  
35 experiencing TUT. Then, they found that experiencing TUT hindered the probability of the  
36 subsequent recall of real words but had no impact on the subsequent recall of non-words. This  
37 suggests that the negative effect of mind wandering on word encoding specifically hinders the  
38 semantic processing of words. Also, when mind wandering is suppressed during the encoding  
39 of real words, the authors suggested that stimulus-dependent thoughts can arise from the  
40 semantic processing and help further retrieval, cementing the idea that the nature of the  
41 thoughts experienced is dependent on the processing done on the stimuli. Overall, these  
42 results reinforce the previous interpretation stating that semantic processing is specifically  
43 hindered by mind wandering. The suggestion that mind wandering affects the semantic  
44 processing of information can also be formulated through the levels-of-processing framework  
45 ( Craik, 2002; Craik & Lockhart, 1972; Craik & Tulving, 1975): processing information at a  
46 semantic (“deep”) level should be more impacted by mind wandering than processing  
47 information at a perceptual (“shallow”) level. Using this framework, Thomson, Smilek et al.  
48 (2014) showed, in an incidental encoding task, that the negative effect of mind wandering was  
49 indeed only present when performing a deep-encoding task and was non-existent in a shallow-  
50 encoding one. The encoding benefits of processing information deeply were diminished when

51 reporting a high level of mind wandering, leading to memory performances closer to those  
52 observed in a shallow encoding. The authors suggested that this effect was due to the higher  
53 attentional demands of deep processing, which is more susceptible to perturbations by mind  
54 wandering. In their previous work, Smallwood et al. (2004) stated that the encoding of  
55 meaningful stimuli could benefit from stimulus-dependent thoughts, thus partially explaining  
56 the better retrieval of words compared to non-words when no task-unrelated thoughts were  
57 experienced. This hypothesis, however, was mostly theoretical, and was later contradicted by  
58 Maillet et al. (2017) who distinguished SDTs from SITs and their respective effects on  
59 memory in a deep vs shallow encoding task. More on-task thoughts and fewer SITs were  
60 found in the deep compared to the shallow encoding, but with no differences in SDTs. Also,  
61 experiencing SDTs improved subsequent recognition, but only in the shallow condition. This  
62 pattern suggests that SDTs can act as additional information helping the encoding process, but  
63 only when the processing of information is superficial. Indeed, when the processing is deeper,  
64 SDTs are no longer useful, as this level of processing is strong enough to make the impact of  
65 SDTs irrelevant. It has to be noted that this pattern of results may be specific to incidental  
66 encoding conditions, as the type of thoughts experienced in that situation may differ from a  
67 voluntary memory task such as the one used by Smallwood et al. (2004).

#### 68 *4.2 Memory for complex material*

69 While these studies may suggest a specific impact of mind wandering on semantic  
70 processing, it should be noted that all of them specifically tested memory for simple verbal  
71 material, which only involves basic perceptual processing. Three studies (deBettencourt et al.,  
72 2018; Krasich et al., 2018; Zhang et al., 2021) tested the impact of mind wandering on image  
73 encoding, leading to a new set of results. Krasich et al. (2018) and Zhang et al. (2021) tested  
74 how probe-caught mind wandering was correlated to eye movements and how it impacted the  
75 intentional encoding of real-world pictures, while deBettencourt et al. (2018) assessed mind

76 wandering implicitly by measuring reaction times in an incidental image encoding task. In  
77 both studies, mind wandering indicators, whether implicit (reaction time/eye movements) or  
78 explicit (thought probes), negatively predicted memory performances for images. These  
79 results suggest that the hindering effect of mind wandering also affects visual processing.  
80 Indeed, Krasich et al. (2018) showed that mind wandering was associated with fewer and  
81 longer fixations coupled with more eye blinks, meaning that less visual information was  
82 gathered during mind wandering episodes. This explanation is coherent with the perceptual  
83 decoupling hypothesis (Schooler et al., 2011; Smallwood & Schooler, 2006) and suggests that  
84 mind wandering impacts not only semantic processing, but also the perceptual processing of  
85 information. Zhang et al. (2021) went even further and showed that voluntary and – to a  
86 greater extent – unintentional mind wandering was associated to gaze patterns typical of poor  
87 searching behavior, such as fixations to previously explored areas, overall fewer fixations or a  
88 smaller area covered. Interestingly they showed that both types of mind wandering negatively  
89 impacted memory performances. Thus, intentionality may not be a relevant factor when  
90 considering the deleterious effect of mind wandering on perceptual processing, even if  
91 unintentional mind wandering was associated to even poorer visual search.

92       Lastly, the study by Chinchachokchai et al. (2020a) assessed the impact of mind  
93 wandering on the retention of advertisements, incidentally encoded either with no specific  
94 task or with low and high perceptual tasks to perform at the same time. Their results  
95 confirmed that mind wandering (here assessed retrospectively) negatively predicts the  
96 memorization of both visual and audio advertisements. Moreover, they found that in a low  
97 perceptual load condition (items being arranged by visual saliency), mind wandering  
98 decreased while memory performances increased compared to a high load condition (items  
99 being placed randomly). Specifically, mind wandering was found to mediate the relationship  
100 between cognitive load and memorization. This suggests that performing a low degree of

101 workload could help memorization by reducing mind wandering. This finding was replicated  
102 by Chinchachokchai et al. (2020b) on a larger sample, with an incidental encoding of ads,  
103 either with no concurrent task, a task simulating a search for a product in a supermarket (low  
104 or high perceptual similarities between items), or a working memory task (low or high  
105 cognitive load). Interestingly, the reduction in mind wandering and subsequent memory  
106 improvement were found only for the low perceptual task, not for the cognitive one. The  
107 authors suggest that a secondary cognitive task did not impact mind wandering or  
108 memorization because it did not tap the same resources that mind wandering and memory rely  
109 on. While this could be interpreted as evidence of the impact of mind wandering on  
110 perceptual processing, the authors also suggest that the cognitive task was considered quite  
111 easy, even for the high load one. A more difficult cognitive task could potentially impact both  
112 mind wandering and memory. Altogether, the conclusion is that irrespective of the stimuli's  
113 format (audio/visual), experiencing mind wandering while encoding diminishes the  
114 probability of subsequent retrieval. However, correctly retrieving an item is only one aspect of  
115 episodic memory. The context associated with this item and the way information is retrieved  
116 can also be impacted by mind wandering, which can hinder the overall quality of the  
117 encoding.

#### 118 *4.3 Quality of episodic memory*

119 The ability to replace information in its context is a central characteristic of episodic  
120 memories. The neuroanatomical study by Maillet and Rajah (2014) tested how mind  
121 wandering impacted source retrieval accuracy (i.e., in what conditions the information was  
122 presented) in a self-referential judgement task (pleasantness rating) or a semantic judgement  
123 one (manmade/natural estimation), while undergoing fMRI. On the behavioral level, the  
124 results suggested a better source retrieval for items preceding on-task probes, regardless of the  
125 encoding condition. This relationship between mind wandering and source memory

126 performances was strengthened when looking at the associated neuroanatomical activations,  
127 as both TUTs and source memory failures were associated with an increased activation of the  
128 posterior cingulate cortex. This overlapping can be tied to one of the functions proposed for  
129 this brain structure, which is to construct mental scenes dissociated from the current ones  
130 (Hassabis & Maguire, 2009), characterizing a perceptual decoupled state. By contrast, a  
131 greater activity in the anterior cingulate was associated to better source memory  
132 performances. These results also show that the negative impact of mind wandering extends  
133 not only to the item itself, but also to the creation of associations with its context. In addition,  
134 they found a different pattern of relationship between the activation of the medial prefrontal  
135 cortex and source retrieval depending on the nature of the task. The activation of the medial  
136 prefrontal cortex positively predicted memory performance in the self-referential task, while it  
137 negatively predicted memory performance in the semantic judgement task. Since this region is  
138 known to be associated with both self-reference and mind wandering (D'Argembeau et al.,  
139 2010; Stawarczyk, Majerus, Maquet, et al., 2011), it suggests that self-relevant thoughts  
140 arising from mind wandering can distract from the semantic judgement task, while potentially  
141 helping in the self-referential judgement one. But such an interpretation remains theoretical,  
142 as no interaction between task and TUT on source encoding was reported in the above-  
143 mentioned study.

144         If mind wandering alters how information is associated with its encoding context, it  
145 could also alter the nature of retrieval. Five studies examined the impact of mind wandering  
146 on retrieval mechanisms (Blondé et al., 2020; Riby et al., 2008; Smallwood et al., 2006, 2007;  
147 Smallwood, Baracaia, et al., 2003). Three studies used the inclusion/exclusion procedure of  
148 Jennings and Jacoby (1993) to identify recollection/familiarity processes implicitly  
149 (Smallwood et al., 2006, 2007; Smallwood, Baracaia, et al., 2003). Overall, the results  
150 converge in showing that experiencing mind wandering during encoding leads to a greater



151 probability of retrieving items based on recollection, compared to being on-task. Indeed, the  
152 third study in Smallwood, Baracaia et al. (2003) showed that when experiencing TUTs, the  
153 rate of recollection and familiarity retrievals does not differ, while significantly more  
154 recollections are reported when on-task. This pattern was also replicated by Smallwood et al.  
155 (2007), as no differences in familiarity or recollection rates were found when experiencing  
156 off-task thoughts. Furthermore, in parallel to the previous results, Smallwood et al. (2006)  
157 showed that when making an error due to experiencing TUTs, there is a greater likelihood of  
158 retrieving the items following the error through recollection processes compared to the ones  
159 preceding it. This result can be interpreted as follows: mind wandering during a task implies  
160 that less attention is given to its completion, leading to making errors which will then  
161 momentarily re-capture attention, better cementing in memory the events following the  
162 memory error. These results were also complemented by Riby et al. (2008) who found, using  
163 event-related potentials, different patterns of neural responses for high and low mind  
164 wanderers in an immediate recognition task. The low TUT group presented a left parietal  
165 old/new positivity effect (at 500-900ms), while the high TUT group presented a central-  
166 negativity effect (at 900-1500ms). The pattern associated with the low TUT group was  
167 interpreted as a “pure recollection” form of retrieval, allowing the person to retrieve memories  
168 more easily and more vividly. As this effect was not present when TUTs were frequently  
169 experienced, it suggests that mind wandering during encoding reduces the chances of a later  
170 recollection-based memory. Thus, familiarity is more likely to be used in order to retrieve  
171 memories (which is suggested by the central-negativity effect). Finally, only one study used a  
172 subjective assessment of recollection/familiarity process, *via* the RKG paradigm. Blondé et al.  
173 (2020) found that the highest probability of retrieving information based on recollection was  
174 predicted by an intermediate level of mind wandering, while a high probability of familiarity-  
175 based retrieval was predicted by both low and high degrees of mind wandering. Considering

176 the previous findings, a linear negative relationship would have been expected instead of this  
177 reversed U-shaped pattern. The subjective nature of the assessment can help explain the  
178 divergence with previous results, but the most probable explanation is the divergence in the  
179 material used. Instead of a verbal memory paradigm, the memory encoding was conducted in  
180 a virtual environment, exposing participants to far more complex information. Thus,  
181 participants who reported being focused on the virtual environment could have been focused  
182 on anywhere, not necessarily on the items tested later at retrieval, potentially leading to  
183 familiarity-based retrievals even when they stated that they were totally focused on the  
184 environment. More studies should be done to circumscribe more precisely the impact of mind  
185 wandering on recollection/familiarity in rich contexts.

#### 186 *4.4 Memory for lectures*

187 As we have seen previously, relatively few studies have assessed memory in ecological  
188 situations. One context that is suitable for assessing mind wandering and memory in an  
189 ecological way is at school, at university or on training courses, as these situations are also  
190 well-known places where mind wandering is experienced. Which student can claim to be  
191 always focused on what the teacher says during a full day at school? Hence, eleven studies  
192 have examined what circumstances provoke mind wandering during lectures and how it  
193 impacts this process. Risko et al. (2012) first tested how mind wandering occurred during two  
194 1h video lectures and how it affected their retention. It should come as no surprise to learn  
195 that a negative correlation was found between the rate of probe-caught mind wandering and  
196 the retention of lecture material. The same result was found by dividing the participants into  
197 low mind wandering, and high mind wandering groups, as the high mind wandering group  
198 showed poorer retention scores. This negative effect on lecture retention was replicated by  
199 Farley et al. (2013), using a more precise temporal assessment of mind wandering, with one  
200 thought probe every 5 minutes during a video lecture of 40 minutes. Mind wandering was also

201 correlated with fidgeting, which also increased during the task and may thus be considered as  
202 an implicit marker of mind wandering or boredom (Danckert et al., 2018; Perrykkad &  
203 Hohwy, 2020; Ricciardi et al., 2019). Indeed, to remain seated while listening to a video  
204 lecture for a prolonged period is likely to generate boredom, associated with a vigilance  
205 decrement over time, mind wandering and a poorer encoding. The listener's interest in the  
206 topic presented during the lecture should be a crucial parameter to limit this phenomenon.  
207 Hollis and Was (2016) thus tested in two 1h video lectures to what extent retention was linked  
208 to mind wandering, topic interest and working memory performance. Using structural  
209 equation modelling, they found that working memory capacity and topic interest both  
210 positively predicted the retention of information while mind wandering predicted it  
211 negatively. Furthermore, it appeared that mind wandering mediated the link between working  
212 memory capacity, topic interest and memory performance. They also reported that the rate of  
213 mind wandering was predicted by both low working memory capacity and low interest in the  
214 topic studied. This model was then further expanded by Kane et al. (2017), using a large  
215 sample of 200 participants and various assessments, such as working memory capacity, topic  
216 knowledge or multitasking tendency. They found that topic knowledge and topic interest  
217 negatively predicted mind wandering and positively predicted the retention of information in  
218 a video lecture. Conversely, a tendency to multitasking was positively associated to mind  
219 wandering and negatively to memory performance. In each case, mind wandering mediated  
220 the effect on memory. Additionally, the authors pointed out that lecture-related thoughts (off-  
221 task reflections that were nonetheless associated with the lecture's content, i.e. "this reminds  
222 me of something I learnt previously") improved memory performance, while thoughts  
223 focused on comprehension of the material (assessment of one's own level, i.e. "I don't  
224 understand this, I think it is too hard for me") did not. The latter thoughts could reflect  
225 difficulties in understanding the material as well as reflecting about it and thus having less

226 predictable outcomes concerning memorization. On the other hand, thoughts focused on the  
227 content of the lecture are assimilable to SDTs and may thus help the encoding of the material  
228 by creating associations.

229         These results observed during recorded lectures, while very informative in the context  
230 of online learning, may not be generalizable to every lecture situation, and especially live  
231 lectures in a classroom. Indeed, Varao-Sousa and Kingstone (2015) showed, by comparing  
232 retention in a live and a video lecture, that while mind wandering levels did not differ,  
233 memory was better when attending to a live lecture, and mind wandering was negatively  
234 correlated to memory only in the video format. The authors suggested that the increased  
235 sensitivity of memory to attentional fluctuations in the video format may be explained by the  
236 decrease in interest and motivation associated with it, as well as the lack of social stimulation  
237 (the live lecture was delivered in ecological conditions, like a true lecture). Moreover, in a  
238 live lecture, professors can adapt their pace and actively try to capture the audience's attention  
239 by noticing signs of boredom and mind wandering (such as fidgeting, for instance). A more  
240 ecological approach is thus needed to investigate how mind wandering impacts the retention  
241 of material in a classroom. Hence, two studies (Wammes, Seli, et al., 2016; Wammes &  
242 Smilek, 2017) used longitudinal approaches to test mind wandering during the 12 classes of a  
243 full semester, and assess its impact on both immediate retention and in a final test. The first  
244 study (Wammes, Seli, et al., 2016) showed that deliberate forms of mind wandering  
245 negatively predicted post-lecture memory test performances, while unintentional forms of  
246 mind wandering negatively predicted final test results. This dissociation between the two  
247 forms of mind wandering and their consequences illustrate a difference in their core  
248 functioning. On the one hand, voluntarily switching from on-task to off-task thoughts may  
249 reflect momentary motivational fluctuation that impairs the local processing of information.  
250 On the other hand, the spontaneous emergence of mind wandering may be more closely tied

251 to weaker inhibitory processes, leading to impaired memory in the long run. This core  
252 difference can be seen in how both forms of mind wandering fluctuate over time (Wammes,  
253 Boucher, et al., 2016). During a lecture, voluntary mind wandering does not seem to follow a  
254 specific evolution, while involuntary mind wandering appears to follow a quadratic, reversed  
255 U-shaped trend, with a stark decrease at the end of the lecture. As this finding contradicts  
256 several reports of a linear increase in mind wandering during a task (Cunningham et al., 2000;  
257 Krinsky et al., 2017; Thomson, Seli, et al., 2014), Wammes and Smilek (2017) assessed the  
258 evolution of mind wandering during a full semester and compared it with its evolution in a  
259 recorded lecture. As expected, they found that quiz performances were better when being on-  
260 task than when off-task. Interestingly, while mind wandering evolved following a quadratic  
261 trend over the time of one lecture, it was found to increase linearly over the duration of the  
262 semester. On the one hand, the former result can be interpreted as a result of the  
263 aforementioned interaction between the students and the teacher, who can modulate the pace  
264 of the lecture based on implicit inattention signals (Varao Sousa et al., 2013). On the other  
265 hand, the latter result can be either tied to the fact that current concerns arise more and more  
266 during the semester or that courses become easier, as students are more familiar with the  
267 studied material. As very few studies have assessed the evolution of mind wandering over  
268 long periods of time, these explanations remain purely theoretical. By comparison, mind  
269 wandering during the recorded lecture increased as a function of time for participants who  
270 were naive to the topic but decreased for those having attended to the live lecture, clearly  
271 cementing the differences in mind wandering occurrence between live and recorded lecture.  
272 However, while the evolution of mind wandering may differ, the actual rate of mind  
273 wandering is consistent between the two settings and across studies, ranging between 30 and  
274 50% of the time. Hence, Varao-Sousa and Kingstone (2019) hypothesized that this stable rate  
275 may be an artifact caused by the commonly used probe-caught method. They therefore tested,

276 across three live lecture sessions, the relationship between self-caught or probe-caught mind  
277 wandering and their respective impact on memory. Ultimately, this hypothesis was rejected,  
278 as the rates of both self- and probe-caught mind wandering were fairly similar across the  
279 sessions and correlated with each other nearly every time. However, no measures of mind  
280 wandering correlated with memory performances. The authors suggested that this could be  
281 due to a ceiling effect, but that it could also be due to the more complex patterns of mind  
282 wandering emerging in a live environment. Lastly, since few studies have actually examined  
283 which characteristics of video lectures can impact both mind wandering and lecture memory,  
284 Varao-Sousa et al. (2019) examined, in a large sample, the effect of teacher visibility and  
285 learning setting. Thus, they modified whether the teacher was visible or not in the video and  
286 made the student learn either alone, within a group with a shared screen or with individual  
287 screens. First, they found that teacher visibility had no impact whatsoever on either mind  
288 wandering or memory performance. This supports the idea that it is the interaction between  
289 the teacher and the students that can modulate the students' attention during encoding, while  
290 the mere presence of the teacher is irrelevant when no interaction is present. Then, they found  
291 that mind wandering negatively predicted lecture memory, but was influenced by group  
292 setting. Being in a room with a shared screen led to an increase in mind wandering, compared  
293 to being alone or in a group with individual screens. Surprisingly, no difference in memory  
294 performance was found across the three conditions. Even more surprising is the fact that the  
295 strongest correlation between mind wandering and memory was in the individual screen  
296 condition. This pattern of results would be better understood with the use of more precise  
297 thought probes, as maybe the nature of the student's thoughts was influenced by the presence  
298 of others, mixing distractions, SDTs and TUTs, potentially leading to conflicting effects on  
299 encoding.

300           Apart from the previous study, one key difference between ecological and laboratory  
301 assessment is the amount of external distraction that will arise during the task, potentially  
302 altering mind wandering. For instance, Varao-Sousa et al. (2018) tested how the environment  
303 shaped the mind wandering/memory relationship. They found that, in a laboratory setting,  
304 distractions and mind wandering rates did not differ, while outside the laboratory, distraction  
305 rates were higher than mind wandering ones. In turn, memory performances for an audiobook  
306 were poorer outside the lab, suggesting that distractions may lead to greater attentional  
307 disruption than mind wandering. However, this result is slightly contradicted by the fact that  
308 distraction was significantly correlated with memory performances only in the lab setting.  
309 Thus, the lecture's context seems to impact this relationship, especially because more external  
310 stimuli are present in an ecological context. For instance, distractions in the classroom, such  
311 as answering emails or chatting on social networks can interact with the mind  
312 wandering/memory relationship. Risko et al. (2013) simulated, in the context of a video  
313 lecture, the impact of computer-related distractions on both the occurrence of mind wandering  
314 and its relationship to memory. In line with the predictions of Smallwood and Schooler  
315 (2006), engaging in a secondary task consumed executive resources and reduced both  
316 attention to the lecture and off-task thoughts. Interestingly, the authors reported that when not  
317 engaging in the distracting tasks, participants returned to a similar level of mind wandering to  
318 those in the control task. Thus, even if mind wandering was reduced for the distraction group,  
319 it was still associated with decreased memory performances. The effect of distractions was  
320 added to mind wandering, and both diminished on-task thoughts, leading to poorer retention.

321           The evidence gathered from all the studies presented until now allows us to have a good  
322 grasp of the interactions between mind wandering and encoding in episodic memory.  
323 However, these studies were all conducted on young participants, and the evidence thus  
324 collected may not apply at all stages of life.

325 *4.5 Age-related effect of mind wandering on memory*

326 While most of the studies linking mind wandering and memory involved young people,  
327 aging can provide an interesting framework to study the influence of mind wandering on  
328 episodic memory. It has been suggested that the decrease in mind wandering in old people  
329 (Jordão et al., 2019) can be attributed to a shift in the content of mind wandering (McVay &  
330 Kane, 2010), resulting in more TRI and SDTs than TUTs. This change in the phenomenology  
331 of mind wandering can help to highlight how the content of thoughts influences the encoding  
332 process, as task-unrelated/stimulus-dependent thoughts may increase the chance of  
333 remembering elements of the task. Only three studies assessed how the mind  
334 wandering/memory link evolved through healthy aging (Maillet & Rajah, 2013, 2016; Maillet  
335 & Schacter, 2016b). Maillet and Rajah (2013) compared the impact of mind wandering on  
336 retention for words judged either objectively (man-made/natural) or subjectively  
337 (pleasant/neutral) in young and older adults. They found an asymmetric pattern for the young  
338 adults' group, where recognition performance for subjectively judged words was negatively  
339 predicted by mind wandering, but recognition for objectively judged words was negatively  
340 predicted by task-related interference. However, they established no clear pattern for the older  
341 adults' group, mostly attributed to a floor effect in the distribution of mind wandering scores.  
342 Subsequently, Maillet and Rajah (2016) complemented their previous study by using a similar  
343 paradigm, but this time with an online measure of mind wandering and using fMRI. A source  
344 memory task also accompanied memory retrieval. A negative effect of TUTs on source  
345 correct responses and a positive effect of TUTs for missed items were found in both age  
346 groups. The neuroimaging data indicated a bilateral activation of the middle/frontal gyri and  
347 the precuneus during both TUT and source memory failure in both groups. This overlapping  
348 of brain areas confirms the strong link between the direction of attentional resources during  
349 encoding and future memory performances for both young and older adults. They also



350 replicated the finding that the medial prefrontal cortex was positively associated to source  
351 retrieval when performing a self-referential task and negatively when performing a semantic  
352 task. This supports the idea that self-referential mind wandering may positively impact future  
353 encoding, but again no such interaction was found when looking at the mind wandering effect  
354 on memory performance. Furthermore, older adults did not present such a pattern, but this  
355 may simply be due to the small sample (16 older adults). Surprisingly, the two age groups  
356 exhibited no differences in TUT frequency. These results contradict the usual finding that  
357 mind wandering decreases with aging (see Maillet & Schacter, 2016a for a review), but this  
358 could be an artifact of the authors' procedure, as it took place in a scanner, which is noisy and  
359 stressful (reflected by the high proportion of distractions in both groups). Thus, these results  
360 may not be fully generalizable due to the peculiar setting of the experiment. To better study  
361 how the environment can impact ongoing thoughts, Maillet and Schacter (2016b) reused a  
362 similar subjective/objective judgment task, adding a distinction between SDT and SIT forms  
363 of mind wandering. An interaction between the nature of reported thoughts and age was  
364 found, as older adults showed significantly more SDTs compared to SITs while young adults  
365 presented the opposite pattern, suggesting that the nature of mind wandering changes with  
366 aging. Also, SDTs positively predicted memory performances for older adults, while SITs did  
367 not have a significant impact. By contrast, no significant relationship emerged for young  
368 adults. This asymmetry points out an important finding: mind wandering plays a more active  
369 role in older people's memory, as they rely more on their inner thoughts to encode events.  
370 Indeed, experiencing thoughts related to an item during encoding can provide additional  
371 information to the memory trace and increase the chances of a future retrieval. However, this  
372 beneficial effect may not be as useful for young adults, who do not need to rely on stimulus-  
373 related thoughts to encode properly, in line with the results of Maillet et al. (2017). Taken  
374 altogether, the main findings of these studies on aging confirm the suggestion of an overall

375 shift in the experience of inner thoughts through aging. Stimulus-independent thoughts seem  
376 to decrease in favor of stimulus-dependent ones, which older people will use more actively in  
377 order to encode information. Studies may therefore need to differentiate these two aspects of  
378 mind wandering when assessing it in the context of aging. If a positive relationship between  
379 memorization and SDTs can be reliably established, this could lead to practical applications  
380 aiming at reducing memory failures in the context of aging.

#### 381 *4.6 Methods to reduce the MW effect on memory*

382 Apart from the potential positive impact of SDTs, mind wandering still has an overall  
383 negative impact on memory. It is therefore crucial to reduce its negative influence to foster  
384 successful learning. Thus, some studies investigated how to counteract its effects, either by  
385 changing the way information is presented, or by including some interventions as part of the  
386 learning process. A common technique for learning information is to expose learners several  
387 times to that information. Thus, Martin et al. (2018) tested whether the repetition of the same  
388 information influenced the occurrence of mind wandering and its impact on voluntary  
389 encoding. The results showed that massed re-watching of a video (i.e. immediately after the  
390 first watching) did not improve memorization and in fact increased mind wandering.  
391 Surprisingly, no significant relationship was found between probe-caught mind wandering  
392 and memory performances. However, the null benefit for memory of a second watching is  
393 likely tied to the increase in mind wandering, in that the lack of interest due to a double  
394 exposure may have hindered its potential benefit on learning by increasing mind wandering.  
395 The authors suggest that re-watching a video after a time interval (in a spaced way) may lead  
396 to a different outcome. It is also possible that novel exposition to stimuli may be necessary  
397 only for material encountered during mind wandering episodes. For instance, a recent paper  
398 by Mills et al. (2020) showed that long-term retention was enhanced when participants had to  
399 re-read an excerpt following the online detection of mind wandering. If the repetition of

400 information does not necessarily reduce mind wandering, Garlitch and Wahlheim (2020)  
401 tested how introducing a change in a repetitive learning sequence could impact the occurrence  
402 of mind wandering, and the retrieval of that change. As expected, the proportion of off-task  
403 responses correlated negatively with both recall performances and change detection. But  
404 interestingly, the probability of off-task responses decreased at encoding when the change  
405 occurred. Thus, changes in a repetitive environment may trigger an attentional capture due to  
406 the violation of a participant's prediction. This error-detection will then diminish the rate of  
407 mind wandering, allowing one to reallocate attentional resources toward the environment for  
408 optimal processing.

409         While the way information is organized can help reduce mind wandering during  
410 encoding, it may not always be possible for the learner to influence this factor. Interventions  
411 altering the way one learns information may prove both more controllable and efficient. Thus,  
412 four papers focused on such an intervention, including tests during the learning process (Jing  
413 et al., 2016; Pan et al., 2020; Peterson & Wissman, 2020; Szpunar et al., 2013). Interpolated  
414 tests are a technique that is well-known to improve retention (Roediger & Butler, 2011;  
415 Rowland, 2014). Szpunar et al. (2013) found both a decrease in mind wandering and an  
416 increase in performances when tests were included between blocks of encoding in a video  
417 lecture before a final test. Interestingly, the relationship between mind wandering and  
418 memory was found to be negative whether participants were tested or not, suggesting that  
419 while the amount of mind wandering is diminished by testing, its influence remains the same.  
420 This result was later expanded by Jing et al. (2016), using a longer video, and more memory  
421 measures. Surprisingly, while the tested group was associated with more note-taking and  
422 better memory performances, it did not differ from the study group regarding mind  
423 wandering. Furthermore, the authors found the negative effect of mind wandering on memory  
424 only in the study group. Their second study examined this pattern of results by specifically

425 considering the content of mind wandering. While the overall level of mind wandering was  
426 the same in both groups, the tested group presented a greater proportion of SDTs than the  
427 study group. Then, irrespective of the group, this proportion of SDTs was, in turn, associated  
428 with better memory performance, while the proportion of TUTs was tied to a worsened  
429 retention of the material. This second study highlights how important it is to accurately  
430 distinguish between the various contents of mind wandering, as an overall measure may in  
431 fact encompass different processes that have different outcomes. Surprisingly, a recent study  
432 by Peterson and Wissman (2020) found no difference in final free recall performances  
433 between tested and non-tested groups. Mind wandering, however, was found to be less  
434 prevalent in the test group than in the study group, similarly to Szpunar et al. (2013) and Jing  
435 et al. (2016). In order to further investigate these results, the researchers conducted a second  
436 study with a 24h interval between the encoding and the retrieval (which was replaced by a  
437 cued recall paradigm). Here, they observed better memory performances in the tested group  
438 alongside less mind wandering than in the study group. Moreover, the negative relationship  
439 between mind wandering and memory performances was found to be significant in the two  
440 groups. Crucially, mind wandering mediated the group effect on memory performances, thus  
441 supporting the claim that mind wandering plays a central role in the memorization process.  
442 Lastly, a study by Pan et al. (2020) tested an intervention similar to interpolated testing: pre-  
443 testing. Testing one group before the encoding of a video lecture showed that this group  
444 expressed less mind wandering and had a better retention of information than the control  
445 group. Memory performance was, however, comparable to the performance for the  
446 interpolated test group. In every group, mind wandering negatively predicted memory  
447 performance and was predicted by pretest scores, thus confirming the following causal  
448 relationship: pre-testing leads to a decrease in mind wandering, which in turn improves the  
449 encoding of information.

450 Another method aiming at reducing mind wandering to improve learning was assessed.  
451 Xu and Metcalfe (2016) argued that the region of proximal learning, where the learned  
452 material is adequately fitted to the learner's previous knowledge, could increase interest  
453 toward learning and improve retention by decreasing mind wandering. Across three studies,  
454 they assessed mind wandering and retention of English-Spanish word pairs of varying  
455 difficulty. Their first study revealed that, when the difficulty increased, probe-caught mind  
456 wandering also increased, while retention decreased. However, no significant correlation was  
457 found between the two measures, even if another analysis showed that words studied 10s  
458 before an on-task response were better memorized. In their second study, where easy trials  
459 were established based on a pre-test of the participant's knowledge, the medium difficulty  
460 pairs were less well remembered than both the easy and difficult ones and were associated  
461 with an increased reporting of task-unrelated thoughts. In this study, mind wandering and  
462 retention of studied material were negatively correlated. And finally, in their third study,  
463 where expert and beginner Spanish speakers were compared, they found beginners reporting a  
464 higher level of mind wandering for difficult words while experts reported more mind  
465 wandering for easy words. Thus, adapting the difficulty of the task provides a simple, yet  
466 crucial way of reducing mind wandering to learn better. However, the learning process is not  
467 always reducible to a learning session, and it often takes place over longer periods, such as a  
468 semester. Consequently, reliable learning methods limiting mind wandering across different  
469 sessions need to be further determined.

470 Finally, while all these results are encouraging, some more straightforward methods  
471 could help focus during encoding. For instance, several studies highlight how sport has a  
472 positive effect on cognitive functioning (Brisswalter et al., 2002; Chang et al., 2012; Coles &  
473 Tomporowski, 2008; van Dongen et al., 2016). Fenesi et al. (2018) tested how exercise breaks  
474 during a lecture video influenced attention as well as short-term and long-term memory. As

475 expected, they observed less overall mind wandering, less attentional decline during the task  
476 and better overall memory performances for the group performing the exercise breaks than for  
477 the control groups. However, quite surprisingly, no correlation was found between mind  
478 wandering and memory scores, meaning it is not possible to conclude that exercise breaks act  
479 on learning through the reduction of mind wandering. Lastly, the study by Mills et al. (2019)  
480 tested another way of reducing mind wandering to improve memory: vicarious training. This  
481 technique involves watching another student do the learning and benefitting from it. While it  
482 is a technique that is known to improve retention, it did not seem to affect memory  
483 performance in this study. Mind wandering was reduced due to vicarious learning, but only in  
484 the condition where the observed student presented a mixture of good and bad answers, which  
485 probably captured the participant's interest better than either only good or only bad answers.  
486 Surprisingly, mind wandering did not impact memory in this study.

## 487 **5 Discussion**

### 488 *5.1 Summary of the main findings*

489 The examination of the 39 studies included in the present review allowed us to draw  
490 several conclusions. First, mind wandering during episodic memory encoding had a  
491 significant hindering effect on later retrieval performances in 26 studies. This effect was very  
492 consistent as it impacted the retrieval of words (Garlitch & Wahlheim, 2020; Maillet & Rajah,  
493 2013; Peterson & Wissman, 2020; Seibert & Ellis, 1991; Smallwood et al., 2004; Smallwood,  
494 Baracaia, et al., 2003; Thomson, Smilek, et al., 2014; Xu & Metcalfe, 2016), images  
495 (Chinchanachokchai et al., 2020a; deBettencourt et al., 2018; Krasich et al., 2018; Zhang et  
496 al., 2021), audio messages (Chinchanachokchai et al., 2020a, 2020b), recorded lectures  
497 (Farley et al., 2013; Hollis & Was, 2016; Jing et al., 2016; Kane et al., 2017; Pan et al., 2020;  
498 Risko et al., 2012, 2013; Szpunar et al., 2013; Varao-Sousa et al., 2019; Varao-Sousa &  
499 Kingstone, 2015), live lectures (Wammes, Seli, et al., 2016; Wammes & Smilek, 2017), and

500 virtual reality scenes (Blondé et al., 2020). Among these studies, 22 demonstrated this effect  
501 using a voluntary encoding paradigm, and 4 found it by using an incidental encoding.  
502 However, some of them suggested that the hindering effects of mind wandering can be  
503 conditional, not appearing when the encoding is shallow (Thomson, Smilek, et al., 2014),  
504 when processing non-words (Smallwood et al., 2004) or when performing a shadowing task  
505 (Smallwood et al., 2004; Smallwood, Baracaia, et al., 2003).

506 On the matter of the episodic retrieval quality, the results are somewhat tricky to  
507 summarize as different methodologies and assessments of recollection-familiarity or context  
508 memory were employed. Two studies showed decreased source retrieval associated with mind  
509 wandering (Maillet & Rajah, 2014, 2016). Two studies showed no difference between  
510 familiarity and recollection during mind wandering, but more recollection when on-task  
511 (Smallwood et al., 2007; Smallwood, Baracaia, et al., 2003). One study using ERPs suggested  
512 that mind wandering during encoding led to an increased chance of later recognition based on  
513 familiarity (Riby et al., 2008). One study showed that, following an error due to mind  
514 wandering, the next items were more likely to be retrieved based on recollection (Smallwood  
515 et al., 2006). Finally, one study in virtual reality employing an RKG paradigm showed that the  
516 highest rate of recollection was found following intermediate levels of mind wandering at  
517 encoding, while both low and high levels of mind wandering were associated with increased  
518 rates of familiarity (Blondé et al., 2020).

519 However, it should not be concluded that mind wandering had a systematically negative  
520 influence on memory encoding, as 4 studies showed an improvement in subsequent  
521 memorization related to mind wandering during encoding. Experiencing SDTs helped to  
522 memorize words during a shallow encoding (Maillet et al., 2017) and for older people  
523 (Maillet & Schacter, 2016b). Moreover, SDTs associated with the lecture content improved its  
524 retention (Jing et al., 2016; Kane et al., 2017).

525 Finally, 6 studies found ways to improve memory by reducing mind wandering, either  
526 through testing (Jing et al., 2016; Pan et al., 2020; Peterson & Wissman, 2020; Szpunar et al.,  
527 2013), adjusting the difficulty to the learner's skill (Xu & Metcalfe, 2016), or physical  
528 exercise (Fenesi et al., 2018).

### 529 *5.2 Future directions*

530 The findings of the various studies included in the present review were overall  
531 consistent with one another. However, there are still some grey areas that could benefit from  
532 further study.

533 While the negative impact of mind wandering on memory was quite evident, it was less  
534 clear through which processes it affects memory encoding. Following the perceptual  
535 decoupling hypothesis, the perceptual processing of external stimuli should be diminished in  
536 favor of internal stimuli decoupled from current perception (Schooler et al., 2011). The results  
537 of Krasich et al. (2018) and Zhang et al. (2021) on image encoding supported this idea, as  
538 visual patterns were found to reflect a disconnection from the processing of stimuli. On the  
539 other hand, a few studies showed that no mind wandering effect was found when performing  
540 a perceptual judgment task, a shadowing task and when encoding non-words (Smallwood et  
541 al., 2004; Smallwood, Baracaia, et al., 2003; Thomson, Smilek, et al., 2014). In other words,  
542 no mind wandering effect was found when no semantic processes were mobilized during  
543 encoding. These results may suggest that mind wandering mostly impacts the semantic  
544 processing of information, but they can also be explained by the methodology employed.  
545 First, the material may have influenced this finding, as individual words require only minimal  
546 perceptual processing. Second, implicit memory encoding is known to diminish the  
547 probability of retrieval compared with voluntary encoding. Thus, a floor effect observed  
548 during memory retrieval may have masked a potential impact of mind wandering. A direct  
549 comparison of the effect of mind wandering on complex visual stimuli in perceptual and



550 semantic judgment tasks could shed light on which information processing is influenced by  
551 mind wandering. Broadly speaking, it would be beneficial to understand if the effect of mind  
552 wandering on the various aspects of memory encoding is mostly due to the perceptual  
553 decoupling affecting the first stages of the encoding process or whether it can have more  
554 specific and pronounced effects on other types of processing. Episodic memory is not only  
555 about retrieving items; it also involves retrieving the information associated with the item  
556 during encoding, such as spatio-temporal information, emotions, or thoughts. Retrieving these  
557 characteristics requires additional processes during encoding, such as the binding of  
558 contextual information to the item. Unfortunately, very few studies have tested the impact of  
559 mind wandering on this associative process. Only two studies in the present review (Maillet &  
560 Rajah, 2014, 2016) showed an impact of mind wandering on source memory and highlighted  
561 that source retrieval was negatively impacted by mind wandering at encoding. The source  
562 retrieval task used in the two previous studies required the participants to retrieve the action  
563 they had performed during encoding, in order to answer in which condition the item was.  
564 However, it required little perceptual binding of the item with its environment, which was, to  
565 our knowledge, only tested in one study. Blondé et al. (2020) assessed the retrieval of both  
566 spatial and temporal information about scenes in a virtual reality environment, but no  
567 relationship with mind wandering emerged. Since encoding was incidental and the number of  
568 critical scenes was low – due to the constraints of the virtual environment – it is possible that  
569 a ceiling effect prevented such an effect from being found. In fact, the contextual aspects of  
570 episodic memory have been, for the most part, largely ignored by the current literature  
571 examining the effect of mind wandering on episodic memory. Decomposing the different  
572 processes needed during episodic memory encoding and testing to what extent each of them is  
573 affected by mind wandering would be a step forward in understanding how mind wandering  
574 affects episodic memory.

575           One of the most interesting findings highlighted in the present review was probably how  
576 mind wandering's effect on memory can be positive, notably in the case of SDTs, which may  
577 facilitate encoding due to the association of semantically linked thoughts. However, it was  
578 rather unclear whether this effect is conditional or not. In simple word retention paradigms, it  
579 seems that when the encoding was based on more complex processing (deep encoding), or  
580 when the cognitive abilities were preserved (young people), the benefit gained from SDTs  
581 became non-significant. However, in the case of a lecture, thoughts related to its content  
582 improved its retention. Was this difference attributable to the situation itself (laboratory word  
583 encoding vs ecological lecture retention), or did the two studies measure two different  
584 contents with different properties? Unfortunately, very few studies have investigated the link  
585 between the content of mind wandering and successful encoding. Further studies should focus  
586 on assessing the impact of SDTs on encoding for young people, and the contexts where their  
587 effect can appear. An interesting addition to the current literature would be to distinguish the  
588 effects of SDTs on memory based on their content. For instance, emotional and personal  
589 thoughts may have a greater impact on encoding than neutral or impersonal ones. When  
590 seeing the picture of a cat, if one thinks "this reminds me of my childhood cat", it will surely  
591 lead to a higher chance of recognizing this picture later compared to someone thinking "I  
592 wonder why cats like milk?" Relating items to personal information during the encoding  
593 phase is a well-known technique to improve memorization (Rogers et al., 1977) as it involves  
594 a deep processing of the item, allowing the creation of a long-lasting memory trace (see  
595 Symons & Johnson, 1997 for a meta-analysis) and a higher chance of recollection-based  
596 retrieval (Conway et al., 2001; Conway & Dewhurst, 1995). Considering how prevalent self-  
597 referential thoughts are during mind wandering episodes (see D'Argembeau, 2018 for a  
598 review), it is likely that association to self-relevant information contributed at least partially to  
599 the positive impact SDTs have on encoding. Maillet and Rajah (2014, 2016) provided strong

600 support for this hypothesis by showing that the activation of the medial prefrontal cortex is  
601 tied to better memory performances when item processing is self-referential and is tied to  
602 poorer performances when the processing is more neutral. However, since this effect was only  
603 true for young adults, it questions the degree to which self-referential processes were recruited  
604 by older adults. The authors acknowledged that this result may be due to a lack of statistical  
605 power, however. Furthermore, in addition to neuroanatomical observations, subjective reports  
606 of the content of mind wandering could help distinguish self-relevant SDTs from other  
607 aspects of mind wandering. Further studies are thus needed to provide additional support for a  
608 self-relevance effect contributing to the positive effect of SDTs on episodic memory  
609 encoding.

610 Finally, while the present review focused only on the encoding process, there is  
611 evidence that mind wandering can have beneficial effects on other memory processes as well.  
612 For instance, Smallwood et al. (2011) found that, after incidentally encoding words in a  
613 self/other judgement task, future-oriented mind wandering during a following choice reaction  
614 task increased the amplitude of the self-referential effect (better memory for words judged in  
615 reference to oneself compared to words judged in reference to someone else).

616 Similarly, Varma et al. (2019) suggested that mind wandering can improve memory  
617 consolidation. In their experiment, recognition performances benefited from a propensity to  
618 experience mind wandering during a resting period between the encoding and retrieval  
619 phases. No content assessment was done in this study, but the authors suggested that this  
620 effect was mostly driven by experiencing SDTs related to the material during the retention  
621 interval. These results are reminiscent of those investigating the influence of mind wandering  
622 on prospective memory, i.e. the specific ability to remember to carry out an intention in the  
623 more or less near future (Einstein & McDaniel, 1990; Kalpouzos et al., 2008; McDaniel &  
624 Einstein, 2000). A general finding from laboratory studies using random thought probes

625 during cognitive tasks highlights a "prospective bias" in mind wandering as off-task thoughts  
626 were more frequently categorized as being about the future (Baird et al., 2011; Plimpton et al.,  
627 2015; Smallwood et al., 2009; Stawarczyk et al., 2013; Stawarczyk, Majerus, Maj, et al.,  
628 2011). These insights suggest that when people think about the future in their daily lives, they  
629 frequently think about their upcoming prospective memory activities and planned events  
630 (Anderson and McDaniel, 2019). Since the representations of unfulfilled intentions are more  
631 accessible to memory (Freeman & Ellis, 2003; Goschke & Kuhl, 1993; Marsh et al., 1998;  
632 Maylor et al., 2000; Schult & Steffens, 2013), the number of spontaneous thoughts associated  
633 with the upcoming task may increase during the delay interval or the retention phase of a  
634 prospective memory task (Ellis, 1996; Ellis & Nimmo-smith, 1993; Goschke et Kuhl, 1996;  
635 Kvavilashvili & Fisher, 2007). Thus, the reactivation of intention throughout a mind  
636 wandering episode could allow its re-encoding, thus strengthening the intention's  
637 representation and leading to a better prospective intention retrieval. This question remains  
638 open, offering future studies the opportunity to address the issue of mind wandering  
639 functionality in the specific case of prospective memory.

### 640 *5.3 Limitations of the present review*

641 In the present review, we tried to stick as closely as possible to strict memory  
642 assessment. Some of the studies, however, were slightly unclear about the nature of their  
643 memory assessment. In some cases, it was difficult to draw a precise line between a retention  
644 questionnaire, which assessed only the memory for the material presented, and a  
645 comprehension questionnaire, which required the manipulation of encoded information. This  
646 ambiguity holds mostly for studies about lecture retention, since answering a lecture retention  
647 questionnaire correctly requires deeper semantic processing of the encoded information  
648 compared to the simple stimuli presentation. Thus, results arising from studies using simple  
649 stimuli may not be fully generalizable to lecture situations (and daily life in general). Greater

650 clarity in the description of the material (and inclusion of the questionnaires in the  
651 supplementary material) could circumvent this problem. Other methodological aspects may  
652 lead to difficulties in comparing outcomes between studies. Notably, probe types and numbers  
653 were very different from one study to another. This discrepancy is understandable, as probes  
654 and their inclusion depend on the chosen paradigm and the objective of the study, but it can  
655 be hard to draw parallels between studies using different probe types. The positive impact of  
656 SDTs on encoding, discussed earlier, is an example of the difficulty in comparing different  
657 probe methodologies. Indeed, are the SDTs described by Maillet et al. (2017) comparable to  
658 the lecture-related thoughts of Wammes, Seli, et al. (2016)? It seems that assessing the  
659 content of mind wandering is a throwback to the behaviorist's black box conundrum, putting  
660 to the test our ability to objectivize the mind's content. While a standardized and unified way  
661 of assessing mind wandering is unlikely to be agreed on, some efforts have been made to  
662 make researchers aware of the limitations of the probing methodology and promote a better  
663 understanding of the assessment of mind wandering (Murray et al., 2020; Robison et al.,  
664 2019; Seli et al., 2013; Weinstein, 2018; Weinstein et al., 2018; Wiemers & Redick, 2019).

## 665 **Conclusion**

666 The present review represents an effort toward a systematic understanding of the effect  
667 of mind wandering on episodic memory encoding. In line with current knowledge about the  
668 influence of attention during encoding, mind wandering was mostly found to negatively  
669 impact the encoding of various types of information (words, lectures, images...), source  
670 memory, and recollective processes. However, in some situations, when the content of the  
671 mind wandering is tied to the information, it could improve the chances of successful  
672 encoding, especially in older people. Few studies, however, have tested this effect, and further  
673 studies would be needed to investigate the potential positive effects of mind wandering on the

674 encoding process, the ability to re-encode information and the phenomenology associated  
675 with retrieval.

## 676 **2. Acknowledgement**

677 We would like to thank Mrs. E. Rowley-Jolivet for her thorough corrections of the  
678 manuscript. P. B. has been founded by a MENRT doctoral grant.

## 679 **3. References**

680 Addis, D. R., & McAndrews, M. P. (2006). Prefrontal and hippocampal contributions to the  
681 generation and binding of semantic associations during successful encoding.

682 *NeuroImage*, 33(4), 1194–1206. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.07.039>

683 Antrobus, J. S. (1968). Information theory and stimulus-independent thought. *British Journal*  
684 *of Psychology*, 59(4), 423–430. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1968.tb01157.x>

685 Baird, B., Smallwood, J., Mrazek, M. D., Kam, J. W. Y., Franklin, M. S., & Schooler, J. W.  
686 (2012). Inspired by Distraction. *Psychological Science*, 23(10), 1117–1122.

687 <https://doi.org/10.1177/0956797612446024>

688 Baird, B., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2011). Back to the future: Autobiographical  
689 planning and the functionality of mind-wandering. *Consciousness and Cognition*, 20(4),  
690 1604–1611. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.007>

691 Baldwin, C. L., Roberts, D. M., Barragan, D., Lee, J. D., Lerner, N., & Higgins, J. S. (2017).  
692 Detecting and Quantifying Mind Wandering during Simulated Driving. *Frontiers in*  
693 *Human Neuroscience*, 11(August), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00406>

694 Blondé, P., Makowski, D., Sperduti, M., & Piolino, P. (2020). In Medio Stat Virtus:  
695 intermediate levels of mind wandering improve episodic memory encoding in a virtual  
696 environment. *Psychological Research, Urp 7536*. [https://doi.org/10.1007/s00426-020-](https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5)  
697 01358-5

- 698 Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of Acute Physical Exercise  
699 Characteristics on Cognitive Performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555–566.  
700 <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>
- 701 Callard, F., Smallwood, J., Golchert, J., & Margulies, D. S. (2013). The era of the wandering  
702 mind? Twenty-first century research on self-generated mental activity. *Frontiers in*  
703 *Psychology*, *4*(DEC), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00891>
- 704 Castel, A. D., & Craik, F. I. M. (2003). The Effects of Aging and Divided Attention on  
705 Memory for Item and Associative Information. *Psychology and Aging*, *18*(4), 873–885.  
706 <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.4.873>
- 707 Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise  
708 on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, *1453*(250), 87–101.  
709 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- 710 Chinchanchokchai, S., Duff, B. R. L., & Faber, R. J. (2020a). Distracted mind: the effects of  
711 multitasking and mind wandering on consumer memory for ad content. *International*  
712 *Journal of Advertising*, *39*(5), 631–654. <https://doi.org/10.1080/02650487.2019.1670536>
- 713 Chinchanchokchai, S., Duff, B. R. L., & Faber, R. J. (2020b). Angry Birds vs. Sudoku: How  
714 Different Types of Tasks in Multitasking Affect Ad Memory and Mind Wandering.  
715 *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, *0*(0), 1–14.  
716 <https://doi.org/10.1080/10641734.2020.1838359>
- 717 Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016).  
718 Mind-wandering as spontaneous thought: a dynamic framework. *Nature Reviews*  
719 *Neuroscience*, *17*(11), 718–731. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.113>
- 720 Christoff, K., Mills, C., Andrews-Hanna, J. R., Irving, Z. C., Thompson, E., Fox, K. C. R., &

- 721 Kam, J. W. Y. (2018). Mind-Wandering as a Scientific Concept: Cutting through the  
722 Definitional Haze. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(11), 957–959.  
723 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.07.004>
- 724 Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2011). Memory: Enduring Traces of Perceptual and  
725 Reflective Attention. *Neuron*, 72(4), 520–535.  
726 <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.026>
- 727 Chun, M. M., & Turk-Browne, N. B. (2007). Interactions between attention and memory.  
728 *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 177–184.  
729 <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.03.005>
- 730 Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing,  
731 short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 333–344.  
732 <https://doi.org/10.1080/02640410701591417>
- 733 Conway, M. A., & Dewhurst, S. A. (1995). The self and recollective experience. *Applied*  
734 *Cognitive Psychology*, 9(1), 1–19. <https://doi.org/10.1002/acp.2350090102>
- 735 Conway, M. A., Dewhurst, S. A., Pearson, N., & Sapute, A. (2001). The self and recollection  
736 reconsidered: how a “failure to replicate” failed and why trace strength accounts of  
737 recollection are untenable. *Applied Cognitive Psychology*, 15(6), 673–686.  
738 <https://doi.org/10.1002/acp.740>
- 739 Craik, F. I. M. (2002). Levels of processing: Past, present... and future? *Memory*, 10(5–6),  
740 305–318. <https://doi.org/10.1080/09658210244000135>
- 741 Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of  
742 divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of*  
743 *Experimental Psychology: General*, 125(2), 159–180. <https://doi.org/10.1037/0096->



744 3445.125.2.159

745 Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory  
746 research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*(6), 671–684.

747 [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X)

748 Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in  
749 episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*(3), 268–294.

750 <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>

751 Cunningham, S., Scerbo, M. W., & Freeman, F. G. (2000). The electrocortical correlates of  
752 daydreaming during vigilance tasks. *Journal of Mental Imagery*, *24*(1–2), 61–72.

753 Curran, T. (2004). Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of  
754 recollection and familiarity. *Neuropsychologia*, *42*(8), 1088–1106.

755 <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.011>

756 D'Argembeau, A. (2018). Mind-wandering and self-referential thought. In *The Oxford*  
757 *handbook of spontaneous thought* (pp. 181–191).

758 D'Argembeau, A., Renaud, O., & Van der Linden, M. (2011). Frequency, characteristics and  
759 functions of future-oriented thoughts in daily life. *Applied Cognitive Psychology*, *25*(1),

760 96–103. <https://doi.org/10.1002/acp.1647>

761 D'Argembeau, A., Stawarczyk, D., Majerus, S., Collette, F., Van der Linden, M., & Salmon,  
762 E. (2010). Modulation of medial prefrontal and inferior parietal cortices when thinking  
763 about past, present, and future selves. *Social Neuroscience*, *5*(2), 187–200.

764 <https://doi.org/10.1080/17470910903233562>

765 D'Mello, S. K., & Mills, C. S. (2021). Mind wandering during reading: An interdisciplinary  
766 and integrative review of psychological, computing, and intervention research and

- 767 theory. *Language and Linguistics Compass*, 15(4), e12412.  
768 <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/lnc3.12412>
- 769 Danckert, J., Hammerschmidt, T., Marty-Dugas, J., & Smilek, D. (2018). Boredom: Under-  
770 aroused and restless. *Consciousness and Cognition*, 61(November 2017), 24–37.  
771 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.03.014>
- 772 deBettencourt, M. T., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B. (2018). Forgetting from lapses  
773 of sustained attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(2), 605–611.  
774 <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1309-5>
- 775 Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal*  
776 *of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(4), 717–726.  
777 <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.4.717>
- 778 Ellis, J. A., & Nimmo-smith, I. (1993). Recollecting naturally-occurring intentions: A study of  
779 cognitive and affective factors. *Memory*, 1(2), 107–126.  
780 <https://doi.org/10.1080/09658219308258227>
- 781 Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a  
782 Two-Factor Theory of Cognitive Control. In *The Psychology of Learning and Motivation*  
783 *- Advances in Research and Theory* (Vol. 44, pp. 145–199).  
784 [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(03\)44005-X](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(03)44005-X)
- 785 Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: the  
786 effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 4(SEP), 1–9.  
787 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00619>
- 788 Fenesi, B., Lucibello, K., Kim, J. A., & Heisz, J. J. (2018). Sweat So You Don't Forget:  
789 Exercise Breaks During a University Lecture Increase On-Task Attention and Learning.

- 790 *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(2), 261–269.  
791 <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.01.012>
- 792 Finnigan, F., Schulze, D., & Smallwood, J. (2007). Alcohol and the wandering mind: A new  
793 direction in the study of alcohol on attentional lapses. *International Journal on Disability*  
794 *and Human Development*, 6(2), 189–200. <https://doi.org/10.1515/IJDHD.2007.6.2.189>
- 795 Forster, S., & Lavie, N. (2009). Harnessing the wandering mind: The role of perceptual load.  
796 *Cognition*, 111(3), 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.02.006>
- 797 Foulsham, T., Farley, J., & Kingstone, A. (2013). Mind wandering in sentence reading:  
798 Decoupling the link between mind and eye. *Canadian Journal of Experimental*  
799 *Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 67(1), 51–59.  
800 <https://doi.org/10.1037/a0030217>
- 801 Franklin, M. S., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2011). Catching the mind in flight: Using  
802 behavioral indices to detect mindless reading in real time. *Psychonomic Bulletin &*  
803 *Review*, 18(5), 992–997. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0109-6>
- 804 Freeman, J. E., & Ellis, J. A. (2003). The representation of delayed intentions: A prospective  
805 subject-performed task? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*  
806 *Cognition*, 29(5), 976–992. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.5.976>
- 807 Gable, S. L., Hopper, E. A., & Schooler, J. W. (2019). When the Muses Strike: Creative Ideas  
808 of Physicists and Writers Routinely Occur During Mind Wandering. *Psychological*  
809 *Science*, 30(3), 396–404. <https://doi.org/10.1177/0956797618820626>
- 810 Gardiner, J. M. (2001). Episodic memory and autoegetic consciousness: a first-person  
811 approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B:*  
812 *Biological Sciences*, 356(1413), 1351–1361. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0955>

- 813 Gardiner, J. M., & Parkin, A. J. (1990). Attention and recollective experience in recognition  
814 memory. *Memory & Cognition*, 18(6), 579–583. <https://doi.org/10.3758/BF03197100>
- 815 Gardiner, J. M., Ramponi, C., & Richardson-Klavehn, A. (1998). Experiences of  
816 Remembering, Knowing, and Guessing. *Consciousness and Cognition*, 7(1), 1–26.  
817 <https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0321>
- 818 Garlitch, S. M., & Wahlheim, C. N. (2020). The role of attentional fluctuation during study in  
819 recollecting episodic changes at test. *Memory & Cognition*.  
820 <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01018-4>
- 821 Giambra, L. M. (1989). Task-unrelated-thought frequency as a function of age: a laboratory  
822 study. *Psychology and Aging*, 4(2), 136–143. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.2.136>
- 823 Goschke, T., & Kuhl, J. (1993). Representation of intentions: Persisting activation in memory.  
824 *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1211–  
825 1226. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.5.1211>
- 826 Hassabis, D., & Maguire, E. A. (2009). The construction system of the brain. *Philosophical  
827 Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1263–1271.  
828 <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0296>
- 829 Hasselmo, M. E. (2009). A model of episodic memory: Mental time travel along encoded  
830 trajectories using grid cells. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(4), 559–573.  
831 <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2009.07.005>
- 832 He, J., Becic, E., Lee, Y.-C., & McCarley, J. S. (2011). Mind Wandering Behind the Wheel.  
833 *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(1), 13–  
834 21. <https://doi.org/10.1177/0018720810391530>
- 835 Hollis, R. B., & Was, C. A. (2016). Mind wandering, control failures, and social media

- 836 distractions in online learning. *Learning and Instruction*, 42, 104–112.  
837 <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.007>
- 838 Iidaka, T., Anderson, N. D., Kapur, S., Cabeza, R., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of  
839 divided attention on encoding and retrieval in episodic memory revealed by positron  
840 emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 267–280.  
841 <https://doi.org/10.1162/089892900562093>
- 842 Jackson, J. D., Weinstein, Y., & Balota, D. A. (2013). Can mind-wandering be timeless?  
843 Atemporal focus and aging in mind-wandering paradigms. *Frontiers in Psychology*,  
844 4(October), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00742>
- 845 Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from  
846 intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513–541.  
847 [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)
- 848 Jacoby, L. L., Toth, J. P., & Yonelinas, A. P. (1993). Separating conscious and unconscious  
849 influences of memory: Measuring recollection. *Journal of Experimental Psychology:*  
850 *General*, 122(2), 139–154. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.2.139>
- 851 Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1993). Automatic Versus Intentional Uses of Memory:  
852 Aging, Attention, and Control. *Psychology and Aging*, 8(2), 283–293.  
853 <https://doi.org/10.1037/0882-7974.8.2.283>
- 854 Jing, H. G., Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2016). Interpolated testing influences focused  
855 attention and improves integration of information during a video-recorded lecture.  
856 *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 22(3), 305–318.  
857 <https://doi.org/10.1037/xap0000087>
- 858 Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source Monitoring. In

- 859 *Psychological Bulletin* (Vol. 114, Issue 1, pp. 3–28). *Psychological Bulletin*.
- 860 Jordão, M., Ferreira-Santos, F., Pinho, M. S., & St. Jacques, P. L. (2019). Meta-analysis of  
861 aging effects in mind wandering: Methodological and sociodemographic factors.  
862 *Psychology and Aging, 34*(4), 531–544. <https://doi.org/10.1037/pag0000356>
- 863 Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). La mémoire prospective au cours du  
864 vieillissement : déclin ou préservation ? *NPG Neurologie - Psychiatrie - Geriatrie, 8*(47),  
865 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2008.06.003>
- 866 Kam, J. W. Y., Dao, E., Farley, J., Fitzpatrick, K., Smallwood, J., Schooler, J. W., & Handy,  
867 T. C. (2011). Slow Fluctuations in Attentional Control of Sensory Cortex. *Journal of*  
868 *Cognitive Neuroscience, 23*(2), 460–470. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21443>
- 869 Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R.  
870 (2007). For Whom the Mind Wanders, and When. *Psychological Science, 18*(7), 614–  
871 621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x>
- 872 Kane, M. J., Smeekens, B. A., von Bastian, C. C., Lurquin, J. H., Carruth, N. P., & Miyake,  
873 A. (2017). A combined experimental and individual-differences investigation into mind  
874 wandering during a video lecture. *Journal of Experimental Psychology: General,*  
875 *146*(11), 1649–1674. <https://doi.org/10.1037/xge0000362>
- 876 Kang, O. E., Huffer, K. E., & Wheatley, T. P. (2014). Pupil Dilation Dynamics Track  
877 Attention to High-Level Information. *PLoS ONE, 9*(8), e102463.  
878 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102463>
- 879 Kensinger, E. A., Clarke, R. J., & Corkin, S. (2003). What Neural Correlates Underlie  
880 Successful Encoding and Retrieval? A Functional Magnetic Resonance Imaging Study  
881 Using a Divided Attention Paradigm. *The Journal of Neuroscience, 23*(6), 2407–2415.

- 882 <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-06-02407.2003>
- 883 Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind.  
884 *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>
- 885 Klinger, E. (1999). Thought flow: Properties and mechanisms underlying shifts in content. *At*  
886 *Play in the Fields of Consciousness: Essays in Honor of Jerome L. Singer*, 29–50.
- 887 Klinger, E. (2015). Daydreaming and Fantasizing: Thought Flow and Motivation. In  
888 *Handbook of Imagination and Mental Simulation* (Issue 11237). Routledge.  
889 <https://doi.org/10.4324/9780203809846.ch15>
- 890 Krasich, K., McManus, R., Hutt, S., Faber, M., D’Mello, S. K., & Brockmole, J. R. (2018).  
891 Gaze-based signatures of mind wandering during real-world scene processing. *Journal of*  
892 *Experimental Psychology: General*, 147(8), 1111–1124.  
893 <https://doi.org/10.1037/xge0000411>
- 894 Krinsky, M., Forster, D. E., Llabre, M. M., & Jha, A. P. (2017). The influence of time on task  
895 on mind wandering and visual working memory. *Cognition*, 169(January), 84–90.  
896 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.08.006>
- 897 Kvavilashvili, L., & Fisher, L. (2007). Is time-based prospective remembering mediated by  
898 self-initiated rehearsals? Role of incidental cues, ongoing activity, age, and motivation.  
899 *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 112–132.  
900 <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.1.112>
- 901 Leszczynski, M., Chaieb, L., Reber, T. P., Derner, M., Axmacher, N., & Fell, J. (2017). Mind  
902 wandering simultaneously prolongs reactions and promotes creative incubation.  
903 *Scientific Reports*, 7(1), 10197. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10616-3>
- 904 Lindenberger, U., & Mayr, U. (2014). Cognitive aging: is there a dark side to environmental

- 905 support? *Trends in Cognitive Sciences*, 18(1), 7–15.
- 906 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.10.006>
- 907 Long, N. M., Kuhl, B. A., & Chun, M. M. (2018). Memory and Attention. In *Stevens'*
- 908 *Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (pp. 1–37). John
- 909 Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn109>
- 910 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2013). Age-related changes in frequency of mind-wandering and
- 911 task-related interferences during memory encoding and their impact on retrieval.
- 912 *Memory*, 21(7), 818–831. <https://doi.org/10.1080/09658211.2012.761714>
- 913 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2014). Dissociable roles of default-mode regions during episodic
- 914 encoding. *NeuroImage*, 89, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.050>
- 915 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2016). Assessing the Neural Correlates of Task-unrelated
- 916 Thoughts during Episodic Encoding and Their Association with Subsequent Memory in
- 917 Young and Older Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(6), 826–841.
- 918 [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00935](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00935)
- 919 Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016a). From mind wandering to involuntary retrieval: Age-
- 920 related differences in spontaneous cognitive processes. *Neuropsychologia*, 80, 142–156.
- 921 <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.017>
- 922 Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016b). When the mind wanders: Distinguishing stimulus-
- 923 dependent from stimulus-independent thoughts during incidental encoding in young and
- 924 older adults. *Psychology and Aging*, 31(4), 370–379. <https://doi.org/10.1037/pag0000099>
- 925 Maillet, D., Seli, P., & Schacter, D. L. (2017). Mind-wandering and task stimuli: Stimulus-
- 926 dependent thoughts influence performance on memory tasks and are more often past-
- 927 versus future-oriented. *Consciousness and Cognition*, 52(October), 55–67.



- 928 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.014>
- 929 Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Bink, M. L. (1998). Activation of completed, uncompleted, and  
930 partially completed intentions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory,*  
931 *and Cognition, 24*(2), 350–361. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.2.350>
- 932 Martin, L., Mills, C., D’Mello, S. K., & Risko, E. F. (2018). Re-Watching Lectures as a Study  
933 Strategy and Its Effect on Mind Wandering. *Experimental Psychology, 65*(5), 297–305.  
934 <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000412>
- 935 Maylor, E. A., Darby, R. J., & Sala, S. Della. (2000). Retrieval of performed versus to-be-  
936 performed tasks: A naturalistic study of the intention-superiority effect in normal aging  
937 and dementia. *Applied Cognitive Psychology, 14*(7), S83–S98.  
938 <https://doi.org/10.1002/acp.772>
- 939 McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective  
940 memory retrieval: a multiprocess framework. *Applied Cognitive Psychology, 14*(7),  
941 S127–S144. <https://doi.org/10.1002/acp.775>
- 942 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory  
943 capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of*  
944 *Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35*(1), 196–204.  
945 <https://doi.org/10.1037/a0014104>
- 946 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2010). Does mind wandering reflect executive function or  
947 executive failure? Comment on Smallwood and Schooler (2006) and Watkins (2008).  
948 *Psychological Bulletin, 136*(2), 188–197. <https://doi.org/10.1037/a0018298>
- 949 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Drifting from slow to “d’oh!”: Working memory  
950 capacity and mind wandering predict extreme reaction times and executive control

- 951 errors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(3),  
952 525–549. <https://doi.org/10.1037/a0025896>
- 953 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2013). Dispatching the wandering mind? Toward a laboratory  
954 method for cuing “spontaneous” off-task thought. *Frontiers in Psychology*, 4(SEP), 1–  
955 16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00570>
- 956 McVay, J. C., Kane, M. J., & Kwapil, T. R. (2009). Tracking the train of thought from the  
957 laboratory into everyday life: An experience-sampling study of mind wandering across  
958 controlled and ecological contexts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 857–863.  
959 <https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.857>
- 960 Mickley Steinmetz, K. R., Waring, J. D., & Kensinger, E. A. (2014). The effect of divided  
961 attention on emotion-induced memory narrowing. *Cognition and Emotion*, 28(5), 881–  
962 892. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.858616>
- 963 Mills, C., Bosch, N., Krasich, K., & D’Mello, S. K. (2019). Reducing Mind-Wandering  
964 During Vicarious Learning from an Intelligent Tutoring System. In *Lecture Notes in  
965 Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and  
966 Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11625 LNAI* (pp. 296–307).  
967 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23204-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23204-7_25)
- 968 Mills, C., Gregg, J., Bixler, R., & D’Mello, S. K. (2020). Eye-Mind reader: an intelligent  
969 reading interface that promotes long-term comprehension by detecting and responding to  
970 mind wandering. *Human–Computer Interaction*, 00(00), 1–27.  
971 <https://doi.org/10.1080/07370024.2020.1716762>
- 972 Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for  
973 Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7),  
974 e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- 975 Mooneyham, B. W., & Schooler, J. W. (2013). The costs and benefits of mind-wandering: A  
976 review. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *67*(1), 11–18.  
977 <https://doi.org/10.1037/a0031569>
- 978 Murray, S., Krasich, K., Schooler, J. W., & Seli, P. (2020). What's in a Task? Complications  
979 in the Study of the Task-Unrelated-Thought Variety of Mind Wandering. *Perspectives*  
980 *on Psychological Science*, *15*(3), 572–588. <https://doi.org/10.1177/1745691619897966>
- 981 Naveh-Benjamin, M., & Brubaker, M. S. (2019). Are the effects of divided attention on  
982 memory encoding processes due to the disruption of deep-level elaborative processes?  
983 Evidence from cued- and free-recall tasks. *Journal of Memory and Language*,  
984 *106*(March 2018), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2019.02.007>
- 985 Nijboer, M., Borst, J. P., van Rijn, H., & Taatgen, N. A. (2016). Driving and Multitasking:  
986 The Good, the Bad, and the Dangerous. *Frontiers in Psychology*, *7*(NOV), 1–16.  
987 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01718>
- 988 Nilsson, L. G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*,  
989 *Supplement*, *107*(179), 7–13. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.107.s179.5.x>
- 990 Ottaviani, C., Shapiro, D., & Couyoumdjian, A. (2013). Flexibility as the key for somatic  
991 health: From mind wandering to perseverative cognition. *Biological Psychology*, *94*(1),  
992 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.003>
- 993 Pan, S. C., Sana, F., Schmitt, A. G., & Ligon, E. (2020). Pretesting Reduces Mind Wandering  
994 and Enhances Learning During Online Lectures. *Journal of Applied Research in Memory*  
995 *and Cognition*, 1–42.
- 996 Parkin, A. J., Gardiner, J. M., & Rosser, R. (1995). Functional Aspects of Recollective  
997 Experience in Face Recognition. *Consciousness and Cognition*, *4*(4), 387–398.

- 998 <https://doi.org/10.1006/ccog.1995.1046>
- 999 Perrykkad, K., & Hohwy, J. (2020). Fidgeting as self-evidencing: A predictive processing  
1000 account of non-goal-directed action. *New Ideas in Psychology*, 56(August 2019),  
1001 100750. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2019.100750>
- 1002 Peterson, D. J., & Wissman, K. (2020). Using tests to reduce mind-wandering during learning  
1003 review. *Memory*, 28(4), 582–587. <https://doi.org/10.1080/09658211.2020.1748657>
- 1004 Plimpton, B., Patel, P., & Kvavilashvili, L. (2015). Role of triggers and dysphoria in mind-  
1005 wandering about past, present and future: A laboratory study. *Consciousness and*  
1006 *Cognition*, 33, 261–276. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.01.014>
- 1007 Qu, W., Ge, Y., Xiong, Y., Carciofo, R., Zhao, W., & Zhang, K. (2015). The relationship  
1008 between mind wandering and dangerous driving behavior among Chinese drivers. *Safety*  
1009 *Science*, 78, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.016>
- 1010 Reinitz, M. T., Morrissey, J., & Demb, J. (1994). Role of attention in face encoding. *Journal*  
1011 *of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(1), 161–168.  
1012 <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.1.161>
- 1013 Riby, L. M., Smallwood, J., & Gunn, V. P. (2008). Mind Wandering and Retrieval from  
1014 Episodic Memory: A Pilot Event-Related Potential Study. *Psychological Reports*,  
1015 102(3), 805–818. <https://doi.org/10.2466/pr0.102.3.805-818>
- 1016 Ricciardi, O., Maggi, P., & Nocera, F. Di. (2019). Boredom makes me “nervous”: fidgeting as  
1017 a strategy for contrasting the lack of variety. *International Journal of Human Factors*  
1018 *and Ergonomics*, 6(3), 195. <https://doi.org/10.1504/IJHFE.2019.104590>
- 1019 Richter, F. R., & Yeung, N. (2016). ERP Correlates of Encoding Success and Encoding  
1020 Selectivity in Attention Switching. *PLOS ONE*, 11(12), e0167396.

- 1021 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167396>
- 1022 Risko, E. F., Anderson, N., Sarwal, A., Engelhardt, M., & Kingstone, A. (2012). Everyday  
1023 Attention: Variation in Mind Wandering and Memory in a Lecture. *Applied Cognitive*  
1024 *Psychology*, 26(2), 234–242. <https://doi.org/10.1002/acp.1814>
- 1025 Risko, E. F., Buchanan, D., Medimorec, S., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention:  
1026 Mind wandering and computer use during lectures. *Computers & Education*, 68, 275–  
1027 283. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.001>
- 1028 Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). ‘Oops!’:  
1029 Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and  
1030 normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747–758. [https://doi.org/10.1016/S0028-](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)  
1031 [3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)
- 1032 Robison, M. K., Miller, A. L., & Unsworth, N. (2019). Examining the effects of probe  
1033 frequency, response options, and framing within the thought-probe method. *Behavior*  
1034 *Research Methods*, 51(1), 398–408. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01212-6>
- 1035 Robison, M. K., & Unsworth, N. (2017). Cognitive and Contextual Correlates of Spontaneous  
1036 and Deliberate Mind-Wandering. *Journal of Experimental Psychology: Learning*  
1037 *Memory and Cognition*, 44(1), 85–98. <https://doi.org/10.1037/xlm0000444>
- 1038 Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term  
1039 retention. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 20–27.  
1040 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.003>
- 1041 Rogers, T. B., Kuiper, N. A., & Kirker, W. S. (1977). Self-reference and the encoding of  
1042 personal information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35(9), 677–688.  
1043 <https://doi.org/10.1037/0022-3514.35.9.677>

- 1044 Rowland, C. A. (2014). The effect of testing versus restudy on retention: A meta-analytic  
1045 review of the testing effect. *Psychological Bulletin*, *140*(6), 1432–1463.  
1046 <https://doi.org/10.1037/a0037559>
- 1047 Rummel, J., & Boywitt, C. D. (2014). Controlling the stream of thought: Working memory  
1048 capacity predicts adjustment of mind-wandering to situational demands. *Psychonomic  
1049 Bulletin & Review*, *21*(5), 1309–1315. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0580-3>
- 1050 Sayette, M. A., Reichle, E. D., & Schooler, J. W. (2009). Lost in the Sauce: the effects of  
1051 alcohol on mind-wandering. *Psychological Science*, *20*(6), 747–752.  
1052 <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02351.x>
- 1053 Schooler, J. W., Smallwood, J., Christoff, K., Handy, T. C., Reichle, E. D., & Sayette, M. A.  
1054 (2011). Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends in  
1055 Cognitive Sciences*, *15*(7), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.05.006>
- 1056 Schult, J. C., & Steffens, M. C. (2013). Tuned for the future: Intentions are only accessible  
1057 when a retrieval opportunity is near. *Memory & Cognition*, *41*(8), 1252–1260.  
1058 <https://doi.org/10.3758/s13421-013-0337-2>
- 1059 Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive  
1060 task performance. *Memory & Cognition*, *19*(5), 507–513.  
1061 <https://doi.org/10.3758/BF03199574>
- 1062 Seli, P., Carriere, J. S. A., Levene, M., & Smilek, D. (2013). How few and far between?  
1063 Examining the effects of probe rate on self-reported mind wandering. *Frontiers in  
1064 Psychology*, *4*(JUL), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00430>
- 1065 Seli, P., Carriere, J. S. A., & Smilek, D. (2015). Not all mind wandering is created equal:  
1066 dissociating deliberate from spontaneous mind wandering. *Psychological Research*,

- 1067 79(5), 750–758. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0617-x>
- 1068 Seli, P., Kane, M. J., Metzinger, T., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., Schooler, J.  
1069 W., & Smilek, D. (2018). The Family-Resemblances Framework for Mind-Wandering  
1070 Remains Well Clad. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(11), 959–961.  
1071 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.07.007>
- 1072 Seli, P., Kane, M. J., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., Schooler, J. W., & Smilek,  
1073 D. (2018). Mind-Wandering as a Natural Kind: A Family-Resemblances View. *Trends in*  
1074 *Cognitive Sciences*, 22(6), 479–490. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.03.010>
- 1075 Seli, P., Konishi, M., Risko, E. F., & Smilek, D. (2018). The role of task difficulty in  
1076 theoretical accounts of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 65(April), 255–  
1077 262. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.08.005>
- 1078 Seli, P., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). Assessing the associations among trait and state  
1079 levels of deliberate and spontaneous mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 41,  
1080 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.02.002>
- 1081 Seli, P., Smilek, D., Ralph, B. C. W., & Schacter, D. L. (2018). The awakening of the  
1082 attention: Evidence for a link between the monitoring of mind wandering and  
1083 prospective goals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(3), 431–443.  
1084 <https://doi.org/10.1037/xge0000385>
- 1085 Smallwood, J. (2010). Why the Global Availability of Mind Wandering Necessitates  
1086 Resource Competition: Reply to McVay and Kane (2010). *Psychological Bulletin*,  
1087 136(2), 202–207. <https://doi.org/10.1037/a0018673>
- 1088 Smallwood, J. (2013). Distinguishing how from why the mind wanders: A process-occurrence  
1089 framework for self-generated mental activity. *Psychological Bulletin*, 139(3), 519–535.

- 1090 <https://doi.org/10.1037/a0030010>
- 1091 Smallwood, J., Baracaia, S. F., Lowe, M., & Obonsawin, M. (2003). Task unrelated thought  
1092 whilst encoding information. *Consciousness and Cognition*, *12*(3), 452–484.  
1093 [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00018-7)
- 1094 Smallwood, J., Beach, E., Schooler, J. W., & Handy, T. C. (2008). Going AWOL in the  
1095 Brain: Mind Wandering Reduces Cortical Analysis of External Events. *Journal of*  
1096 *Cognitive Neuroscience*, *20*(3), 458–469. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20037>
- 1097 Smallwood, J., Brown, K. S., Tipper, C., Giesbrecht, B., Franklin, M. S., Mrazek, M. D.,  
1098 Carlson, J. M., & Schooler, J. W. (2011). Pupillometric Evidence for the Decoupling of  
1099 Attention from Perceptual Input during Offline Thought. *PLoS ONE*, *6*(3), e18298.  
1100 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018298>
- 1101 Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2007). The lights are on but no one's  
1102 home: Meta-awareness and the decoupling of attention when the mind wanders.  
1103 *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(3), 527–533. <https://doi.org/10.3758/BF03194102>
- 1104 Smallwood, J., Nind, L., & O'Connor, R. C. (2009). When is your head at? An exploration of  
1105 the factors associated with the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and*  
1106 *Cognition*, *18*(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.11.004>
- 1107 Smallwood, J., & O'Connor, R. C. (2011). Imprisoned by the past: Unhappy moods lead to a  
1108 retrospective bias to mind wandering. *Cognition & Emotion*, *25*(8), 1481–1490.  
1109 <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.545263>
- 1110 Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., Haskell, C., & Ballantyne, C. (2004). The  
1111 consequences of encoding information on the maintenance of internally generated  
1112 images and thoughts: The role of meaning complexes. *Consciousness and Cognition*,



- 1113 13(4), 789–820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.004>
- 1114 Smallwood, J., Obonsawin, M., & Heim, D. (2003). Task unrelated thought: The role of  
1115 distributed processing. *Consciousness and Cognition*, 12(2), 169–189.  
1116 [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(02\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(02)00003-X)
- 1117 Smallwood, J., Obonsawin, M., & Reid, H. (2002). The Effects of Block Duration and Task  
1118 Demands on the Experience of Task Unrelated Thought. *Imagination, Cognition and*  
1119 *Personality*, 22(1), 13–31. <https://doi.org/10.2190/TBML-N8JN-W5YB-4L9R>
- 1120 Smallwood, J., Riby, L., Heim, D., & Davies, J. B. (2006). Encoding during the attentional  
1121 lapse: Accuracy of encoding during the semantic sustained attention to response task.  
1122 *Consciousness and Cognition*, 15(1), 218–231.  
1123 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.03.003>
- 1124 Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, 132(6),  
1125 946–958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- 1126 Smallwood, J., Schooler, J. W., Turk, D. J., Cunningham, S. J., Burns, P., & Macrae, C. N.  
1127 (2011). Self-reflection and the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and*  
1128 *Cognition*, 20(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.12.017>
- 1129 Smilek, D., Carriere, J. S. A., & Cheyne, J. A. (2010). Out of Mind, Out of Sight: Eye  
1130 Blinking as Indicator and Embodiment of Mind Wandering. *Psychological Science*,  
1131 21(6), 786–789. <https://doi.org/10.1177/0956797610368063>
- 1132 Song, X., & Wang, X. (2012). Mind Wandering in Chinese Daily Lives – An Experience  
1133 Sampling Study. *PLoS ONE*, 7(9), e44423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044423>
- 1134 Spreng, R. N., Stevens, W. D., Chamberlain, J. P., Gilmore, A. W., & Schacter, D. L. (2010).  
1135 Default network activity, coupled with the frontoparietal control network, supports goal-

- 1136 directed cognition. *NeuroImage*, 53(1), 303–317.
- 1137 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.016>
- 1138 Stawarczyk, D., Cassol, H., & D'Argembeau, A. (2013). Phenomenology of future-oriented  
1139 mind-wandering episodes. *Frontiers in Psychology*, 4(JUL), 1–12.
- 1140 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00425>
- 1141 Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011).  
1142 Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience  
1143 sampling method. *Acta Psychologica*, 136(3), 370–381.
- 1144 <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.01.002>
- 1145 Stawarczyk, D., Majerus, S., Maquet, P., & D'Argembeau, A. (2011). Neural Correlates of  
1146 Ongoing Conscious Experience: Both Task-Unrelatedness and Stimulus-Independence  
1147 Are Related to Default Network Activity. *PLoS ONE*, 6(2), e16997.
- 1148 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016997>
- 1149 Suddendorf, T., Addis, D. R., & Corballis, M. C. (2011). Mental Time Travel and the Shaping  
1150 of the Human Mind. *Predictions in the Brain: Using Our Past to Generate a Future*,  
1151 *February*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195395518.003.0121>
- 1152 Symons, C. S., & Johnson, B. T. (1997). The self-reference effect in memory: A meta-  
1153 analysis. *Psychological Bulletin*, 121(3), 371–394. [https://doi.org/10.1037//0033-](https://doi.org/10.1037//0033-2909.121.3.371)  
1154 [2909.121.3.371](https://doi.org/10.1037//0033-2909.121.3.371)
- 1155 Szpunar, K. K., Khan, N. Y., & Schacter, D. L. (2013). Interpolated memory tests reduce  
1156 mind wandering and improve learning of online lectures. *Proceedings of the National*  
1157 *Academy of Sciences*, 110(16), 6313–6317. <https://doi.org/10.1073/pnas.1221764110>
- 1158 Thomson, D. R., Seli, P., Besner, D., & Smilek, D. (2014). On the link between mind

- 1159 wandering and task performance over time. *Consciousness and Cognition*, 27(1), 14–26.  
1160 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.04.001>
- 1161 Thomson, D. R., Smilek, D., & Besner, D. (2014). On the asymmetric effects of mind-  
1162 wandering on levels of processing at encoding and retrieval. *Psychonomic Bulletin &*  
1163 *Review*, 21(3), 728–733. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0526-9>
- 1164 Troyer, A. K., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of divided attention on memory for items  
1165 and their context. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de*  
1166 *Psychologie Expérimentale*, 54(3), 161–171. <https://doi.org/10.1037/h0087338>
- 1167 Troyer, A. K., Winocur, G., Craik, F. I. M., & Moscovitch, M. (1999). Source memory and  
1168 divided attention: Reciprocal costs to primary and secondary tasks. *Neuropsychology*,  
1169 13(4), 467–474. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.13.4.467>
- 1170 Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie*  
1171 *Canadienne*, 26(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>
- 1172 Tulving, E. (1993). What Is Episodic Memory? *Current Directions in Psychological Science*,  
1173 2(3), 67–70. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770899>
- 1174 Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*,  
1175 53(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- 1176 Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in  
1177 episodic memory. *Psychological Review*, 80(5), 352–373.  
1178 <https://doi.org/10.1037/h0020071>
- 1179 Turk-Browne, N. B., Golomb, J. D., & Chun, M. M. (2013). Complementary attentional  
1180 components of successful memory encoding. *NeuroImage*, 66, 553–562.  
1181 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.053>

- 1182 Uncapher, M. R., Hutchinson, J. B., & Wagner, A. D. (2011). Dissociable Effects of Top-  
1183 Down and Bottom-Up Attention during Episodic Encoding. *Journal of Neuroscience*,  
1184 *31*(35), 12613–12628. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0152-11.2011>
- 1185 Uncapher, Melina R., & Rugg, M. D. (2005). Effects of divided attention on fMRI correlates  
1186 of memory encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(12), 1923–1935.  
1187 <https://doi.org/10.1162/089892905775008616>
- 1188 Uncapher, Melina R., & Rugg, M. D. (2008). Fractionation of the component processes  
1189 underlying successful episodic encoding: A combined fMRI and divided-attention study.  
1190 *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(2), 240–254.  
1191 <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20026>
- 1192 van Dongen, E. V., Kersten, I. H. P., Wagner, I. C., Morris, R. G. M., & Fernández, G.  
1193 (2016). Physical Exercise Performed Four Hours after Learning Improves Memory  
1194 Retention and Increases Hippocampal Pattern Similarity during Retrieval. *Current*  
1195 *Biology*, *26*(13), 1722–1727. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.071>
- 1196 Vannucci, M., Pelagatti, C., & Marchetti, I. (2017). Manipulating cues in mind wandering:  
1197 Verbal cues affect the frequency and the temporal focus of mind wandering.  
1198 *Consciousness and Cognition*, *53*(June), 61–69.  
1199 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.06.004>
- 1200 Varao-Sousa, T. L., & Kingstone, A. (2015). Memory for Lectures: How Lecture Format  
1201 Impacts the Learning Experience. *PLOS ONE*, *10*(11), e0141587.  
1202 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141587>
- 1203 Varao-Sousa, T. L., & Kingstone, A. (2019). Are mind wandering rates an artifact of the  
1204 probe-caught method? Using self-caught mind wandering in the classroom to test, and  
1205 reject, this possibility. *Behavior Research Methods*, *51*(1), 235–242.

- 1206 <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1073-0>
- 1207 Varao-Sousa, T. L., Mills, C., & Kingstone, A. (2019). Where You Are, Not What You See:  
1208 The Impact of Learning Environment on Mind Wandering and Material Retention.  
1209 *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge*,  
1210 421–425. <https://doi.org/10.1145/3303772.3303824>
- 1211 Varao-Sousa, T. L., Smilek, D., & Kingstone, A. (2018). In the lab and in the wild: How  
1212 distraction and mind wandering affect attention and memory. *Cognitive Research:  
1213 Principles and Implications*, 3(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0137-0>
- 1214 Varao Sousa, T. L., Carriere, J. S. A., & Smilek, D. (2013). The way we encounter reading  
1215 material influences how frequently we mind wander. *Frontiers in Psychology*,  
1216 4(November), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00892>
- 1217 Varma, S., Takashima, A., Fu, L., & Kessels, R. P. C. (2019). Mindwandering propensity  
1218 modulates episodic memory consolidation. *Aging Clinical and Experimental Research*,  
1219 31(11), 1601–1607. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01251-1>
- 1220 Wammes, J. D., Boucher, P. O., Seli, P., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2016). Mind wandering  
1221 during lectures I: Changes in rates across an entire semester. *Scholarship of Teaching  
1222 and Learning in Psychology*, 2(1), 13–32. <https://doi.org/10.1037/stl0000053>
- 1223 Wammes, J. D., Seli, P., Cheyne, J. A., Boucher, P. O., & Smilek, D. (2016). Mind wandering  
1224 during lectures II: Relation to academic performance. *Scholarship of Teaching and  
1225 Learning in Psychology*, 2(1), 33–48. <https://doi.org/10.1037/stl0000055>
- 1226 Wammes, J. D., & Smilek, D. (2017). Examining the Influence of Lecture Format on Degree  
1227 of Mind Wandering. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 6(2), 174–  
1228 184. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.01.015>

- 1229 Weinstein, Y. (2018). Mind-wandering, how do I measure thee with probes? Let me count the  
1230 ways. *Behavior Research Methods*, *50*(2), 642–661. <https://doi.org/10.3758/s13428-017->  
1231 0891-9
- 1232 Weinstein, Y., De Lima, H. J., & van der Zee, T. (2018). Are you mind-wandering, or is your  
1233 mind on task? The effect of probe framing on mind-wandering reports. *Psychonomic*  
1234 *Bulletin and Review*, *25*(2), 754–760. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1322-8>
- 1235 Wiemers, E. A., & Redick, T. S. (2019). The influence of thought probes on performance:  
1236 Does the mind wander more if you ask it? *Psychonomic Bulletin and Review*, *26*(1),  
1237 367–373. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1529-3>
- 1238 Xu, J., & Metcalfe, J. (2016). Studying in the region of proximal learning reduces mind  
1239 wandering. *Memory & Cognition*, *44*(5), 681–695. <https://doi.org/10.3758/s13421-016->  
1240 0589-8
- 1241 Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence  
1242 for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*  
1243 *Cognition*, *20*(6), 1341–1354. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.6.1341>
- 1244 Yonelinas, A. P. (2001a). Consciousness, control, and confidence: The 3 Cs of recognition  
1245 memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(3), 361–379.  
1246 <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.3.361>
- 1247 Yonelinas, A. P. (2001b). Components of episodic memory: the contribution of recollection  
1248 and familiarity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B:*  
1249 *Biological Sciences*, *356*(1413), 1363–1374. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0939>
- 1250 Zedelius, C. M., & Schooler, J. W. (2015). Mind wandering “Ahas” versus mindful reasoning:  
1251 alternative routes to creative solutions. *Frontiers in Psychology*, *6*(June), 1–13.

1252 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00834>

1253 Zhang, H., Anderson, N. C., & Miller, K. F. (2021). Refixation patterns of mind-wandering

1254 during real-world scene perception. *Journal of Experimental Psychology: Human*

1255 *Perception and Performance*, 47(1), 36–52. <https://doi.org/10.1037/xhp0000877>

1256

### 2.4.3 Synthèse et problématique

En ligne avec les arguments avancés dans l'introduction générale, la majorité des études montrent que le *mind wandering* correspond à une perturbation attentionnelle impactant l'encodage en mémoire épisodique, et se traduisant par une moindre récupération des items encodés, une moindre tendance à la recollection et moins de rappel de source. Seules quelques études évoquent un effet positif sur l'encodage, lorsque les pensées sont en lien avec des stimuli de l'environnement. Bien que ces résultats fournissent des arguments solides pour montrer l'influence cruciale du *mind wandering* sur la mémoire épisodique, nous pouvons observer certains écueils dans les méthodologies et paradigmes employés. Nous allons à présent synthétiser les différents points pouvant poser problème dans la littérature existante et formuler les questions auxquelles la présente thèse tâche de répondre.

Tout d'abord, la majorité des études passées en revue emploie des stimuli très décontextualisés, tels que des listes de mots. L'encodage en mémoire épisodique étant un processus associatif, des stimuli plus riches ou disposant d'un contexte particulier devraient être privilégiés afin de mieux rendre compte de la phénoménologie et du niveau de détails associé au rappel. Ces différents aspects, par ailleurs, sont rarement évalués ensemble dans la littérature décrite et celle-ci manque d'études évaluant de manière synthétique la mémoire épisodique, incluant à la fois un rappel des items, une évaluation de la phénoménologie du rappel et un rappel de la source. De plus, la grande majorité des études porte sur l'encodage volontaire. Or, cette forme d'encodage permet de mettre en place des stratégies pouvant potentiellement altérer le lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique. Ainsi, les évaluations actuelles du lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique sont relativement incomplètes, étant donné qu'elles mettent de côté des aspects importants du fonctionnement de cette mémoire. Une évaluation plus écologique – c'est-à-dire proche des situations de la vie réelle – permettrait de prendre en compte ces différentes caractéristiques du fonctionnement de la mémoire, en proposant des contextes d'encodage plus riche, plus proches des situations d'encodage quotidiennes et associées à des mesures mnésiques plus détaillées. Cette évaluation est d'autant plus importante que peu d'études ont abordé le *mind wandering* et la mémoire épisodique dans ce contexte-là.

Ensuite, si l'on examine la manière dont les études passées en revue ont été conduites, nous observons que la majorité d'entre elles reposent soit sur des mesures *online* (sondes de pensée, temps de réaction, mouvements oculaires) soit sur des mesures *offline*



(questionnaires) du *mind wandering*. Ces scores sont ensuite moyennés et mis en relation avec un score de mémoire global. Cependant, une telle méthode ne permet de rendre compte de l'impact du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique que de manière indirecte. Si la distribution des ressources attentionnelles à l'encodage est cruciale pour sa réussite et si le *mind wandering* détourne une partie de ces ressources pour les focaliser sur des stimuli internes, alors le degré de *mind wandering* devrait permettre de prédire la probabilité d'encoder un item donné. Cette prédiction permettrait de tester l'hypothèse d'un lien direct entre l'attention et la mémoire, tel que formulé au sein du modèle PRAM. De plus, une telle méthodologie, évaluant l'impact du *mind wandering* item par item et pas seulement de manière globale, permettrait également de rendre compte de l'aspect dynamique du *mind wandering*, en montrant que son intensité peut varier au cours de la tâche et que la probabilité d'encodage y est liée. L'emploi de régression logistique serait un moyen simple de rendre compte du lien *mind wandering*/encodage en mémoire épisodique de manière plus causale et prédictive. Enfin, étant donné que l'ensemble des études réalisées emploient des statistiques fréquentistes, ce type de régressions pourrait être effectué selon le *framework* bayésien, afin d'apporter un éclairage statistique différent sur cette thématique.

Ainsi, l'objectif de la présente thèse est de palier aux différents écueils listés plus haut, en réalisant des expériences visant à répondre aux questions suivantes :

- **Comment permettre une évaluation plus écologique et complète du lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique ?**
- **Comment rendre compte du lien causal entre l'émergence du *mind wandering* lors de l'encodage et la récupération des informations en mémoire épisodique ?**

Nous développerons dans le chapitre suivant les problèmes que nous venons de soulever et nous détaillerons les méthodes que nous avons sélectionné dans cette thèse pour y répondre.

## Chapitre 3

# Méthode et outils

### 3.1 Importance de l'approche écologique

L'une des volontés initiales lors de la mise en place de cette thèse était de tester l'impact du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique dans un contexte écologique. Nous verrons dans cette partie comment l'aspect écologique a été traité dans cette thèse, en décrivant notamment l'importance de l'encodage incident, l'emploi du *mind wandering* comme mesure naturelle des ressources attentionnelles et l'utilisation de la réalité virtuelle comme cadre pertinent pour étudier les interactions entre *mind wandering* et mémoire épisodique.

Imaginons un étudiant qui habite à dix minutes de l'université et fait ce trajet à pied tous les jours. La régularité ainsi que la simplicité de ce trajet font que le parcourir est une activité largement automatisée. En libérant de l'espace en mémoire de travail, l'automatisation d'une activité permet de diriger des ressources attentionnelles non utilisées vers les pensées internes. Ainsi, cet étudiant qui effectue ce trajet régulièrement aura de fortes chances d'être en plein *mind wandering* durant le trajet. Que se passera-t-il alors si, une fois arrivé à l'université, un de ses amis lui demande de décrire ce qu'il a vu en chemin ? Il est probable que l'étudiant en question ne se rappelle pas grand-chose, à l'exception peut-être d'éléments ayant particulièrement attiré son attention, éloignant momentanément celle-ci de ses pensées. Cet exemple permet d'illustrer deux points importants. Tout d'abord, l'attention fluctue en permanence. Que l'on soit allongé sur son lit, en train de marcher dans la rue ou en train de lire un manuscrit de thèse, un va-et-vient continu des ressources attentionnelles va avoir lieu entre le traitement des stimuli externes et internes. Ensuite, la constitution de souvenirs s'effectue bien souvent de manière incidente et dépend en grande partie de l'attribution des ressources attentionnelles à l'encodage. Cet exemple met aussi en exergue

combien les tâches expérimentales évaluant le *mind wandering* et la mémoire diffèrent des situations de la vie quotidienne, où ces processus surviennent. Comme nous l'avons vu dans l'introduction, de nombreuses études testant le *mind wandering* impliquent la réalisation d'une tâche durant laquelle le participant devra indiquer régulièrement son état attentionnel, les paradigmes les plus souvent utilisés étant des paradigmes d'attention soutenue tels que le SART ou le MRT.

Les études portant sur la mémoire épisodique, quant à elles, emploient le plus souvent des paradigmes d'encodage volontaire d'items la plupart du temps très simples (i.e., mots, images statiques) en condition de présentation stéréotypée (i.e., apparition de l'item prévisible, item décontextualisé). Le problème est que ces situations sont très spécifiques et peu représentatives de la vie de tous les jours, ce qui rend questionnable la généralisation des résultats observés en laboratoire aux situations quotidiennes. La capacité d'une tâche à rendre compte du fonctionnement cognitif en situation réelle correspond à sa validité écologique (Schmuckler, 2001). Trois dimensions sont proposées pour déterminer la validité écologique d'une tâche : le cadre expérimental (représente-t-il une situation réaliste ?), les stimuli présents (sont-ils proches des stimuli traités dans la vie quotidienne ?) et la réponse des participants (correspond-elle à une réaction habituelle ?). Un moyen simple de tester la validité écologique d'un test est de comparer les réponses à ce test avec des mesures des performances cognitives de la vie quotidienne, évaluée *via* des questionnaires (Burgess et al., 1998; Chaytor et al., 2006). Cependant, ce type d'évaluation n'est valable que pour des tests standardisés couramment utilisés et n'est pas toujours applicable dans le cas de paradigmes expérimentaux. Dans ces cas-là, il convient de faire en sorte que le paradigme en lui-même possède intrinsèquement un caractère écologique.

Plusieurs études ont déjà abordé le *mind wandering* ou la mémoire épisodique dans des contextes écologiques (Bruce, 1985; Fanning et al., 2016; Koriat & Goldsmith, 1994; Ostojic-Aitkens et al., 2019; Seli, Beaty, et al., 2018; Song & Wang, 2012; Steyvers & Hemmer, 2012; Warden et al., 2019), mais peu les ont traités simultanément. Pourtant, l'évaluation du *mind wandering* permet de mieux rendre compte des effets de l'attention sur la mémoire épisodique que l'emploi de paradigmes en attention divisée. Si ceux-ci peuvent représenter des situations de *multitasking* qui sont fréquentes au quotidien, cela n'en demeure pas moins des conditions expérimentales relativement éloignées des situations de la vie quotidienne. Le contexte éducatif fournit un cadre approprié pour étudier de manière

écologique l'influence du *mind wandering* sur la mémorisation. Plusieurs études décrites dans notre revue de littérature donnent un bon aperçu de l'impact du *mind wandering* sur la mémorisation des informations présentées dans un cours (Farley et al., 2013; Hollis & Was, 2016; Kane et al., 2017; Risko et al., 2012, 2013; Varao-Sousa et al., 2018, 2019; Varao-Sousa & Kingstone, 2015, 2019; Wammes et al., 2016; Wammes & Smilek, 2017). Celles-ci adoptent une structure similaire, incluant des sondes de pensées lors du déroulement de cours magistraux ou lors de la diffusion de ces cours en vidéo. Cependant, cette situation est très spécifique et caractérise une activité où les processus mnésiques sont impliqués de manière volontaire. Mais qu'en est-il de toutes ces situations où nous mémorisons des événements sans nous en rendre compte ? Si l'on réfléchit aux souvenirs marquants de notre vie, combien sont ceux que nous avons encodé volontairement ? Bien qu'à notre connaissance, aucune investigation n'ait été faite pour déterminer la proportion de souvenirs personnels ayant été encodés de manière volontaire, certains auteurs avancent cette idée que l'encodage se fait la plupart du temps de manière incidente (Goetschalckx et al., 2019; Hale et al., 2020; Köster et al., 2014; Vingerhoets et al., 2005). Pourtant, seules cinq études emploient une procédure d'encodage incident pour évaluer l'impact du *mind wandering* sur la mémoire épisodique (Chinchanachokchai et al., 2020a, 2020b; Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016b; Smallwood, O'Connor, et al., 2004). L'emploi de tâches de mémoire volontaire pourrait altérer le lien entre ces deux processus, car elles pourraient impliquer des traitements stratégiques entraînant une plus grande focalisation ou un meilleur engagement sur la tâche à effectuer. Une tâche d'encodage incident permettrait de limiter les facteurs influençant à la fois l'attention et la mémoire, et de rendre donc leur relation plus évidente.

Comme nous l'avons vu précédemment, la mémoire épisodique a comme spécificité d'être une mémoire contextualisée. Son contenu est associé à des détails contextuels, spatio-temporels ou émotionnels. En outre, ce contenu est explorable grâce au voyage mental, permettant de revivre les événements vécus, et même de les manipuler pour se projeter dans le futur. Malheureusement, ces différents aspects spécifiques à la mémoire épisodique sont souvent difficiles à appréhender et à mesurer dans des tâches de mémoire classique. Ces tâches – rétention de mots, le plus souvent – sont pensées pour évaluer les capacités mnésiques en limitant le plus possible toute interférence de l'environnement. Ce faisant, elles s'éloignent des situations de la vie de tous les jours où l'encodage se fait dans un contexte riche en stimuli. Ces stimuli environnementaux peuvent certes agir en tant que distracteurs, mais ils peuvent également favoriser la création d'associations entre les

différents éléments de l'environnement et ainsi favoriser l'encodage. Un des outils permettant d'effectuer des expériences dans un contexte écologique riche en stimuli est la réalité virtuelle. En effet, cette technologie permet de simuler des environnements riches en détails, similaires aux conditions dans lesquelles nous employons notre mémoire dans la vie de tous les jours. Mais contrairement à une approche en environnement réel, l'expérimentateur a le contrôle total sur ce qui est présenté aux participants (Rizzo et al., 2004). L'avantage principal de cette technique, comparé aux tâches de laboratoire classique, est qu'elle permet une meilleure évaluation du fonctionnement cognitif réel, car les tâches effectuées, les processus cognitifs et les corrélats physiologiques impliqués seront plus proches des conditions de la vie quotidienne (Armougum et al., 2019; Parsons et al., 2008; Schultheis et al., 2002). En effet, peut-on dire qu'apprendre une liste de mots est véritablement représentatif des processus mnésiques utilisés au quotidien ? Cette question est d'autant plus pertinente quand il s'agit de la mémoire épisodique qui, comme nous l'avons vu, repose en grande partie sur des associations d'informations environnementales pour produire un contenu riche et détaillé. La réalité virtuelle a été employée avec succès pour tester la mémoire épisodique dans différents contextes. Par exemple, le fait d'être actif dans l'environnement (déplacer son avatar au lieu d'observer passivement) a été associé à de meilleures performances mnésiques tant pour les items que leur position spatiale ou la configuration de l'environnement (Brooks, 1999; Carassa et al., 2002; Plancher et al., 2013; Sauzéon et al., 2012). La richesse d'un environnement virtuel est d'un intérêt notable pour les tâches en mémoire épisodique, car elle permet d'évaluer le *binding* des différents composants de la mémoire épisodique (Jebara et al., 2014; La Corte et al., 2019; Plancher et al., 2010, 2012).

Cependant, si la réalité virtuelle est un outil de plus en plus utilisé dans le cas de l'évaluation de la mémoire, cet outil a très peu été employé dans le cadre de l'étude du *mind wandering*. Parmi les rares études effectuées, Lin et al. (2016) ont, par exemple, testé comment le niveau de détails perceptifs (manifesté par un *feedback* kinesthésique lors de la conduite) affecte l'occurrence du *mind wandering* (mesuré *via* des mesures implicites tels les temps de réaction et des mesures EEG) lors d'une conduite d'un véhicule dans un environnement virtuel. Leurs résultats montrent que, sans *feedback* kinesthésique, les participants sont plus alertes et s'engagent moins dans des épisodes de *mind wandering*. Cette étude illustre deux intérêts principaux de la réalité virtuelle pour l'évaluation du *mind wandering*. Premièrement, la réalité virtuelle permet de reproduire des situations typiques

où le *mind wandering* survient, comme dans la conduite automobile (He et al., 2011; Qu et al., 2015; Yanko & Spalek, 2014). Le fait de reproduire les conditions dans lesquelles le *mind wandering* apparaît dans la vie de tous les jours permettrait alors de mieux comprendre les facteurs qui influencent son occurrence. Le deuxième avantage de la réalité virtuelle est qu'elle permet de manipuler ces facteurs d'influences, tel le degré d'informations perceptives fournit aux participants, en l'occurrence. Si le retour kinesthésique était dû au dispositif de conduite dans lequel les participants étaient placés, une telle simulation n'est pertinente qu'en conjonction avec un environnement virtuel. Effectuer cette manipulation dans un environnement naturel serait ardu, et employer un paradigme expérimental plus classique ne permettrait pas de reproduire aussi fidèlement les situations dans lesquelles le *mind wandering* survient. La réalité virtuelle offre donc un bon compromis entre validité écologique et manipulation expérimentale. Cependant, à l'exception de quelques travaux portant sur des simulations de conduite automobile en réalité virtuelle (Bernstein et al., 2019; Lin et al., 2016), peu d'études ont tiré parti de la réalité virtuelle pour étudier le *mind wandering* et aucune d'entre elles n'a employé la réalité virtuelle pour mettre en lien *mind wandering* et mémoire épisodique. Ce manque dans la littérature est la raison qui nous a conduit à concevoir notre première étude autour d'un environnement en réalité virtuelle. L'idée était de simuler la situation décrite plus haut, d'un piéton se déplaçant dans une ville et de tester dans quelle mesure les variations spontanées de son attention pourraient influencer la mémorisation incidente de son environnement. Ainsi, c'est une méthode prédictive qui a été favorisée dans l'analyse des données tout au long de cette thèse, afin de rendre compte au mieux de la relation entre *mind wandering* et encodage en mémoire épisodique.

### 3.2 Prédiction des scores de mémoire par ceux du *mind wandering*

Comme indiqué précédemment, plusieurs articles soulignent à quel point l'attention est cruciale pour la mémoire et vont jusqu'à proposer que la mémoire soit considérée comme une trace persistante et durable de l'attention (Chun & Johnson, 2011; Chun & Turk-Browne, 2007; Long et al., 2018). Le modèle PRAM (Chun & Johnson, 2011) postule ainsi que l'attention perceptuelle et l'attention réflexive sont toutes les deux associées à la mémorisation incidente des informations externes ou internes (selon le type d'attention impliqué). Cette idée est particulièrement pertinente dans le cas du *mind wandering*, compte tenu de la manière dont ce phénomène interfère avec le traitement des informations externes et leur

rétenion ultérieure. Nous allons donc exposer dans cette partie en quoi la méthodologie employée dans les études de cette thèse vise à refléter au mieux les interactions *mind wandering*/mémoire épisodique et ce qu'elle apporte par rapport aux études existantes.

En examinant la littérature qui lie le *mind wandering* et la mémoire, on peut remarquer qu'il n'y a pas de manière standardisée de lier les deux à travers un paradigme et que plusieurs méthodologies co-existent (Weinstein, 2018), les deux méthodes principales consistant en une évaluation *off-line* ou *on-line* du *mind wandering*. Plusieurs études, notamment parmi les plus anciennes, effectuent une seule mesure *a posteriori* du *mind wandering* qui sera ensuite mise en relation avec une mesure globale de la mémoire. Une des premières formes de cette méthodologie consiste simplement à reporter les pensées survenues pendant la tâche (Seibert & Ellis, 1991). Une autre version, plus répandue, consiste à utiliser un questionnaire après la tâche pour obtenir rétrospectivement une évaluation quantitative du *mind wandering*. Le *Dundee Stress State Questionnaire* (DSSQ ; Matthews et al., 1999), et plus précisément sa sous-échelle évaluant les pensées personnelles, est ainsi fréquemment employé (Maillet & Rajah, 2013; Riby et al., 2008; Smallwood et al., 2006; Smallwood, Baracaia, et al., 2003; Smallwood, Davies, et al., 2004). En lieu et place d'un questionnaire, il est aussi possible d'employer des échelles donnant une mesure globale de la fréquence d'apparitions de pensées non liées à la tâche (Chinchanachokchai et al., 2020a, 2020b). Cette méthodologie rétrospective a comme principal avantage d'être non-invasive. En effet, mesurer le *mind wandering* pendant la tâche pourrait influencer son occurrence, surtout si les évaluations sont fréquentes. L'évaluation répétée dans un court laps de temps pourrait en effet entraîner un biais dans le report des épisodes de *mind wandering*, les participants étant moins prompts à déclarer qu'ils sont engagés dans un épisode de *mind wandering* si on leur demande fréquemment (Seli, Carriere, et al., 2013). Par ailleurs, cette évaluation rétrospective permet d'effectuer une évaluation plus détaillée des pensées survenues pendant la tâche, permettant ainsi d'en évaluer le contenu, la valence émotionnelle, leur intentionnalité ou leur direction temporelle. Il est possible d'effectuer une telle évaluation pendant la tâche, mais l'ajout de questions supplémentaires risquerait de parasiter celle-ci d'autant plus. Cependant, cette méthodologie ignore une composante fondamentale du *mind wandering* : sa dynamique temporelle (Christoff et al., 2016). Une mesure générale rétrospective ne permet pas de détecter à quels moments les épisodes de *mind wandering* sont survenus et quels items ont pu être affectés durant l'encodage. Ainsi, la méthode rétrospective ne permet de tester le lien entre *mind wandering* et performances

en mémoire que de manière globale, ce qui est peu informatif quant à leur relation. Il est difficile de savoir, en utilisant cette méthode, à quel point les processus de mémoire sont impactés par l'occurrence du *mind wandering*. Par ailleurs, une évaluation rétrospective des épisodes de *mind wandering* peut requérir l'emploi de processus cognitifs supplémentaires par rapport à une évaluation en temps réel. En effet, une évaluation rétrospective est comparable à une tâche de mémoire portant sur le contenu de ses pensées et pourrait requérir des capacités de métacognition supérieures. Au vu de ces différents points, nous arguons que la méthode rétrospective n'est pas suffisante pour rendre compte du lien entre *mind wandering* et encodage en mémoire épisodique.

L'autre méthode principale pour tester le *mind wandering* lors d'une tâche d'encodage est de tester régulièrement l'état attentionnel des participants lors de la tâche. La méthode la plus simple est de demander aux participants d'indiquer spontanément quand ils remarquent qu'ils ne sont plus concentrés sur la tâche (Grandchamp et al., 2014; Varao-Sousa & Kingstone, 2019). Cette méthode peut cependant présenter des problèmes de fiabilité, car elle repose sur les capacités de métacognition et de monitoring des pensées des sujets (Schooler et al., 2011; Seli, Smilek, et al., 2018). Une alternative plus contrôlée et fréquemment utilisée est d'employer des sondes de pensées pour venir interrompre la tâche à plusieurs reprises et tester l'état attentionnel des participants au moment de la sonde. Ces sondes sont le plus souvent catégorielles, distinguant les états attentionnels *on-task/off-task* (Weinstein, 2018). Cette distinction est cependant très sommaire et il a été montré que le taux de *mind wandering* reporté par les participants variait si les options de réponse étaient présentées de manière dichotomique ou de manière graduée (Seli, Beaty, et al., 2018). Ces distinctions peuvent être affinées en ajoutant d'autres catégories de *mind wandering*, comme le fait d'être indépendant ou non d'un stimulus (Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011), d'être intentionnel ou involontaire (Seli, Risko, & Smilek, 2016) ou encore d'être focalisé sur le passé, le présent ou le futur (Smallwood, Nind, et al., 2009). Il est rare cependant que toutes ces évaluations soient effectuées ensemble, car cela alourdirait la procédure et pourrait parasiter la tâche principale. On remarque également qu'il n'y a pas de consensus sur le nombre de sondes à implémenter dans une tâche, celui-ci pouvant aller de quelques-unes (Fenesi et al., 2018; Jing et al., 2016; Pan et al., 2020; Wammes et al., 2016) à une vingtaine (Kane et al., 2017; Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016b), voire à plus d'une trentaine (Zhang et al., 2021). Le nombre de sondes à implémenter n'étant pas standardisé, sa détermination va donc dépendre principalement des contraintes de la tâche. Enfin, la



manière dont les sondes de pensées sont présentées doit être prise en considération, étant donné que des biais dans le report du *mind wandering* ont été observés selon la manière dont la sonde était présentée (Vinski & Watter, 2012; Weinstein et al., 2018). La méthode des sondes de pensées a comme principal avantage de permettre d'établir un décours temporel dans l'évolution du *mind wandering* lors de la tâche et d'observer comment les fluctuations de l'attention sont associées à l'encodage des items. Malheureusement, la plupart des études n'exploitent pas vraiment cet avantage et se cantonnent à calculer un score moyen d'attention à l'encodage et de le mettre en relation avec des scores moyens de mémoire, comme avec la méthodologie rétrospective. Bien entendu, ces différentes méthodologies ne sont pas mutuellement exclusives, et il est possible de combiner à la fois des mesures continues et rétrospectives du *mind wandering* (Smallwood, O'Connor, et al., 2004). Combiner différentes méthodes est une bonne manière de tester leurs validités respectives en évaluant leur corrélation.

Si le *mind wandering* entraîne un découplage perceptif temporaire impactant le traitement des stimuli extérieurs et que la mémorisation dépend en grande partie des ressources attentionnelles allouées à l'encodage, alors il devrait être possible d'employer les scores de *mind wandering* mesurés durant la tâche pour prédire la probabilité de rétention des items perçus durant les épisodes de *mind wandering*. Quelques études ont exploité cette idée, mais toujours dans des contextes très spécifiques. Par exemple, Smallwood et al. (2006) ont évalué la probabilité qu'un mot soit rappelé sur la base de la recollection après une erreur de détection dans une version verbale du SART. Après une telle erreur, supposée être la résultante d'un relâchement attentionnel, les items étaient associés à une plus grande probabilité d'être récupérés *via* des processus de recollection, et non de familiarité. Cette expérience illustre la recapture attentionnelle générée par la réalisation d'une erreur, qui va temporairement inciter le participant à focaliser à nouveau son attention sur la tâche, entraînant un meilleur encodage des items successifs. Une autre expérience, par deBettencourt et al. (2018), utilise les temps de réaction lors d'une tâche d'encodage incident d'images pour prédire leur rétention ultérieure. Là aussi, le *mind wandering* est évalué de manière implicite, par l'accélération des temps de réaction lors des trois essais précédant l'item à encoder. Cette mesure prédira alors négativement la probabilité de reconnaissance des participants.

Inspiré par ces travaux, chaque étude de cette thèse emploie une méthodologie permettant d'évaluer l'impact direct du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique. Tout d'abord, la tâche d'encodage employée dans toutes les études est systématiquement une tâche d'encodage incident, afin de mieux rendre compte de l'impact des fluctuations attentionnelles sur la mémorisation, sans influence de processus stratégiques. Ensuite, concernant les sondes de pensées, des évaluations quantitatives ont été privilégiées, allant de 0 (totalement concentré sur la tâche) à 10 (totalement concentré sur mes pensées). Ce choix a été réalisé car la méthode des sondes dichotomiques représente une simplification de la distribution des ressources attentionnelles, celles-ci n'étant pas soit *totalement sur la tâche* soit *totalement sur les pensées*, mais pouvant au contraire être distribuées à différents degrés entre les deux (Seli, Beaty, et al., 2018). Par ailleurs, le score attribué à ces sondes de pensée permettrait de prédire de manière continue la probabilité d'encoder un item. En effet, étant donné que chaque item peut être soit reconnu soit oublié, il est possible d'employer des régressions logistiques pour prédire la probabilité de récupération d'un item sur la base du score attentionnel à l'encodage. Le principal inconvénient de cette méthodologie est qu'elle ne permet pas d'évaluer le contenu du *mind wandering* effectué par les participants. La question de l'intentionnalité, par exemple, n'est pas traitée dans les études de cette thèse. Cette distinction pourrait, à première vue, s'avérer essentielle, étant donné que Wammes et al. (2016) suggèrent que le *mind wandering* peut impacter différemment la rétention de connaissances universitaires selon qu'il soit intentionnel ou involontaire. Lorsque des étudiants s'engagent volontairement dans des épisodes de *mind wandering*, cela impactera négativement la rétention des informations évaluée par un test juste après le cours, mais aura peu d'impact sur la réussite aux partiels de fin d'année. En revanche, l'apparition de *mind wandering* spontané aura le *pattern* inverse : aucune prédiction des résultats aux tests suivant les cours, mais une prédiction négative des résultats aux partiels. Si ces résultats semblent indiquer un impact de l'intentionnalité sur le lien *mind wandering*/mémoire, il serait plus juste d'interpréter ces résultats comme une influence indirecte d'autres facteurs impactant l'occurrence du *mind wandering*. En effet, le *mind wandering* délibéré étant caractérisé par une baisse motivationnelle, le fait de manquer de motivation et de ne pas porter attention au contenu d'un cours ne signifie pas que tous les autres cours seront traités ainsi. À l'inverse, le *mind wandering* spontané refléterait de mauvaises capacités de contrôle exécutif, ce qui pourrait impacter la mémorisation sur de longues périodes. Par ailleurs, l'intentionnalité ne change

pas le fait que le *mind wandering* est associé à un découplage perceptif de l'intention, engendrant une baisse des performances attentionnelles, qu'il soit spontané ou délibéré (Seli, Cheyne, et al., 2015). À notre connaissance, une seule étude teste comment l'intentionnalité du *mind wandering* affecte l'encodage, mais aucune différence dans les performances mnésiques n'a été mise en évidence (Zhang et al., 2021). Ainsi, il n'y a pas de raison de penser que l'intentionnalité change fondamentalement la manière dont le *mind wandering* impacte l'encodage en mémoire épisodique. Que les épisodes de *mind wandering* soient déclenchés de manière spontanée ou volontaire, c'est la force de l'engagement attentionnel dans le traitement des stimuli internes ou externes qui devrait prédire leur mémorisation ultérieure.

### 3.3 Utilisation des statistiques bayésiennes

L'une des contributions de cette thèse est la mise en avant des statistiques bayésiennes dans le domaine des sciences cognitives. D'une manière générale, cette approche statistique est largement sous-utilisée par rapport à l'approche fréquentiste en dépit de ses nombreux avantages. Plus particulièrement, aucune étude testant l'impact du *mind wandering* sur la mémoire épisodique n'a à ce jour employé une telle approche. Nous allons voir dans cette partie quels sont les caractéristiques de cette approche et en quoi elle diffère de l'approche fréquentiste, afin d'exposer pourquoi elle a été privilégiée dans le cadre de cette thèse.

L'étude des processus cognitifs est par définition indirecte. C'est l'observation des comportements, des reports subjectifs ou des mesures neurophysiologiques qui permet d'en inférer leur fonctionnement et de les modéliser. Quantifier et évaluer de manière adéquate les relations entre ces différentes variables est donc crucial pour modéliser un objet d'étude qui, autrement, demeurerait intangible. Ainsi, il est capital de procéder à un traitement approprié des données, de comprendre ce qui se cache derrière les analyses statistiques que nous effectuons et de remettre en question les méthodes d'analyse établies. Les statistiques fréquentistes sont largement utilisées dans la recherche et sont celles qui sont les plus enseignées dans les cursus de psychologie. Malgré le fait qu'elle soit aussi répandue, cette approche est loin d'être la seule à la disposition des chercheurs. L'une des alternatives les plus importantes à la méthode fréquentiste correspond à l'approche bayésienne. Cette approche, basée sur l'établissement du théorème de Bayes au XVIII<sup>ème</sup> siècle, n'a pu prendre son essor qu'avec les moyens technologiques modernes, celle-ci demandant en effet

une puissance de calcul considérable pour générer des modèles sur la base des données observées. Avant de développer les principes de l'approche bayésienne, revenons aux fondements de l'approche fréquentiste pour mieux illustrer les différences entre ces deux conceptions des statistiques.

Avant toute chose, il convient de préciser que les mêmes types d'analyses peuvent être effectuées grâce aux deux approches. En effet, la différence entre la vision bayésienne et la vision fréquentiste réside davantage dans la philosophie sous-jacente et la manière dont les indices statistiques sont interprétés que dans la méthodologie à proprement parler. Dans l'approche fréquentiste, le principe de base est que les effets que les chercheurs veulent évaluer sont fixes et que les données observées sont un échantillon aléatoire représentatif d'une population théorique. En effectuant des observations répétées, il serait possible d'estimer la valeur – supposée fixe – d'un effet. Ainsi, lorsque l'on évalue les résultats d'une analyse statistique fréquentiste, on considère que les effets observés sont des estimations des effets réels. C'est là qu'intervient le test de l'hypothèse nulle : on va considérer par défaut que la valeur de l'effet est de 0 ( $H_0$  : pas d'effet) et tester si l'on peut rejeter cette hypothèse en faveur d'un effet d'une valeur différente ( $H_1$  : l'effet a une valeur supposée). Le test de l'hypothèse nulle est de très loin la méthodologie statistique la plus utilisée en psychologie (Cumming et al., 2007). C'est la fameuse *p-value* qui va nous permettre de résoudre ce test et déterminer si l'effet est *significatif* ou *non significatif*. Le fait est que l'interprétation de cet indice est souvent simplifiée et mal comprise (Colquhoun, 2014, 2017; Hubbard, 2011; X.-K. Lyu et al., 2020; Z. Lyu et al., 2018). Cet indice est, par exemple, souvent compris comme « le pourcentage de chance que  $H_0$  soit vraie ». Or, la façon correcte d'interpréter cet indice est la suivante : il correspond à la probabilité d'obtenir des données semblables aux données observées si l'on considère que l'hypothèse nulle est vraie. Le principal problème de cette approche est qu'elle ne concerne que  $H_0$  et ne renseigne qu'indirectement sur  $H_1$ . De plus, elle ne nous permet d'évaluer que la possibilité de rejeter  $H_0$ , pas la possibilité de l'accepter. Par ailleurs, c'est une décision basée sur une mesure dérivée, car  $p$  n'indique pas la probabilité que  $H_0$  soit fautive, elle n'indique qu'une possibilité d'obtenir les résultats actuels si  $H_0$  est vraie. C'est pour cela que les tests fréquentistes sont associés à un intervalle de confiance indexé sur la valeur  $p$ . Un intervalle de confiance de 95% signifie que, si l'on répète la même étude sur un nouvel échantillon, il y aurait 95% de chance que la valeur réelle de l'effet soit contenue dans cet intervalle. Le problème est que l'approche fréquentiste effectue un va-et-vient permanent entre l'estimation de la valeur d'un effet et sa comparaison

avec un effet réel supposé. Interpréter les statistiques fréquentistes requiert donc de conserver les présupposés de cette approche, ce qui peut générer de mauvaises interprétations

La méthode bayésienne repose sur une approche radicalement différente qui ne requiert pas les présupposés de l'approche fréquentiste. En effet, dans le cadre bayésien, les effets ne sont pas considérés comme fixes, mais sont traités comme des variables aléatoires. Ainsi, le but n'est pas d'estimer un effet *réel*, mais plutôt d'estimer la probabilité d'existence d'un effet compte tenu des données observées. L'effet ne correspond donc pas à une valeur unique, mais à une distribution de valeurs probables. Ainsi, pour évaluer la probabilité qu'un paramètre donné soit associé à un effet, un chercheur bayésien va tenter d'estimer cet effet à partir des données observées et des connaissances préexistantes (*priors*). En simulant un large échantillon de données dérivées des données réelles et des *priors*, on obtient la *distribution postérieure*, qui correspond à une distribution de valeurs possibles pour un effet. L'évaluation des effets se fait alors *via* la description de cette distribution postérieure. L'un des indicateurs les plus courants pour évaluer l'existence d'un effet est le *Bayes Factor* (BF ; Kass & Raftery, 1995). Le BF donne plus d'informations que la *p-value* tout en étant plus facile à interpréter. Le BF correspond à un score allant de 0 à  $\infty$  correspondant aux chances qu'un modèle soit plus probable qu'un autre, compte tenu des données observées. Plus il est supérieur à 1, plus H1 est probable par rapport à H0, et plus il est inférieur à 1, plus H0 est probable par rapport à H1. La valeur donnée par le BF permet donc une évaluation de la probabilité des deux hypothèses à partir des données observées. C'est une différence fondamentale avec l'approche fréquentiste où l'on considère par défaut que H0 est vraie jusqu'à ce que l'on puisse la rejeter. Dans l'approche bayésienne, il est possible de quantifier notre incertitude à la fois pour H0 et pour H1. Le BF est un indicateur convénient, mais il est également très sommaire et ne permet pas, à lui seul, de rendre compte d'effets dans des modèles plus complexes. Une autre approche propose de décrire la distribution postérieure plus en détails pour évaluer les effets observés (Makowski, Ben-Shachar, Chen, et al., 2019). Cette approche permet d'employer des modèles linéaires généraux mixtes, une catégorie spécifique de modèles généraux mixtes (McCullagh & Nelder, 1989), dont la spécificité est d'inclure des variables d'intérêts considérées comme fixes, tout en contrôlant l'influence d'effets aléatoires tels que les sujets ou les items. La médiane est l'indice de centralité recommandé pour décrire un effet, car il est moins sensible aux valeurs extrêmes que la moyenne. Cette médiane va ensuite être associée à un intervalle de crédibilité (*Credible*

*Interval* ; CI), correspondant simplement à une fourchette de valeurs possible pour l'effet. Celle-ci contient 90% des valeurs de la distribution postérieure, bien que des recommandations plus récentes suggèrent d'employer un intervalle de 89% (McElreath, 2015). Il est important de noter ici que l'intervalle de crédibilité de l'approche bayésienne n'a pas la même signification que l'intervalle de confiance fréquentiste. Mais ces indicateurs sont purement descriptifs et ne permettent pas d'estimer la probabilité qu'un effet existe ou non. L'existence d'un effet est déterminée *via* la probabilité de détection (*Probability of Detection* : *pd* ; Makowski, Ben-Shachar, & Lüdtke, 2019; Makowski, Ben-Shachar, Chen, et al., 2019). Cet indicateur correspond simplement au pourcentage de valeurs de la distribution postérieure qui sont du même signe que la médiane. La *pd* s'exprime donc en pourcentage allant de 50% à 100%. Plus le pourcentage est haut, plus les données sont cohérentes entre elles, et plus il est probable qu'un effet existe. La *pd* peut être considérée comme le pendant bayésien de la *p-value*, celle-ci pouvant être approximée en soustrayant la *pd* à 1. Elle est cependant plus facile à interpréter car elle ne nécessite pas les prérequis théoriques de la *p-value*. Enfin, un dernier indice existe pour déterminer à quel point cet effet, s'il existe, est *significatif*. Ici, la « significativité » fait simplement référence au fait de déterminer si l'effet est négligeable ou non, d'une manière assez semblable à la taille d'effet de l'approche fréquentiste. Étant donné que la distribution postérieure fournit un intervalle de valeurs possibles pour un effet, tester si cet effet est différent de zéro (une valeur fixe) n'a pas beaucoup de sens. Dans ce cas, il faudra déterminer un intervalle autour d'un point donné qu'on considérera comme une « région d'équivalence pratique » (*Region Of Practical Equivalence* : *ROPE* ; Makowski, Ben-Shachar, & Lüdtke, 2019; Makowski, Ben-Shachar, Chen, et al., 2019) et d'évaluer la proportion de la distribution postérieure qui se chevauche avec cet intervalle. Plus le pourcentage est élevé, et plus l'effet est négligeable, plus il est faible, plus l'effet est significatif. Ainsi, en observant la distribution postérieure d'un effet, il est possible d'estimer sa valeur, la probabilité qu'il existe et la probabilité qu'il soit négligeable ou non.

Dans la première étude (Blondé et al., 2020), un effort de conciliation entre la méthodologie bayésienne avec la rhétorique fréquentiste a été tenté, en indiquant qu'un effet associé à une *pd* > 95% serait considéré comme *significatif*. Dans la deuxième étude (Blondé et al., *accepté*), un seuil plus conservateur de 97% (qui est plus étroitement corrélé à  $p < .05$ ) a été spécifié comme principal critère pour discuter des effets. En outre, l'emploi du terme *significatif* a été abandonné au profit d'une évaluation de la certitude associée à l'existence

d'un effet. Cette manière d'aborder les effets est à la fois plus simple à comprendre et plus fidèle à la philosophie bayésienne. Enfin, dans la troisième étude (Blondé et al., *in prep*), la description des effets a été décomposée en indiquant leur probabilité d'existence (*pd*) et en ajoutant un indicateur de significativité (*%ROPE*). Comme nous l'avons vu précédemment, « significativité » doit être compris ici comme la probabilité que l'effet soit négligeable ou non. L'indice central pour la description des données reste la *pd*, car cet indice est plus simple à interpréter et peut être facilement converti en *p value*, pour donner un point de repère plus

Probabilité de détection ( <i>pd</i> )	Interprétation
<i>pd</i> ≤ 95%	Effet incertain
<i>pd</i> > 95%	Effet possible
<i>pd</i> > 97%	Effet vraisemblable
<i>pd</i> > 99%	Effet probable
<i>pd</i> > 99.9%	Effet très probable

**Table 1** Grille d'interprétation de la probabilité de détection (Makowski, Ben-Shachar, & Lüdtke, 2019)

abordable pour les chercheurs non familiers avec l'approche bayésienne. L'utilisation de seuils différents entre la première et la deuxième étude ne change rien aux résultats, car la grille d'interprétation employée est la même entre les deux études. Un effet associé à *pd* > 95% sera considéré comme un effet *possible* tandis qu'un autre associé à *pd* > 97% sera considéré comme *vraisemblable* (voir **Table 1**). Cependant, dans l'approche bayésienne, les seuils sont davantage considérés comme des points de repère pour

nous aider à quantifier notre incertitude que comme des critères absolus. Ne pas se reposer sur des seuils rigides permet d'éviter un autre écueil de l'approche fréquentiste, où un effet associé à  $p = 0.49$  sera considéré comme significatif, tandis qu'un autre associé à  $p = 0.51$  ne le sera pas. Enfin, concernant les *priors* employés dans les modèles, des *priors* peu informatives (probabilité égale assignée à chaque effet attendu) ont été spécifiées afin que la distribution postérieure soit principalement calculée à partir des données. C'est une façon de laisser les données parler d'elles-mêmes, en limitant l'influence des connaissances préalables dans l'équation. Ce choix a été fait car nous ne disposons pas de données antérieures permettant d'établir une *prior*. En effet, les *priors* sont particulièrement utiles lorsqu'un chercheur souhaite mettre à jour ses connaissances antérieures avec de nouvelles informations. Si une expérience est répétée, par exemple, il est possible d'inclure les résultats de la première expérience dans les modèles de la seconde en tant que "connaissances préalables" et de vérifier si les données ont évolué ou non. Bien que les études de cette thèse possèdent une structure similaire, les différences de paradigmes font qu'employer leurs

résultats en tant que *priors* aurait pu biaiser les données. L'utilisation des statistiques bayésiennes dans cette thèse représente donc, au-delà de l'apport spécifique au champ d'étude du *mind wandering* et de la mémoire épisodique, une volonté de participer à un mouvement plus général de contestation et d'amélioration des pratiques statistiques dans les sciences cognitives.





## Chapitre 4

# Évaluation du lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique en environnement virtuel

### 4.1 Introduction

La première étude de cette thèse a pour ambition d'évaluer la capacité prédictive du *mind wandering*, vis-à-vis de l'encodage incident en mémoire épisodique dans un environnement complexe et à forte valeur écologique.

Cette expérience innove par rapport à la littérature existante car elle est la première étude mettant en lien le *mind wandering* et la mémoire épisodique dans un environnement virtuel. L'idée principale de cette expérience était de simuler une situation courante de la vie quotidienne : celle d'une promenade en environnement urbain, au cours de laquelle l'esprit se met à vagabonder, et va donc influencer naturellement le traitement des informations de l'environnement. La tâche se veut simple : les participants doivent se rendre jusqu'à une gare en suivant des panneaux indicateurs (clairement visibles et disséminés régulièrement dans l'environnement). La simplicité de la tâche implique une faible charge en mémoire de travail et est censée permettre l'émergence du *mind wandering*. Au cours de ce trajet, dix scènes réalistes – telles qu'une femme caressant un chat ou un homme prenant en photo une statue – sont rencontrées par les participants. Ces scènes sont volontairement discrètes, pour éviter des effets de saillance perceptive. Néanmoins, afin de garantir que l'attention des participants s'y pose, elles sont systématiquement placées à côté de certains panneaux indicateurs que les participants doivent détecter. Après la rencontre de chacune de ces scènes, une sonde de pensée apparaît au milieu de l'écran, suivant un délai aléatoire d'une à trois secondes. Celle-ci demande au participant de quantifier dans quelle mesure il est soit

“totalement concentré sur l’environnement”, soit “totalement concentré sur ses pensées”, les deux propositions correspondant aux extrémités d’une échelle de Likert allant de 0 à 10. La tâche est mise en pause pendant la complétion des sondes de pensée et reprend lorsque les participants y ont répondu. Cette méthodologie permet donc, en accord avec les objectifs de cette thèse, d’associer chaque scène encodée incidemment à une mesure du niveau de *mind wandering*, afin d’utiliser celle-ci pour prédire les performances mnésiques.

La récupération s’effectue 15 à 20 minutes après la tâche d’encodage (d’une dizaine de minutes) et se trouve composée d’une tâche de reconnaissance factuelle – où les scènes sont présentées aux côtés de distracteurs – d’une tâche de RKG, pour évaluer la phénoménologie associée au rappel, ainsi que de tâches de mémoire contextuelle, l’une spatiale et l’autre temporelle. L’objectif est d’effectuer une évaluation complète de la mémoire épisodique lors de la tâche. Cette étude est également la première à employer un paradigme RKG dans le cadre de l’étude du *mind wandering* sur la mémoire, les autres utilisant des mesures plus implicites (Maillet & Rajah, 2014; Riby et al., 2008; Smallwood et al., 2006, 2007; Smallwood, Baracaia, et al., 2003). Comme annoncé précédemment, l’emploi de statistiques bayésiennes a été privilégié pour traiter les données de cette expérience. Chaque effet est donc associé, non pas à une *valeur p*, mais à un pourcentage permettant de quantifier graduellement l’incertitude quant à l’existence de chaque effet.

## 4.2 Article publié (Blondé et al., 2020)



# In Medio Stat Virtus: intermediate levels of mind wandering improve episodic memory encoding in a virtual environment

Philippe Blondé<sup>1</sup> · Dominique Makowski<sup>1</sup> · Marco Sperduti<sup>1</sup> · Pascale Piolino<sup>1,2</sup>

Received: 10 November 2019 / Accepted: 9 May 2020  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

## Abstract

Episodic memory encoding is highly influenced by the availability of attentional resources. Mind wandering corresponds to a shift of attention toward task-unrelated thoughts. Few studies, however, have tested this link between memory encoding and mind wandering. The goal of the present work was to systematically investigate the influence of mind wandering during encoding on episodic memory performances in an ecological setting. Fifty-two participants were asked to navigate in a virtual urban environment. During the walk, they encountered different scenes that, unbeknownst to the participants, were target items presented in a subsequent recognition task associated with a Remember–Know–Guess paradigm. Each item triggered, after a random interval, a thought probe assessing current mind wandering. We found a significant linear positive relationship between the ratio of correctly recognized items and the overall mind wandering reported after the task. Moreover, we found a quadratic reversed U-shaped relationship between the probability of giving a ‘Remember’ response and both on-line and mind wandering reported a posteriori. The nearer to the medium value the level of mind wandering was, the higher was the probability to have a recollection-based recognition. Our results indicate that in a complex environment, the highest probability of actually remembering a scene would be when participants present a medium attentional level: neither distracted by inner thoughts nor too focused on the environment. This open attentional state would allow a better global processing of the environment by preventing one’s attention from being captured by internal thoughts or narrowed by an over-focusing on the environment.

## Introduction

Who has never experienced the situation of being in a boring talk, spending most of the time thinking about something else and, afterward, being clueless when trying to recall what the speaker was talking about? It seems obvious that memorization will be hindered when not paying attention. However, while there is an abundant literature investigating how attentional manipulations (e.g., divided attention paradigms) impact memory, few studies have tested the link between spontaneous attentional fluctuation (mind wandering) and memory encoding. More specifically, to our knowledge, none has tested this link in ecological conditions. Thus, this study aims at expanding the field of research of attention and memory by testing the impact of mind wandering on episodic memory encoding, using a virtual reality paradigm.

Episodic memory is the long-term memory system responsible for encoding and storing information about specific events retrieved alongside their spatio-temporal context (Tulving, 1972, 2002). According to the dual

---

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

---

✉ Philippe Blondé  
philippe.blonde93@gmail.com

Dominique Makowski  
dom.makowski@gmail.com

Marco Sperduti  
marco.sperduti@parisdescartes.fr

Pascale Piolino  
pascale.piolino@parisdescartes.fr

<sup>1</sup> Laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition (URP 7536), Institut de Psychologie, Université de Paris, 71 avenue Ed. Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt, Ile de France, France

<sup>2</sup> Institut Universitaire de France, Paris, France

processes model (Wixted, 2007; Yonelinas, 1994), there are two ways to recognize previously encoded information: from recollection or from familiarity (Yonelinas, 2001). On one hand, a recollection-based recognition corresponds to a conscious remembering of both the item and the spatial and temporal context associated with it. This state of consciousness is associated with a mental time travel allowing to revive the event (Hasselmo, 2009; Tulving, 2002). On the other hand, familiarity-based recognition is based on semantic processes, and is characterized by the absence of contextual association. The two processes are independent and can be influenced separately (Gardiner & Java, 1996). One major factor determining the ability to retrieve an item is the quality of its encoding (Atkinson & Shiffrin, 1971; Craik & Lockhart, 1972), and among the different processes influencing memory encoding, attention plays a crucial role (Chun & Johnson, 2011; Chun & Turk-Browne, 2007). Many studies have pointed out the influence of attention on memory encoding, mainly through divided attention paradigms (Fernandes & Moscovitch, 2000). Indeed, dividing attention between a memory and a concurrent task limits the amount of cognitive resources available for each of them, and results in a decrease in memory performances (Craik, Naveh-Benjamin, Govoni, & Anderson, 1996; Jennings & Jacoby, 1993). The effect of divided attention is especially important during the encoding phase, while its effect during retrieval is either dependent on the nature of the competing task (Fernandes & Moscovitch, 2000; Wammes & Fernandes, 2016) or negligible (Iidaka, Anderson, Kapur, Cabeza, & Craik, 2000; Naveh-Benjamin, Craik, Guez, & Dori, 1998). The opposite is also true: facilitating attentional treatment during encoding improves perceptual processing and increases the probability of a successful recognition (Sperduti, Armougum, Makowski, Blondé, & Piolino, 2017; Turk-Browne, Golomb, & Chun, 2013; Uncapher, Hutchinson, & Wagner, 2011). Concerning the influence of attention on the consciousness state associated with recognition, it appears that dividing attention at encoding leads to a specific diminution of the rate of Remember responses (Curran, 2004; Yonelinas, 2001), while leaving Know responses relatively unaltered (Gardiner & Parkin, 1990).

Altogether, these results highlight the critical role of attentional processes for a successful encoding. However, most of the studies have tested the influence of attention on memory in a laboratory setting and with simple stimuli such as static images (Wammes & Fernandes, 2016) and words (Craik et al., 1996; Iidaka et al., 2000; Mulligan, 1998). These conditions are certainly quite far from the attentional and memory demands encountered in everyday life situations. An increasing number of works has pointed out the pertinence of employing virtual reality for studying both attentional (Bier, Ouellet, & Belleville, 2018; Camara Lopez, Deliens, & Cleeremans, 2016; Harand, Mondou,

Chevanne, Bocca, & Defer, 2018; Lengenfelder, Schultheis, Al-Shihabi, Mourant, & DeLuca, 2002; Plancher, Gyselinck, & Piolino, 2018), and memory processes (Abichou et al., 2019; Abichou, La Corte, & Piolino, 2017; Jebara, Orriols, Zaoui, Berthoz, & Piolino, 2014; La Corte, Sperduti, Abichou, & Piolino, 2019; Ouellet, Boller, Corriveau-Lecavalier, Cloutier, & Belleville, 2018; Plancher, Barra, Orriols, & Piolino, 2013; Plancher, Gyselinck, Nicolas, & Piolino, 2010; Plancher, Tirard, Gyselinck, Nicolas, & Piolino, 2012; Sauzéon, N’Kaoua, Arvind Pala, Taillade, & Guitton, 2016) in a more ecological way. Moreover, another way to study more ecologically the influence of attention on memory would be by assessing one common attentional phenomenon that everybody experiences on a daily basis: mind wandering.

Defining mind wandering is a complex matter, as it encompasses many different and sometimes contradictory situations. Classically, mind wandering is defined as a state of consciousness characterized by the experience of thoughts unrelated to the ongoing task (Giambra, 1989), attentional lapses (Smallwood, Davies, et al., 2004), or stimulus-independent thoughts (Antrobus, 1968). All these terms define overlapping phenomena, but some aspects of mind wandering are still, to this day, a matter of debate (see Seli et al., 2018a, b for a review). In the present paper, we focus more specifically on the variations of mind wandering during a task. Indeed, mind wandering is a dynamical process characterized by the spontaneous fluctuation of the attentional focus between different cognitive states, in particular from an ongoing task to inner thoughts (Christoff, Irving, Fox, Spreng, & Andrews-Hanna, 2016). As mind wandering tends to occur in about 45% of our daily mental activities (Killingsworth & Gilbert, 2010), it implies that attention can vary in a gradual way between the task at hand and irrelevant thoughts, as it would be impossible to proceed through daily activities if mind wandering was an all or nothing process. Thus, to take into account this dynamic, it is important to have a continuous measure of mind wandering that allows the participant to determine the importance of its attentional variations.

The studies testing the specific influence of mind wandering on memory focus mainly on text comprehension and images/words recall. As expected, mind wandering during both incidental and intentional encoding leads to a lesser recall of information (deBettencourt, Norman, & Turk-Browne, 2018; Seibert & Ellis, 1991; Smallwood, O’Connor, Sudberry, Haskell, & Ballantyne, 2004; Smallwood, O’Connor, Sudbery, & Obonsawin, 2007), a higher rate of false recognition (Smallwood, Baracaia, Lowe, & Obonsawin, 2003) and a worsened understanding of the material (Farley, Risko, & Kingstone, 2013; Feng, D’Mello, & Graesser, 2013; Risko, Anderson, Sarwal, Engelhardt, & Kingstone, 2012; Schooler, Reichle, & Halpern, 2005).

Concerning the state of consciousness associated with recognition, one study based on electrophysiological findings pointed out that mind wandering hinders recollection-based but not familiarity-based word recognition (Riby, Smallwood, & Gunn, 2008). In their study, no explicit measure of recollection/familiarity was used and assessment of mind wandering was conducted retrospectively, using a questionnaire to distinguish subjects with high and low frequency of task-unrelated thoughts.

Our study's purpose was to extend the findings of Riby et al. (2008) by adding an online and systematic evaluation of mind wandering coupled with explicit measures of recollection/familiarity for each item in order to compute a predictive model of recognition. Moreover, to provide an ecological assessment of the interplay between attention and memory, we used virtual reality to simulate the incidental encoding of naturalistic scenes during the navigation in a virtual town. Mind wandering was assessed with online thought probes occurring at the encoding of each scene. Then, we tested items recognition and the associated state of consciousness using the Remember-Know-Guess paradigm (Gardiner, 1988; Gardiner, Ramponi, & Richardson-Klavehn, 1998; Tulving, 1985). We hypothesize that the level of attention (i.e., level of mind wandering) allocated to the environment would negatively predict the probability of successfully recognize scenes of the environment and having a recollection-based recognition.

## Material and methods

### Participants

Fifty-nine participants (52 women/7 men, mean age =  $21.04 \pm 2.4$  years) voluntarily attended to the present experiment after signing an informed consent. They were all students in the University of Paris and were granted a credit necessary to complete their course for participating in this experiment. We used the z-score method to detect and remove outliers in our data. In order to exclude any participant presenting attentional or mood deficits, we removed all participants scoring above the 99th percentile (2.3 standard deviations) in the following measures: PHQ-4 depression scale, PHQ-4 anxiety scale, accuracy score at the SART and hit rate at the SART (see "Material and methods" section for more information on the questionnaires and tasks employed as exclusion criteria). This led to the exclusion of three participants. We also removed three participants presenting a score above three out of ten in two suicide tendency questions. Lastly, we removed one participant reporting a mind wandering level of 0 ('totally focused on the environment') at each of the thought probes, as this score is both highly improbable and doesn't allow the calculation

of a Z score used in further analyses. The final sample was composed of 52 participants (46 women/6 men, mean age =  $21.08 \pm 2.54$  years).

### Questionnaires

As mood can have an impact on attentional performances during the task (Killingsworth & Gilbert, 2010; Poerio, Totterdell, & Miles, 2013; Smallwood, Fitzgerald, Miles, & Phillips, 2009; Smallwood & O'Connor, 2011), we tested our participant's current emotional state with the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS; Watson, Clark, & Tellegen, 1988), a 20-items scale evaluating positive and negative mood. We also used the Mind Wandering Questionnaire (MWQ; Mrazek, Phillips, Franklin, Broadway, & Schooler, 2013), a short 5-items questionnaire to evaluate our participants' natural tendency to experience episodes of mind wandering. Lastly, we included the Patient Health Questionnaire (PHQ-4; Kroenke, Spitzer, Janet, Williams, & Lö, 2009; Löwe et al., 2010), to which we have added two questions asking the rate of suicidal thoughts in the past 10 days, resulting in a quick evaluation of depressive and anxiety disorders. This questionnaire was included in order to remove participants presenting high results, as they may present a different pattern of mind wandering than healthy subjects (Deng, Li, & Tang, 2014; Hoffmann, Banzhaf, Kanske, Bermppohl, & Singer, 2016; Marchetti, Koster, & De Raedt, 2012; Stawarczyk, Majerus, & D'Argembeau, 2013).

### Attentional task

In order to have an experimental measure of our participants' attentional abilities, they had to perform a Sustained Attention to Response Task (SART; Robertson, Manly, Andrade, Baddeley, & Yiend, 1997). In this test, numbers from 0 to 9 were presented in quick succession in the center of the screen. Each time the participants saw a number, they had to press the space bar as quickly as possible unless the stimulus was a 3. If a 3 was displayed, they had to inhibit their response and waited for the stimulus to disappear. Each number was presented 25 times (250 items in total) in a random order separated by a fixed interval of 900 ms and stayed on screen until the subject's response (up to 500 ms). See data analysis section for a description of SART scores.

### Memory task

#### Incidental encoding

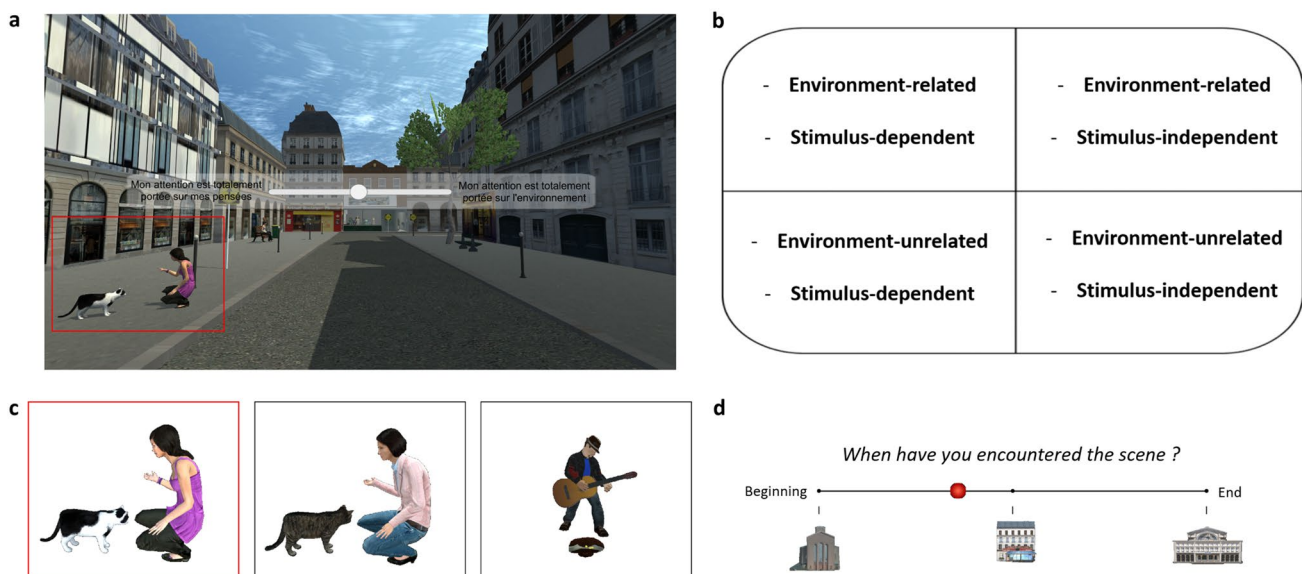
The virtual environment consisted of an in-house virtual town made with Unity 3D. The participants navigated through the environment with an Xbox controller. The instruction was to go to the train station, following guiding

signs dispatched along the road. It was specified that it was not a speed task, and the instruction emphasized the fact that the participants needed to pay attention to their environment in order to detect the signs and orientate themselves. They were not told that, afterward, they would have to perform a memory task (incidental encoding). The environment consisted of a typical modern city with graphical assets based on the Parisian architecture and an urban audio background. In order to complete the task, participants had to follow one route where they encountered various landmarks such as a market, a church or a park (other routes were dead ends). Dispatched regularly alongside the road, 8 critical scenes were included in the environment to be tested later in the recognition task (e.g., a woman petting a cat, a man taking a picture of a statue, etc.). They were characterized by a unique animation or asset but were not highly salient scenes, to avoid an automatic capture of attention. In order to have an estimation of mind wandering during the incidental encoding of each item, the apparition of a thought probe was triggered after participants walked past the scenes, at a random interval of 1–3 s (see Fig. 1a). As such, the critical scenes weren't in the participant's field of vision when they answered the probe. These thought probes asked participants 'Where is your attention focused on, right now?'. To answer these questions, they had to respond on a visual analogical scale ranging from 'My attention is entirely focused on the environment' to 'My attention is entirely focused on my thoughts' corresponding to scores ranging from 0 to 10. In total, 8 probes were administered, providing a measure of the evolution of mind wandering during the task (interval

inter-probes:  $40.69 \text{ s} \pm 8.63$ ). Navigation lasted for about 5 min ( $5.59 \text{ m} \pm 0.62$ ). In order to complement our online measures and to circumvent more precisely the content of our participant's thoughts, they were asked, right after the navigation, to estimate the overall degree of mind wandering they experienced. They were presented a diagram based on the thought probes elaborated by Stawarczyk, Majerus, Maj, Van der Linden and D'Argembeau (2011), presenting four attentional categories corresponding to the crossing of two orthogonal classification axes: focused on the environment/not focused on the environment, and stimulus-dependent/stimulus independent (see Fig. 1b). For each category, participants had to indicate the amount of time (in percentage) they spent in that specific state of mind during the navigation. In line with the more prototypical operationalization of mind wandering (Seli, Kane, Smallwood, et al., 2018a, b), the category 'stimulus independent thoughts/not focused on the environment' serves here as the main indicator of the overall quantity of mind wandering experienced during the task.

### Recognition task

Memory was tested using a recognition task (yes–no) followed by a Remember–Know–Guess paradigm (RKG; Gardiner, 1988; Gardiner, Ramponi, & Richardson-Klavehn, 1998). The eight critical scenes were presented without contextual clues alongside with 8 linked distractors (similar to the critical scenes but with slightly different characters and objects in the scenery) and 8 non-linked distractors (scenes not present in



**Fig. 1** **a** A thought probe appearing on screen after passing by a critical item (to the left); **b** Final thought probe based on Stawarczyk et al. (2011) completed after the virtual reality task; **c** From left to right:

a target item, a linked distractor and a non-linked distractor; **d** Scale used to locate the temporal position of a scene

the virtual city and without any pictorial link with the target scenes (see Fig. 1c) in a randomized order. The participants had to indicate if the scene was present in the environment or not. If the subjects indicated that a scene was present in the environment, they had to specify the nature of their answer according to the standard RKG procedure (Gardiner, 2001): if they remembered the scene (i.e., if they experienced a subjective mental time travel allowing them to revive the scene in its context), if they knew that the scene was presented (they were sure of seeing the scene but their memory didn't include a revivification of the context), or if it was just a guess (an intuition that the scene was in the environment). The meaning of each answer was explained to the participants. After that, participants were tested on their contextual memory (both spatial and temporal). First, they had to indicate on which side of the road the scene occurred (to the left or to the right). Then, they were presented a temporal scale representing their navigation in the virtual environment. Three landmarks clearly visible by the participant during his navigation (the church to mark the beginning, the bar at midway and the train station at the end) were always depicted on the scale. The layout of the virtual town forced the participant to face each of these landmarks to assure their visibility. The participants had to place on the scale when they encountered the scene (see Fig. 1d). See data analysis section for a description of memory scores.

## Procedure

Participants were evaluated individually in a quiet room of the Institute of Psychology. They sat in a chair at approximately 70 cm of a 22.9" computer screen. Then, they were given an Xbox controller and headphones, and were asked to navigate in a training virtual environment in order to habituate them to the controls before performing the Virtual Reality task. After completion of the navigation, they started the second part of the experiment, which was entirely informatized and programmed in Python 3.6, using the Neuropsychia module (Makowski & Dutriaux, 2017). First, participants answered to various demographic questions (Age, Sex, Education level, Frequency of video game usage...) and completed the PANAS. Then, they carried out the SART. These tests acted as an interference task (for about 10 m) before the recognition task. And finally, participants completed the MWQ and the PHQ\_4. The whole experiment lasted for about one hour.

## Results

### Data analysis

We calculated the accuracy score of the SART responses based on the percentage of correctly rejected stimuli (total of

'3' presented without a response) and the hit score based on the percentage of correctly responded stimuli (total of numbers other than '3' with a response). To estimate the ability to discriminate between targets and distractors in the recognition task, we computed a non-parametric discrimination index ( $A'$ ) based on the signal detection theory separately for the linked and the non-linked distractors. For the RKG task, we have first calculated the ratio of correctly recognized items and excluding the G responses, we have computed a ratio of R responses to the number of correct recognitions. For the context memory task, we have calculated a ratio of correctly identified spatial positions, and lastly, we have calculated the temporal estimation of our participants as the absolute difference between the objective time when the scene was encountered, and the subjective response of the subject indicated on the temporal scale.

All statistical analyses were conducted with the software R 3.5.1 (R Development Core Team 2005). We chose to perform Bayesian analysis on our data, as this approach is deemed to be more reliable, accurate, more straightforward to interpret and generally recommended by the recent guidelines of statistics in psychology (Andrews & Baguley, 2013; Etz & Vandekerckhove, 2016; Kruschke, 2010; Kruschke, Aguinis, & Joo, 2012; Wagenmakers et al., 2018). Bayesian analysis were conducted using the packages *rstanarm* (Carpenter et al., 2017; Gabry & Goodrich, 2016) and were interpreted with the *psycho* package (Makowski, 2018). For each model, we will report the probability of direction (pd; an index assessing the existence of an effect), the median and credible interval of the posterior distribution (the distribution of possible values for an effect, given our data), and the  $R^2$  of the model (corresponding to the percentage of explained variance of the model, as in the frequentist framework). We will consider an effect as 'significant' if the associated pd is above 95% (Makowski, Ben-Shachar & Lüdtke, 2018). For each measures of memory, when computing a predictive model, we tested both the linear and quadratic trends. For the sake of clarity, we reported in the following only the significant trends within the models. Detailed results and descriptive data are reported in supplementary material.

### Convergent validity of mind wandering measures

First, in order to assess the convergent validity of our measures of mind wandering, we fitted a linear Bayesian model to test if the score of a posteriori mind wandering (the final probe) was predicted by the mean mind wandering score reported during the navigation. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 5.73%. The effect had a 95.33% probability of being positive (median = 1.84, 90% CI [0.09, 3.61]). Thus, it is possible that a linear relationship existed

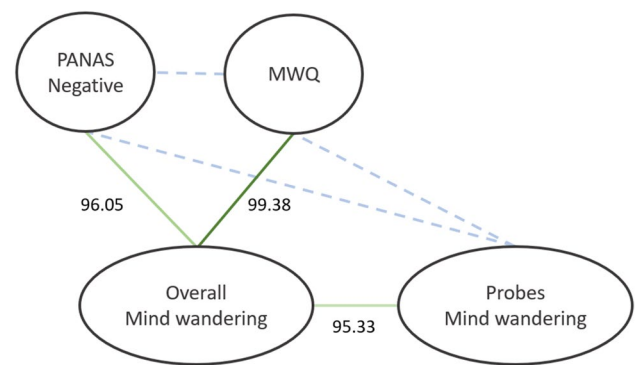


between our two main mind wandering measures. The higher the percentage of mean mind wandering score during the task was, the higher the mind wandering reported a posteriori was too.

We also tested if these measures were representative of the natural mind wandering tendency, measured with the MWQ. We fitted two Bayesian linear models, one predicting the a posteriori mind wandering, and the other predicting the mean mind wandering score of the thought probes with the mean MWQ score. The first model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 12.61%. The effect of MWQ on a posteriori mind wandering had a probability of 99.38% of being positive (median = 7.05, 90% CI [2.95, 11.80]). Thus, it is probable that a linear relationship between these two measures existed. The second model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 1.02%. The effect of MWQ on the thought probes' scores had a probability of 63.8% of being positive (median = 0.13, 90% CI [-0.46, 0.72]), so it is uncertain if a relationship between MWQ score and mind wandering score tested during the task existed. To further test the extent to which a posteriori mind wandering was predicted by our participant's mood, we fitted two linear models, one with the negative score of the PANAS and the other with the positive score. It appears the first model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 5.79%. The effect of negative PANAS score had a probability of 96.05% of being positive (median = 10.11, 90% CI [0.06, 19.30]). This means that it is possible that a linear relationship exists between the negative mood score measured by the PANAS and the mind wandering reported a posteriori. The second model had an explanatory power ( $R^2$ ) of 1.27%. The effect of positive PANAS score had a probability of 73.28% of being negative (median = -2.11, 90% CI [-7.80, 3.25]), thus it is uncertain if a relationship exists with the mind wandering reported a posteriori. Concerning the *online* mind wandering score, none of the predictors were found to be significant (see Fig. 2 for an overview).

### Verification of memory scores

Concerning our memory measures (see Table 1), we first conducted a Bayesian t test between the  $A'$  for linked and non-linked distractors, to assess if our participants were sensitive to this manipulation. The test suggested a strong evidence (BF = 14.03) in favor of a difference between the  $A'$  for non-linked distractors (mean  $A'$  =  $3.8 \pm 6.21$ ) and linked distractors (mean  $A'$  =  $1.8 \pm 3.79$ ). Then we tested if the subjective state of consciousness associated with recognition (either Remember, Know or Guess), was associated with the objective measures of contextual memory (spatial and temporal). First, we fitted a Bayesian linear model to predict the ratio of correctly recognized spatial location with the state of consciousness associated with recognition.



**Fig. 2** Convergent validity between our main measures based on the probability of detection of each model (in %). Dotted lines correspond to  $pd < 90\%$

**Table 1** Descriptive statistics of the RKG answers and contextual memory tests (for correctly recognized items only)

	Mean	Spatial recognition ratio	Mean temporal deviation (s)
Remember	1.49 (1.54)	0.59 (0.29)	71.41 (37.13)
Know	0.75 (0.8)	0.42 (0.35)	91.58 (58.97)
Guess	0.88 (0.97)	0.31 (0.27)	108.60 (63.01)

The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 13.5%. Within this model, the spatial recognition ratio associated with R responses ( $0.56 \pm 0.29$ ) is likely to be greater than the ratio associated with K responses ( $0.42 \pm 0.35$ ) as the difference between them had a probability of 97.95% of being negative (median = -0.16, 90% CI [-0.30, -0.04]). Also, it is almost certain to be greater than the one associated with G responses ( $0.3 \pm 0.27$ ) as the difference between R and G responses had 99.95% of being negative (median = -0.27, 90% CI [-0.40, -0.14]). However, the ratio associated with K responses is uncertain to be greater than G responses one, as the difference between K and G responses had 92.10% of being negative (median = 0.11, 90% CI [-0.03, 0.24]). Then, we fitted another Bayesian linear model to predict the temporal estimation of the item with the state of consciousness associated with its recognition. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 8.2%. It is uncertain if the temporal estimation associated with R responses ( $71.41 \text{ s} \pm 37.13$ ) is more precise than the estimation associated with K responses ( $91.58 \text{ s} \pm 58.97$ ) as the difference between R and K responses had 92.05% of being positive (median = 18.96, 90% CI [-3.96, 40.48]). However, temporal estimations associated with R are almost certain to be more precise than the estimation associated with G responses ( $108.60 \text{ s} \pm 63.01$ ) as the difference between R and G responses had 99.55% of being positive (median = 35.16, 90% CI [12.53, 55.82]). The difference between estimations

associated with K and G responses is uncertain as it had 87.55% of being positive (median = 15.85, 90% CI [− 5.85, 38.19]). (see Table 1 for a summary of contextual memory scores associated with R, F or G responses).

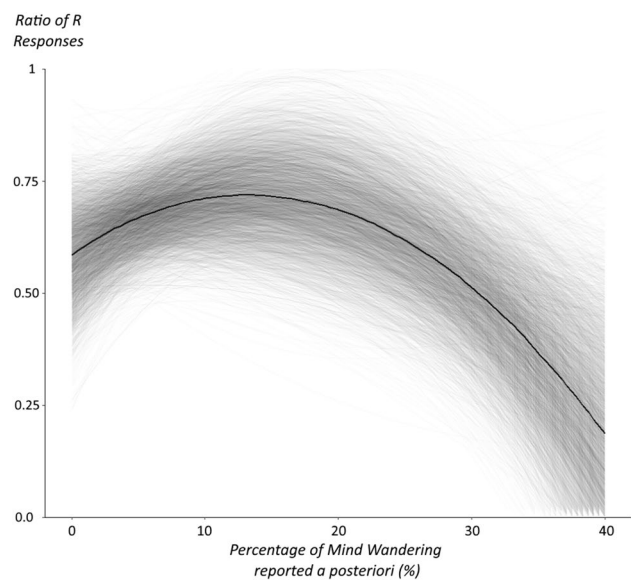
### Mind wandering and memory

For the subsequent analysis, we computed subject-wise Z scores of the mind wandering scores reported at each thought probes.

We assessed the relationship between the a posteriori reported mind wandering and the ratio of correctly recognized items by fitting a Bayesian linear model. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 7.48%. Within our model, the linear trend had a 95.28% chance of being negative (median = − 0.32, 90% CI [− 0.6, 0.02]). This indicates the possible existence of a negative linear relationship between mind wandering and item memory. We also fitted a mixed Bayesian logistic model (with subjects and items as random effects) to test if the mind wandering score reported at each probe predicted the probability of correctly recognizing the associated item. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 6.33%. The linear relationship had an 89.25% of being negative (median = − 2.89, 90% CI [− 6.55, 1.09]), thus it is uncertain if a relationship exists between these two measures.

After testing the influence of mind wandering on the ability to recognize an item, we assessed its possible influence over the state of consciousness associated with the retrieval of the item. We first fitted a Bayesian linear model to predict the ratio of Remember answers, with the a posteriori mind wandering score as predictor. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 12.68%. Within this model, the effect of the quadratic trend had a probability of 97.43% of being negative (median = − 0.73, 90% CI [− 1.36, − 0.18]). It is thus possible that a quadratic relationship exists between mind wandering reported a posteriori and the amount of Remember responses (Fig. 3).

We then fitted a mixed Bayesian logistic model (with participants and items as random effects) to predict the probability of giving either a Remember or a Know answer after correctly recognizing an item, based on the mind wandering level reported at encoding. The model had an explanatory power ( $R^2$ ) of about 26.4%. Within this model, it appears that the quadratic trend had a probability of 96.68% of being negative (median = − 5.44, 90% CI [− 11.10, − 0.7]). It is thus possible that a quadratic relationship exists between the mind wandering level at encoding and the state of consciousness associated with recognition. As shown in Fig. 4, the probability of realizing a recollection-based recognition (R answer) decreases if the attentional level at encoding either drops below the median or rise above, following the same reversed U-shaped pattern as in Fig. 3. Thus, the highest



**Fig. 3** Prediction of R responses ratio based on the mind wandering reported a posteriori. The bold line represents the median effect of the a posteriori mind wandering on recognition type. The thin lines correspond to all possible effects based on the 4000 draws from the posterior distribution

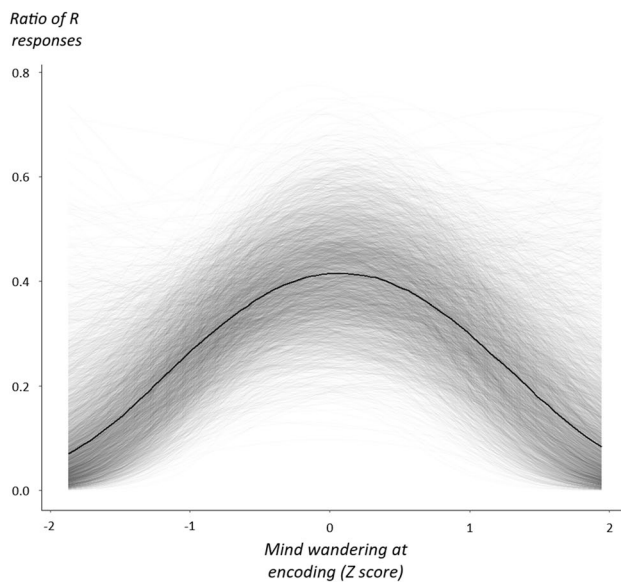
probability of experiencing the recollection of an item previously seen lies when the attentional focus at encoding is around the median value.

No significant results were found concerning the prediction of contextual information (spatial and temporal) with both *online* and a posteriori probes (see supplementary material section for a complete description of the models).

### Discussion

The goal of this study was to systematically assess the influence of mind wandering on episodic memory encoding in an ecological setting. First, we found that the propensity of mind wandering reported a posteriori negatively predicts recognition. Second, we found that both the a posteriori reported mind wandering and the *online* mind wandering scores predict the probability of obtaining a Remember answer following a quadratic, reversed U-shaped trend.

Previous studies have shown that perturbations of attention during encoding hinder memory formation, both in divided attention paradigms (Craig et al., 1996; Fernandes & Moscovitch, 2000; Jennings & Jacoby, 1993) or during episodes of mind wandering (Seibert & Ellis, 1991; Smallwood, Davies, et al., 2004, Smallwood, O'Connor, et al., 2004). Some of our results replicate these findings, as the mind wandering reported a posteriori appeared to be a predictor of the ratio of correctly recognized items. The hindering effect of mind wandering on encoding processes may be



**Fig. 4** Probability of obtaining a Know (0) vs Remember (1) response predicted by mind wandering level at encoding. The bold line represents the median effect of mind wandering on recognition type. The thin lines correspond to all possible effects based on the 4000 draws from the posterior distribution

a consequence of the perceptual decoupling occurring when task-unrelated thoughts are experienced (Baird, Smallwood, Lutz, & Schooler, 2014; Barron, Riby, Greer, & Smallwood, 2011; Smallwood & Schooler, 2006). Perceptual decoupling corresponds to a shift of attention from the task at hand toward internally generated thoughts. It can be interpreted as a state of divided attention between the external and internal environments. Thus, participants reporting a high level of mind wandering during the navigation are likely to have experienced episodes of decoupled attention and these episodes led to a hindering effect on scenes encoding reflected in subsequent recognition. However, when considering the measures reported *online* during navigation, our results did not replicate the previous findings about the effect of mind wandering on memory. While there is a discrepancy in our two main measures' significance, the relationship between mind wandering at encoding and subsequent memory remains negative, which is in line with the literature. It is possible that the criterion used by our participants to determine if they were experiencing mind wandering when performing the task was less precise than the one they used when completing the final probe, which distinguish thoughts based on task-relatedness and stimulus dependency.

At first, we hypothesized a negative linear relationship between mind wandering and the probability of having a Remember response (reviving the scene within its spatio-temporal context): the more the mind wandering at encoding increases, the less likely the subsequent recognition is to be a Remember response, as mind wandering seems to

decrease the propensity of recollection-based recognitions (Riby et al., 2008). However, our results suggest a slightly more complex scenario. Indeed, the relationship between mind wandering (both *online* and a posteriori) and the probability of giving a Remember response followed a quadratic trend corresponding to a reversed U-shape curve. The probability of producing a Remember response is higher when the participant presents a medium level of mind wandering: neither too focused on the task, nor on internal thoughts. The fact that a high level of mind wandering predicts a lower rate of Remember responses is coherent with the literature and can be explained by the decoupling attention hypothesis previously described (Riby et al., 2008; Smallwood & Schooler, 2006). Indeed, being in a state of perceptual decoupling decreases the availability of cognitive resources and could prevent from engaging in a complex processing of the information that would allow the binding of the item with its context. Thus, if the item is later recognized, it is more likely to be on the basis of familiarity, without a reviviscence of the event in its specific context (and thus, producing a Know response). However, the fact that a high focus on the environment (thus associated with a low level of mind wandering) leads to a lower probability of obtaining Remember responses is a result seemingly at odds with previous findings.

Contrary to most previous studies, the encoding phase in the present work took place during the navigation in a complex environment. Moreover, as we used an incidental encoding paradigm, the critical items were not specifically distinct from the rest of the environment. Thus, when participants reported a high level of concentration on the environment, this may indicate a high focus on some parts of the environment, probably on spatial details such as their trajectory or the cues needed to continue their navigation. In other words, their attention could have been narrowed on some stimulus of interest. The narrowing of the attentional focus is known to prevent influence from distractors (LaBerge, Brown, Carter, Bash, & Hartley, 1991) as focusing on a visual cue imply inhibiting the processing of concurrent cues (Facoetti & Molteni, 2000). Thus, being too focused in a complex environment may lead to a better processing of some salient stimuli but a worsened processing of other elements in the environment. A stimulus outside the participant's attentional focus, processed shallowly, is then more likely to be recognized on the basis of familiarity (hence, associated with a Know response). Thus, for a participant to have the highest probability to recognize a scene in a complex environment on the basis of recollection, it seems it is better to have an opened attentional focus: neither too engaged in mind wandering nor too focused on the environment.

This attentional explanation, however, does not account for the lack of significant relationship between context

memory and mind wandering. An alternative hypothesis would be that experiencing a medium level of mind wandering would allow the participant to remember an event based on associated thoughts. Indeed, thoughts experienced during an event are not dissociated from the event itself and are encoded as part of the experience (Jeunehomme, Folville, Stawarczyk, Van der Linden, & D'Argembeau, 2018; Stawarczyk & D'Argembeau, 2019; Stawarczyk, Jeunehomme, & D'Argembeau, 2018). Thus, producing an R response may also rely on remembering the internal thoughts experienced during an event. Being in a state of stimulus-related mind wandering has already been shown to improve encoding (Maillet & Schacter, 2016; Maillet, Seli, & Schacter, 2017). It is possible that, when trying to remember a scene, recollective processes can be used more easily if stimulus-related thoughts were experienced during the presentation of the scene, as it provides additional elements to bind the scene with. This would explain why mind wandering was not found to be associated with contextual memory while being associated to the occurrence of R answers. Experiencing no mind wandering at all would not provide benefits for the remembrance of the scenes, while experiencing too much mind wandering would not allow for a proper binding between the thoughts and the scenes. However, these potential explanations are purely speculative, as we did not have a way to check how our participants distributed their attention across the environment or what the content of their mind wandering was. Further studies using either VR or basic stimuli (such as words or images) coupled with eye tracking could be done in order to test the “narrowing of attention” hypothesis, while the “memory for thoughts” hypothesis could be tested by exploring the content of mind wandering with additional thought probes.

One main concern about our experimental design is the low number of both critical items and thought probes. While it makes sense to have few thought probes in the virtual environment – as it could hinder the ecological purpose of a virtual reality design – this leads to a very low rate of recognized items, as one item is needed for each thought probe. This is especially true as we used an incidental encoding paradigm, known to produce less responses than a voluntary encoding task, even in a virtual environment (Plancher et al., 2010). Moreover, the mean attentional score reported with the thought probes was mostly directed toward the environment. Thus, participants were not experiencing much mind wandering in this study. As a virtual reality design is an immersive and somewhat enjoyable paradigm, it could have led to a better task engagement, a greater interest toward the environment, and thus a reduced mind wandering propensity. As boredom can be seen as one of the major predictors of mind wandering (Bench & Lench, 2013; Danckert, 2018; Eastwood, Frischen, Fenske, & Smilek, 2012; Hunter & Eastwood, 2018; Malkovsky, Merrifield, Goldberg, &

Danckert, 2012; Seli, Carriere, & Smilek, 2015), it would make sense, when studying mind wandering, to induce it through a boring, simple and repetitive task. Moreover, the use of an explicit online measure of mind wandering (thought probes) may not be the optimal way to assess variations of attention. Implicit measures of mind wandering such as pupil dilation (Franklin, Broadway, Mrazek, Smallwood, & Schooler, 2013; Grandchamp, Braboszcz, & Delorme, 2014; Kang, Huffer, & Wheatley, 2014; J. Smallwood et al., 2011), blink frequency (Smilek, Carriere, & Cheyne, 2010), electrodermal activity (Smallwood, Davies, et al., 2004; Smallwood, O'Connor, et al., 2004; Smallwood et al., 2007) or reaction time (Foulsham, Farley, & Kingstone, 2013; Franklin, Smallwood, & Schooler, 2011) may be best suited to test online variations of attention, especially if they are coupled with neuroimaging measures (for a review, see Martinon, Smallwood, McGann, Hamilton, & Riby, 2019). However, the specificity of such indices and their possible use to assess the effect of attention variation on memory encoding is yet to be tested and should be the focus of a future study.

## Conclusion

The present study proposes a novel way to test the influence of spontaneous variations of attention on episodic memory encoding. By using a virtual reality paradigm coupled with both *online* and a posteriori explicit measures of mind wandering, we showed that the relationship between mind wandering level at encoding and the state of consciousness associated with subsequent recognition followed a reversed U-shaped pattern: both a low and a high degree of mind wandering predict a higher rate of familiarity-based recognition, while the highest probability of realizing a recollection-based recognition lies in the middle. This result contrasts with previous findings suggesting that a low degree of mind wandering would predict a high rate of recollections. This relationship may thus be a more ecological representation of the relationship between attention and memory.

**Acknowledgements** We would like to thank Mona Hiloul for helping in data collection and Alexandre Gaston-Bellegarde for contributing to the development of the virtual environment.

**Data availability** The descriptive data and statistical models of this study can be found in the “Supplementary material” section. This study was not pre-registered. Raw data and scripts for statistical analyses would be made available on request.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors have no conflict of interest.

**Ethical approval** The manuscript does not contain clinical studies or patient data.

**Informed consent** All participants signed an informed consent before participating in this experiment.

## References

- Abichou, K., La Corte, V., Hubert, N., Orriols, E., Gaston-Bellegarde, A., Nicolas, S., et al. (2019). Young and older adults benefit from sleep, but not from active wakefulness for memory consolidation of what-where-when naturalistic events. *Frontiers in Aging Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00058>.
- Abichou, K., La Corte, V., & Piolino, P. (2017). Does virtual reality have a future for the study of episodic memory in aging? *Geriatric et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillessement*, 15(1), 65–74. <https://doi.org/10.1684/pnv.2016.0648>.
- Andrews, M., & Baguley, T. (2013). Prior approval: The growth of Bayesian methods in psychology. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 66(1), 1–7. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12004>.
- Antrobus, J. S. (1968). Information theory and stimulus-independent thought. *British Journal of Psychology*, 59(4), 423–430. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1968.tb01157.x>.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82–90.
- Baird, B., Smallwood, J., Lutz, A., & Schooler, J. W. (2014). The decoupled mind: Mind-wandering disrupts cortical phase-locking to perceptual events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(11), 2596–2607. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00656](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00656).
- Barron, E., Riby, L. M., Greer, J., & Smallwood, J. (2011). Absorbed in thought. *Psychological Science*, 22(5), 596–601. <https://doi.org/10.1177/0956797611404083>.
- Bench, S., & Lench, H. (2013). On the function of boredom. *Behavioral Sciences*, 3(3), 459–472. <https://doi.org/10.3390/bs3030459>.
- Bier, B., Ouellet, É., & Belleville, S. (2018). Computerized attentional training and transfer with virtual reality: Effect of age and training type. *Neuropsychology*, 32(5), 597–614. <https://doi.org/10.1037/neu0000417>.
- Camara Lopez, M., Deliens, G., & Cleeremans, A. (2016). Ecological assessment of divided attention: What about the current tools and the relevancy of virtual reality. *Revue Neurologique*, 172(4–5), 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2016.01.399>.
- Carpenter, B., Gelman, A., Hoffman, M. D., Lee, D., Goodrich, B., Betancourt, M., Riddell, A. (2017). Stan : A probabilistic programming language. *Journal of Statistical Software*, 76(1):1. <https://doi.org/10.18637/jss.v076.i01>
- Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Mind-wandering as spontaneous thought: a dynamic framework. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(11), 718–731. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.113>.
- Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2011). Memory: Enduring traces of perceptual and reflective attention. *Neuron*, 72(4), 520–535. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.026>.
- Chun, M. M., & Turk-Browne, N. B. (2007). Interactions between attention and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.03.005>.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671–684. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X).
- Craik, F. I. M., Naveh-Benjamin, M., Govoni, R., & Anderson, N. D. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(2), 159–180. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159>.
- Curran, T. (2004). Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of recollection and familiarity. *Neuropsychologia*, 42(8), 1088–1106. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.011>.
- Danckert, J. (2018). Special topic introduction: understanding engagement: mind-wandering, boredom and attention. *Experimental Brain Research*, 236(9), 2447–2449. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4914-7>.
- deBettencourt, M. T., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B. (2018). Forgetting from lapses of sustained attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(2), 605–611. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1309-5>.
- Deng, Y.-Q., Li, S., & Tang, Y.-Y. (2014). The relationship between wandering mind depression and mindfulness. *Mindfulness*, 5(2), 124–128. <https://doi.org/10.1007/s12671-012-0157-7>.
- Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The unengaged mind: Defining boredom in terms of attention. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 482–495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>.
- Etz, A., & Vandekerckhove, J. (2016). A Bayesian Perspective on the reproducibility project: Psychology. *PLoS ONE*, 11(2), e0149794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149794>.
- Facoetti, A., & Molteni, M. (2000). Is attentional focusing an inhibitory process at distractor location? *Cognitive Brain Research*, 10(1–2), 185–188. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(00\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(00)00031-8).
- Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: The effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00619>.
- Feng, S., D’Mello, S., & Graesser, A. C. (2013). Mind wandering while reading easy and difficult texts. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 586–592. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0367-y>.
- Fernandes, M. A., & Moscovitch, M. (2000). Divided attention and memory: Evidence of substantial interference effects at retrieval and encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(2), 155–176. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.129.2.155>.
- Foulsham, T., Farley, J., & Kingstone, A. (2013). Mind wandering in sentence reading: Decoupling the link between mind and eye. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 67(1), 51–59. <https://doi.org/10.1037/a0030217>.
- Franklin, M. S., Broadway, J. M., Mrazek, M. D., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2013). Window to the wandering mind: Pupilometry of spontaneous thought while reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(12), 2289–2294. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.858170>.
- Franklin, M. S., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2011). Catching the mind in flight: Using behavioral indices to detect mindless reading in real time. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18(5), 992–997. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0109-6>.
- Gabry, J., & Goodrich, B. (2016). rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan. R package version 2.10.0.
- Gardiner, J. M. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*, 16(4), 309–313. <https://doi.org/10.3758/BF03197041>.
- Gardiner, J. M. (2001). Episodic memory and autoegetic consciousness: a first-person approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 356(1413), 1351–1361. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0955>.
- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1996). How level of processing really influences awareness in recognition memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 50(1), 114–122. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.50.1.114>.

- Gardiner, J. M., & Parkin, A. J. (1990). Attention and recollective experience in recognition memory. *Memory & Cognition*, 18(6), 579–583. <https://doi.org/10.3758/BF03197100>.
- Gardiner, J. M., Ramponi, C., & Richardson-Klavehn, A. (1998). Experiences of remembering, knowing, and guessing. *Consciousness and Cognition*, 7(1), 1–26. <https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0321>.
- Giambra, L. M. (1989). Task-unrelated-thought frequency as a function of age: A laboratory study. *Psychology and Aging*, 4(2), 136–143. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.2.136>.
- Grandchamp, R., Braboszcz, C., & Delorme, A. (2014). Oculometric variations during mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00031>.
- Harand, C., Mondou, A., Chevanne, D., Bocca, M., & Defer, G. (2018). Evidence of attentional impairments using virtual driving simulation in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 25(August), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.08.005>.
- Hasselmo, M. E. (2009). A model of episodic memory: Mental time travel along encoded trajectories using grid cells. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(4), 559–573. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2009.07.005>.
- Hoffmann, F., Banzhaf, C., Kanske, P., Bermpohl, F., & Singer, T. (2016). Where the depressed mind wanders: Self-generated thought patterns as assessed through experience sampling as a state marker of depression. *Journal of Affective Disorders*, 198, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.03.005>.
- Hunter, A., & Eastwood, J. D. (2018). Does state boredom cause failures of attention? Examining the relations between trait boredom, state boredom, and sustained attention. *Experimental Brain Research*, 236(9), 2483–2492. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4749-7>.
- Iidaka, T., Anderson, N. D., Kapur, S., Cabeza, R., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of divided attention on encoding and retrieval in episodic memory revealed by positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2), 267–280. <https://doi.org/10.1162/089892900562093>.
- Jebara, N., Orriols, E., Zaoui, M., Berthoz, A., & Piolino, P. (2014). Effects of enactment in episodic memory: A pilot virtual reality study with young and elderly adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 1. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00338>.
- Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1993). Automatic versus intentional uses of memory: Aging, attention, and control. *Psychology and Aging*, 8(2), 283–293. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.8.2.283>.
- Jeunehomme, O., Folville, A., Stawarczyk, D., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2018). Temporal compression in episodic memory for real-life events. *Memory*, 26(6), 759–770. <https://doi.org/10.1080/09658211.2017.1406120>.
- Kang, O. E., Huffer, K. E., & Wheatley, T. P. (2014). Pupil dilation dynamics track attention to high-level information. *PLoS ONE*, 9(8), e102463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102463>.
- Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind. *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>.
- Kroenke, K., Spitzer, R. L., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2009). An ultra-brief screening scale for anxiety and depression: The PHQ-4. *Psychosomatics*, 50(6), 613–621. [https://doi.org/10.1016/S0033-3182\(09\)70864-3](https://doi.org/10.1016/S0033-3182(09)70864-3).
- Kruschke, J. K. (2010). What to believe: Bayesian methods for data analysis. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.05.001>.
- Kruschke, J. K., Aguinis, H., & Joo, H. (2012). The time has come: Bayesian methods for data analysis in the organizational sciences. *Organizational Research Methods*, 15(4), 722–752. <https://doi.org/10.1177/1094428112457829>.
- La Corte, V., Sperduti, M., Abichou, K., & Piolino, P. (2019). Episodic memory assessment and remediation in normal and pathological aging using virtual reality: A mini review. *Frontiers in Psychology*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00173>.
- LaBerge, D., Brown, V., Carter, M., Bash, D., & Hartley, A. (1991). Reducing the effects of adjacent distractors by narrowing attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(1), 65–76. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.17.1.65>.
- Lengenfelder, J., Schultheis, M. T., Al-Shihabi, T., Mourant, R., & DeLuca, J. (2002). Divided attention and driving: a pilot study using virtual reality technology. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 26–37. <https://doi.org/10.1097/00001199-20020-00005>.
- Löwe, B., Wahl, I., Rose, M., Spitzer, C., Glaesmer, H., Wingenfeld, K., et al. (2010). A 4-item measure of depression and anxiety: Validation and standardization of the Patient Health Questionnaire-4 (PHQ-4) in the general population. *Journal of Affective Disorders*, 122(1–2), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2009.06.019>.
- Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016). When the mind wanders: Distinguishing stimulus-dependent from stimulus-independent thoughts during incidental encoding in young and older adults. *Psychology and Aging*, 31(4), 370–379. <https://doi.org/10.1037/pag0000099>.
- Maillet, D., Seli, P., & Schacter, D. L. (2017). Mind-wandering and task stimuli: Stimulus-dependent thoughts influence performance on memory tasks and are more often past- versus future-oriented. *Consciousness and Cognition*, 52(October), 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.014>.
- Marchetti, I., Koster, E. H. W., & De Raedt, R. (2012). Mindwandering heightens the accessibility of negative relative to positive thought. *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1517–1525. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.013>.
- Makowski, D. (2018). The psycho package: An efficient and publishing-oriented workflow for psychological science. *The Journal of Open Source Software*, 3(22), 470. <https://doi.org/10.21105/joss.00470>.
- Makowski, D., & Dutriaux, L. (2017). Neuropsychia.py: A Python Module for Creating Experiments, Tasks and Questionnaires. *The Journal of Open Source Software*, 2(19), 259. <https://doi.org/10.21105/joss.00259>.
- Malkovsky, E., Merrifield, C., Goldberg, Y., & Danckert, J. (2012). Exploring the relationship between boredom and sustained attention. *Experimental Brain Research*, 221(1), 59–67. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3147-z>.
- Martinon, L. M., Smallwood, J., McGann, D., Hamilton, C., & Riby, L. M. (2019). The disentanglement of the neural and experiential complexity of self-generated thoughts: A users guide to combining experience sampling with neuroimaging data. *NeuroImage*, 192(February), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.02.034>.
- Mrazek, M. D., Phillips, D. T., Franklin, M. S., Broadway, J. M., & Schooler, J. W. (2013). Young and restless: Validation of the Mind-Wandering Questionnaire (MWQ) reveals disruptive impact of mind-wandering for youth. *Frontiers in Psychology*, 4, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00560>.
- Mulligan, N. W. (1998). The role of attention during encoding in implicit and explicit memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(1), 27–47. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.1.27>.
- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Guez, J., & Dori, H. (1998). Effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory: Further support for an asymmetry. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 24(5), 1091–1104. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.5.1091>.

- Ouellet, É., Boller, B., Corriveau-Lecavalier, N., Cloutier, S., & Belleville, S. (2018). The virtual shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *Journal of Neuroscience Methods*, *303*, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2018.03.010>.
- Plancher, G., Barra, J., Orriols, E., & Piolino, P. (2013). The influence of action on episodic memory: A virtual reality study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(5), 895–909. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.722657>.
- Plancher, G., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2010). Age effect on components of episodic memory and feature binding: A virtual reality study. *Neuropsychology*, *24*(3), 379–390. <https://doi.org/10.1037/a0018680>.
- Plancher, G., Gyselinck, V., & Piolino, P. (2018). The integration of realistic episodic memories relies on different working memory processes: Evidence from virtual navigation. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00047>.
- Plancher, G., Tirard, A., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2012). Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: Influence of active and passive encoding. *Neuropsychologia*, *50*(5), 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.12.013>.
- Poerio, G. L., Totterdell, P., & Miles, E. (2013). Mind-wandering and negative mood: Does one thing really lead to another? *Consciousness and Cognition*, *22*(4), 1412–1421. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.09.012>.
- R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL: <https://www.R-project.org>.
- Riby, L. M., Smallwood, J., & Gunn, V. P. (2008). Mind wandering and retrieval from episodic memory: a pilot event-related potential study. *Psychological Reports*, *102*(3), 805–818. <https://doi.org/10.2466/pr0.102.3.805-818>.
- Risko, E. F., Anderson, N., Sarwal, A., Engelhardt, M., & Kingstone, A. (2012). Everyday attention: Variation in mind wandering and memory in a lecture. *Applied Cognitive Psychology*, *26*(2), 234–242. <https://doi.org/10.1002/acp.1814>.
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, *35*(6), 747–758. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8).
- Sauzéon, H., N'Kaoua, B., Arvind Pala, P., Taillade, M., & Guitton, P. (2016). Age and active navigation effects on episodic memory: A virtual reality study. *British Journal of Psychology*, *107*(1), 72–94. <https://doi.org/10.1111/bjop.12123>.
- Schooler, J. W., Reichle, E. D., & Halpern, D. V. (2005). *Zoning-out during reading: Evidence for dissociations between experience and meta-consciousness*. (D. T. Levin, Ed.), *Thinking and seeing: Visual metacognition in adults and children*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive task performance. *Memory & Cognition*, *19*(5), 507–513. <https://doi.org/10.3758/BF03199574>.
- Seli, P., Carriere, J. S. A., & Smilek, D. (2015). Not all mind wandering is created equal: Dissociating deliberate from spontaneous mind wandering. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *79*(5), 750–758. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0617-x>.
- Seli, P., Kane, M. J., Metzinger, T., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., et al. (2018a). The family-resemblances framework for mind-wandering remains well clad. *Trends in Cognitive Sciences*, *22*(11), 959–961. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.07.007>.
- Seli, P., Kane, M. J., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., Schooler, J. W., et al. (2018b). Mind-wandering as a natural kind: A family-resemblances view. *Trends in Cognitive Sciences*, *22*(6), 479–490. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.03.010>.
- Smallwood, J., Brown, K. S., Tipper, C., Giesbrecht, B., Franklin, M. S., Mrazek, M. D., et al. (2011). Pupillometric evidence for the decoupling of attention from perceptual input during offline thought. *PLoS ONE*, *6*(3), 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018298>.
- Smallwood, J., Davies, J. B., Heim, D., Finnigan, F., Sudberry, M., O'Connor, R., et al. (2004). Subjective experience and the attentional lapse: Task engagement and disengagement during sustained attention. *Consciousness and Cognition*, *13*(4), 657–690. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.06.003>.
- Smallwood, J. M., Baracacia, S. F., Lowe, M., & Obonsawin, M. (2003). Task unrelated thought whilst encoding information. *Consciousness and Cognition*, *12*(3), 452–484. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00018-7).
- Smallwood, J., Fitzgerald, A., Miles, L. K., & Phillips, L. H. (2009). Shifting moods, wandering minds: Negative moods lead the mind to wander. *Emotion*, *9*(2), 271–276. <https://doi.org/10.1037/a0014855>.
- Smallwood, J., & O'Connor, R. C. (2011). Imprisoned by the past: Unhappy moods lead to a retrospective bias to mind wandering. *Cognition and Emotion*, *25*(8), 1481–1490. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.545263>.
- Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., Haskell, C., & Ballantyne, C. (2004). The consequences of encoding information on the maintenance of internally generated images and thoughts: The role of meaning complexes. *Consciousness and Cognition*, *13*(4), 789–820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.004>.
- Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., & Obonsawin, M. (2007). Mind-wandering and dysphoria. *Cognition & Emotion*, *21*(4), 816–842. <https://doi.org/10.1080/02699930600911531>.
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, *132*(6), 946–958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>.
- Smilek, D., Carriere, J. S. A., & Cheyne, J. A. (2010). Out of Mind, out of sight: Eye blinking as indicator and embodiment of mind wandering. *Psychological Science*, *21*(6), 786–789. <https://doi.org/10.1177/0956797610368063>.
- Sperduti, M., Armougum, A., Makowski, D., Blond e, P., & Piolino, P. (2017). Interaction between attentional systems and episodic memory encoding: the impact of conflict on binding of information. *Experimental Brain Research*, *235*(12), 3553–3560. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5081-6>.
- Stawarczyk, D., & D'Argembeau, A. (2019). The dynamics of memory retrieval for internal mentation. *Scientific Reports*, *9*(1), 13927. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50439-y>.
- Stawarczyk, D., Jeunehomme, O., & D'Argembeau, A. (2018). Differential contributions of default and dorsal attention networks to remembering thoughts and external stimuli from real-life events. *Cerebral Cortex*, *28*(11), 4023–4035. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx270>.
- Stawarczyk, D., Majerus, S., & D'Argembeau, A. (2013). Concern-induced negative affect is associated with the occurrence and content of mind-wandering. *Consciousness and Cognition*, *22*(2), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.01.012>.
- Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011). Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience sampling method. *Acta Psychologica*, *136*(3), 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.01.002>.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of Memory*, *1*, 381–403.

- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 26(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>.
- Turk-Browne, N. B., Golomb, J. D., & Chun, M. M. (2013). Complementary attentional components of successful memory encoding. *NeuroImage*, 66, 553–562. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.053>.
- Uncapher, M. R., Hutchinson, J. B., & Wagner, A. D. (2011). Dissociable effects of top-down and bottom-up attention during episodic encoding. *Journal of Neuroscience*, 31(35), 12613–12628. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0152-11.2011>.
- Wagenmakers, E.-J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Love, J., et al. (2018). Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 35–57. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1343-3>.
- Wammes, J. D., & Fernandes, M. A. (2016). Interfering with memory for faces: The cost of doing two things at once. *Memory*, 24(2), 184–203. <https://doi.org/10.1080/09658211.2014.998240>.
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063–1070.
- Wixted, J. T. (2007). Dual-process theory and signal-detection theory of recognition memory. *Psychological Review*, 114(1), 152–176. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.1.152>.
- Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(6), 1341–1354. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.6.1341>.
- Yonelinas, A. P. (2001). Components of episodic memory: the contribution of recollection and familiarity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 356(1413), 1363–1374. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0939>.

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.





### 4.3 Conclusion

Les principaux résultats de cette première étude peuvent être résumés comme suit :

- Il est possible que le niveau global de *mind wandering* mesuré *a posteriori* prédise négativement le taux de reconnaissance moyen des scènes.
- Il est incertain que le *mind wandering* mesuré de manière *online* prédise la probabilité de reconnaissance des scènes associées.
- Il est possible que le *mind wandering* mesuré *a posteriori* et celui mesuré de manière *online* prédisent la probabilité de reconnaissance basée sur la recollection selon une courbe en U inversée.
- Il est incertain que les deux mesures de *mind wandering* prédisent les performances en mémoire spatiale ou temporelle.

La première expérience a montré qu'il était possible d'étudier comment les fluctuations attentionnelles à l'encodage permettent de prédire la mémorisation de scènes dans un environnement complexe et écologique. Cependant, bien que les résultats permettent d'établir un lien négatif entre le *mind wandering* à l'encodage et l'encodage en mémoire épisodique, le niveau de certitude associé à cet effet est relativement faible ( $\approx 95\%$ ) n'est mis en évidence que lorsque l'on examine les scores globaux de mémoire et de *mind wandering*. La capacité prédictive des sondes de pensée vis-à-vis de l'encodage de chaque item demeure incertaine. Plusieurs éléments permettent d'expliquer cet état de fait. Tout d'abord, le paradigme employé étant celui d'un encodage incident, la probabilité d'encoder des items de l'environnement est relativement faible en comparaison avec un encodage volontaire. Cette moindre propension à encoder spontanément les items est d'autant plus notable que la tâche s'effectue dans un environnement complexe où de nombreuses informations perceptives sont en compétition pour les ressources attentionnelles. Ainsi, le fait que chaque scène critique était présentée au milieu de nombreuses informations a pu rendre difficile la prédiction des performances en mémoire à des moments spécifiques de l'environnement. Dans ce contexte, il est compréhensible que l'effet du *mind wandering* sur la mémoire ne se décèle que *via* les tendances globales mesurées *a posteriori*. Il est également possible que les sondes de pensées employaient une terminologie trop vague pour permettre une prédiction plus fine. En effet, le fait d'être « concentré sur l'environnement » ne signifie pas nécessairement d'être concentré sur les scènes critiques. L'emploi d'une tâche nécessitant de traiter les stimuli

critiques permettrait d'évaluer de manière plus fiable l'attention portée aux items, en demandant dans quelle mesure celle-ci est portée sur la tâche.

Cependant, le *mind wandering*, évalué de manière globale comme de manière *online* permettait de prédire le taux de recollection associé aux items reconnus. De manière surprenante, ce *pattern* ne suivait pas une courbe linéaire négative, mais plutôt une courbe quadratique, en U inversée. Cette relation peut refléter le fait qu'un niveau attentionnel moyen permet de distribuer son attention de manière globale entre l'attention perceptive et l'attention réflexive, évitant ainsi des captures attentionnelles dues à des stimuli ou des pensées saillantes. Cette relation pourrait également suggérer la production de pensées liées aux scènes traitées, permettant d'enrichir la trace mnésique des scènes et de favoriser un rappel recollectif.

## Chapitre 5

# Influences conjointes du *mind wandering* et de l'ennui sur la mémoire épisodique

### 5.1 Introduction

La seconde étude de cette thèse vise principalement à pallier les défauts de l'expérience précédente, afin de mettre à jour une relation prédictive entre le *mind wandering* à l'encodage et les performances en mémoire épisodique. L'emploi d'un paradigme en réalité virtuelle a donc été écarté pour cette seconde expérience pour adresser les problèmes de compétition de différents stimuli lors de l'encodage. Nous avons également choisi de tenter de manipuler expérimentalement la propension au *mind wandering*, afin d'être sûr de pouvoir échantillonner des situations d'attention centrée sur la tâche et des situations d'attention centrée sur les pensées. Pour assurer l'émergence du *mind wandering* lors de l'encodage, nous avons conçu une tâche particulièrement ennuyeuse et monotone. En effet, l'ennui est un phénomène souvent co-occurent du *mind wandering*, parfois même considéré comme sa cause. L'induction d'un état d'ennui - et donc de *mind wandering* - a été réalisé *via* une manipulation du niveau de charge mentale associée à la tâche d'encodage. Une tâche très simple est plus à même d'être effectuée de manière automatique, requérant peu d'engagement et laissant suffisamment d'espace en mémoire de travail pour que le *mind wandering* s'installe. En comparaison, une tâche plus complexe nécessite plus d'engagement dans la tâche, générant moins d'ennui et ne laissant que peu d'espace en mémoire de travail pour le *mind wandering*. Par ailleurs, l'emploi d'une telle tâche permet d'être sûr que la réponse aux sondes de pensée évalue le degré d'attention alloué aux items, en demandant à quel point l'attention est focalisée sur la *tâche*.

L'inclusion de l'ennui dans cette expérience permet également de répondre à un manque dans la littérature concernant un potentiel effet négatif de l'ennui sur la mémoire. En effet, peu d'études ont testé directement comment l'ennui pouvait affecter l'encodage en mémoire, et celles-ci n'ont pas réussi à déceler d'impact notable. Or, étant donné la forte corrélation entre l'ennui et le *mind wandering* ainsi que la forte corrélation négative entre celui-ci et la mémoire, il serait tout à fait envisageable d'imaginer que l'ennui impacte indirectement l'encodage en mémoire épisodique *via* l'émergence du *mind wandering*.

Enfin, étant donné que deux facteurs d'influence (le *mind wandering* et l'ennui) sont mesurés dans cette étude, nous avons inclus à titre exploratoire des mesures de conductance cutanée et de fréquence cardiaque, afin d'évaluer implicitement les états mentaux des participants lors de l'expérience et de potentiellement mettre en évidence des *patterns* spécifiques au *mind wandering* et à l'ennui.

## 5.2 Article accepté (Blondé et al., *accepted*)

**Bored, distracted and forgetful – The impact of mind wandering and boredom  
on memory encoding**

Philippe Blondé<sup>a,1</sup>, Marco Sperduti<sup>a</sup>, Dominique Makowski<sup>a</sup> & Pascale Piolino<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition (UR 7536), Institut de Psychologie,  
Université de Paris, Paris, France

<sup>b</sup>Institut Universitaire de France, France

**Author Note**

<sup>1</sup> Corresponding author

71 avenue Ed. Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt, Ile de France, France

Email addresses:

philippe.blonde93@gmail.com (Philippe Blondé),

marco.sperduti@u-paris.fr (Marco Sperduti),

dom.makowski@gmail.com (Dominique Makowski),

pascale.piolino@u-paris.fr (Pascale Piolino)

19

20

**Abstract**

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

Mind wandering, defined as focusing attention toward task unrelated thoughts, is a common mental state known to impair memory encoding. This phenomenon is closely linked to boredom. Very few studies, however, have tested the potential impact of boredom on memory encoding. Thus, the present study aimed at manipulating mind wandering and boredom during an incidental memory encoding task, to test their differential impact on memory encoding. Thirty-two participants performed a variant of the n-back task in which they had to indicate if the current on-screen object was the same as the previous one (1-back; low working memory load) or the one presented three trials before (3-back; high working memory load). Moreover, thought probes assessing either mind wandering or boredom were randomly presented. Afterward, a surprise recognition task was delivered. Results showed that mind wandering and boredom were highly correlated, and both decreased in the high working memory load condition, while memory performance increased. Although both boredom and mind wandering predicted memory performance taken separately, we found that mind wandering was the only reliable predictor of memory performance when controlling for boredom and working memory load. Model comparisons also revealed that a model with boredom only was outperformed by a model with mind wandering only and a model with both mind wandering and boredom, suggesting that the predictive contribution of boredom in the complete model is minimal. The present results confirm the high correlation between mind wandering and boredom and suggest that the hindering effect of boredom on memory is subordinate to the effect of mind wandering.

**Keywords:** Attention; Mind Wandering; Boredom; Episodic Memory

## 43        **1. Introduction**

44            Mind wandering, most commonly defined as a shift of attention from a task at hand to  
45 task-unrelated thoughts (Smallwood & Schooler, 2006), is a fairly common phenomenon  
46 estimated to occupy up to 45% of our daily mental activity (Killingsworth & Gilbert, 2010).  
47 This high prevalence of mind wandering has a direct impact on the functioning of cognitive  
48 processes. Indeed, while it has been pointed out that mind wandering can lead to some positive  
49 outcomes, such as an improvement in creativity or future thinking (Baird et al., 2011), it is  
50 generally associated with a perceptual decoupling of attention leading to a worsened processing  
51 of external stimuli (Barron et al., 2011; Schooler et al., 2011; Smallwood et al., 2011). This  
52 divided attentional state leads to various negative consequences such as a worsened mood  
53 (Killingsworth & Gilbert, 2010), disruption of sustained attention (McVay & Kane, 2009, 2012;  
54 Stawarczyk et al., 2011) and notably a hindered memory encoding. For instance, mind  
55 wandering when attending to a lecture course leads to poorer performance when tested  
56 afterward (Hollis & Was, 2016; Wammes, Seli, et al., 2016). Similarly, inductive learning is  
57 impaired when experiencing mind wandering (Metcalf & Xu, 2016). However, memory is not  
58 only mobilized during learning, but is a cognitive function used daily. One of the most prevalent  
59 memory systems is episodic memory, which corresponds to the retrieving of information  
60 alongside its spatio-temporal context, with a feeling of reviviscence (Tulving, 1972, 2002).  
61 Recognition paradigms are often used to assess this memory system and recognition  
62 performance was found to be negatively correlated with both self-reported mind wandering  
63 (Blondé et al., 2020; Franklin et al., 2016; Hollis & Was, 2016; Maillet et al., 2017; Maillet &  
64 Schacter, 2016; Seli, Wammes, et al., 2016; Smallwood et al., 2007; Thomson et al., 2014) and  
65 implicit correlates of mind wandering (deBettencourt et al., 2018; Smallwood et al., 2007).  
66 Memory performance was also found to be different when comparing participants from high  
67 and low mind wandering groups (Riby et al., 2008; Risko et al., 2012). There are several factors



68 which lead to engaging in mind wandering, such as dispositional traits (Andrews-Hanna et al.,  
69 2013), task properties (Seli et al., 2018) or negative mood (Smallwood & O'Connor, 2011).  
70 Among those negative moods, boredom seems to be predominantly linked to mind wandering.

71 Boredom can be viewed as the aversive emotional state resulting from the failure to be  
72 engaged in a satisfying activity (Eastwood et al., 2012). For instance, when students attend a  
73 course on a topic they consider uninteresting, they may fail to focus their attention on the lecture  
74 as it provides little excitement to them, and thus may experience boredom. This common  
75 phenomenon is usually experienced as a transient state disappearing when one's attention is  
76 captured again by some stimuli of interest. Boredom's frequency varies among individuals,  
77 depending on their boredom proneness (Farmer & Sundberg, 1986; Harris, 2000). Trait  
78 boredom is often associated with a worsened mood (Farmer & Sundberg, 1986; LePera, 2011;  
79 Vodanovich et al., 1991), while both trait and state boredom are associated with failures of  
80 sustained attention (Hitchcock et al., 1999; Hunter & Eastwood, 2018; Malkovsky et al., 2012;  
81 Pattyn et al., 2008; Thackray et al., 1977). It is thus not surprising that correlations between  
82 boredom and mind wandering have often been reported (Carriere et al., 2008; Critcher &  
83 Gilovich, 2010; Danckert et al., 2018; Isacescu et al., 2017; Kane et al., 2007; Steinberger et  
84 al., 2016). Mind wandering has been suggested to reduce the dissatisfaction associated with  
85 boredom by directing one's attention from un-arousing external stimuli toward more rewarding  
86 internal thoughts (Malkovsky et al., 2012; Shepherd, 2019). This corpus of evidence linking  
87 boredom and mind wandering matches the subjective phenomenology of mind wandering:  
88 when one catches themselves being in mind wandering, it is often due to a lack of interest  
89 toward the current occupation (for instance: reading a boring paper, being at the bus stop or in  
90 a supermarket queue).

91 Mind wandering and boredom also seem to be associated with a similar pattern of  
92 physiological modifications. Indeed, engaging in task-unrelated thoughts appears to be

93 consistently tied with a short-term elevation in mean heart rate (Cheetham et al., 2016; Ottaviani  
94 & Couyoumdjian, 2013; Pham & Wang, 2015; Smallwood et al., 2007; Smallwood, Davies, et  
95 al., 2004; Smallwood, O'Connor, et al., 2004). This elevation is considered to be a marker for  
96 emotional arousal supposedly generated by the personal saliency of internal thoughts (Klinger,  
97 1999). However, this marker may not be entirely reliable, as two studies show no differences  
98 in heart rate between mind wandering and being on-task (Ottaviani et al., 2013, 2015). A few  
99 studies also pointed out that mind wandering could be associated with a lowered level of skin  
100 conductance response (SCR ; Blanchard, Bixler, Joyce, & D'Mello, 2014; Cheetham et al.,  
101 2016; Smallwood, Davies, et al., 2004; Smallwood et al., 2007). Concerning boredom, a similar  
102 pattern of increased HR (London et al., 1972; Merrifield & Danckert, 2014; Pattyn et al., 2008),  
103 and decreased SCR (Giakoumis et al., 2010; London et al., 1972; Merrifield & Danckert, 2014)  
104 has been reported.

105         One area where information concerning boredom is rather scarce, compared to mind  
106 wandering, is its impact on memory. While boredom is known to be negatively associated with  
107 academic performance (Fritea & Fritea, 2013; Pekrun et al., 2010, 2014; Tze et al., 2016), and  
108 traits of cognitive failures (Carriere et al., 2008; Wallace et al., 2002, 2003), few studies have  
109 tested its direct impact on the encoding process itself. To our knowledge, only two studies  
110 (Goldberg & Todman, 2018; Hunter & Eastwood, 2020) tested the impact of boredom on the  
111 encoding of either text material or word lists. Taken together, their results suggest that boredom  
112 does not have an effect on memorization itself, but on the valence of the recalled material  
113 (Goldberg & Todman, 2018) or that its effect is time-dependent, starting impacting memory  
114 after several study sessions (Hunter & Eastwood, 2020). When considering that boredom and  
115 mind wandering are two highly intertwined phenomena, these results are quite surprising since  
116 a large literature suggests a hindering effect of mind wandering on memory. For instance,  
117 similarly to boredom, mind wandering is especially prevalent and pervasive during learning

118 (Hollis & Was, 2016; Seli, Wammes, et al., 2016). Furthermore, as previously described,  
119 experimental studies have consistently highlighted an impairment of memory encoding due to  
120 mind wandering (Blondé et al., 2020; deBettencourt et al., 2018; Seibert & Ellis, 1991;  
121 Smallwood et al., 2003; Smallwood, Davies, et al., 2004). Thus, if truly mind wandering  
122 impacts memory encoding, and if boredom is so correlated to mind wandering, then we should  
123 observe a negative effect of boredom on memory encoding explained by the co-occurrence of  
124 mind wandering. Some methodological choices can explain why the two aforementioned  
125 studies did not find an impact of boredom on memory. In the study of Hunter and Eastwood  
126 (2020), the induction of boredom took place before the encoding task. As such, it is possible  
127 that the associated boredom state did not extend to the task afterward, explaining the lack of  
128 effect. Golberg and Todman (2018) avoided that problem, as the task itself induced either a low  
129 or a high boredom state. In their research, however, the two conditions required a different  
130 processing of the information (either reading a short novel or counting vowels in different  
131 texts), which may have influenced the results. Golberg and Todman (2018) have stated,  
132 nonetheless, that boredom could impact the encoding process because of its association with  
133 mind wandering. However, since no mind wandering assessment was present in their study, this  
134 hypothesis remains unchecked, to our knowledge.

135         One way to test this hypothesis is to assess both boredom and mind wandering levels  
136 online during an encoding task and use these measures to predict future retrieval. Since  
137 boredom reliably arises during monotonous tasks and is associated with a failure to engage the  
138 attentional executive control networks (Danckert & Merrifield, 2018), using such a monotonous  
139 task would be a straightforward way to induce both boredom and mind wandering. Then,  
140 manipulating the cognitive load of the task would be a reliable way to modulate their level  
141 (Krimsky et al., 2017; Rummel & Boywitt, 2014; Seli et al., 2018) instead of relying on their  
142 spontaneous evolution. Thus, the purpose of the present study is to test the impact of both

143 boredom and mind wandering on episodic memory encoding, by manipulating their respective  
144 levels. Episodic memory will be assessed through the retrieval of both the item and its encoding  
145 context. We postulate that boredom and mind wandering levels will predict one another and  
146 will decrease jointly in a high load task, compared to a less engaging task. Concerning mind  
147 wandering, there is strong evidence in the literature for predicting a negative relationship with  
148 memory performance. Concerning boredom, we predict that a negative relationship with  
149 memory will be observed, due to its high correlation with mind wandering.

## 150 **2. Material and Methods**

### 151 *2.1 Participants*

152 Thirty-nine students of the University of Paris (82.86% women, mean age =  $19.83 \pm 2.25$   
153 years) voluntarily attended this study. Recruitment took place from March to May 2019. They  
154 signed a declaration of informed consent and were granted a credit necessary to complete their  
155 course. Four participants needed to be removed from the analyses due to missing or corrupted  
156 data. As mood disorders can have an influence on attention, boredom, and memory, three  
157 participants were excluded from the analysis as their scores were above two standard deviations  
158 of the PHQ-4 and SWLS scales (see Questionnaires section for more information). The final  
159 sample was comprised of 32 participants (84.38% women, mean age =  $19.63 \pm 2.22$  years).  
160 This sample size was deemed sufficient as it is in range with the one used in several studies  
161 providing key findings on the effect of mind wandering on memory literature (deBettencourt et  
162 al., 2018; Maillet & Rajah, 2014a; Riby et al., 2008; Smallwood et al., 2003; Smallwood,  
163 O'Connor, et al., 2004).

### 164 *2.2 Questionnaires*

165 In order to control the presence of mood disorders, we included the Patient Health  
166 Questionnaire (PHQ-4; Kroenke, Spitzer, Williams, & Löwe, 2009; Löwe et al., 2010), a very

167 brief questionnaire useful for detecting cues of both depression and anxiety. We also added the  
168 Satisfaction With Life Scale (SWLS; Blais, Vallerand, Pelletier, & Brière, 1989; Diener,  
169 Emmons, Larsen, & Griffin, 1985) to complement the previous questionnaire with a trait  
170 measure. Scoring above two standard deviations on the two PHQ-4 subscales and the SWLS  
171 scales was used as an exclusion criterion.

### 172 *2.3 Encoding task*

173 Like in several other studies (Blondé et al., 2020; Chinchachokchai et al., 2020;  
174 Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016), participants had to perform an incidental  
175 encoding task. This was done to better represent how memories are formed in natural situations,  
176 since most of our memories are not encoded voluntarily. An incident encoding also ensure that  
177 participants rely on episodic memory system rather than semantic memory system (Pause et al.,  
178 2013). Moreover, since the main paradigm included a cognitive load manipulation, a voluntary  
179 encoding would have put the participants in a situation of double task, which would have  
180 parasitized the emergence of mind wandering and boredom as well as their influence on  
181 memory performance

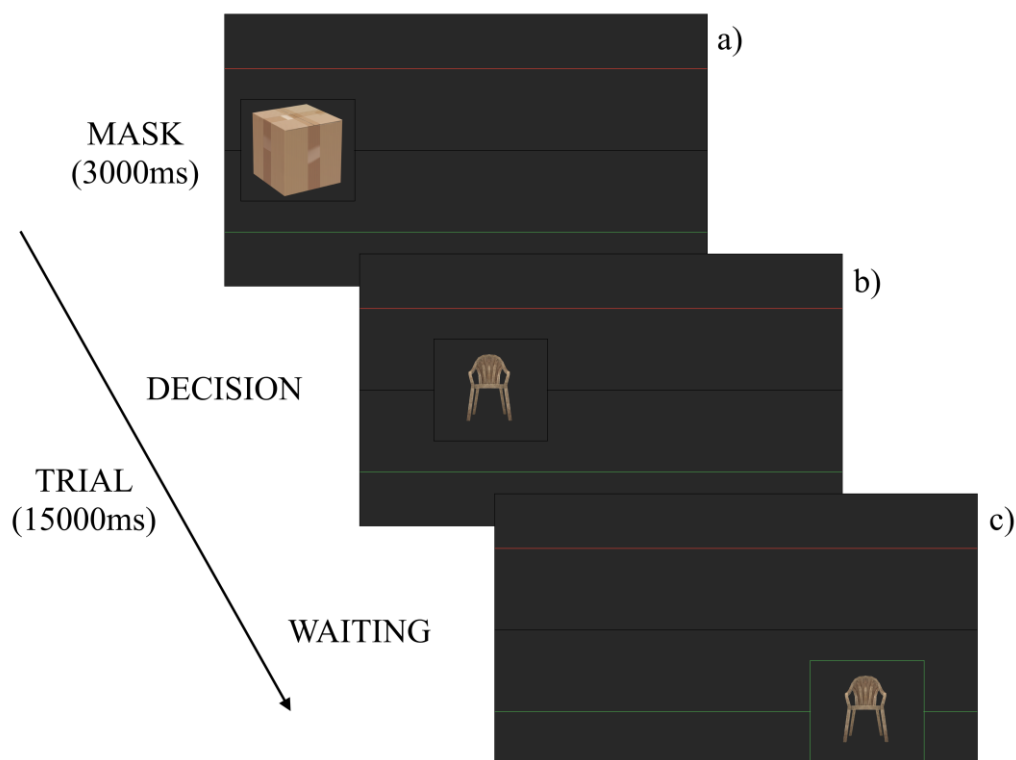
182 The task included two counterbalanced successive blocks both performed by all the  
183 participants. Each block was composed of 48 trials presented in a random order. In each trial,  
184 one item (the image of a common object such as a tool, a piece of furniture, or food) was  
185 presented on-screen. Of these 48 trials, 42 presented different items, while the remaining six  
186 presented six previously seen items which were randomly selected for each participant. The  
187 items moved slowly (at a speed of about 3.5 cm/s) from left to right alongside a black line in  
188 the center of the screen, as if they were moving along a factory line (see **Figure 1**). To reinforce  
189 this impression – and to serve as a mask – the image was not visible at first, hidden by a  
190 cardboard box image, until it reached the first tier of the line (after about 3s), at which point the  
191 box disappeared and revealed the item. This was done to avoid the processing of the item before

192 it was fully visible on the screen. Two parallel lines were also present on the screen: a red and  
193 a green one, respectively above and below the central line. Both were equidistant from the black  
194 line ( $7.5^\circ$  of visual angle, at a distance of 60cm). Participants were informed that they had to  
195 perform a classification task on the objects and were told the task was like “being a factory  
196 worker processing items on a line”. More precisely, they had to perform an adaptation of the n-  
197 back task, where they had to compare the image presented on the screen to the previous image  
198 (1-back, low working memory load condition) or the image presented three trials before (3-  
199 back, high working memory load condition). If the two images matched, participants had to  
200 move the item, as quickly as possible, on the red line, with the up key. If not, the image had to  
201 be sent on the green line, with the down key. After the participant’s response, the images stayed  
202 on-screen until the end of the trial (for a total of about 15s). Each block corresponded to a single  
203 level of cognitive load. Before each block, participants performed a familiarization block  
204 comprised of 8 geometrical forms to check if they understood the task. Participants were also  
205 informed that, from time to time, a thought probe would appear on the screen and temporarily  
206 stop the task. Two types of thought probes were presented: mind wandering probes and  
207 boredom probes. In the former, participants had to answer by rating their attentional level on a  
208 10-points Likert scale ranging from “I’m totally focused on the task” to “I’m totally focused on  
209 my thoughts”. In the latter, they had to perform the same task, but on a scale ranging from “The  
210 task does not bore me at all” to “The task bores me a lot”. Twelve probes were presented in  
211 each block (6 mind wandering and 6 boredom probes), one at a time. Probe types were  
212 alternated pseudo-randomly: each probe was paired with another one from a different type. This  
213 way, one probe type could only be presented twice before switching to the other probe type.  
214 Alternating probes instead of presenting two probes at once was done in order to limit the  
215 potential disruption caused by two probes appearing at the same point. Probes were dispatched

216 pseudo-randomly during each block, every two to four trials (30-60s) and stayed on-screen until  
 217 the participant's response. Each block lasted for about 15m.

#### 218 2.4 Recognition task

219 Memory of previously seen objects was assessed with a recognition task. The 84 images  
 220 shown in the two encoding conditions were presented, alongside 42 new items, in a random  
 221 order. The presentation was self-paced: images stayed on screen until the participants' response.  
 222 They had three options to answer: "yes" (they were sure the object was presented), "no" (they  
 223 were sure the object was not presented), and "not sure" (they did not know or were not certain  
 224 of their answer). If they answered "yes" or "not sure", they had to answer a context memory  
 225 question by specifying if the item was presented in the low or the high working memory load  
 226 condition.



**Figure 1** Schematic representation of a trial. The item drifted slowly from left to right alongside the black line, first masked as a cardboard box for the first 3s of the trial (a). Then, when it appeared, the participant had to redirect it to one of the colored lines (b). Afterward, the item could not be moved until the end of the trial, for a total duration of 15s (c).

## 228 2.5 *Physiological measures*

229 To provide a thorough assessment of mind wandering and boredom during the task, we  
230 complemented the subjective reports with two implicit measures: electrocardiography (ECG)  
231 and electrodermal activity (EDA). All physiological measures were recorded using a Biopac  
232 MP150 system (Biopac System Inc., USA) alongside the AcqKnowledge Software 4.3  
233 (sampling rate of 1000 Hz). ECG was recorded using a modified Lead II configuration  
234 (Makowski et al., 2019; Takuma et al., 1995), by placing three electrodes (EL504) on the torso:  
235 one on the right sub clavicular space and two on the left and right lower ribs. Finally, EDA was  
236 recorded with two Ag/AgCl electrodes (EL507) placed on the intermediate phalange of the  
237 index and middle fingers of the left hand.

## 238 2.6 *Procedure*

239 The experiment was conducted in a quiet room of the Institute of Psychology at the  
240 University of Paris. Participants sat in a chair at approximately 60 cm of a 22.9” computer  
241 screen. They started the experiment by filling a personal information form and signing an  
242 inform consent. Electrodes were put in place during this part, and a test recording was  
243 performed to check if the signal was recorded correctly. If not, the electrodes were put in place  
244 once more until the signal was clean. Afterward, participants completed the first block of the  
245 encoding task, presented as an attentional task. The order of the two blocks was counterbalanced  
246 for each participant. Before each block, participants completed a training task comprising 8  
247 stimuli (simple geometrical forms, one being repeated twice) and a thought probe at the end, to  
248 ensure they understood the instructions before starting the main task. Then, acting as an  
249 interference task between encoding and recognition, participants completed the two  
250 questionnaires and participated to a brief cognitive control evaluation. This evaluation included  
251 a simple reaction time task, a choice reaction time task, a Go-No Go task, and a flanker task.  
252 The detailed description of the task is reported elsewhere (Makowski et al., 2019). The retention



253 interval lasted for about 15 minutes. Lastly, participants performed a surprise recognition task  
254 before going through a debriefing. A typical experimental session lasted for about one hour and  
255 a half.

### 256 **3. Data analysis**

#### 257 *3.1 Indices computation*

258 First, we have calculated the percentage of correct responses during the encoding task, by  
259 dividing the number of hits (when participants correctly determined if the item was previously  
260 seen or not) by the total number of trials. Then, we calculated the percentage of correctly  
261 recognized items, based on the number of correct “yes” answer to the total number of images  
262 presented once (excluding the “not sure” answers and the repeated images). Then, using the  
263 same criteria, we have calculated the percentage of correctly recognized context, based on the  
264 number of correctly retrieved context condition to the total number of correct “yes” responses.

265 For the physiological measures, we have calculated the mean heart rate and the number of  
266 EDA peaks for each trial preceding a probe over a 15s window before the probe’s appearance.  
267 This window was selected instead of longer epoch durations used in similar protocols (Ottaviani  
268 et al., 2013; Smallwood et al., 2007; Smallwood, Davies, et al., 2004; Smallwood, O’Connor,  
269 et al., 2004) to prevent the overlapping of several trials. The ECG signal was filtered with a  
270 high-pass Finite Impulse Response filter (FIR; with a cutoff frequency of 1 Hz), and the EDA  
271 signal was filtered with a low-pass FIR filter (with a cutoff frequency of 0.3 Hz), in line with  
272 the current literature (Blanchard et al., 2014; Smallwood et al., 2007; Smallwood, Davies, et  
273 al., 2004; Smallwood, O’Connor, et al., 2004). The EDA peaks were detected based on a  
274 detection threshold of 0.5 standard deviations. For a descriptive summary of each variable, see  
275 **Table 1.**

<i>Working memory load</i>	<i>Correct responses (%)</i>	<i>Reaction time (ms)</i>	<i>Mind wandering score</i>	<i>Boredom Score</i>	<i>Item recognition (%)</i>	<i>Context recognition (%)</i>	<i>HR</i>	<i>Number of SCR peaks</i>
<i>Low</i>	97.52 (5.45)	1517.34 (629.63)	4.88 (2.62)	5.94 (2.4)	65.71 (20.06)	62.30 (21.25)	82.63 (9.39)	1.01 (0.76)
<i>High</i>	94.5 (10.43)	1903.64 (966.86)	2.79 (2.53)	3.73 (2.67)	75.43 (14.02)	77.07 (14.72)	85 (9.5)	0.93 (0.86)

**Table 1** Mean and standard deviations for the main outcomes associated with the two encoding conditions.

277 *3.2 Analysis methods*

278 R 3.6.0 (R Development Core Team, 2008) was used to conduct all statistical analyses. In  
279 line with recent statistical guidelines (Etz & Vandekerckhove, 2016; Wagenmakers et al., 2018)  
280 we used the Bayesian framework to analyze our data, using the packages *rstanarm* (Carpenter  
281 et al., 2017; Gabry & Goodrich, 2016) and *psycho* (Makowski, 2018). In the following analyzes,  
282 we will express our results in terms of certainty levels. An effect will be considered as likely  
283 existing (similar to  $p < .05$ ) if its pd (probability of direction, a Bayesian indicator of the  
284 existence of an effect) is above 97% (Makowski, Ben-Shachar, et al., 2019). Indicators are  
285 associated with a 90% Credible Interval, deemed more appropriate for Bayesian analyses than  
286 the 95% interval usually used in the frequentist approach (Kruschke, 2014). For model  
287 comparisons, we used the Leave-One-Out (LOO) cross-validation method to assess which  
288 model has the best predictive power (Gelman et al., 2014; Vehtari et al., 2017). For each model,  
289 we reported two indicators of model performance: The Expected Log Predictive Density  
290 (ELPD) and the Leave-One-Out Information Criterion (LOOIC). The ELPD assesses the  
291 posterior predictive distribution of the model while the LOOIC is an estimation of ELPD using  
292 another dataset (Gelman et al., 2014; Vehtari et al., 2017). The higher the ELPD is – and the  
293 lower the LOOIC is – the better the model’s predictive power will be. Finally, Bayes Factors  
294 (BF) were computed to pit each model against the others. BF estimation quantifies the support  
295 for a hypothesis against another. As such, the more the BF is greater than one, the higher the  
296 models are likely to differ. Conversely, the more the BF is lower than one, the higher the models  
297 are likely *not* to differ (Kass & Raftery, 1995; van Doorn et al., 2020). All models included  
298 both the encoding condition and the order of the conditions as fixed effects. All logistic models  
299 predicting memory performance did not include repeated items nor “not sure” responses.  
300 Furthermore, all our models included the participants as random effect. Additional fixed and  
301 random effects are stated when necessary. The analyses were either performed at the

302 participant-level (testing the prediction of the participants' mean scores) or at the item-level  
303 (testing the prediction of each item). To help clarify the distinction between the two levels of  
304 analyses, this information was specified each time a model is described. For more information,  
305 each model is reported in the supplementary material.

## 306 **4. Results**

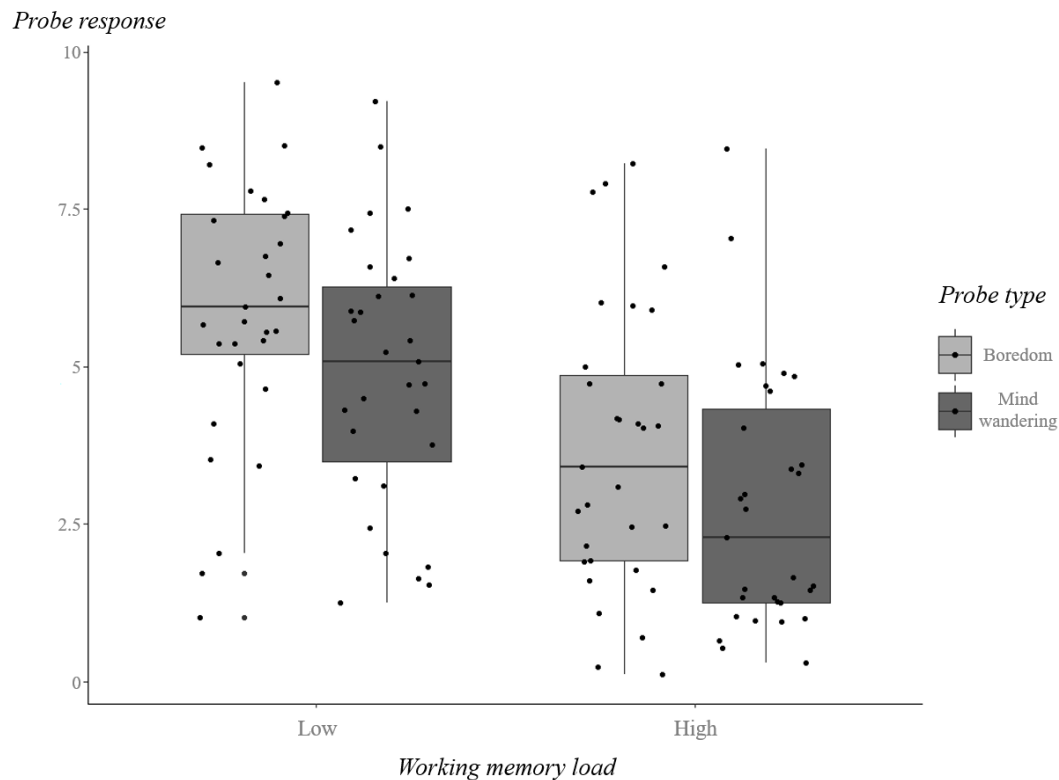
### 307 *4.1 Manipulation check*

308 First, we have tested if the encoding task was correctly done by our participants. Thus,  
309 we have computed a participant-level mixed Bayesian linear model predicting the percentage  
310 of correct responses with the working memory load of the encoding condition (with item  
311 occurrence as fixed effect). The difference in the percentage of correct responses between the  
312 low and high working memory load conditions had a 98.28% probability of being negative  
313 (Median = -2.82, 90% CI [-4.89, -0.58],  $R^2 = 0.23$ ). This suggests it is likely that working  
314 memory load impacted the percentage of correct response, which was better in the low memory  
315 load condition ( $97.52\% \pm 5.45$ ) than in the high memory load condition ( $94.5\% \pm 10.43$ ).  
316 Furthermore, to complement the previous analysis, we have computed an item-level mixed  
317 Bayesian linear model predicting the reaction times of each trial with the corresponding  
318 working memory load (with item occurrence as fixed effect, and trial number and stimulus as  
319 additional random effects). For the reaction times to be comparable, we have converted the raw  
320 data into within-participant Z scores. The difference in reaction times between the two  
321 conditions had a 100% probability of being positive (Median = 0.58, 90% CI [0.5, 0.66],  $R^2 =$   
322 0.11). Thus, it is almost certain that working memory load also had an effect on reaction times,  
323 which were shorter in the low memory load condition (z-scores:  $-0.27 \pm 0.8$  ; raw scores:  
324  $1517.34\text{ms} \pm 629.63$ ) than in the high memory load condition (z-scores:  $0.28 \pm 1.1$  ; raw scores:  
325  $1903.64\text{ms} \pm 966.86$ ).

326 Then, we tested if we successfully impacted the occurrence of mind wandering and  
327 boredom episodes by manipulating the working memory load of the encoding task. We have  
328 computed two participant-level mixed Bayesian linear models to predict mind wandering or  
329 boredom scores with the encoding condition. Concerning mind wandering, the difference of  
330 mind wandering scores between low and high working memory load conditions had a 100%  
331 probability of being negative (Median = -1.99, 90% CI [-2.3, -1.67],  $R^2 = 0.6$ ), meaning that  
332 there is an almost certain effect of the working memory load on mind wandering, with a higher  
333 mind wandering score for the low working memory load condition ( $4.88 \pm 2.62$ ) than for the  
334 high memory load condition ( $2.79 \pm 2.53$ ). Concerning boredom, the difference of boredom  
335 scores between low and high working memory load conditions had a 100% probability of being  
336 negative (Median = -2.12, 90% CI [-2.39, -1.84],  $R^2 = 0.68$ ). Thus, the working memory load  
337 predicts almost certainly boredom, with a higher boredom score when the working memory  
338 load is low ( $5.94 \pm 2.4$ ) than when it is high ( $3.73 \pm 2.67$ ). See **Figure 2** for a comparison.  
339 Finally, a mixed Bayesian linear model was performed to predict the mean mind wandering  
340 score with the mean boredom one. The effect of boredom on mind wandering had a 100%  
341 probability of being positive (Median = 0.46, 90% CI [0.28, 0.65],  $R^2 = 0.64$ ). Thus, it is almost  
342 certain that boredom linearly predicts mind wandering. Finally, we assessed if mind wandering  
343 and boredom influenced the accuracy of the working memory task during encoding. To this  
344 end, we computed two participant-level mixed Bayesian linear models to predict the percentage  
345 of correct responses with either mind wandering or boredom as predictors. The effect of mind  
346 wandering had an 71.25% probability of being negative (Median = -0.16, 90% CI [-0.62, 0.31],  
347  $R^2 = 0.22$ ) and the effect of boredom had a 77.33% probability of being negative (Median = -  
348 0.2, 90% CI [-0.62, 0.27  $R^2 = 0.21$ ). Thus, it is uncertain if mind wandering and boredom  
349 predicted working memory performance.

350

351



**Figure 2** Whisker plot of boredom and mind wandering scores for each condition of working memory load.

#### 352 4.2 Prediction of memory with working memory load

353 We have computed two participant-level mixed Bayesian linear models with the working  
 354 memory load at encoding as a predictor and either the percentage of correctly recognized items  
 355 or the percentage of correctly identified context as predicted variables. For item memory, the  
 356 difference in percentage of item recognition between the two encoding conditions had a 99.93%  
 357 probability of being positive (Median = 10.24, 90% CI [5.56, 15.12],  $R^2 = 0.61$ ). For context  
 358 memory, the difference in percentage of context recognition between the two conditions had a  
 359 99.98% probability of being positive (Median = 15.24, 90% CI [7.66, 22.21],  $R^2 = 0.25$ ). Thus,  
 360 it is very probable that encoding condition impacted memory, as we observed a lower  
 361 percentage of recognition for both items ( $65.71\% \pm 20.06$ ) and their context ( $62.30\% \pm 21.25$ )

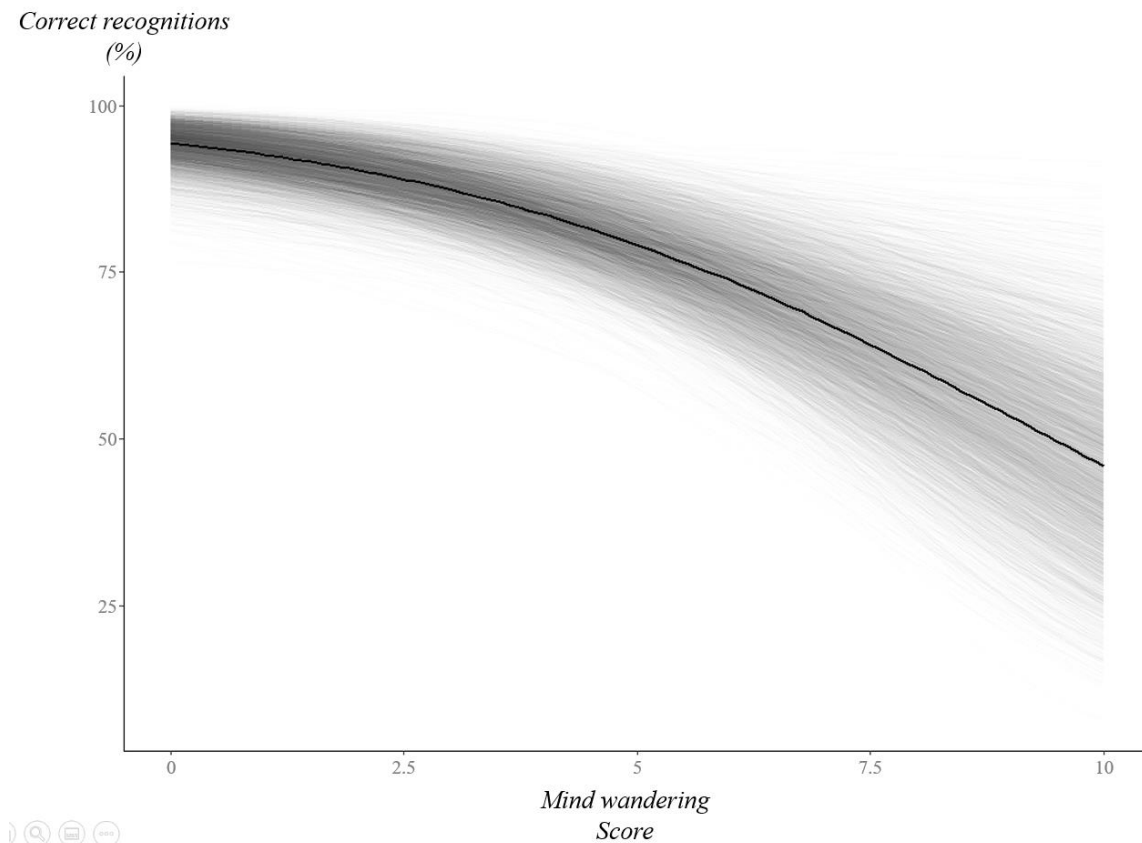
362 in the low working memory load condition than the percentage of recognition for items (75.43%  
363  $\pm 14.02$ ) and their context (77.07%  $\pm 14.72$ ) in the high working memory load condition.

364 Since memory performance can be driven by the time spent processing the stimuli, we  
365 computed two item-level Bayesian logistic models predicting either the probability of correctly  
366 recognizing an item or the probability of correctly recognizing its context with the reaction time  
367 (z-score) associated with the item (with trial number and stimulus as additional random effects).  
368 The effect of reaction time on item memory had a probability of 64.8% to be positive (Median  
369 = 0.03, 90% CI [-0.08, 0.13] ,  $R^2 = 0.21$ ), and its effect on context memory had a 97.95%  
370 probability of being positive (Median = 0.13, 90% CI [0.03, 0.24] ,  $R^2 = 0.11$ ). Thus, while it  
371 is uncertain if reaction time can predict item memory, it is likely to predict context memory.

#### 372 *4.2 Prediction of memory with mind wandering*

373 To test the impact of mind wandering on later item recognition, we have computed an  
374 item-level Bayesian logistic model predicting the probability of correctly recognizing an item  
375 placed right before a probe with the score given to that probe (with trial number and stimulus  
376 as additional random effects). The linear prediction of a correct recognition by mind wandering  
377 score had a 99.98% probability of being negative (Median = -0.30, 90% CI [-0.45, -0.14],  $R^2 =$   
378 0.28). Thus, it is very likely that mind wandering during the encoding of an item negatively  
379 predicts its subsequent recognition (See **Figure 3**).

380 Then, to test the impact of mind wandering on the correct retrieval of the context  
381 condition, we have computed the same item-level Bayesian logistic model (with the addition of  
382 z-scored reaction times as fixed effect), with the ability to retrieve the encoding condition as  
383 the predicted variable. The model had an explanatory power of about 32.58%. In this model,  
384 the linear relationship between mind wandering and successful context retrieval had a 96.68%  
385 chance of being negative (Median = -0.18, 90% CI [-0.35, 0.01],  $R^2 = 0.33$ ). Thus, mind  
386 wandering at encoding may possibly predict the probability of retrieving context condition.

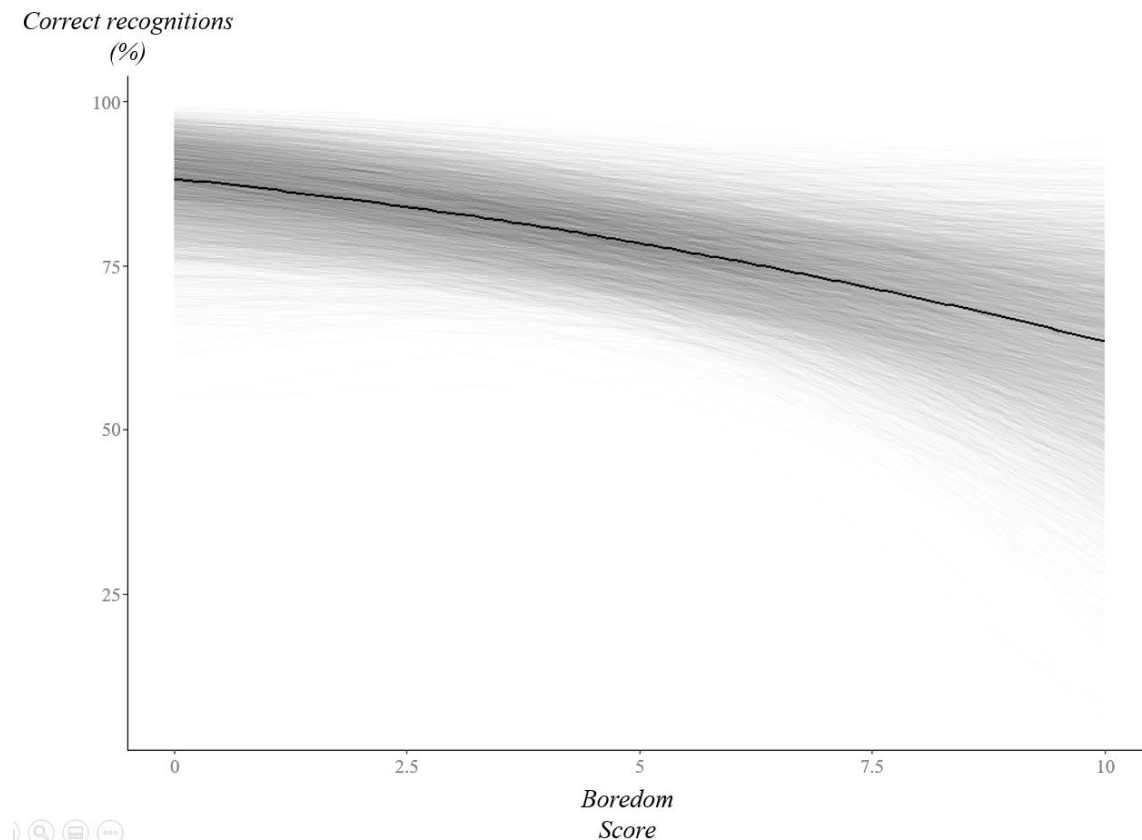


**Figure 3** Probability of obtaining a correct item recognition based on the mind wandering score at encoding. The bold line corresponds to the median effect, while the thin lines represent 4000 possible draws from the posterior distribution.

#### 387 4.3 Prediction of memory with boredom

388 Next, in order to test the impact of boredom on subsequent item recognition, we have  
389 computed an item-level Bayesian logistic model predicting the probability of correctly  
390 recognizing an item situated before a boredom probe with the given score to that probe (here  
391 too with trial number and stimulus as additional random effects). It appears the linear prediction  
392 of a correct recognition by boredom score had a 98.38% probability of being negative (Median  
393 = -0.19, 90% CI [-0.35, -0.03],  $R^2 = 0.30$ ). As such, experiencing boredom at encoding is likely  
394 to negatively predict later item memory performance (See **Figure 4**).





**Figure 4** Probability of obtaining a correct item recognition based on the boredom score at encoding. The bold line corresponds to the median effect, while the thin lines represent 4000 possible draws from the posterior distribution.

395 Then, for context memory, we have computed the same item-level Bayesian logistic model  
 396 (also with the addition of z-scored reaction times as fixed effect), with the ability to retrieve the  
 397 encoding condition as the predicted variable. The linear relationship between correctly retrieving the  
 398 context condition and boredom had an 74.43% chance of being negative (Median = -0.06, 90% CI [-  
 399 0.21, 0.09],  $R^2 = 0.21$ ). Thus, it is uncertain if boredom had an impact on context retrieval.

#### 400 4.4 Model comparison for item memory

401 Since mind wandering, boredom and the working memory load reliably predicted  
 402 subsequent item memory, we performed additional analyses to determine which one of these  
 403 predictors was the most reliable.

404 First, we have computed a single participant-level mixed Bayesian linear model to  
405 predict the overall percentage of correctly recognized items with the working memory load,  
406 mind wandering, and boredom mean scores as predictors. The model had an explanatory power  
407 ( $R^2$ ) of about 0.67. Within this model, the effect of mind wandering had a 99.8% probability of  
408 being negative (Median = -3.36, 90% CI [-5.10, -1.50]). On the other hand, the effect of  
409 boredom had a 67.13% probability of being negative (Median = -0.46, 90% CI [-2.03, 1.4]).  
410 Moreover, the effect of working memory load at encoding had a 76.08% chance of being  
411 positive (Median = 2.43, 90% CI [-3.29, 8.41]). Thus, when taking into account all potential  
412 predictors, it is very likely that mind wandering negatively predicts item memory performance,  
413 while it is uncertain if boredom and the encoding condition can predict it.

414 Then, we performed model comparisons in order to specifically assess the respective  
415 contribution of boredom and mind wandering as predictors of item memory. We have compared  
416 the previously described model (the complete model) to three reduced model: one without  
417 boredom (the mind wandering model), one without mind wandering (the boredom model) and  
418 one without both (the base model). Comparing those models using cross-validation showed that  
419 the mind wandering model (ELPD = -257.09, LOOIC = 514.18) outperformed the complete  
420 model ( $d_{ELPD} = 0.81$ ,  $d_{LOOIC} = 1.62$ ), the boredom model ( $d_{ELPD} = 5.36$ ,  $d_{LOOIC} = 10.72$ ) and the  
421 base model ( $d_{ELPD} = 6.05$ ,  $d_{LOOIC} = 12.1$ ). As such, a model including only mind wandering  
422 appears to be the best way to predict item memory (see **Table 2** for an overview of the models).

423 Finally, to assess how well the data was described by each model relative to the others,  
424 we computed Bayes Factors for each pair (see **Table 3** for the comparison matrix). It appears  
425 that every model had a very substantial chance of describing the data better than the base model,  
426 with the complete model having the highest chance (BF = 4645.51), then the mind wandering  
427 model (1652.44), and finally the boredom one (BF=18.11).

428

<i>Models</i>	<i>ELPD</i>	<i>LOOIC</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Mind wandering</i>	<b>-257.09</b>	<b>514.18</b>	<b>0.68</b>
<i>Complete model</i>	-257.90	515.80	0.67
<i>Boredom</i>	-262.45	524.90	0.61
<i>Base model</i>	-263.14	526.28	0.61

**Table 2** Comparison of models predicting item memory ranked by performance using the expected log point-wise predictive density (ELPD) and the LOO information criterion (LOOIC). The smallest absolute values are reported in bold.

429 We then used the complete model as denominator to assess if there was evidence that  
 430 the mind wandering and boredom models were more informative. There was very strong  
 431 evidence that the boredom model did not describe the data better than the complete model  
 432 (BF=0.004) and anecdotal evidence that the mind wandering model did not describe the data  
 433 better either (BF = 0.36). Finally, specifying the boredom model as denominator and the mind  
 434 wandering one as numerator, there was very strong evidence that the mind wandering model  
 435 described the data better (BF = 92.35). Thus, based on the BF, both the mind wandering and  
 436 complete models should be preferred to account for memory performance.

#### 437 4.5 Physiological prediction

438 Lastly, we have computed two item-level mixed Bayesian linear models to predict either  
 439 the level of mind wandering or boredom using the mean HR measured 15s before the probe  
 440 (with the trial number and stimulus as additional random effects). First, heart rate's effect on  
 441 mind wandering had a 71.48% probability of being negative (Median = -0.01, 90% CI [-0.04,  
 442 0.02],  $R^2 = 0.62$ ). Second, heart rate's effect on boredom had a 99.5% probability of being  
 443 negative (Median = -0.05, 90% CI [-0.09, -0.02],  $R^2 = 0.69$ ). Thus, heart rate is very likely to  
 444 negatively predict boredom while it is uncertain if it can predict mind wandering.

445 Concerning skin conductance, we have computed the same two previous item-level  
 446 Bayesian linear models again but using as predictor the number of EDA peaks measured 15s  
 447 before the probe. The two models were found to be inconclusive. The effect of the number of  
 448 peaks on mind wandering had a probability of 80.95% to be negative (Median = -0.22, 90% CI  
 449 [-0.65, 0.18] ,  $R^2 = 0.52$ ), and its effect on boredom had a 74.38% probability of being negative  
 450 (Median = -0.16, 90% CI [-0.56, 0.24] ,  $R^2 = 0.67$ ). Thus, it is uncertain if skin conductance  
 451 response can predict either mind wandering or boredom.

452

<i>Models</i>	<i>Mind wandering</i>	<i>Boredom</i>	<i>Complete model</i>
<i>Boredom</i>	92.35	/	/
<i>Complete model</i>	0.36	0.004	/
<i>Base model</i>	1652.44	18.11	4645.51

**Table 3** Comparison matrix of the four models predicting item memory using Bayes Factor (BF). Each column corresponds to the model used as a numerator in the calculation of the BF, while the row refers to the denominator. The more the BF is greater than one, the more evidence is provided for a difference in how the data are described by the models. The more the BF is lower than one, the more evidence is provided for no difference in how the data are described.

## 453 5. Discussion

454 This study aimed at testing if boredom could impact episodic memory encoding through the  
 455 emergence of mind wandering. We manipulated cognitive load at encoding to modulate mind  
 456 wandering and boredom. Several findings emerged from this study. First, we were successful  
 457 in manipulating both mind wandering and boredom through a change in working memory load.  
 458 Second, mind wandering and boredom were, as hypothesized, highly correlated. Third, both  
 459 mind wandering and boredom negatively predicted item memory performance, but only mind  
 460 wandering tended to predict context memory. When computed into a single model, mind

461 wandering appeared to be a strong predictor of item memory, while boredom was not a reliable  
462 predictor. The model including mind wandering also better explained the results compared to  
463 the one including boredom. And lastly, while skin conductance was not found to be a predictor  
464 of either mind wandering or boredom, a decrease in heart rate was found to predict boredom,  
465 and not mind wandering.

466 The paradigm used in the present paper was effective at modulating both mind wandering  
467 and boredom levels and impacting memory performance through a modification of working  
468 memory load during encoding. The manipulation of cognitive load is confirmed by both the  
469 lower percentage of correct responses and the increase in reaction time found in the high  
470 working memory load condition. The difference in working memory task accuracy was found  
471 to be mostly driven by task difficulty since mind wandering and boredom were not found to be  
472 reliable predictors. This pattern of results could stem from the fact that, despite the difference  
473 between conditions, response accuracy was very high even in the high load condition. This  
474 ceiling effect could have prevented from finding an effect of mind wandering and boredom.  
475 Also, it should be noted that the reaction times were overall quite long when compared to  
476 regular n-back tasks (Jaeggi et al., 2010), especially for the low working memory load  
477 condition. This is likely due to the design of our modified n-back task, as stimuli were presented  
478 at a slow-paced rate (one every 15s) while in classical n-back tasks, items are usually  
479 immediately presented after one another (Conway et al., 2005). While the instruction was to  
480 answer as quickly as possible, it is possible that the slow pace of the experiment did not  
481 incentivize fast reactions. Moreover, the most common material used in n-back tasks is digits,  
482 which are simple stimuli quick to process. Processing more complex material, such as pictures  
483 can lead to higher reaction times (Palomäki et al., 2012). Despite this, we still found noticeably  
484 slower reaction times in the 3-back condition compared to the 1-back one, confirming the  
485 difference in working memory load, irrespective of the base reaction time. Another finding is

486 that, regardless of the working memory load, mind wandering and boredom were found to be  
487 extremely correlated, which is in line with past literature framing the two processes as co-  
488 occurrent (Carriere et al., 2008; Critcher & Gilovich, 2010; Danckert et al., 2018; Kane et al.,  
489 2007; Steinberger et al., 2016). However, the causality of this association is still unclear  
490 (Raffaelli et al., 2018). For instance, some studies have pointed out that mind wandering could  
491 be a sort of ‘defense mechanism’ against boredom, triggering when external stimuli are under-  
492 arousing, in order to redirect attention to more appealing internal stimuli (Malkovsky et al.,  
493 2012; Shepherd, 2019). The opposite hypothesis has been proposed too: boredom could be the  
494 emotional response emerging from the discrepancy between internal interesting stimuli, and  
495 external uninteresting ones (Eastwood et al., 2012). Dissociating mind wandering and boredom  
496 through experimental design should be a step toward a better understanding of their relationship  
497 and the specificities of each process.

498       Apart from the decrease in both mind wandering and boredom, increasing task difficulty  
499 was associated with an improvement in episodic memory performance. The better retrieval  
500 emerging from the high load encoding condition may be explained in two different ways: either  
501 the encoding was better because the nature of the task forced the participants to process the  
502 information for a longer time, or it stems from the higher focus on the task due to the lack of  
503 mind wandering. The former hypothesis is not supported by our data concerning memory for  
504 items, as longer reaction times did not lead to a better encoding, but interestingly this  
505 relationship emerged for context memory. Encoding the context of presentation of an item  
506 requires the mobilization of an associative process between the item and its context (Ranganath,  
507 2010). As such, the successful execution of this additional process may be more dependent on  
508 processing time than item encoding only, which was more affected by the distribution of  
509 attentional resources. Indeed, the effect of task difficulty on item recognition was uncertain  
510 when taking into account the level of mind wandering at encoding, which emerged as a strong

511 predictor of memory performance. Thus, while a direct effect of the task cannot be entirely  
512 excluded, our results suggest it was more likely that the increase in mind wandering affected  
513 item memory performance rather than the task itself. Moreover, the fact that mind wandering  
514 during encoding led to a worsened recognition fits into the perceptual decoupling framework.  
515 It is likely that participants experienced an attentional shift during mind wandering, prioritizing  
516 the processing of internal stimuli instead of external ones, thus leading to a poorer encoding.  
517 As such, experiencing mind wandering during encoding may be similar to a divided attention  
518 situation, a phenomenon well-known to have a hindering effect on memory encoding ( Craik et  
519 al., 1996; Curran, 2004; Fernandes & Moscovitch, 2000; Uncapher & Rugg, 2005). If the effect  
520 of mind wandering on item memory starts to become well documented, the present study is one  
521 of the few suggesting a potential hindering effect on context memory as well (Maillet & Rajah,  
522 2014b, 2016), which may highlight a detrimental impact of mind wandering on the binding  
523 between the items and their context. As such, the assimilation of mind wandering with divided  
524 attention holds true, as dividing attention at encoding also leads to a hindering effect on context  
525 memory (Craik et al., 2010; Troyer et al., 1999; Troyer & Craik, 2000). This effect, however,  
526 should be relativized, as reaction times were shown to predict context recognition. Hence, the  
527 effect of mind wandering may have been reduced by taking into account the effect of reaction  
528 time. Also, since context recognition was only assessed for correctly recognized items, the  
529 diminished impact of mind wandering may stem from the fact that these items were, on average,  
530 associated with lower rates of mind wandering.

531 Boredom, by contrast, was a slightly less reliable predictor of memory performance, as it  
532 only led to a decrease in item memory, with no impact on context memory. This lack of  
533 precision may be due to the fact that, according to our hypothesis, the effect of boredom was  
534 indirect, and was mostly driven by its high correlation with mind wandering. Supporting this  
535 hypothesis, we found that, when predicting item memory performance with both mind

536 wandering and boredom, only mind wandering remained a reliable predictor. This can be  
537 interpreted as the effect of boredom being subsumed to the effect of mind wandering. This  
538 hypothesis is supported by the results of our item memory model comparisons. Each model had  
539 a high probability of having a better predictive power than the base model, but when comparing  
540 the boredom model to the mind wandering and complete models, substantial evidence showed  
541 that the boredom model was outperformed by the mind wandering model and did not describe  
542 the data better than the complete model. The mind wandering model was not found to describe  
543 the data better than the complete model either, but the evidence was far much weaker. It is thus  
544 possible that most of the predictive power of the complete model was attributed to mind  
545 wandering, and only marginally to boredom. Furthermore, when observing the ELPD scores,  
546 the fact that the complete model – including both mind wandering and boredom – had slightly  
547 less predictive power than the mind wandering one suggests that adding boredom as a predictor  
548 is redundant. As such, it is fair to assume that the boredom effect on item memory performance  
549 is a byproduct of the mind wandering effect, due to the high correlation between the two  
550 predictors.

551 The fact that boredom predicted item memory is at odds with previous results showing no  
552 direct effect on memory encoding (Goldberg & Todman, 2018; Hunter & Eastwood, 2020). As  
553 mentioned in the introduction, some methodological choices can account for the lack of effect  
554 in these previous experiments, namely the fact that boredom was induced before the task, and  
555 not by the task itself (Hunter & Eastwood, 2020) and the fact that the two conditions of the task  
556 required different processing of the encoded information (Goldberg & Todman, 2018). The task  
557 used in the present study managed, we believe, to address those two problems by manipulating  
558 and assessing the levels of boredom during the task itself, while only changing the quantity of  
559 information to process, and not the nature of the task. However, it is also possible that we did  
560 not assess the same kind of boredom than these studies. Indeed, Hunter and Eastwood (2020)



561 pointed out the need to differentiate between boredom proneness, state boredom and task  
562 boringness. In the present experiment, the boredom probes prompted the participants to rate  
563 how much they considered *the task* to be boring. Hence, the results we found may be more tied  
564 to task boringness rather than boredom state *per se*. However, it is quite counterintuitive that a  
565 task perceived as boring does not lead to state boredom, especially when the participant cannot  
566 engage in another activity, as it is the case in a laboratory experience. It is possible, though, that  
567 engaging in pleasant mind wandering may lead to not feeling bored while still perceiving the  
568 task as boring. More research would be needed to see whether such dissociation could be  
569 observable. Finally, assessing the phenomenology of boredom could also help to understand  
570 more precisely the relationship between boredom, mind wandering and memory. Indeed,  
571 boredom can be viewed in two ways: either a low arousal state (“apathetic boredom”)   
572 characterized by a feeling of disinterest (Mikulas & Vodanovich, 1993; Pattyn et al., 2008;  
573 Vogel-Walcutt et al., 2012), or a high arousal state (“agitated boredom”) associated with a  
574 feeling of restlessness (Jang et al., 2015; Martin et al., 2006; Merrifield & Danckert, 2014).  
575 While mind wandering is consistently associated to boredom, it was also found to be  
576 specifically associated with restlessness, but not sleepiness (Danckert et al., 2018). It might thus  
577 be possible that only agitated boredom leads to memory impairment, due to its ties to mind  
578 wandering.

579 In contrast to our behavioral results, boredom and mind wandering did not present a similar  
580 pattern of physiological measures. Indeed, boredom appeared to be reliably predicted by heart  
581 rate, while mind wandering was not, and skin conductance variations predicted neither of these  
582 two mental states. Surprisingly, the relationship between heart rate and boredom was negative,  
583 while an association with an increased heart rate is a consistent finding in previous literature  
584 (London et al., 1972; Merrifield & Danckert, 2014; Pattyn et al., 2008). This finding may stem  
585 from our experimental design, as some studies pointed out that the change in heart rate was not

586 associated with boredom itself but rather a change in working memory load (Hill & Perkins,  
587 1985; Perkins, 1981). Also, in contrast with most studies, mind wandering was not reliably  
588 predicted by either heart rate or skin conductance. However, these results should be taken with  
589 great caution as they may be derived from experimental noise. Indeed, the relative number of  
590 probes (6 for each type) coupled with the rather small sample size means that few epochs were  
591 recorded, which can partially explain our lack of results. Nevertheless, it should be noted that  
592 some studies also failed to highlight a relationship between mind wandering and heart rate  
593 (Ottaviani et al., 2013, 2015).

594         One limitation to the present study is our inability to determinate which kind of mind  
595 wandering participants experienced. Indeed, while generally considered a disruptive  
596 phenomenon, the effect of mind wandering on encoding may be modulated by different  
597 characteristics. For instance, some authors propose to distinguish between spontaneous and  
598 deliberate forms of mind wandering (Robison & Unsworth, 2017; Seli et al., 2015; Seli, Risko,  
599 et al., 2016). The former corresponds to a natural, uncontrolled switch from on-task to off-task  
600 thoughts while the latter represents a conscious choice of voluntarily focusing on off-task  
601 thoughts. It has been suggested that these two forms differently affect memory performance in  
602 academic learning. By testing memory performance after each lecture and at the end of a  
603 semester, spontaneous mind wandering was found to hinder final test performance, while  
604 deliberate mind wandering was negatively correlated with post-lecture test performance  
605 (Wammes, Boucher, et al., 2016; Wammes, Seli, et al., 2016). Moreover, Isacescu et al. (2017)  
606 have shown that boredom proneness was significantly predicted by spontaneous mind  
607 wandering but not by deliberate mind wandering. Given the strong correlation between  
608 boredom and mind wandering in the present study, we can assume that our participants mostly  
609 experienced spontaneous mind wandering. Making such a distinction would have required to  
610 include additional thought probes focused on the nature of mind wandering. As a matter of fact,

611 some studies used extensive probing methods to cover various aspects of mind wandering's  
612 content (Hollis & Was, 2016; Kane et al., 2017; Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016).  
613 However, this type of assessment would not have fit well with our encoding paradigm. It is  
614 especially true for the high working memory load condition, as it would have greatly disrupted  
615 the maintenance of items in working memory.

616 Overall, the present study both highlights a potential negative effect of boredom on memory  
617 performance and suggests that this effect may be tied to mind wandering accompanying this  
618 emotional state. The next step in understanding the respective influence of these two  
619 phenomena on episodic memory would be to create an experimental dissociation between the  
620 two. Manipulating task difficulty proved to be unsuccessful in the present experiment,  
621 potentially because task engagement was stronger in the high working memory load condition.  
622 One potential avenue to achieve this dissociation could be the manipulation of the expertise of  
623 the subjects. Indeed, some automatized activities can help reducing boredom while leaving  
624 attentional resources available to engage in mind wandering. For instance, playing video games  
625 could provide such a situation. Indeed, this activity can be considered enjoyable enough to  
626 prevent – or limit – the emergence of boredom, while being automatized through expertise,  
627 allowing the emergence of mind wandering for expert players. As such, when playing a video  
628 game, expert and novice players may differ in their mind wandering levels while maintaining  
629 similar levels of boredom. This dissociation could then be used to test the respective influence  
630 of mind wandering and boredom for memory performance of events appearing in the video  
631 game.

## 632 **6. Conclusion**

633 The present study represents a novel effort to better assess and understand the respective  
634 effects of mind wandering and boredom on episodic memory encoding. By manipulating mind

635 wandering and boredom through an increase in working memory load at encoding, we found  
636 that both boredom and mind wandering decreased and predicted later item recognition, while  
637 only mind wandering predicted context retrieval. However, when conducting more advanced  
638 analyzes, mind wandering appeared to be the best predictor of item memory, while boredom's  
639 effect became uncertain. Mind wandering and boredom, often considered as two faces of the  
640 same coin, need further research to understand more precisely their relationship and better  
641 delineate their respective impacts on cognitive functioning.

## 642 **7. Declarations**

### 643 *Conflict of interest*

644 The authors declare having no conflict of interest.

### 645 *Funding*

646 The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication  
647 of this article.

### 648 *Ethical standards*

649 The manuscript does not contain clinical studies or patient data. All participants signed an  
650 informed consent before attended to this experiment.

### 651 *Availability of data and material*

652 The present study was not pre-registered. The raw data and scripts for their processing and  
653 statistical analyses are available in the following depository:

654 **<https://osf.io/87tnw/files/>**

## 655 **8. References**

656 Baird, B., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2011). Back to the future: Autobiographical  
657 planning and the functionality of mind-wandering. *Consciousness and Cognition*, 20(4),

- 658 1604–1611. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.007>
- 659 Barron, E., Riby, L. M., Greer, J., & Smallwood, J. (2011). Absorbed in Thought: The Effect  
660 of Mind Wandering on the Processing of Relevant and Irrelevant Events. *Psychological*  
661 *Science*, 22(5), 596–601. <https://doi.org/10.1177/0956797611404083>
- 662 Blais, M. R., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Brière, N. M. (1989). L'échelle de  
663 satisfaction de vie: Validation canadienne-française du "Satisfaction with Life Scale."  
664 *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du*  
665 *Comportement*, 21(2), 210–223. <https://doi.org/10.1037/h0079854>
- 666 Blanchard, N., Bixler, R., Joyce, T., & D'Mello, S. (2014). Automated Physiological-Based  
667 Detection of Mind Wandering during Learning. In S. Trausan-Matu, K. E. Boyer, M.  
668 Crosby, & K. Panourgia (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries*  
669 *Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 8474,  
670 Issue June, pp. 55–60). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07221-0_7)  
671 [319-07221-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07221-0_7)
- 672 Blondé, P., Makowski, D., Sperduti, M., & Piolino, P. (2020). In Medio Stat Virtus:  
673 intermediate levels of mind wandering improve episodic memory encoding in a virtual  
674 environment. *Psychological Research, Urp 7536*. [https://doi.org/10.1007/s00426-020-](https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5)  
675 [01358-5](https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5)
- 676 Carpenter, B., Gelman, A., Hoffman, M. D., Lee, D., Goodrich, B., Betancourt, M., Brubaker,  
677 M., Guo, J., Li, P., & Riddell, A. (2017). Stan : A Probabilistic Programming Language.  
678 *Journal of Statistical Software*, 76(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v076.i01>
- 679 Carriere, J. S. A., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2008). Everyday attention lapses and memory  
680 failures: The affective consequences of mindlessness. *Consciousness and Cognition*,  
681 *17(3)*, 835–847. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.04.008>

- 682 Cheetham, M., Cepeda, C., & Gamboa, H. (2016). Automated Detection of Mind Wandering:  
683 A Mobile Application. *Proceedings of the 9th International Joint Conference on*  
684 *Biomedical Engineering Systems and Technologies*, 4, 198–205.  
685 <https://doi.org/10.5220/0005702401980205>
- 686 Chinchanchokchai, S., Duff, B. R. L., & Faber, R. J. (2020). Distracted mind: the effects of  
687 multitasking and mind wandering on consumer memory for ad content. *International*  
688 *Journal of Advertising*, 39(5), 631–654. <https://doi.org/10.1080/02650487.2019.1670536>
- 689 Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R.  
690 W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide.  
691 *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786. <https://doi.org/10.3758/BF03196772>
- 692 Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of  
693 divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of*  
694 *Experimental Psychology: General*, 125(2), 159–180. [https://doi.org/10.1037/0096-](https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159)  
695 [3445.125.2.159](https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159)
- 696 Craik, F. I. M., Luo, L., & Sakuta, Y. (2010). Effects of aging and divided attention on  
697 memory for items and their contexts. *Psychology and Aging*, 25(4), 968–979.  
698 <https://doi.org/10.1037/a0020276>
- 699 Critcher, C. R., & Gilovich, T. (2010). Inferring Attitudes From Mindwandering. *Personality*  
700 *and Social Psychology Bulletin*, 36(9), 1255–1266.  
701 <https://doi.org/10.1177/0146167210375434>
- 702 Curran, T. (2004). Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of  
703 recollection and familiarity. *Neuropsychologia*, 42(8), 1088–1106.  
704 <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.011>

- 705 Danckert, J., Hammerschmidt, T., Marty-Dugas, J., & Smilek, D. (2018). Boredom: Under-  
706 aroused and restless. *Consciousness and Cognition*, *61*(November 2017), 24–37.  
707 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.03.014>
- 708 Danckert, J., & Merrifield, C. (2018). Boredom, sustained attention and the default mode  
709 network. *Experimental Brain Research*, *236*(9), 2507–2518.  
710 <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4617-5>
- 711 deBettencourt, M. T., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B. (2018). Forgetting from lapses  
712 of sustained attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(2), 605–611.  
713 <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1309-5>
- 714 Diener, E., Emmons, R., Larsen, J., & Griffin, S. (1985). The satisfaction with life scale.  
715 *Journal of Personality Assessment*, *49*(1), 71–75.  
716 [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901\\_13](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13)
- 717 Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The Unengaged Mind :  
718 Defining Boredom in Terms of Attention. *Perspectives on Psychological Science*, *7*(5),  
719 482–495. <https://doi.org/10.1177/1745691612456044>
- 720 Etz, A., & Vandekerckhove, J. (2016). A Bayesian Perspective on the Reproducibility Project:  
721 Psychology. *PLOS ONE*, *11*(2), e0149794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149794>
- 722 Farmer, R., & Sundberg, N. D. (1986). Boredom Proneness--The Development and Correlates  
723 of a New Scale. *Journal of Personality Assessment*, *50*(1), 4–17.  
724 [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5001\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5001_2)
- 725 Fernandes, M. A., & Moscovitch, M. (2000). Divided attention and memory: Evidence of  
726 substantial interference effects at retrieval and encoding. *Journal of Experimental*  
727 *Psychology: General*, *129*(2), 155–176. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.129.2.155>

- 728 Franklin, M. S., Smallwood, J., Zedelius, C. M., Broadway, J. M., & Schooler, J. W. (2016).  
729 Unaware yet reliant on attention: Experience sampling reveals that mind-wandering  
730 impedes implicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(1), 223–229.  
731 <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0885-5>
- 732 Fritea, I., & Fritea, R. (2013). Can Motivational Regulation Counteract the Effects of  
733 Boredom on Academic Achievement? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 78,  
734 135–139. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.04.266>
- 735 Gabry, J., & Goodrich, B. (2016). rstanarm: Bayesian applied regression modeling via stan. *R*  
736 *Package Version*, 2(1).
- 737 Gelman, A., Hwang, J., & Vehtari, A. (2014). Understanding predictive information criteria  
738 for Bayesian models. *Statistics and Computing*, 24(6), 997–1016.  
739 <https://doi.org/10.1007/s11222-013-9416-2>
- 740 Giakoumis, D., Vogianou, A., Kosunen, I., Moustakas, K., Tzovaras, D., & Hassapis, G.  
741 (2010). Identifying Psychophysiological Correlates of Boredom and Negative Mood  
742 Induced During HCI. *Proceedings of the 1st International Workshop on Bio-Inspired*  
743 *Human-Machine Interfaces and Healthcare Applications*, January, 3–12.  
744 <https://doi.org/10.5220/0002812600030012>
- 745 Goldberg, R., & Todman, M. (2018). Induced boredom suppresses the recall of positively  
746 valenced information: A preliminary study. *Psychological Thought*, 11(1), 18–32.  
747 <https://doi.org/10.5964/psyct.v11i1.249>
- 748 Harris, M. B. (2000). Correlates and Characteristics of Boredom Proneness and Boredom1.  
749 *Journal of Applied Social Psychology*, 30(3), 576–598. [https://doi.org/10.1111/j.1559-](https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2000.tb02497.x)  
750 [1816.2000.tb02497.x](https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2000.tb02497.x)



- 751 Hill, A. B., & Perkins, R. E. (1985). Towards a model of boredom. *British Journal of*  
752 *Psychology*, 76(2), 235–240. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1985.tb01947.x>
- 753 Hitchcock, E. M., Dember, W. N., Warm, J. S., Moroney, B. W., & See, J. E. (1999). Effects  
754 of Cueing and Knowledge of Results on Workload and Boredom in Sustained Attention.  
755 *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 41(3),  
756 365–372. <https://doi.org/10.1518/001872099779610987>
- 757 Hollis, R. B., & Was, C. A. (2016). Mind wandering, control failures, and social media  
758 distractions in online learning. *Learning and Instruction*, 42, 104–112.  
759 <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.007>
- 760 Hunter, A., & Eastwood, J. D. (2018). Does state boredom cause failures of attention?  
761 Examining the relations between trait boredom, state boredom, and sustained attention.  
762 *Experimental Brain Research*, 236(9), 2483–2492. [https://doi.org/10.1007/s00221-016-](https://doi.org/10.1007/s00221-016-4749-7)  
763 [4749-7](https://doi.org/10.1007/s00221-016-4749-7)
- 764 Hunter, J. A., & Eastwood, J. D. (2020a). Understanding the Relation Between Boredom and  
765 Academic Performance in Postsecondary Students. *Journal of Educational Psychology*.  
766 <https://doi.org/10.1037/edu0000479>
- 767 Hunter, J. A., & Eastwood, J. D. (2020b). Understanding the Relation Between Boredom and  
768 Academic Performance in Postsecondary Students. *Journal of Educational Psychology*.  
769 <https://doi.org/10.1037/edu0000479>
- 770 Isacescu, J., Struk, A. A., & Danckert, J. (2017). Cognitive and affective predictors of  
771 boredom proneness. *Cognition and Emotion*, 31(8), 1741–1748.  
772 <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1259995>
- 773 Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of

- 774 the N -back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394–412.  
775 <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- 776 Jang, E.-H., Park, B.-J., Park, M.-S., Kim, S.-H., & Sohn, J.-H. (2015). Analysis of  
777 physiological signals for recognition of boredom, pain, and surprise emotions. *Journal of*  
778 *Physiological Anthropology*, 34(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0063-5>
- 779 Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R.  
780 (2007). For Whom the Mind Wanders, and When. *Psychological Science*, 18(7), 614–  
781 621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x>
- 782 Kane, M. J., Smeekens, B. A., von Bastian, C. C., Lurquin, J. H., Carruth, N. P., & Miyake,  
783 A. (2017). A combined experimental and individual-differences investigation into mind  
784 wandering during a video lecture. *Journal of Experimental Psychology: General*,  
785 146(11), 1649–1674. <https://doi.org/10.1037/xge0000362>
- 786 Kass, R. E., & Raftery, A. E. (1995). Bayes Factors. *Journal of the American Statistical*  
787 *Association*, 90(430), 773–795. <https://doi.org/10.1080/01621459.1995.10476572>
- 788 Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind.  
789 *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>
- 790 Klinger, E. (1999). Thought flow: Properties and mechanisms underlying shifts in content. In  
791 *At play in the fields of consciousness: Essays in honor of Jerome L. Singer* (Psychology,  
792 pp. 43–64).
- 793 Krimsky, M., Forster, D. E., Llabre, M. M., & Jha, A. P. (2017). The influence of time on task  
794 on mind wandering and visual working memory. *Cognition*, 169(August), 84–90.  
795 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.08.006>
- 796 Kroenke, K., Spitzer, R. L., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2009). An Ultra-Brief Screening

- 797 Scale for Anxiety and Depression: The PHQ-4. *Psychosomatics*, 50(6), 613–621.  
798 [https://doi.org/10.1016/S0033-3182\(09\)70864-3](https://doi.org/10.1016/S0033-3182(09)70864-3)
- 799 Kruschke, J. K. (2014). Doing Bayesian data analysis: A tutorial with R, JAGS, and Stan. In  
800 *Academic Press*.
- 801 LePera, N. (2011). Relationships between boredom proneness, mindfulness, anxiety,  
802 depression, and substance use. *The New School Psychology Bulletin*, 8(2), 15–25.  
803 <https://doi.org/10.1037/e741452011-003>
- 804 London, H., Schubert, D. S., & Washburn, D. (1972). Increase of autonomic arousal by  
805 boredom. *Journal of Abnormal Psychology*, 80(1), 29–36.  
806 <https://doi.org/10.1037/h0033311>
- 807 Löwe, B., Wahl, I., Rose, M., Spitzer, C., Glaesmer, H., Wingenfeld, K., Schneider, A., &  
808 Brähler, E. (2010). A 4-item measure of depression and anxiety: Validation and  
809 standardization of the Patient Health Questionnaire-4 (PHQ-4) in the general population.  
810 *Journal of Affective Disorders*, 122(1–2), 86–95.  
811 <https://doi.org/10.1016/j.jad.2009.06.019>
- 812 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2014a). Age-related differences in brain activity in the  
813 subsequent memory paradigm: a meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*,  
814 45, 246–257.
- 815 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2014b). Dissociable roles of default-mode regions during  
816 episodic encoding. *NeuroImage*, 89, 244–255.  
817 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.050>
- 818 Maillet, D., & Rajah, M. N. (2016). Assessing the Neural Correlates of Task-unrelated  
819 Thoughts during Episodic Encoding and Their Association with Subsequent Memory in

- 820 Young and Older Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(6), 826–841.  
821 [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00935](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00935)
- 822 Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016). When the mind wanders: Distinguishing stimulus-  
823 dependent from stimulus-independent thoughts during incidental encoding in young and  
824 older adults. *Psychology and Aging*, 31(4), 370–379. <https://doi.org/10.1037/pag0000099>
- 825 Maillet, D., Seli, P., & Schacter, D. L. (2017). Mind-wandering and task stimuli: Stimulus-  
826 dependent thoughts influence performance on memory tasks and are more often past-  
827 versus future-oriented. *Consciousness and Cognition*, 52(October), 55–67.  
828 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.014>
- 829 Makowski, D. (2018). The psycho Package: an Efficient and Publishing-Oriented Workflow  
830 for Psychological Science. *The Journal of Open Source Software*, 3(22), 470.  
831 <https://doi.org/10.21105/joss.00470>
- 832 Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdtke, D. (2019). Indices of Effect  
833 Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*,  
834 10(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767>
- 835 Makowski, D., Sperduti, M., Blondé, P., Nicolas, S., & Piolino, P. (2019). The heart of  
836 cognitive control: Cardiac phase modulates processing speed and inhibition.  
837 *Psychophysiology*, August, 1–11. <https://doi.org/10.1111/psyp.13490>
- 838 Makowski, D., Sperduti, M., Pelletier, J., Blondé, P., La Corte, V., Arcangeli, M., Zalla, T.,  
839 Lemaire, S., Dokic, J., Nicolas, S., & Piolino, P. (2019). Phenomenal, bodily and brain  
840 correlates of fictional reappraisal as an implicit emotion regulation strategy. *Cognitive*,  
841 *Affective, & Behavioral Neuroscience*. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-00681-0>
- 842 Malkovsky, E., Merrifield, C., Goldberg, Y., & Danckert, J. (2012). Exploring the

843 relationship between boredom and sustained attention. *Experimental Brain Research*,  
844 221(1), 59–67. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3147-z>

845 Martin, M., Sadlo, G., & Stew, G. (2006). The phenomenon of boredom. *Qualitative*  
846 *Research in Psychology*, 3(3), 193–211. <https://doi.org/10.1191/1478088706qrp0660a>

847 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory  
848 capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of*  
849 *Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 196–204.  
850 <https://doi.org/10.1037/a0014104>

851 McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Drifting from slow to “d’oh!”: Working memory  
852 capacity and mind wandering predict extreme reaction times and executive control  
853 errors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(3),  
854 525–549. <https://doi.org/10.1037/a0025896>

855 Merrifield, C., & Danckert, J. (2014). Characterizing the psychophysiological signature of  
856 boredom. *Experimental Brain Research*, 232(2), 481–491.  
857 <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3755-2>

858 Metcalfe, J., & Xu, J. (2016). People Mind Wander More During Massed Than Spaced  
859 Inductive Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and*  
860 *Cognition*, 42(6), 978–984. <https://doi.org/10.1037/xlm0000216>

861 Mikulas, W. L., & Vodanovich, S. J. (1993). The essence of boredom. *The Psychological*  
862 *Record*, 43(1), 3–12.

863 Ottaviani, C., & Couyoumdjian, A. (2013). Pros and cons of a wandering mind: a prospective  
864 study. *Frontiers in Psychology*, 4(AUG), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00524>

865 Ottaviani, C., Shahabi, L., Tarvainen, M., Cook, I., Abrams, M., & Shapiro, D. (2015).

- 866 Cognitive, behavioral, and autonomic correlates of mind wandering and perseverative  
867 cognition in major depression. *Frontiers in Neuroscience*, 9(JAN), 1–9.  
868 <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00433>
- 869 Ottaviani, C., Shapiro, D., & Couyoumdjian, A. (2013). Flexibility as the key for somatic  
870 health: From mind wandering to perseverative cognition. *Biological Psychology*, 94(1),  
871 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.003>
- 872 Palomäki, J., Kivikangas, M., Alafuzoff, A., Hakala, T., & Krause, C. M. (2012). Brain  
873 oscillatory 4–35Hz EEG responses during an n-back task with complex visual stimuli.  
874 *Neuroscience Letters*, 516(1), 141–145. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.03.076>
- 875 Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation  
876 of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology & Behavior*, 93(1–2),  
877 369–378. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.09.016>
- 878 Pause, B. M., Zlomuzica, A., Kinugawa, K., Mariani, J., Pietrowsky, R., & Dere, E. (2013).  
879 Perspectives on Episodic-Like and Episodic Memory. *Frontiers in Behavioral*  
880 *Neuroscience*, 7(APR 2013), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00033>
- 881 Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., & Perry, R. P. (2010). Boredom in  
882 achievement settings: Exploring control–value antecedents and performance outcomes of  
883 a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531–549.  
884 <https://doi.org/10.1037/a0019243>
- 885 Pekrun, R., Hall, N. C., Goetz, T., & Perry, R. P. (2014). Boredom and academic  
886 achievement: Testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational*  
887 *Psychology*, 106(3), 696–710. <https://doi.org/10.1037/a0036006>
- 888 Perkins, R. E. (1981). *The nature and origins of boredom*. Keele University.

- 889 Pham, P., & Wang, J. (2015). AttentiveLearner: Improving Mobile MOOC Learning via  
890 Implicit Heart Rate Tracking. In C. Conati, N. Heffernan, A. Mitrovic, & M. F. Verdejo  
891 (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in*  
892 *Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 9112, pp. 367–376).  
893 Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19773-9\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19773-9_37)
- 894 R Development Core Team. (2008). *R: A Language and Environment for Statistical*  
895 *Computing*.
- 896 Raffaelli, Q., Mills, C., & Christoff, K. (2018). The knowns and unknowns of boredom: a  
897 review of the literature. *Experimental Brain Research*, 236(9), 2451–2462.  
898 <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4922-7>
- 899 Ranganath, C. (2010). Binding Items and Contexts. *Current Directions in Psychological*  
900 *Science*, 19(3), 131–137. <https://doi.org/10.1177/0963721410368805>
- 901 Riby, L. M., Smallwood, J., & Gunn, V. P. (2008). Mind Wandering and Retrieval from  
902 Episodic Memory: A Pilot Event-Related Potential Study. *Psychological Reports*,  
903 102(3), 805–818. <https://doi.org/10.2466/pr0.102.3.805-818>
- 904 Risko, E. F., Anderson, N., Sarwal, A., Engelhardt, M., & Kingstone, A. (2012). Everyday  
905 Attention: Variation in Mind Wandering and Memory in a Lecture. *Applied Cognitive*  
906 *Psychology*, 26(2), 234–242. <https://doi.org/10.1002/acp.1814>
- 907 Robison, M. K., & Unsworth, N. (2017). Cognitive and Contextual Correlates of Spontaneous  
908 and Deliberate Mind-Wandering. *Journal of Experimental Psychology: Learning*  
909 *Memory and Cognition*, 44(1), 85–98. <https://doi.org/10.1037/xlm0000444>
- 910 Rummel, J., & Boywitt, C. D. (2014). Controlling the stream of thought: Working memory  
911 capacity predicts adjustment of mind-wandering to situational demands. *Psychonomic*

- 912 *Bulletin & Review*, 21(5), 1309–1315. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0580-3>
- 913 Schooler, J. W., Smallwood, J., Christoff, K., Handy, T. C., Reichle, E. D., & Sayette, M. A.  
914 (2011). Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends in*  
915 *Cognitive Sciences*, 15(7), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.05.006>
- 916 Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive  
917 task performance. *Memory & Cognition*, 19(5), 507–513.  
918 <https://doi.org/10.3758/BF03199574>
- 919 Seli, P., Carriere, J. S. A., & Smilek, D. (2015). Not all mind wandering is created equal:  
920 dissociating deliberate from spontaneous mind wandering. *Psychological Research*,  
921 79(5), 750–758. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0617-x>
- 922 Seli, P., Konishi, M., Risko, E. F., & Smilek, D. (2018). The role of task difficulty in  
923 theoretical accounts of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 65(April), 255–  
924 262. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.08.005>
- 925 Seli, P., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). On the Necessity of Distinguishing Between  
926 Unintentional and Intentional Mind Wandering. *Psychological Science*, 27(5), 685–691.  
927 <https://doi.org/10.1177/0956797616634068>
- 928 Seli, P., Wammes, J. D., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). On the relation between  
929 motivation and retention in educational contexts: The role of intentional and  
930 unintentional mind wandering. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1280–1287.  
931 <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0979-0>
- 932 Shepherd, J. (2019). Why does the mind wander? *Neuroscience of Consciousness*, 2019(1), 1–  
933 9. <https://doi.org/10.1093/nc/niz014>
- 934 Smallwood, J., Baracaia, S. F., Lowe, M., & Obonsawin, M. (2003). Task unrelated thought



- 935       whilst encoding information. *Consciousness and Cognition*, 12(3), 452–484.  
936       [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00018-7)
- 937 Smallwood, J., Brown, K. S., Tipper, C., Giesbrecht, B., Franklin, M. S., Mrazek, M. D.,  
938       Carlson, J. M., & Schooler, J. W. (2011). Pupillometric Evidence for the Decoupling of  
939       Attention from Perceptual Input during Offline Thought. *PLoS ONE*, 6(3), e18298.  
940       <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018298>
- 941 Smallwood, J., Davies, J. B., Heim, D., Finnigan, F., Sudberry, M., O'Connor, R., &  
942       Obonsawin, M. (2004). Subjective experience and the attentional lapse: Task  
943       engagement and disengagement during sustained attention. *Consciousness and*  
944       *Cognition*, 13(4), 657–690. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.06.003>
- 945 Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., Haskell, C., & Ballantyne, C. (2004). The  
946       consequences of encoding information on the maintenance of internally generated  
947       images and thoughts: The role of meaning complexes. *Consciousness and Cognition*,  
948       13(4), 789–820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.004>
- 949 Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudbery, M. V., & Obonsawin, M. (2007). Mind-wandering  
950       and dysphoria. *Cognition & Emotion*, 21(4), 816–842.  
951       <https://doi.org/10.1080/02699930600911531>
- 952 Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, 132(6),  
953       946–958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- 954 Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011).  
955       Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience  
956       sampling method. *Acta Psychologica*, 136(3), 370–381.  
957       <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.01.002>

- 958 Steinberger, F., Moeller, A., & Schroeter, R. (2016). The antecedents, experience, and coping  
959 strategies of driver boredom in young adult males. *Journal of Safety Research*, *59*, 69–  
960 82. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2016.10.007>
- 961 Takuma, K., Hori, S., Sasaki, J., Shinozawa, Y., Yoshikawa, T., Handa, S., Horikawa, M., &  
962 Aikawa, N. (1995). An alternative limb lead system for electrocardiographs in  
963 emergency patients. *The American Journal of Emergency Medicine*, *13*(5), 514–517.  
964 [https://doi.org/10.1016/0735-6757\(95\)90160-4](https://doi.org/10.1016/0735-6757(95)90160-4)
- 965 Thackray, R. I., Bailey, J. P., & Touchstone, R. M. (1977). Physiological, Subjective, and  
966 Performance Correlates of Reported Boredom and Monotony While Performing a  
967 Simulated Radar Control Task. In *Vigilance* (pp. 203–215). Springer US.  
968 [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2529-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2529-1_12)
- 969 Thomson, D. R., Smilek, D., & Besner, D. (2014). On the asymmetric effects of mind-  
970 wandering on levels of processing at encoding and retrieval. *Psychonomic Bulletin &*  
971 *Review*, *21*(3), 728–733. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0526-9>
- 972 Troyer, A. K., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of divided attention on memory for items  
973 and their context. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de*  
974 *Psychologie Expérimentale*, *54*(3), 161–171. <https://doi.org/10.1037/h0087338>
- 975 Troyer, A. K., Winocur, G., Craik, F. I. M., & Moscovitch, M. (1999). Source memory and  
976 divided attention: Reciprocal costs to primary and secondary tasks. *Neuropsychology*,  
977 *13*(4), 467–474. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.13.4.467>
- 978 Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of Memory*, *1*, 381–403.
- 979 Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*,  
980 *53*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>

- 981 Tze, V. M. C., Daniels, L. M., & Klassen, R. M. (2016). Evaluating the Relationship Between  
982 Boredom and Academic Outcomes: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*,  
983 28(1), 119–144. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9301-y>
- 984 Uncapher, M. R., & Rugg, M. D. (2005). Effects of divided attention on fMRI correlates of  
985 memory encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1923–1935.  
986 <https://doi.org/10.1162/089892905775008616>
- 987 van Doorn, J., van den Bergh, D., Böhm, U., Dablander, F., Derks, K., Draws, T., Etz, A.,  
988 Evans, N. J., Gronau, Q. F., Haaf, J. M., Hinne, M., Kucharský, Š., Ly, A., Marsman, M.,  
989 Matzke, D., Gupta, A. R. K. N., Sarafoglou, A., Stefan, A., Voelkel, J. G., &  
990 Wagenmakers, E.-J. (2020). The JASP guidelines for conducting and reporting a  
991 Bayesian analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*. [https://doi.org/10.3758/s13423-020-](https://doi.org/10.3758/s13423-020-01798-5)  
992 01798-5
- 993 Vehtari, A., Gelman, A., & Gabry, J. (2017). Practical Bayesian model evaluation using  
994 leave-one-out cross-validation and WAIC. *Statistics and Computing*, 27(5), 1413–1432.  
995 <https://doi.org/10.1007/s11222-016-9696-4>
- 996 Vodanovich, S. J., Verner, K. M., & Gilbride, T. V. (1991). Boredom Proneness: Its  
997 Relationship to Positive and Negative Affect. *Psychological Reports*, 69(3\_suppl), 1139–  
998 1146. <https://doi.org/10.2466/pr0.1991.69.3f.1139>
- 999 Vogel-Walcutt, J. J., Fiorella, L., Carper, T., & Schatz, S. (2012). The Definition,  
1000 Assessment, and Mitigation of State Boredom Within Educational Settings: A  
1001 Comprehensive Review. *Educational Psychology Review*, 24(1), 89–111.  
1002 <https://doi.org/10.1007/s10648-011-9182-7>
- 1003 Wagenmakers, E.-J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Love, J., Selker, R.,  
1004 Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Rouder, J. N., & Morey, R. D.

- 1005 (2018). Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical  
1006 ramifications. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 35–57.  
1007 <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1343-3>
- 1008 Wallace, J. C., Kass, S. J., & Stanny, C. J. (2002). The Cognitive Failures Questionnaire  
1009 Revisited: Dimensions and Correlates. *The Journal of General Psychology*, 129(3), 238–  
1010 256. <https://doi.org/10.1080/00221300209602098>
- 1011 Wallace, J. C., Vodanovich, S. J., & Restino, B. M. (2003). Predicting cognitive failures from  
1012 boredom proneness and daytime sleepiness scores: an investigation within military and  
1013 undergraduate samples. *Personality and Individual Differences*, 34(4), 635–644.  
1014 [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(02\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00050-8)
- 1015 Wammes, J. D., Boucher, P. O., Seli, P., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2016). Mind wandering  
1016 during lectures I: Changes in rates across an entire semester. *Scholarship of Teaching  
1017 and Learning in Psychology*, 2(1), 13–32. <https://doi.org/10.1037/stl0000053>
- 1018 Wammes, J. D., Seli, P., Cheyne, J. A., Boucher, P. O., & Smilek, D. (2016). Mind wandering  
1019 during lectures II: Relation to academic performance. *Scholarship of Teaching and  
1020 Learning in Psychology*, 2(1), 33–48. <https://doi.org/10.1037/stl0000055>
- 1021



### 5.3 Conclusion

Les principaux résultats de cette deuxième étude peuvent être résumés de la sorte :

- Il est presque certain qu'une augmentation de la charge en mémoire de travail a conduit à une baisse du *mind wandering*, de l'ennui, et à une augmentation des performances mnésiques
- Il est presque certain que le *mind wandering* prédise négativement l'ennui
- Il est presque certain que le *mind wandering* mesuré à l'encodage prédise négativement la récupération des items et possible qu'il prédise négativement la récupération de la source
- Il est possible que l'ennui mesuré à l'encodage prédise négativement la récupération des items mais, il est incertain que l'ennui prédise la récupération de la source
- Il est possible que la fréquence cardiaque prédise positivement le niveau d'ennui
- Le modèle complet prédisant les scores de reconnaissance des items avec le *mind wandering*, l'ennui et la condition d'encodage possède des performances similaires à celui n'incluant que le *mind wandering* en tant que prédicteur. Les deux sont supérieurs aux modèles modèle incluant l'ennui ou la condition d'encodage

Cette deuxième expérience est caractérisée par de nombreux effets possédant une haute probabilité de détection (99-100%), en particulier la prédiction de l'ennui par le *mind wandering* et la prédiction systématique des scores de mémoire associés aux sondes de pensée. Ainsi, la méthodologie prédictive que nous avons mise en place dans cette thèse permet effectivement de déceler l'impact du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique, suggérant ainsi un lien direct entre l'attention à l'encodage et la rétention d'informations. Ces résultats confirment également que le manque de résultats concernant cet effet dans l'étude 1 était principalement dû aux spécificités du paradigme employé. Le fait de réduire les stimuli distracteurs et de s'assurer que le score de *mind wandering* se réfère bien au traitement de l'item est probablement responsable du gain de précision dans cette expérience. Cette étude montre également combien l'impact du *mind wandering* est décisif sur l'encodage en mémoire épisodique, étant donné que ce phénomène est le prédicteur le plus fiable des performances mnésiques.

Enfin, si la prédiction de la récupération contextuelle était incertaine dans l'étude 1, l'étude 2 montre qu'il est possible de prédire les scores de mémoire de source grâce au *mind wandering* à l'encodage. Il faut cependant noter que les informations demandées dans l'étude 1 (placement spatial et temporel) requerraient de posséder une certaine configuration mentale de l'environnement en réalité virtuel, tandis que dans l'étude 2, c'est la tâche effectuée qui correspondait à la source de l'item.

## Chapitre 6

# Influence du contenu du *mind wandering* sur la mémoire épisodique

### 6.1 Introduction

La troisième expérience de la présente thèse vise à tester les hypothèses explicatives de l'expérience 1. Pour rappel, les résultats de cette expérience mettent en évidence une relation quadratique, en U inversé, entre le niveau de *mind wandering* à l'encodage et la probabilité d'effectuer un rappel basé sur la recollection. Deux hypothèses ont été avancées. D'une part, il pourrait s'agir d'un traitement global de l'environnement, ni parasité par une trop grande focalisation attentionnelle sur l'environnement ni par une trop grande absorption dans ses pensées. D'autre part, le *mind wandering* modéré dont il est question pourrait refléter des pensées en lien avec les stimuli, celles-ci améliorant les associations effectuées à l'encodage et étant rappelées lors de la reconnaissance, résultant en une plus grande tendance à la recollection.

Ce résultat est étonnant car il aurait été attendu d'observer une relation linéaire négative entre le *mind wandering* à l'encodage et la recollection des scènes de l'environnement. Cependant, ce *pattern* linéaire ne serait valable que pour les items qui reçoivent un traitement attentionnel. Dans l'expérience 1, ces items étaient les panneaux indicateurs et les scènes à encoder étaient situées à proximité, en périphérie. L'attention des participants n'était donc probablement pas focalisée directement sur ces scènes. Ainsi, pour tenter de reproduire ce résultat dans une situation plus contrôlée, nous avons mis en place un paradigme impliquant le traitement d'un stimulus cible (*attended*) présenté parallèlement à un deuxième stimulus ne recevant pas de traitement (*unattended*). Des sondes de pensées numériques ont été placées tout au long de cette phase d'encodage incidente, qui était suivie, une dizaine de



minutes plus tard, d'une phase de reconnaissance associée à un paradigme RKG et des questions de mémoire de source. À la différence des deux précédentes études, une deuxième sonde de pensée suivait la première, lorsque le score de celle-ci était supérieur à 5. Cette deuxième sonde de pensée évaluait le contenu du *mind wandering* sur une échelle numérique allant de 1 « pas du tout focalisé sur les mots » à 10 « totalement focalisé sur les mots ». Ainsi, nous pouvons faire la distinction entre un état attentionnel concentré sur la tâche, des pensées en lien avec les items et des pensées sans aucun lien. Nous prédisons que la relation entre la recollection des items ayant reçu un traitement et le *mind wandering* à l'encodage sera linéaire et négative. Par contraste, la relation sera quadratique pour les items n'ayant pas reçu de traitement attentionnel. Le manuscrit de l'étude qui va suivre n'est pas définitif et sera complété par une étude en cours, décrite brièvement dans la discussion. Les résultats de cette troisième étude seront malgré tout discutés au même titre que les autres.

## 6.2 Article en préparation (Blondé et al., *in prep*)

1 **How mind wandering frequency and content influence components of episodic memory**

2 Philippe Blondé<sup>a, 1</sup>, Marco Sperduti<sup>a</sup>, & Pascale Piolino<sup>a, b</sup>

3

4 <sup>a</sup>Laboratoire Mémoire, Cerveau et Cognition (UR 7536), Institut de Psychologie,

5 Université de Paris, Paris, France

6 <sup>b</sup>Institut Universitaire de France, France

7

8

9

10

**Author Note**

11

<sup>1</sup> Corresponding author

12

71 avenue Ed. Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt, Ile de France, France

13

Email addresses:

14

philippe.blonde@u-paris.fr (Philippe Blondé),

15

marco.sperduti@u-paris.fr (Marco Sperduti),

16

pascale.piolino@u-paris.fr (Pascale Piolino)

17

**Abstract**

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

The probability of performing a proper encoding and how the information will be retrieved (either remembered vividly in its context or simply known without contextual information), are greatly influenced by attention. Mind wandering, a fluctuation of attentional focus between a task and task-unrelated thoughts, is particularly linked to memory performance. The nature of this influence on memory could fluctuate depending on whether the information is unattended or attended in the encoding situation. We recruited 73 participants to perform an incident encoding task by answering, as quickly as possible, if an attended word (displayed in green) was a noun or a verb, while an unattended word (in red) was presented at the same time. During the task, thought probes assessing both the level and content of mind wandering were included. Afterward, both attended and unattended words were presented in a surprise recognition task. We also assessed the process of retrieval (remember/know) and source memory. The recognition response pattern highlighted that unattended items were not distinguishable from lures, suggesting that they were not sufficiently processed during encoding. The analyzes on attended items revealed another surprising result: a positive linear relationship between mind wandering and both recognition and remember rate. By decomposing mind wandering episodes into stimulus- independent and stimulus-dependent thoughts, it appears this result was mostly driven by the latter ones. These results are similar to some results found in other studies highlighting a beneficial effect on episodic memory for stimulus-related mind wandering. This pattern also suggest that merely probing the content of mind wandering was enough to briefly focus attention on stimulus, potentially improving memorization. A follow-up study is then described to complete these results.

**Keywords:** Attention ; mind wandering ; episodic memory ; source memory

## 40        **1. Introduction**

41            Every person having read a scientific paper ever once knows that peculiar sensation of  
42 suddenly losing track while trying to focus on a paragraph of tedious statistics or a seemingly  
43 endless discussion section. Gradually, the attentional focus slips further away from the text, and  
44 while the eyes continue their back-and-forth pattern, the mind is not present anymore, but is  
45 wandering about pleasant memories, or personal problems to be solved. Later, when the mind  
46 manages, sometimes through great efforts, to focus again on the reading, it rarely keeps track  
47 of what was previously written, leading the reader clueless, forced to go back to an earlier part,  
48 trying this time to focus on the text to encode it properly. This anecdote illustrates the  
49 phenomenon of mind wandering and its negative impact on perception and comprehension. The  
50 present paper aims to expand previous results linking mind wandering and episodic memory  
51 encoding (Blondé et al., 2020) by focusing on its impact on the memorization of both attended  
52 and unattended information.

53            It is not surprising that this phenomenon is so familiar to each of us, as various accounts  
54 describe mind wandering occurring between 30 and 45% of our time (Kane et al., 2007;  
55 Killingsworth & Gilbert, 2010; McVay et al., 2009). However, while mind wandering is a fairly  
56 common experience, it can be difficult to provide an operational definition for it. Typically,  
57 mind wandering is defined as the switching of the attentional focus from task-related thoughts  
58 (TRTs) to task-unrelated thoughts (TUTs ; Smallwood & Schooler, 2006). While this definition  
59 is practical in the context of experimental research, it is also a very simplistic definition, which  
60 does not encapsulate other important features such as its dynamic nature (Christoff et al., 2016),  
61 its temporal focus (Smallwood et al., 2009, 2011) or its independence from stimuli (Stawarczyk  
62 et al., 2011). Framing mind wandering as task-unrelated thoughts highlights the perceptual  
63 decoupling taking place during mind wandering (Smallwood et al., 2007; Smallwood &  
64 Schooler, 2006). This perceptual decoupling helps to understand why experiencing mind

65 wandering is detrimental to current activity. Indeed, focusing on inner thoughts can be a  
66 secondary task competing for resources allocated to the primary one. Thus, central cognitive  
67 processes such as working memory performance (Mrazek et al., 2012; Robison & Unsworth,  
68 2019; Unsworth & Robison, 2016) or sustained attention (Christoff et al., 2009; Stawarczyk et  
69 al., 2014; Stawarczyk & D'Argembeau, 2016) are hindered by mind wandering.

70         Considering how memory relies on attentional processes, it is not surprising to find that  
71 mind wandering impacts memory. Divided attention paradigms have repeatedly found memory  
72 encoding to be impaired when a secondary task is done in parallel (Baddeley et al., 1984; Craik  
73 et al., 1996, 2018; Naveh-Benjamin et al., 2000, 2007; Uncapher & Rugg, 2005), highlighting  
74 the crucial role of attentional resources for a successful encoding. The amount of attentional  
75 resource available at encoding can directly influence the extent to which information is  
76 encoded. It has been argued that, when attention is required to process attended information  
77 under a high perceptual load, unattended information will not be processed. But if only a low  
78 perceptual load is associated with the attended information, the spare attentional resources will  
79 be used to process unattended information (Lavie, 2010). It has also been suggested that, even  
80 under a high perceptual load, unattended information can be processed (Hoffman et al., 2011;  
81 Hoffman & Tzelgov, 2012), although their representation in long term memory will be  
82 degraded (LaRocque et al., 2015).

83         Concerning mind wandering, a growing literature describes a hindering effect on word  
84 encoding (Garlitch & Wahlheim, 2020; Seibert & Ellis, 1991; Smallwood, Obonsawin, et al.,  
85 2003; Smallwood et al., 2004), images encoding (deBettencourt et al., 2018; Krasich et al.,  
86 2018), retention of text material (Dixon & Sharma, 2019; Mcvay & Kane, 2012; Smallwood et  
87 al., 2008; Unsworth & McMillan, 2013) and lecture material (Farley et al., 2013; Varao-Sousa  
88 & Kingstone, 2015; Wammes et al., 2016; Wammes & Smilek, 2017). This negative effect on  
89 memory encoding is transversal and consistent across most studies (see Blondé et al., *submitted*,

90 for a review). However, assessing memory should not be limited to simple item retrieval. As  
91 described by Tulving (1993), episodic memory corresponds to the vivid reviviscence of an  
92 event, localized in its spatio-temporal context. Although the way information is retrieved is still  
93 a matter of debate (Haaf et al., 2021), it is often accepted that retrieval is done through two  
94 distinct processes associated with different phenomenology: recollection and familiarity  
95 (Gardiner, 1988; Gardiner & Parkin, 1990; Yonelinas, 1999). Recollection-based retrieval is  
96 based on the correct integration of contextual details into the mnemonic trace and produces a  
97 vivid memory associated with a feeling of mental time travel. Familiarity-based retrieval relies  
98 on the detection of characteristics shared by the information to retrieve and produces a  
99 decontextualized retrieval associated with a feeling of knowing.

100 Few studies, however, have examined the impact of mind wandering on the  
101 phenomenology of retrieval. It seems that, when on-task, recollective processes are far more  
102 used than familiarity to retrieve information, while when off-task, rates of recollections and  
103 familiarity not statistically distinct (Smallwood et al., 2007; Smallwood, Baracaia, et al., 2003).  
104 Similarly, Riby, Smallwood and Gunn (2008) suggested, using event-related potentials (ERP),  
105 that individuals experiencing more on-tasks periods presented a ‘pure recollection’ ERP  
106 waveform (left parietal effect) compared to those experiencing more off-task periods, presented  
107 a diminished left parietal effect, interpreted as greater difficulties to retrieve information based  
108 on recollection. These studies relied on indirect measures of recollection-familiarity, such as  
109 the process-dissociation paradigm and event-related potentials. Another way to assess the two  
110 retrieval processes is the Remember-Know-Guess paradigm (RKG ; Tulving, 1985). This  
111 paradigm is very straightforward and requires the participant to evaluate subjectively the  
112 phenomenology associated with retrieval. As mentioned earlier, previous studies have mostly  
113 focused on the encoding of words or static images to assess the impact of mind wandering on

114 memory. Because recollection is a highly associative process, it would make sense to assess it  
115 more ecologically in a complex environment.

116 Thus, to provide such an ecological approach assessment of the effect of mind  
117 wandering on episodic memory encoding, we previously conducted a virtual reality experiment  
118 assessing the impact of both online and a posteriori thought probes on the retention of realistic  
119 scenes and the phenomenology associated with their retrieval (Blondé et al., 2020).  
120 Unsurprisingly, the results suggest a negative prediction of memory performances by mind  
121 wandering at encoding, which fits the previous results in both laboratory and live settings.  
122 However, the pattern concerning the phenomenology associated with retrieval was found to be  
123 quite counterintuitive. Indeed, the probability of retrieving an item on the basis of recollection  
124 was predicted by mind wandering following a quadratic, reversed U-shape curve. Both high  
125 and low level predicted more familiarity-based than recollection-based recognition. The highest  
126 chance of predicting a recollection was when medium levels of mind wandering were  
127 experienced at encoding. This result is puzzling as a linear negative relationship would have  
128 been expected between mind wandering and the probability of recollection.

129 One explanation has been proposed for this unorthodox pattern. It is possible that, when  
130 a participant reported being totally focused on the environment and had correctly encoded a  
131 critical scene, this could have correspond to an attentional narrowing on the scene, thus  
132 preventing from creating association with contextual features (Facoetti & Molteni, 2000;  
133 LaBerge et al., 1991). If this hypothesis is true, then the critical scene would not been integrated  
134 with their contextual features into a true episodic memory, resulting in a retrieval based on a  
135 sense of familiarity. Similarly, being in a state of mind wandering would have blocked the  
136 association with contextual features. On the contrary, when engaging in a medium attentional  
137 state, neither too focused nor too distracted by mind wandering, the attentional focus would be  
138 unconstrained. It may better distribute the attentional resources over the environment, resulting

139 in a comparatively higher likelihood of processing the critical scene in an elaborative way,  
140 leading to a higher chance of a recollective retrieval. If this assumption is correct, then the U-  
141 shaped relationship we found would only apply to contextual information, here operationalized  
142 as unattended items, while the attended items would have been associated with a negative linear  
143 relationship with mind wandering. An alternative explanation for this pattern of results can be  
144 made based on the potential content of the participants' thoughts. It is possible that, when  
145 noticing the critical scenes, it triggered personal memories, or thoughts related to the scene. As  
146 such, when probed for mind wandering, participants would neither report being totally on-task,  
147 nor totally off-task, since the thoughts would be tied to the environment. In this situation, the  
148 scene would be encoded with additional information, resulting in a higher likelihood to retrieve  
149 the memory based on recollection. Thus, probing for mind wandering's content to distinguish  
150 between stimulus dependent thoughts (SDTs) and stimulus independent thoughts (SITs) could  
151 be a way to assess this hypothesis.

152 To summarize, the present study aims at testing the explicative hypotheses of the main  
153 results of Blondé et al. (2020) by reproducing the distribution of attention between attended  
154 and unattended information in a classical laboratory paradigm. To this end, we have pre-  
155 registered this study at OSF (See data availability and supplementary material sections).

## 156 **2. Experience 1**

### 157 *2.1 Material and Methods*

#### 158 *2.1.1 Participants*

159 Seventy-three students from the Psychology Institute of the University of Paris (82.2%  
160 women, mean age =  $20.14 \pm 2.44$  years) were recruited for the present experiment in exchange  
161 for a credit course. We excluded from this sample three participants scoring above the 99<sup>th</sup>  
162 percentile on their accuracy score during the SART, and on the two PHQ-4 and SWLS scales  
163 (see sections below for a more in-depth description). Furthermore, two participants were



164 removed because they stated having tried to remember the presented words, one more was  
165 removed after stating having been diagnosed as a TDAH, and one last for not being a fluent  
166 French speaker. Thus, the final sample was brought to 66 participants (83.3% women, mean  
167 age =  $20.07 \pm 2.41$  years).

### 168 *2.1.2 Questionnaires*

169 Since mood disorder can impact both attention and memory, we included two mood  
170 questionnaires to determine outliers. First, we used the Patient Health Questionnaire (PHQ-4;  
171 Kroenke, Spitzer, Williams, & Löwe, 2009; Löwe et al., 2010) as a way to screen quickly for  
172 depressive and anxious disorders. Second, we included the Satisfaction With Life Scale (SWLS;  
173 Blais, Vallerand, Pelletier, & Brière, 1989; Diener, Emmons, Larsen, & Griffin, 1985) to have  
174 an evaluation of overall life satisfaction.

### 175 *2.1.3 SART*

176 We used the Sustained Attention to Response Task (SART; Robertson, Manly, Andrade,  
177 Baddeley, & Yiend, 1997) as an assessment to control our participants' attentional capacities.  
178 This test consisted of a rapid succession of 250 numbers, ranging from 0 to 9 (25 occurrences  
179 each). The participant's task was to press the space bar as soon as a number appeared on-screen,  
180 except if this number is a 3. In that case, participants had to withhold their response until the  
181 trial ended. Each trial lasted up to 500ms or until the participants pressed a key. Trials were  
182 separated by a fixed 900ms interstimulus interval, and the numbers appearing on-screen were  
183 randomly distributed.

### 184 *2.1.4 Incident word encoding task*

185 The main task of the experiment was presented as an attentional task to the participant.  
186 They were told that couples of words would appear on-screen, with one word in green and one  
187 word in red. Participants were instructed to focus their attention on the green words and to

188 indicate as quickly as possible whether the word was a verb (by pressing the ‘v’ key) or a noun  
189 (with the ‘n’ key). Concerning the red word, participants were not explicitly told to ignore it,  
190 but it was made clear it was not the focus of the task. In total, 90 couples of words were  
191 presented to the participants, on a dark grey background, with combinations of word types and  
192 color (e.g., green noun/red noun, green noun/red verb, etc.) determined randomly. Stimuli were  
193 French words from the *Lexique* database (New et al., 2001, 2004). They were all bisyllabic,  
194 with a mean frequency of 5.33 ( $\pm 1.59$ ), a mean valence of 0.07 ( $\pm 0.52$ ) and a mean arousal  
195 value of 2.63 ( $\pm 0.43$ ). While the position of the words was randomly determined, 10  
196 predetermined critical couples of words had a fixed order and were positioned every  $8 \pm 2$  trials.  
197 These critical words always preceded the occurrence of a thought probe, consisting of a  
198 question appearing on-screen, momentarily interrupting the current task. These ten thought  
199 probes prompted the participants to “indicate what is the object of your attention”, to which  
200 participants could answer by assessing their current attention to the task on an analogical scale  
201 ranging from 1 “totally focused on the task” to 10 “totally focused on my thoughts”. If the  
202 answer was superior to 5, they were considered mostly off-task, and another thought probe  
203 appeared on-screen, asking the participants “to what extent are your thoughts related to the  
204 words presented?”. Here too, participants had to answer using an analogical scale ranging from  
205 1 “not at all word-related” to 10 “totally word-related” Participants were aware such thought  
206 probes would appear during the task and were told to answer honestly, according to their current  
207 attentional state. They were also given a few examples of mind wandering to better understand  
208 the various aspects of this phenomenon (e.g., daydreaming at the bus stop, remembering a  
209 memory during a lecture, planning your evening, etc.).

#### 210 2.1.5 Recognition task

211 Participants completed a surprise recognition task associated with a Remember-Know-  
212 Guess paradigm (RKG; Gardiner, 1988; Gardiner et al., 1998; Tulving, 1985b) and two source

213 memory questions. Each of the 180 words appearing in the encoding task was presented one by  
214 one in a random order alongside 60 new words (for a total of 240 words presented) on the same  
215 dark grey background as at encoding. Participants were asked to indicate whether the word on-  
216 screen was present in the word-judgement task they completed before. The words stayed on-  
217 screen until the participant clicked with the mouse on the appropriate answer, which could be  
218 “yes, sure”, “yes, not sure”, “no, not sure” and “no, sure”. The evaluation of certainty was done  
219 in order to better discriminate between old unattended items and new items, as it has been shown  
220 that the percentage of high confidence “no” was superior for new item compared to old  
221 unattended ones, while the opposite pattern was found for low confidence “no” (Hoffman et al.,  
222 2011). If the participants answered either “yes, sure” or “yes, not sure”, they had to answer a  
223 few supplementary questions. First, they had to perform a RKG task, by stating if the recognized  
224 word was *remembered* (i.e. retrieval associated with a conscious reviving of the word in its  
225 context), if they *knew* they have seen this word (i.e. retrieval associated with certitude but no  
226 revivification of encoding context) or if it was simply a *guess* (i.e. retrieval based on intuition).  
227 Then, participants had to indicate if the word was positioned above or under its paired word.  
228 Lastly, they had to indicate if the word was written in red or green during the encoding phase  
229 (words were written in light grey at retrieval).

### 230 2.1.6 Procedure

231 Each participant completed the experience individually in an experimental room of the  
232 Institute of Psychology of the University of Paris. Before starting the experiment, they were  
233 informed of their rights to withdraw from the experience at any time and were told the  
234 experiment was about the study of attention and would last about one hour. After signing  
235 informed consent, they sat in front of a 22.9” computer screen, at about 70 cm. All the tasks  
236 were computed on Python 3.6, using the Neuropsychia module (Makowski & Dutriaux, 2017).  
237 Participants first completed a demographic questionnaire (e. g. age, gender, education level,

238 etc.), then immediately performed the implicit encoding task. Afterward, they completed the  
239 SART, the PHQ\_4 and the SWLS, to act as an interference task lasting about 10m. Finally,  
240 participants completed the retrieval task and were later given a debriefing to explain them the  
241 aims of the experiment and answer their potential questions. During this debriefing, they were  
242 notably asked if they had guessed the task was a memory task when completing the encoding  
243 part and if they tried to memorize the words.

## 244 **3 Results**

### 245 *3.1 Indices computation*

246 For mind wandering scores, we distinguished the type of thoughts experienced by the  
247 participants based on their answers to the two probes. When the score to the mind wandering  
248 probe was inferior or equal to its median point (5), participants were considered being in a task-  
249 related state (TRT). When the scores were superior to 5, participants were considered being  
250 mind wandering, and the mind wandering type was determined by the second probe. Here too,  
251 when the scores were inferior or equal to 5, they were considered experiencing stimulus-  
252 dependent thoughts (SDTs), while if the scores were superior to 5, they were considered as  
253 experiencing stimulus independent thoughts (SITs).

254 Concerning memory scores, we have first computed a discrimination index ( $A'$ ) for both  
255 attended and unattended items to estimate the ability to distinguish targets and distractors in the  
256 recognition task. Then, we have calculated a ratio of correctly recognized items by dividing the  
257 number of Yes response (both sure and unsure) for old items by the total number of items at  
258 encoding. Then, we computed a remember rate by dividing the number of remember answerer  
259 by the number of correctly recognized items (excluding guess answers). Finally, we computed  
260 a binding score corresponding to a value of either 1 or 0, 1 being attributed if both the color and  
261 the position of the item were correctly retrieved. This binding score was then computed into a

262 ratio of correct binding, by dividing the number of correct binding scores by the number of  
263 correctly recognized items.

264 We used R.4.0.4 (R Development Core Team, 2008) to conduct all statistical analyses. We  
265 chose to use the Bayesian framework, using the packages *rstanarm* (Carpenter et al., 2017;  
266 Gabry & Goodrich, 2016) and *easystats* (Lüdtke et al., 2020; Makowski et al., 2019). The  
267 existence of an effect will be associated with a level of certainty, using the probability of  
268 detection ( $pd$ ; Makowski et al., 2019), a Bayesian indicator of effect existence similar to the  
269 frequentist  $p$  value. If  $pd > 95\%$ , an effect will be deemed possible, if  $pd > 97\%$ , it will be  
270 considered as likely, and if  $pd > 99\%$ , it will be considered as probable. Each effect will be  
271 represented by its median, associated to a 89% Credible Interval, corresponding to a range of  
272 possible values for effect (Kruschke, 2014; Makowski et al., 2019). If the existence of the effect  
273 is associated with a high level of certainty ( $pd > 95\%$ ), we will also report the percentage of the  
274 posterior distribution present in the Region Of Practical Equivalence (ROPE; Makowski et al.,  
275 2019). The ROPE is an interval spread equally around 0 and corresponding to a range of values  
276 for the effect that can be considered negligible. If more than 97.5% of the posterior distribution  
277 falls into this range, then the effect can be considered as *insignificant* (in the sense that it is too  
278 small to be of practical significance). However, if less than 2.5% of the posterior distribution  
279 falls into this range, then the effect will be considered as *significant* (too great to be negligible).  
280 Note that the notion of significance in the Bayesian framework is different from the one used  
281 in the frequentist framework and is closer to the notion of effect size. Finally, when comparing  
282 two measures, Bayes Factors (BF) will be computed to determine if they can be considered  
283 different (indicated by the degree to which  $BF > 1$ ) or equivalent (indicated by the degree to  
284 which  $BF < 1$ ).

285 All Bayesian mixed linear models included the participants as random effects. All logistic  
286 regressions included random effects: the participants, the trial number, the probe number (for

287 the model including mind wandering scores), and the items. Additional fixed and random  
288 effects will be mentioned when necessary.

### 289 *3.3 Influence of task performance at encoding on mind wandering and subsequent memory*

290 First, an item-level Bayesian logistic model was computed to predict mind wandering score  
291 with the response at encoding (incorrect vs correct) and the response time of the item preceding  
292 the probe. The first model had a 99.25% probability of being positive (Median =  $2.52e-04$ , 89%  
293 CI [0.00, 0.00],  $R^2=0.51$ ), but the effect is negligible (100% in ROPE), while the second had a  
294 90.48% probability of being negative (Median =  $-0.29$ , 89% CI [ $-0.63$ ,  $0.08$ ],  $R^2=0.51$ ). Thus,  
295 it is probable that longer response time was associated with more mind wandering, but the  
296 increase can be considered negligible. Also, it is uncertain if reaction time influenced mind  
297 wandering scores.

298 To test how the performance during the encoding task impacted subsequent retrieval, we  
299 computed two item-level Bayesian logistic models predicting the probability of correctly  
300 recognizing a word, with the response at encoding (incorrect vs correct) and the response time.  
301 The first model had a 96.33% probability of being positive (Median =  $0.21$ , 89% CI [ $0.01$ ,  $0.38$ ],  
302  $R^2=0.24$ ), and the effect is uncertain (39.32% in ROPE), while the second had an 81.47%  
303 probability of being positive (Median =  $-4.67e-05$ , 89% CI [0.00, 0.00],  $R^2=0.24$ ). Thus, it is  
304 possible that correct trials led to more correct recognition ( $53.91\% \pm 0.49$ ) than incorrect trials  
305 ( $49.58\% \pm 0.5$ ), while it is uncertain if reaction time influenced retrieval performance.

306 Then, we conducted the same two item-level Bayesian logistic model to predict the  
307 probability of a remember response. The first model had a 90.18% probability of being positive  
308 (Median =  $0.66$ , 89% CI [ $-0.20$ ,  $1.50$ ],  $R^2=0.42$ ), while the second had a 94.97% probability of  
309 being negative (Median =  $-6.45e-04$ , 89% CI [0.00, 0.00],  $R^2=0.41$ ). Thus, it is uncertain  
310 whether the response at encoding or reaction time influenced remember rate.

311 Finally, we conducted again two item-level Bayesian logistic models to predict the  
312 probability of a correct binding. The first model had a 66.25% probability of being negative  
313 (Median = -0.06, 89% CI [-0.27, 0.18],  $R^2 = 0.09$ ), while the second had a 92.45% probability  
314 of being positive (Median =  $9.74e-05$ , 89% CI [0.00, 0.00],  $R^2 = 0.09$ ). Thus, it is uncertain if  
315 task response and reaction time influenced binding.

316 Because the only possible and non-negligible effect is the increase in item recognition  
317 following a correct response, we have added the participants' response as a fixed effect in all  
318 logistic models predicting item recognition (see **supplementary material** for a description of  
319 all effects inside a model).

#### 320 *3.4 Prediction of memory scores by attentional focus at encoding*

321 To test how the attentional focus (attended vs unattended) impacted later memory, we  
322 have first computed a participant-level mixed Bayesian linear model predicting the percentage  
323 of correctly recognized items with attentional focus. It appears the difference in memory  
324 performance between the two conditions had a 100% probability of being negative (Median =  
325 -34.2, 89% CI [-36.87, -31.65],  $R^2 = 0.84$ ), and this effect can be considered as significant (0%  
326 in ROPE). On average, 53.57% ( $\pm 17.81$ ) of attended items were correctly recognized, compared  
327 to 19.38% (11.23) of unattended items.

328 Then, we computed another participant-level mixed Bayesian linear model to predict the  
329 percentage of Remember responses with the attentional focus at encoding. The difference in  
330 Remember percentage between the two conditions had a 100% probability of being negative  
331 (Median = -17.42, 89% CI [-24.49, -10.70],  $R^2 = 0.27$ ), and this effect can be considered as  
332 significant (0.05% in ROPE). On average, 63.88% ( $\pm 21.75$ ) of recognized attended items were  
333 retrieved based on recollection, while this rate drops to 46.36% ( $\pm 32.65$ ) for the recognized  
334 unattended items.

335 Finally, to assess how the source memory was impacted by attentional focus, we  
336 computed a participant-level mixed Bayesian linear model predicting the percentage of correct  
337 binding with the attentional focus. It appears the difference between attended and unattended  
338 items had a 100% probability of being negative (Median = -21.92, 89% CI [-24.12, -19.74],  $R^2$   
339 =0.66), and this effect can be considered as significant (0% in ROPE). On average, 25.94%  
340 ( $\pm 11.60$ ) recognized attended items had a correct binding with their sources, compared to 4.02%  
341 ( $\pm 3.71$ ) for the recognized unattended items.

### 342 *3.5 Distinctions in item recognition patterns by attentional focus at encoding*

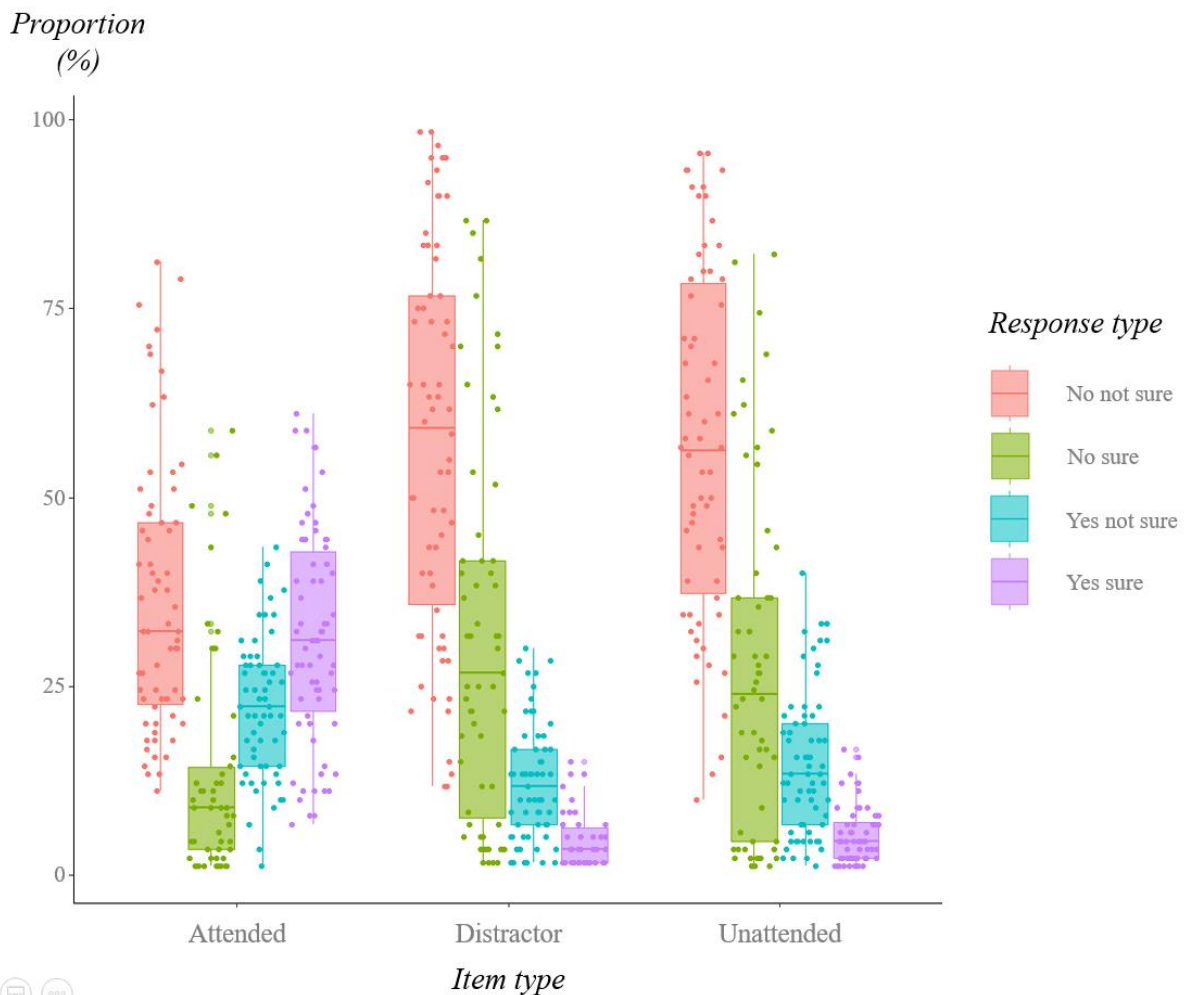
343 First, we have tested how attended and unattended items were processed. We have  
344 computed an  $A'$  index for both attended and unattended items and compared them using a Bayes  
345 Factor. We found  $BF = 5.57e^{+27}$ , suggesting dramatic evidence in favor of a difference between  
346 the  $A'$  associated to attended items ( $0.8 \pm 0.05$ ) and the  $A'$  associated to unattended items ( $0.59$   
347  $\pm 0.1$ ). As such, attended items were better discriminated from new items, compared to  
348 unattended items.

349 Then, we have computed a Bayesian mixed linear model predicting the proportion of  
350 response with response type (Yes sure, Yes not sure, No sure, No not sure) and stimulus type  
351 (attended, unattended, distractor). Since the model is rather complex, its detailed description is  
352 reported to the supplementary material section, and we will focus here on the response patterns  
353 between the distractor and unattended items. By running a contrast analysis, we found that the  
354 difference between distractors and unattended items in terms of percentage of response was  
355 uncertain for Yes sure responses (pd = 57.35% ; Median =  $-6.17e^{-3}$ , 89% CI [-0.07, 0.06],  $R^2$   
356 =0.5), Yes not sure responses (pd = 77.85% ; Median = -0.02, 89% CI [-0.08, 0.03],  $R^2$  =0.5),  
357 No sure response (pd = 90.75% ; Median =0.04, 89% CI [-0.02, 0.10],  $R^2$  =0.5) and No not sure  
358 response (pd = 59.60% ; Median =  $6.92e^{-3}$ , 89% CI [-0.05, 0.06],  $R^2$  =0.5). Every other  
359 difference between attended and distractors or unattended items was found to be probable (see



360 supplementary material for a more detailed description). As such, the response pattern for  
 361 unattended items was not different from the response pattern for distractors, as illustrated in  
 362 **Figure 1**.

363 Because unattended items led to responses pattern similar to distractors, and with an A'  
 364 evoking discrimination criterion close to chance, it is fair to assume that they were not processed  
 365 at all during the encoding phase. Thus, the following analyzes assessing the effect of mind  
 366 wandering on memory scores will only focus on attended items.

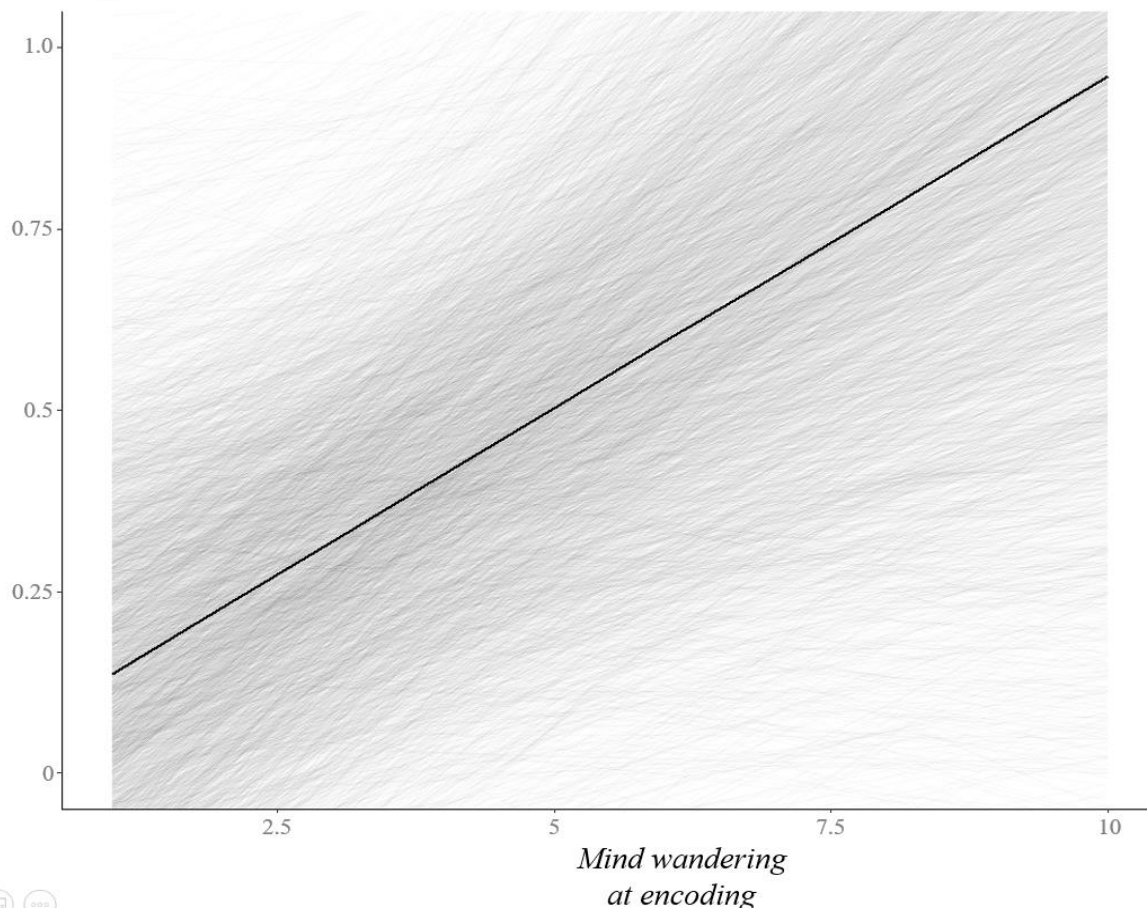


**Figure 1** Whisker plot of response proportions for each type of responses and types of items.

367 *3.6 Prediction of memory by mind wandering*

368 First, we computed an item-level Bayesian logistic model predicting the probability of  
369 correctly recognizing an attended word preceding a thought probe, with the score to that probe.  
370 The model had a 96.08% probability of being positive (Median = 0.09, 89% CI [0.01, 0.17],  $R^2$   
371 =0.23), and the effect is close to negligibility (96 % in ROPE). It is thus possible that mind  
372 wandering after the processing of an item slightly improves its subsequent memorization  
373 **(Figure 2)**.

*Probability of a  
correct recognition*



**Figure 2** *Probability of having a correct recognition predicted by the mind wandering score at encoding. The bold line corresponds to the median effect, while the thin lines represent 4000 possible draws from the posterior distribution.*

374 Then, we computed another item-level Bayesian logistic model predicting the  
375 probability of giving a remember response for a correctly recognized attended word preceding  
376 a thought probe, with the score of mind wandering. The model had a 99.45% probability of  
377 being positive (Median = 0.21, 89% CI [0.08, 0.36],  $R^2 = 0.38$ ), and the significance of this  
378 effect is uncertain (35.43% in ROPE). It is thus probable that the mind wandering level is linked  
379 to a higher probability of retrieving words on the basis of recollection.

380 Lastly, for source memory, we computed an item-level Bayesian logistic model  
381 predicting the probability of correctly realizing the binding of an attended word, with the mind  
382 wandering score of the following probe. The model had a 53.83% probability of being negative  
383 (Median =  $-4.87e^{-03}$ , 89% CI [-0.09, 0.09],  $R^2 = 0.10$ ). It is thus uncertain if mind wandering had  
384 an influence on source memory.

### 385 *3.7 Prediction of memory by thought's content*

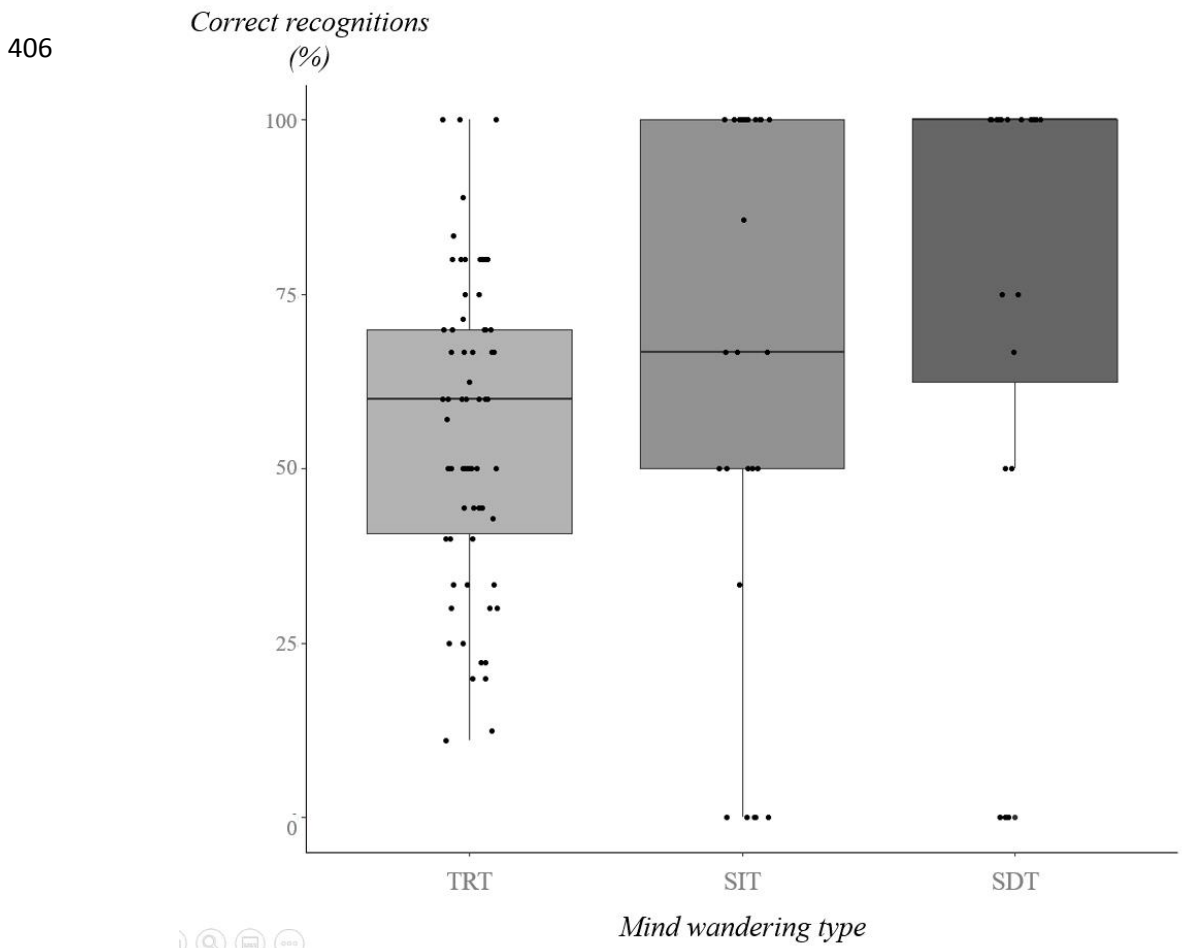
386 Since mind wandering measures were found to be tied to an improvement of subsequent  
387 memory, we have assessed how this improvement was tied with thoughts' content. The  
388 following analyzes only focus on item memory and remember rate, since these two parameters  
389 were the ones predicted with mind wandering scores.

390 For item memory, we computed a participant-level Bayesian linear mixed model in  
391 order to predict the percentage of correct recognition of items preceding a probe with the type  
392 of thoughts associated (TRTs, SDTs, SITs). Within this model, the difference between TRTs  
393 and SITs had a 85.30% probability of being positive (Median = 6.64, 89% CI [-3.39, 16.70],  $R^2$   
394 = 0.18) while the difference between TRTs while SDTs had a 99.65% probability of being  
395 positive (Median = 19.61, 89% CI [7.51, 31.25],  $R^2 = 0.10$ ), and this effect can be considered as  
396 significant (1.15% in ROPE). Finally, using contrast analyses, we found that the difference  
397 between SDTs and SITs had a 93.77% probability of being negative (Median = -12.91, 89% CI

398 [-29.64, 2.68],  $R^2 = 0.10$ ). Thus, it is probable that SDTs are associated with superior memory  
 399 performances ( $75.83\% \pm 36.76$ ) compared to TRTs ( $55.84 \pm 21.70$ ), while it is uncertain to be  
 400 different from SITs ( $62.73\% \pm 39.05$ ). The difference in memory performance between TRTs  
 401 and SITs was also uncertain (**Figure 3**).

402 For remember rate, we performed the same participant-level Bayesian linear mixed  
 403 model. However, all differences between any type of thoughts in term of remember rate were  
 404 found to be uncertain (see supplementary results for a complete description of the model).

405



**Figure 3** Whisker plot of correct recognitions for each type of mind wandering.

#### 407 **4 Discussion**

408           Several results emerge from the present experiment. First, contrarily to our predictions,  
409 it seems the unattended items did not receive any processing, as the response pattern associated  
410 during the recognition task did not differ from distractors. Then, when considering attended  
411 items, a positive linear relationship was found between mind wandering and both recognition  
412 and remember rate, while it was unsure if the binding was affected by mind wandering. Finally,  
413 when distinguishing between TRTs, SDTs and SITs, it appears that SDTs led to higher  
414 recognition rates than TRTs, while not being distinguishable from SITs.

415           First of all, the fact that unattended items were not processed during the encoding part  
416 is likely due to the material and procedure we used in the present experiment. The lack of  
417 processing for the unattended words is most certainly the consequence of the exposition time,  
418 which was equivalent to the response time of the participants. It is likely that, in such a short  
419 amount of time, the participant could only process one stimulus, especially considering the fact  
420 that only a quick perceptual processing was required to detect the attended stimulus. Thus, it is  
421 likely that the unattended items were not even read. This shortcoming could easily be addressed  
422 with a fixed duration of exposition of the stimuli.

423           Then, how can we explain the results linking in a positive way mind wandering and  
424 memory performance? This pattern is indeed quite surprising, considering the number of results  
425 showing a hindering effect of mind wandering on episodic memory encoding (Blondé et al.,  
426 *submitted*). However, upon closer inspection, this result may be tied to the presence of SDTs.  
427 It makes sense that an episode of mind wandering triggered by a specific word will improve its  
428 encoding, as it implies performing an elaborative process of the word. However, research  
429 focusing on how the content of mind wandering impacts memory encoding is rather scarce.  
430 SDTs have been found to improve older peoples' memory but led to no specific improvement  
431 for young people (Maillet & Schacter, 2016) or when the encoding is deep (Maillet et al., 2017).

432 In the present experiment, the incidental encoding was associated with a grammatical  
433 judgement task, not as deep as a semantic task and not as shallow as a perceptual task,  
434 suggesting that indeed SDTs can be used by young people to better encode information. In line  
435 with this idea, it appears that, in the context of a lecture, lecture-based thoughts are indeed  
436 associated to better memory performance (Jing et al., 2016; Kane et al., 2017). Further research  
437 is needed to clarify the impact of SDTs on young adults' memory.

438         It should also be noted that, although this effect is uncertain, SITs led to a substantial  
439 improvement of recognized words compared to TRTs. This result could point out that simply  
440 asking the participants to check their mind's content and put it in relation to previously seen  
441 words may have caused additional processing of the words, potentially improving their  
442 encoding probability. Thought probe methodology has been repeatedly examined to assess  
443 whether it impacts how mind wandering occurs (Robison et al., 2019; Seli et al., 2013;  
444 Weinstein, 2018), and how its framing can impact participants responses (Robison et al., 2019;  
445 Vinski & Watter, 2012; Weinstein et al., 2018). Although the present results are not sufficient  
446 to draw such a conclusion, they suggest that simply asking about the mind's content can modify  
447 the link between mind wandering and the processing of stimuli. If true, it would be more  
448 cautious to assess mind wandering's content retrospectively, especially in the case of memory  
449 encoding, in order to limit potential interference.

450         To answer the shortcomings of this experience, we have planned to realize a second  
451 experiment. This new experiment will broadly follow the same procedure as experience, but  
452 with two main differences. First of all, instead of relying on simplistic word material, we have  
453 opted to use pictures to figure a complex environment. Then, to control for the distribution of  
454 overt attention, an eye tracker will be used to control fixation times for attended and unattended  
455 items, in order to have an additional assessment of the attention each item received at encoding.

456 Participants will have to perform an incident encoding task of visual stimuli by looking at  
457 60 pictures of city landscape. These pictures correspond to screenshots of the same location  
458 representing the corner of a street, made with Unity 3d (**Figure 4a**). From one picture to another,  
459 several details of the environment will change, like the textures of the building or the objects  
460 and their position (**Figure 4b**). The location, light and configuration of the scenes will be held  
461 constant. In each picture, two panels will be placed, always at the same position across the  
462 pictures. These panels will showcase one common item each (a plant, an animal, a tool, etc...),  
463 and each scene will also be characterized by a specific storefront located between the two  
464 panels. The items were selected from the database of Hovhannisyan et al. (2021), which assess  
465 their memorability. Non-living items has a mean retrieval ratio of 0.67 (0.08) while living items  
466 has a mean retrieval ratio of 0.66 (0.08), with no difference between the two ( $p = 56.50\%$ ,  
467 Median =  $1.75e^{-3}$  89%, CI [-0.02, 0.02]). Before the appearance of the picture, the position of  
468 one of these panels will be highlighted by a visual cue to prime the attention of the participants  
469 to one panel (the attended one). When the picture appears, after a short random delay, the  
470 participants will have to determine, as quickly as possible, if the attended item is living (by  
471 pressing the V key) or nonliving (by pressing the N key). The second panel (the unattended  
472 one) will always present an item from the opposite category than the attended one. Item couples  
473 are fixed, and items are matched in term of memorability ratio. The cuing of stimuli will be  
474 counterbalanced across two inter-subjects' lists, so that each item will be cued in the final  
475 dataset. Regardless of the participants' answer, the pictures will stay on-screen for 2s, leaving  
476 room for the participant to briefly explore the visual scene. Similarly to the previously done  
477 experience, the position of each item will be set to random, but 10 pictures will be selected as  
478 critical, presented in a pseudo-random order (every  $8 \pm 2$  trials), and followed by a thought  
479 probe. Thought probes will be the exact same as in experiment one, but this time no second  
480 probe assessing the content of mind wandering will appear on-screen. Instead, an offline

481 evaluation of mind wandering will be performed, by asking retrospectively the overall number  
482 of thoughts dedicated to items during the task.



*Figure 4* Example of stimuli for experience 2, with a nonliving item to the left and a living one to the right.

483 The retrieval task will be the same as the one described in experiment 1, with the following  
484 exceptions. The items will consist of the 120 items showcased on the panels in the encoding  
485 phase (60 attended and 60 unattended), plus 30 new items. Each item will be presented on a  
486 white screen without any background. The recognition and RKG tasks will be the same, only  
487 the source memory questions will differ from experiment one. After answering the RKG  
488 question, participants will have to specify if the item was on the left panel or on the right one.  
489 Finally, participants will be shown two backgrounds, without panels. One corresponds to the  
490 background of the presented item, the other will correspond to another background (presented  
491 during the encoding phase). Participants will have to decide which one was the background in  
492 which the item was displayed.

493 The procedure and material will be the same as in the first experience apart from the  
494 previously described tasks and the inclusion of an eye tracking device. As such, participants



495 will put their chin on a chinrest located at 60 cm from the screen. An SMI eye tracker bar will  
496 be located under the computer to capture gaze patterns during the encoding task. Thus, a  
497 calibration phase requiring the participants to follow the position of 5 points on-screen will take  
498 place before the encoding phase.

## 499 **5 Conclusion**

500 While the present experiment did not elucidate the results of Blondé et al. (2020), it brings  
501 further evidence for a potential positive impact of mind wandering on episodic memory  
502 encoding when thoughts content is stimulus dependent. Furthermore, our results suggest that  
503 the mere fact of assessing thoughts content can have an impact on episodic memory encoding.  
504 A future experiment designed to overcome the shortcomings of the present experiment is  
505 described and planned.

### 506 *Conflict of interest*

507 The authors declare having no conflict of interest.

### 508 *Funding*

509 The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication  
510 of this article.

### 511 *Ethical standards*

512 The manuscript does not contain clinical studies or patient data. All participants signed an  
513 informed consent before attended to this experiment.

### 514 *Data availability*

515 The raw data and scripts for their processing and statistical analyses will be made available  
516 online. The present study was preregistered at <https://osf.io/8gr36>.

517 **6 References**

- 518 Baddeley, A., Lewis, V., Eldridge, M., & Thomson, N. (1984). Attention and retrieval from  
519 long-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*(4), 518–540.  
520 <https://doi.org/10.1037/0096-3445.113.4.518>
- 521 Blais, M. R., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Brière, N. M. (1989). L'échelle de  
522 satisfaction de vie: Validation canadienne-française du "Satisfaction with Life Scale."  
523 *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du*  
524 *Comportement*, *21*(2), 210–223. <https://doi.org/10.1037/h0079854>
- 525 Blondé, P., Makowski, D., Sperduti, M., & Piolino, P. (2020). In Medio Stat Virtus:  
526 intermediate levels of mind wandering improve episodic memory encoding in a virtual  
527 environment. *Psychological Research, Urp 7536*. [https://doi.org/10.1007/s00426-020-](https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5)  
528 [01358-5](https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5)
- 529 Carpenter, B., Gelman, A., Hoffman, M. D., Lee, D., Goodrich, B., Betancourt, M., Brubaker,  
530 M., Guo, J., Li, P., & Riddell, A. (2017). Stan : A Probabilistic Programming Language.  
531 *Journal of Statistical Software*, *76*(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v076.i01>
- 532 Christoff, K., Gordon, A. M., Smallwood, J., Smith, R., & Schooler, J. W. (2009). Experience  
533 sampling during fMRI reveals default network and executive system contributions to  
534 mind wandering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(21), 8719–  
535 8724. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900234106>
- 536 Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016).  
537 Mind-wandering as spontaneous thought: a dynamic framework. *Nature Reviews*  
538 *Neuroscience*, *17*(11), 718–731. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.113>
- 539 Craik, F. I. M., Eftekhari, E., & Binns, M. A. (2018). Effects of divided attention at encoding  
540 and retrieval: Further data. *Memory & Cognition*, *46*(8), 1263–1277.

- 541 <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0835-3>
- 542 Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of  
543 divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of*  
544 *Experimental Psychology: General*, 125(2), 159–180. [https://doi.org/10.1037/0096-](https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159)  
545 [3445.125.2.159](https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159)
- 546 deBettencourt, M. T., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B. (2018). Forgetting from lapses  
547 of sustained attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(2), 605–611.  
548 <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1309-5>
- 549 Diener, E., Emmons, R., Larsen, J., & Griffin, S. (1985). The satisfaction with life scale.  
550 *Journal of Personality Assessment*, 49(1), 71–75.  
551 [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901\\_13](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13)
- 552 Dixon, P., & Sharma, A. (2019). Distraction and Temporal Order in Narrative Situation  
553 Models. *Discourse Processes*, 56(5–6), 402–414.  
554 <https://doi.org/10.1080/0163853X.2019.1609742>
- 555 Facoetti, A., & Molteni, M. (2000). Is attentional focusing an inhibitory process at distractor  
556 location? *Cognitive Brain Research*, 10(1–2), 185–188. [https://doi.org/10.1016/S0926-](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(00)00031-8)  
557 [6410\(00\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(00)00031-8)
- 558 Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: the  
559 effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 4(SEP), 1–9.  
560 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00619>
- 561 Gabry, J., & Goodrich, B. (2016). rstanarm: Bayesian applied regression modeling via stan. *R*  
562 *Package Version*, 2(1).
- 563 Gardiner, J. M. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*,

- 564 16(4), 309–313. <https://doi.org/10.3758/BF03197041>
- 565 Gardiner, J. M., Java, R. I., & Richardson-Klavehn, A. (1996). How level of processing really  
566 influences awareness in recognition memory. *Canadian Journal of Experimental*  
567 *Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 50(1), 114–122.  
568 <https://doi.org/10.1037/1196-1961.50.1.114>
- 569 Gardiner, J. M., & Parkin, A. J. (1990). Attention and recollective experience in recognition  
570 memory. *Memory & Cognition*, 18(6), 579–583. <https://doi.org/10.3758/BF03197100>
- 571 Gardiner, J. M., Ramponi, C., & Richardson-Klavehn, A. (1998). Experiences of  
572 Remembering, Knowing, and Guessing. *Consciousness and Cognition*, 7(1), 1–26.  
573 <https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0321>
- 574 Garlitch, S. M., & Wahlheim, C. N. (2020). The role of attentional fluctuation during study in  
575 recollecting episodic changes at test. *Memory & Cognition*.  
576 <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01018-4>
- 577 Haaf, J. M., Rhodes, S., Naveh-Benjamin, M., Sun, T., Snyder, H. K., & Rouder, J. N. (2021).  
578 Revisiting the remember–know task: Replications of Gardiner and Java (1990). *Memory*  
579 *& Cognition*, 49(1), 46–66. <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01073-x>
- 580 Hoffman, Y., Bein, O., & Maril, A. (2011). Explicit memory for unattended words: The  
581 importance of being in the “no.” *Psychological Science*, 22(12), 1490–1493.  
582 <https://doi.org/10.1177/0956797611419674>
- 583 Hoffman, Y., & Tzelgov, J. (2012). Representation of unattended material in memory.  
584 *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1504–1508.  
585 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.005>
- 586 Hovhannisyan, M., Clarke, A., Geib, B. R., Cicchinelli, R., Monge, Z., Worth, T., Szymanski,

- 587 A., Cabeza, R., & Davis, S. W. (2021). The visual and semantic features that predict  
588 object memory: Concept property norms for 1,000 object images. *Memory & Cognition*.  
589 <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01130-5>
- 590 Jing, H. G., Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2016). Interpolated testing influences focused  
591 attention and improves integration of information during a video-recorded lecture.  
592 *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 22(3), 305–318.  
593 <https://doi.org/10.1037/xap0000087>
- 594 Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R.  
595 (2007). For Whom the Mind Wanders, and When. *Psychological Science*, 18(7), 614–  
596 621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x>
- 597 Kane, M. J., Smeekens, B. A., von Bastian, C. C., Lurquin, J. H., Carruth, N. P., & Miyake,  
598 A. (2017). A combined experimental and individual-differences investigation into mind  
599 wandering during a video lecture. *Journal of Experimental Psychology: General*,  
600 146(11), 1649–1674. <https://doi.org/10.1037/xge0000362>
- 601 Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind.  
602 *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>
- 603 Krasich, K., McManus, R., Hutt, S., Faber, M., D’Mello, S. K., & Brockmole, J. R. (2018).  
604 Gaze-based signatures of mind wandering during real-world scene processing. *Journal of*  
605 *Experimental Psychology: General*, 147(8), 1111–1124.  
606 <https://doi.org/10.1037/xge0000411>
- 607 Kroenke, K., Spitzer, R. L., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2009). An Ultra-Brief Screening  
608 Scale for Anxiety and Depression: The PHQ–4. *Psychosomatics*, 50(6), 613–621.  
609 [https://doi.org/10.1016/S0033-3182\(09\)70864-3](https://doi.org/10.1016/S0033-3182(09)70864-3)

- 610 Kruschke, J. K. (2014). Doing Bayesian data analysis: A tutorial with R, JAGS, and Stan. In  
611 *Academic Press*.
- 612 LaBerge, D., Brown, V., Carter, M., Bash, D., & Hartley, A. (1991). Reducing the Effects of  
613 Adjacent Distractors by Narrowing Attention. *Journal of Experimental Psychology:*  
614 *Human Perception and Performance*, 17(1), 65–76. [https://doi.org/10.1037/0096-](https://doi.org/10.1037/0096-1523.17.1.65)  
615 1523.17.1.65
- 616 LaRocque, J. J., Eichenbaum, A. S., Starrett, M. J., Rose, N. S., Emrich, S. M., & Postle, B.  
617 R. (2015). The short- and long-term fates of memory items retained outside the focus of  
618 attention. *Memory & Cognition*, 43(3), 453–468. [https://doi.org/10.3758/s13421-014-](https://doi.org/10.3758/s13421-014-0486-y)  
619 0486-y
- 620 Lavie, N. (2010). Attention, Distraction, and Cognitive Control Under Load. *Current*  
621 *Directions in Psychological Science*, 19(3), 143–148.  
622 <https://doi.org/10.1177/0963721410370295>
- 623 Löwe, B., Wahl, I., Rose, M., Spitzer, C., Glaesmer, H., Wingenfeld, K., Schneider, A., &  
624 Brähler, E. (2010). A 4-item measure of depression and anxiety: Validation and  
625 standardization of the Patient Health Questionnaire-4 (PHQ-4) in the general population.  
626 *Journal of Affective Disorders*, 122(1–2), 86–95.  
627 <https://doi.org/10.1016/j.jad.2009.06.019>
- 628 Lüdecke, D., Ben-Shachar, M., Patil, I., & Makowski, D. (2020). Extracting, Computing and  
629 Exploring the Parameters of Statistical Models using R. *Journal of Open Source*  
630 *Software*, 5(53), 2445. <https://doi.org/10.21105/joss.02445>
- 631 Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016). When the mind wanders: Distinguishing stimulus-  
632 dependent from stimulus-independent thoughts during incidental encoding in young and  
633 older adults. *Psychology and Aging*, 31(4), 370–379. <https://doi.org/10.1037/pag0000099>

- 634 Maillet, D., Seli, P., & Schacter, D. L. (2017). Mind-wandering and task stimuli: Stimulus-  
635 dependent thoughts influence performance on memory tasks and are more often past-  
636 versus future-oriented. *Consciousness and Cognition*, *52*(October), 55–67.  
637 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.014>
- 638 Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdtke, D. (2019). Indices of Effect  
639 Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*,  
640 *10*(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767>
- 641 Makowski, D., & Dutriaux, L. (2017). Neuropsychia.py: A Python Module for Creating  
642 Experiments, Tasks and Questionnaires. *The Journal of Open Source Software*, *2*(19),  
643 259. <https://doi.org/10.21105/joss.00259>
- 644 Mcvay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Why does working memory capacity predict variation in  
645 reading comprehension. *Journal of Experimental Psychology General*, *141*(2), 302–320.  
646 <https://doi.org/10.1037/a0025250>. Why
- 647 McVay, J. C., Kane, M. J., & Kwapil, T. R. (2009). Tracking the train of thought from the  
648 laboratory into everyday life: An experience-sampling study of mind wandering across  
649 controlled and ecological contexts. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(5), 857–863.  
650 <https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.857>
- 651 Mrazek, M. D., Smallwood, J., Franklin, M. S., Chin, J. M., Baird, B., & Schooler, J. W.  
652 (2012). The role of mind-wandering in measurements of general aptitude. *Journal of*  
653 *Experimental Psychology: General*, *141*(4), 788–798. <https://doi.org/10.1037/a0027968>
- 654 Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Perretta, J. G., & Tonev, S. T. (2000). The Effects of  
655 Divided Attention on Encoding and Retrieval Processes: The Resiliency of Retrieval  
656 Processes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *53*(3), 609–  
657 625. <https://doi.org/10.1080/713755914>

- 658 Naveh-Benjamin, M., Guez, J., & Sorek, S. (2007). The effects of divided attention on  
659 encoding processes in memory: Mapping the locus of interference. *Canadian Journal of*  
660 *Experimental Psychology*, *61*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/cjep2007001>
- 661 New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2 : A new French lexical  
662 database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *36*(3), 516–524.  
663 <https://doi.org/10.3758/BF03195598>
- 664 New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du  
665 français contemporain sur internet: LEXIQUE. *L'Année Psychologique*, *101*((3)), 447–  
666 462. <http://www.lexique.org>
- 667 R Development Core Team. (2008). *R: A Language and Environment for Statistical*  
668 *Computing*.
- 669 Riby, L. M., Smallwood, J., & Gunn, V. P. (2008). Mind Wandering and Retrieval from  
670 Episodic Memory: A Pilot Event-Related Potential Study. *Psychological Reports*,  
671 *102*(3), 805–818. <https://doi.org/10.2466/pr0.102.3.805-818>
- 672 Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!':  
673 Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and  
674 normal subjects. *Neuropsychologia*, *35*(6), 747–758. [https://doi.org/10.1016/S0028-](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)  
675 [3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)
- 676 Robison, M. K., Miller, A. L., & Unsworth, N. (2019). Examining the effects of probe  
677 frequency, response options, and framing within the thought-probe method. *Behavior*  
678 *Research Methods*, *51*(1), 398–408. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01212-6>
- 679 Robison, M. K., & Unsworth, N. (2019). Pupillometry tracks fluctuations in working memory  
680 performance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(2), 407–419.



- 681 <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1618-4>
- 682 Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive  
683 task performance. *Memory & Cognition*, *19*(5), 507–513.  
684 <https://doi.org/10.3758/BF03199574>
- 685 Seli, P., Carriere, J. S. A., Levene, M., & Smilek, D. (2013). How few and far between?  
686 Examining the effects of probe rate on self-reported mind wandering. *Frontiers in*  
687 *Psychology*, *4*(JUL), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00430>
- 688 Smallwood, J., Baracaia, S. F., Lowe, M., & Obonsawin, M. (2003). Task unrelated thought  
689 whilst encoding information. *Consciousness and Cognition*, *12*(3), 452–484.  
690 [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00018-7)
- 691 Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2007). The lights are on but no one's  
692 home: Meta-awareness and the decoupling of attention when the mind wanders.  
693 *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(3), 527–533. <https://doi.org/10.3758/BF03194102>
- 694 Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2008). When attention matters: The  
695 curious incident of the wandering mind. *Memory & Cognition*, *36*(6), 1144–1150.  
696 <https://doi.org/10.3758/MC.36.6.1144>
- 697 Smallwood, J., Nind, L., & O'Connor, R. C. (2009). When is your head at? An exploration of  
698 the factors associated with the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and*  
699 *Cognition*, *18*(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.11.004>
- 700 Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., Haskell, C., & Ballantyne, C. (2004). The  
701 consequences of encoding information on the maintenance of internally generated  
702 images and thoughts: The role of meaning complexes. *Consciousness and Cognition*,  
703 *13*(4), 789–820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.004>

- 704 Smallwood, J., Obonsawin, M., & Heim, D. (2003). Task unrelated thought: The role of  
705 distributed processing. *Consciousness and Cognition*, *12*(2), 169–189.  
706 [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(02\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(02)00003-X)
- 707 Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, *132*(6),  
708 946–958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- 709 Smallwood, J., Schooler, J. W., Turk, D. J., Cunningham, S. J., Burns, P., & Macrae, C. N.  
710 (2011). Self-reflection and the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and*  
711 *Cognition*, *20*(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.12.017>
- 712 Stawarczyk, D., & D'Argembeau, A. (2016). Conjoint influence of mind-wandering and  
713 sleepiness on task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*  
714 *and Performance*, *42*(10), 1587–1600. <https://doi.org/10.1037/xhp0000254>
- 715 Stawarczyk, D., Majerus, S., Catale, C., & D'Argembeau, A. (2014). Relationships between  
716 mind-wandering and attentional control abilities in young adults and adolescents. *Acta*  
717 *Psychologica*, *148*, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.007>
- 718 Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011).  
719 Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience  
720 sampling method. *Acta Psychologica*, *136*(3), 370–381.  
721 <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.01.002>
- 722 Tulving, E. (1985a). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*(4),  
723 385–398. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.4.385>
- 724 Tulving, E. (1985b). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie*  
725 *Canadienne*, *26*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>
- 726 Tulving, E. (1993). What Is Episodic Memory? *Current Directions in Psychological Science*,

- 727 2(3), 67–70. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770899>
- 728 Uncapher, M. R., & Rugg, M. D. (2005). Effects of divided attention on fMRI correlates of  
729 memory encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(12), 1923–1935.  
730 <https://doi.org/10.1162/089892905775008616>
- 731 Unsworth, N., & McMillan, B. D. (2013). Mind wandering and reading comprehension:  
732 Examining the roles of working memory capacity, interest, motivation, and topic  
733 experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*,  
734 *39*(3), 832–842. <https://doi.org/10.1037/a0029669>
- 735 Unsworth, N., & Robison, M. K. (2016). The influence of lapses of attention on working  
736 memory capacity. *Memory and Cognition*, *44*(2), 188–196.  
737 <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0560-0>
- 738 Varao-Sousa, T. L., & Kingstone, A. (2015). Memory for Lectures: How Lecture Format  
739 Impacts the Learning Experience. *PLOS ONE*, *10*(11), e0141587.  
740 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141587>
- 741 Vinski, M. T., & Watter, S. (2012). Priming honesty reduces subjective bias in self-report  
742 measures of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, *21*(1), 451–455.  
743 <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.11.001>
- 744 Wammes, J. D., Seli, P., Cheyne, J. A., Boucher, P. O., & Smilek, D. (2016). Mind wandering  
745 during lectures II: Relation to academic performance. *Scholarship of Teaching and  
746 Learning in Psychology*, *2*(1), 33–48. <https://doi.org/10.1037/stl0000055>
- 747 Wammes, J. D., & Smilek, D. (2017). Examining the Influence of Lecture Format on Degree  
748 of Mind Wandering. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *6*(2), 174–  
749 184. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.01.015>

- 750 Weinstein, Y. (2018). Mind-wandering, how do I measure thee with probes? Let me count the  
751 ways. *Behavior Research Methods*, 50(2), 642–661. [https://doi.org/10.3758/s13428-017-](https://doi.org/10.3758/s13428-017-0891-9)  
752 0891-9
- 753 Weinstein, Y., De Lima, H. J., & van der Zee, T. (2018). Are you mind-wandering, or is your  
754 mind on task? The effect of probe framing on mind-wandering reports. *Psychonomic*  
755 *Bulletin and Review*, 25(2), 754–760. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1322-8>
- 756 Yonelinas, A. P. (1999). The contribution of recollection and familiarity to recognition and  
757 source-memory judgments: A formal dual-process model and an analysis of receiver  
758 operating characteristics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*  
759 *Cognition*, 25(6), 1415–1434. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.6.1415>
- 760



### 6.3 Conclusion

Les principaux résultats de cette troisième étude peuvent être résumés ainsi :

- Il est presque certain que les stimuli focalisés soient associés à plus de reconnaissances correctes que les items non focalisés.
- Il est incertain que les stimuli non focalisés soient associés à des taux de réponse différents (Oui sûr/Oui pas sûr – Non sûr/Non pas sûr) lors de la tâche de récupération par rapport aux distracteurs.
- Il est possible que le niveau de *mind wandering* associé à l'encodage des stimuli focalisés prédise positivement leur récupération, et probable qu'il prédise la probabilité d'une réponse recollective.
- Il est probable que les pensées associées à un stimulus entraînent une meilleure mémorisation des stimuli par rapport aux épisodes de concentration sur la tâche.

Étant donné que les stimuli non focalisés n'entraînaient pas des *patterns* de reconnaissance distincts des distracteurs, nous postulons qu'ils n'ont pas reçu de traitement attentionnel de la part des participants lors de l'encodage. Ainsi, l'analyse des liens entre *mind wandering* et récupération en mémoire pour ces stimuli a été écartée, et nos analyses se sont focalisées exclusivement sur les items focalisés. Ce faisant, nous n'avons pas pu examiner les hypothèses explicatives de la première étude, celles-ci reposant sur une distinction dans les *patterns* de reconnaissance entre stimuli focalisés et non focalisés. Les résultats associés aux stimuli focalisés ont cependant permis de mettre à jour des résultats intéressants quant au lien *mind wandering* et encodage en mémoire épisodique.

Ainsi, nous avons observé que, contrairement aux résultats courants trouvés dans la littérature, le niveau de *mind wandering* à l'encodage prédisait positivement la probabilité de la récupération des stimuli ainsi que le taux de recollection associé. L'hypothèse la plus probable est qu'un haut niveau de *mind wandering* représente des pensées associatives en lien avec les stimuli de la tâche (par exemple, voir le mot « chat » et penser qu'il faut acheter de la nourriture pour son chat). Cette hypothèse semble être confirmée par notre analyse du contenu du *mind wandering*, qui montre une meilleure reconnaissance des stimuli lorsque des pensées associées caractérisent le contenu du *mind wandering*, par rapport à des épisodes de focalisation sur la tâche. Ces pensées permettraient de maintenir le focus attentionnel sur le stimulus et d'effectuer des traitements associatifs, résultant en un meilleur encodage. Les

études ayant mis à jour un effet positif du *mind wandering* sur l'encodage sont peu nombreuses et ne mettent à jour cet effet que chez les âgés (Maillet & Schacter, 2016b) (Maillet & Schacter, 2016b) et chez les jeunes adultes dans le cadre d'un traitement superficiel (Maillet et al., 2017) ou dans le cadre d'un cours (Jing et al., 2016; Kane et al., 2017). Les résultats que nous avons mis à jour sont donc encourageants, car ils montrent que, *via* l'utilisation d'une méthode prédictive, il est possible d'anticiper de meilleures performances mnésiques sur la base du contenu du *mind wandering* à l'encodage.

## Chapitre 7

# Discussion et perspectives

L'objectif de cette thèse était d'évaluer l'impact du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique, en employant une méthodologie prédictive visant à rendre compte du lien direct entre ces deux processus, ainsi qu'en mettant en place des évaluations plus représentatives de comment ce lien s'effectue dans des conditions proches de la vie réelle. Après avoir synthétisé et mis en perspective les résultats des trois études expérimentales de la thèse, nous soulignerons les points d'incertitude restants et les questions encore ouvertes, afin de proposer de nouvelles pistes de recherche ainsi que des expériences sur lesquelles elles pourraient se baser.

### 7.1 Synthèse des résultats

Au travers des différentes études de cette thèse, nous avons mesuré de manière similaire la relation entre *mind wandering* et mémoire épisodique. Dans chacune de nos études, nous avons employé des sondes de pensée permettant de mesurer le *mind wandering* lors de l'encodage incident de différents stimuli, afin de prédire non seulement leur récupération ultérieure, mais aussi la phénoménologie associée ainsi que la récupération d'informations contextuelles. Si les études ayant testé l'influence du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique ont déjà mis en évidence un lien négatif entre ces deux processus, cette relation découle la plupart du temps de moyennes globales, peu représentatives d'un lien de causalité. La procédure que nous avons mise en place vise à tester l'idée que, selon le modèle PRAM (Chun & Johnson, 2011), la mémoire est une trace au long-terme de l'attention, celle-ci pouvant osciller entre les stimuli externes et internes. Nous allons donc récapituler les principaux résultats de nos trois expériences (voir **Table 2** pour un aperçu général) afin de mettre en évidence dans quelle mesure ils nous renseignent sur les liens entre attention et mémoire.



	Mémoire des items	Phénoménologie	Mémoire du contexte
<b>Blondé et al. (2020)</b>	<p>Possible relation linéaire négative entre le niveau de <i>mind wandering</i> global et la proportion d'items correctement reconnus</p> <p><math>pd = 95.28\%</math> ; médiane = <math>-0.32</math>, 90% CI [<math>-0.6, 0.02</math>]</p> <p>Pas de relation entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité de reconnaître un item</p> <p><math>pd = 89.25\%</math> ; médiane = <math>-2.89</math>, 90% CI [<math>-6.55, 1.09</math>],</p>	<p>Possible relation quadratique entre le niveau de <i>mind wandering</i> global et la proportion de réponses R</p> <p><math>pd = 97.43\%</math> ; médiane = <math>-0.73</math>, 90% CI [<math>-1.36, -0.18</math>].</p> <p>Possible relation quadratique entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité d'avoir une réponse R</p> <p><math>pd = 96.68\%</math> ; médiane = <math>-5.44</math>, 90% CI [<math>-11.10, -0.7</math>].</p>	<p>Pas de relation entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde ou le taux de <i>mind wandering</i> global et la mémoire d'informations spatiales ou temporelles</p>
<b>Blondé et al. (accepted)</b>	<p>Probable relation linéaire négative entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité de reconnaître un item</p> <p><math>pd = 99.98\%</math> ; médiane = <math>-0.30</math>, 90% CI [<math>-0.45, -0.14</math>]</p>	<p>/</p>	<p>Possible relation linéaire négative entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité de reconnaître la source de l'item</p> <p><math>pd = 96.68\%</math> ; médiane = <math>-0.18</math>, 90% CI [<math>-0.35, 0.01</math>],</p>
<b>Blondé et al. (in prep)</b>	<p>Possible relation linéaire positive entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité de reconnaître un item</p> <p><math>pd = 96.17\%</math> ; médiane = <math>0.09</math>, 89% CI [<math>0.01, 0.18</math>]</p>	<p>Probable relation linéaire positive entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et la probabilité d'avoir une réponse R</p> <p><math>pd = 99.45\%</math> ; médiane = <math>0.21</math>, 89% CI [<math>0.08, 0.36</math>],</p>	<p>Pas de relation entre le niveau de <i>mind wandering</i> à chaque sonde et le <i>binding</i> des items (rappel correct de la couleur et de la position)</p> <p><math>pd = 53.83\%</math> ; médiane = <math>-4.87e^{-03}</math>, 89% CI [<math>-0.09, 0.09</math>]</p>

Table 2 : Récapitulatif des résultats des études de la thèse concernant l'effet du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique

Tout d'abord, concernant le **rappel factuel**, la proportion moyenne des items était prédite négativement par le niveau de *mind wandering* global dans les études 1 et 2. La probabilité d'une reconnaissance correcte sur la base du score de *mind wandering* à l'encodage n'a été prédite négativement que dans l'étude 2, et elle a été prédite positivement dans l'étude 3. Tandis que les études 1 et 2 confirment l'impact délétère du *mind wandering* sur l'encodage d'informations factuelles, les résultats de l'étude 3 soulignent son rôle potentiellement bénéfique. Les relations négatives trouvées dans les deux premières études sont cohérentes avec ce que l'on observe dans la littérature et correspondraient à l'effet du découplage perceptif associé au *mind wandering* (Smallwood & Schooler, 2006). Cet effet peut se traduire, selon la terminologie du modèle PRAM, par un basculement de l'attention perceptive vers l'attention réflexive. Un tel basculement, toujours selon le modèle PRAM, devrait être associé à une diminution de la probabilité d'encoder les stimuli externes, au profit d'une augmentation de la probabilité d'encoder les stimuli internes. Or, si l'analyse des scores globaux met en évidence une forte probabilité d'un effet négatif du *mind wandering* sur la récupération des items dans les deux premières d'études, les analyses logistiques, elles, ne révèlent un effet probable que dans la seconde étude. Cette divergence dans les résultats entre les études peut être attribuée à la différence de complexité des stimuli à traiter dans les deux tâches. L'environnement en réalité virtuelle de la première expérience était particulièrement riche en stimuli à traiter. Il est donc possible que, pour beaucoup de participants, les scènes critiques n'aient pas été traitées différemment du reste de l'environnement, ou que certaines aient été ignorées. En effet, indiquer être « totalement focalisé sur l'environnement » ne garantit pas que l'attention soit portée sur la scène critique. Malgré cela, la probabilité de prédire la reconnaissance des items sur la base du *mind wandering* dans la première expérience demeure relativement haute (89.25%), et il n'est pas à exclure que cet effet apparaisse avec une taille d'échantillon plus grande. Dans la deuxième étude, les stimuli étaient présentés uns à uns et nécessitaient tous un traitement attentionnel, permettant une quantification directe de l'attention allouée à chaque stimulus lors de l'encodage. Ici, l'effet négatif du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique était associé à une probabilité d'existence très haute (99.98%). Cette deuxième étude montre qu'il est possible d'indexer directement la probabilité de rétention d'un item sur le degré d'attention à l'encodage, ce qui soutient l'idée que la mémoire correspond au maintien dans le temps des informations ayant reçu un traitement attentionnel. Si la première étude montre qu'il est possible de rendre compte de manière globale du lien entre *mind wandering* et

mémoire épisodique dans un environnement riche et écologique, elle montre aussi que la capacité prédictive du *mind wandering* n'est fiable que si l'évaluation attentionnelle porte spécifiquement sur l'information à encoder.

L'influence positive du niveau de *mind wandering* sur l'encodage des items, trouvée dans la troisième étude, contraste avec les résultats précédents ainsi que ceux de la littérature. Ce résultat est apparemment en opposition avec les prédictions du modèle PRAM, qui aurait postulé une relation négative. Cependant, il est possible que ce résultat inattendu soit la résultante de la manière dont le *mind wandering* a été évalué dans cette étude. En effet, deux sondes de pensée étaient présentes : l'une évaluant le niveau de *mind wandering*, l'autre évaluant son contenu et n'apparaissant que si le score de *mind wandering* était supérieur à 5. Or, le fait d'interroger explicitement les participants, non seulement sur la présence de *mind wandering* mais aussi sur son contenu, a pu impacter l'allocation des ressources attentionnelles sur le matériel étudié. Ainsi, lorsque ce contenu était associé aux items, répondre à la question a pu résulter en un traitement attentionnel supplémentaire, qui sera associé à une probabilité d'encodage accrue. Cette interprétation explique le fait que plus d'items étaient rappelés lorsque les participants avaient des pensées en lien avec les stimuli que lorsqu'ils rapportaient être concentrés sur la tâche. Lorsque les participants rapportaient être concentrés, la sonde de pensée évaluant le contenu n'apparaissait pas. Ainsi, aucun processus attentionnel supplémentaire n'a pu être mis en place. Cette interprétation expliquerait également le fait que, bien que ce résultat soit incertain, les pensées non associées à un stimulus entraînaient plus de reconnaissances correctes que lorsque les participants étaient concentrés sur la tâche. En effet, dans le cas où les participants n'étaient pas en train de penser aux mots présentés, il leur fallait néanmoins comparer le contenu de leurs pensées aux items étudiés précédemment pour répondre à la deuxième sonde de pensée. Cette opération a pu impliquer là aussi un traitement attentionnel renforcé. Relativement peu d'études ont testé l'impact du contenu du *mind wandering* sur l'encodage, mais un effet positif a pu être trouvé dans certaines d'entre elles (Jing et al., 2016; Maillet et al., 2017; Maillet & Schacter, 2016b; Wammes et al., 2016). Selon la logique du modèle PRAM, les stimuli internes sont soumis aux mêmes processus d'encodage que les stimuli externes. Si l'on considère le *mind wandering* comme un basculement d'un mode d'attention perceptif à un mode d'attention réflexif, alors il n'est pas à considérer comme un phénomène négatif *per se* et pourrait ainsi être bénéfique pour la mémorisation d'une information si celle-ci est liée à son contenu.

Ensuite, concernant la **phénoménologie** associée au rappel correct, l'étude 1 révèle une relation quadratique, en forme de U inversé, entre le niveau de *mind wandering* à l'encodage et la probabilité d'une récupération basée sur la recollection (évaluée subjectivement), tandis que l'étude 3 met en évidence une relation linéaire positive entre ces deux paramètres. Les raisons de cette relation positive dans l'étude 3 sont les mêmes que celles expliquant la relation positive entre le *mind wandering* et le rappel des items. Le fait de demander aux participants le contenu de leurs pensées a pu participer à un traitement attentionnel supplémentaire du matériel étudié. Si l'hippocampe est engagé lors du traitement de stimuli internes, comme le suggère le modèle PRAM, alors cela signifie que des associations d'informations peuvent avoir lieu lors d'épisodes de *mind wandering* portant sur les items traités. Ce traitement associatif des informations augmenterait alors non seulement la probabilité d'encoder correctement l'item, mais également de le récupérer de manière recollective. Ainsi, l'effet positif du *mind wandering* pourrait concerner non seulement l'encodage des informations, mais aussi la richesse de la trace mnésique. Concernant la relation quadratique trouvée dans l'expérience 1, celle-ci n'a pour l'heure que des explications hypothétiques. Il est possible qu'un niveau attentionnel moyen reflète un traitement global, non spécifique de l'environnement, ni trop concentré sur certains stimuli, ni sur ses propres pensées. Cet état pourrait refléter un engagement simultané de l'attention perceptive et de l'attention réflexive, caractérisé par des interactions entre le traitement de l'environnement et le traitement des pensées associées. Cette interaction pourrait permettre un traitement élaboratif de l'environnement, résultant en des associations entre des stimuli de l'environnement et des souvenirs, par exemple. Une telle interprétation suggérerait que l'attention perceptive et l'attention réflexive ne sont pas deux construits séparés, mais peuvent interagir ensemble.

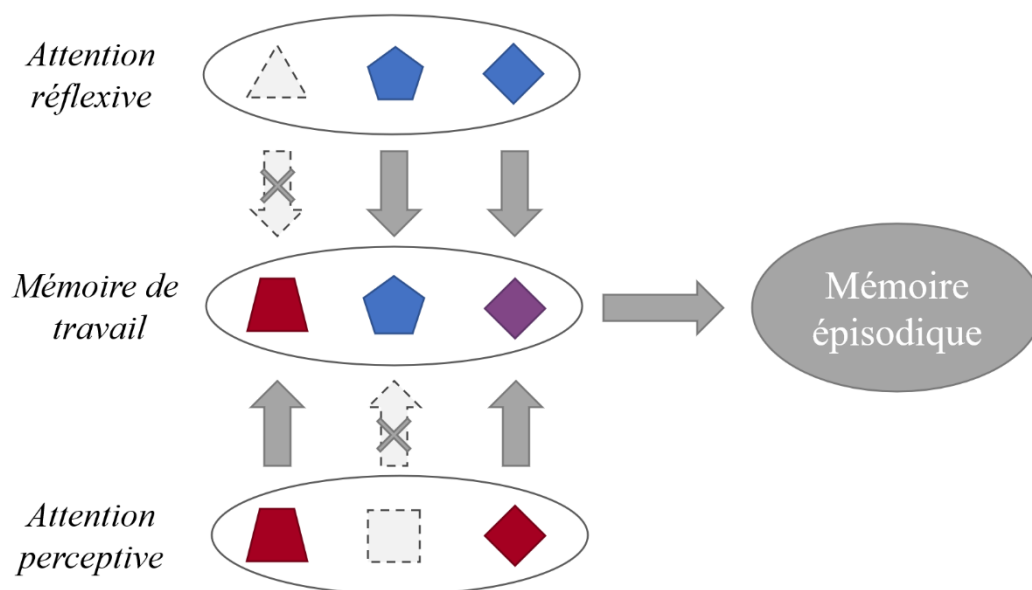
Enfin, concernant la **mémoire contextuelle**, les mesures effectuées diffèrent d'une étude à l'autre, mais peuvent pour autant être comparées. Dans la première étude, les informations spatiales ainsi que temporelles n'étaient associées ni au *mind wandering* global ni aux scores individuels des sondes de pensées. Dans l'étude 2, le niveau de *mind wandering* à l'encodage prédisait négativement la probabilité du rappel de la source (dans quelles conditions l'item a été présenté). Enfin dans l'étude 3, le rappel de la couleur et de la position des items, synthétisé en un score de *binding*, n'était pas associé au *mind wandering*. Le manque général de lien entre *mind wandering* et mémoire contextuelle peut être attribué à la plus grande nécessité de traitement attentionnel pour encoder les informations contextuelles, comme le

montrent certaines études en attention divisée (Troyer et al., 1999; Troyer & Craik, 2000) ou en réalité virtuelle (Plancher et al., 2018). Si, dans l'étude 1, la probabilité de reconnaître un item était faible, alors la probabilité de rappeler des détails associés tels que la position spatiale ou temporelle le sera d'autant plus. Dans l'étude 3, il est possible que les informations contextuelles n'étaient pas assez saillantes pour être remarquées. Ceci pourrait être corrigé par l'emploi d'un matériel imagé, présentant des informations plus riches et plus saillantes. Enfin, l'étude 2 fait partie des rares études ayant mis en relation le *mind wandering* et la mémoire de source, et ayant mis en évidence une relation négative (Maillet & Rajah, 2014, 2016). La source, ici, ne faisait pas référence à des informations contextuelles perceptives, telles que la couleur ou la position, mais correspondait à la condition d'encodage, basée sur la tâche effectuée. L'implication d'une action dans le jugement de la source a ainsi pu rendre plus saillante la source des items.

Au regard des résultats trouvés dans nos trois études, la présente thèse met en lumière les points suivants :

- Les performances en mémoire épisodique peuvent être directement indexées sur le niveau d'attention à l'encodage, opérationnalisé ici sous la forme du *mind wandering* ;
- Si le niveau du *mind wandering* prédit les performances en mémoire, c'est le contenu du *mind wandering* qui va déterminer la direction de cette relation. Celle-ci sera négative quand le *mind wandering* est détaché de l'information étudiée, et positive quand le *mind wandering* y est associé ;
- Cette relation peut s'étendre aux différentes caractéristiques de la mémoire épisodique (phénoménologie, mémoire de source), mais pourrait être associée à un degré de fiabilité moindre ;
- Le lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique peut être mis en évidence dans un environnement écologique, riche en stimuli comme dans un paradigme de laboratoire plus contrôlé. La fiabilité de ce lien va cependant dépendre de la complexité de l'environnement ;

Au vu de ces résultats, nous postulons que l'impact du *mind wandering* sur la mémoire épisodique peut être compris comme la résultante de basculements répétés entre attention perceptive et attention réflexive lors de l'encodage. Le *mind wandering* correspond plus spécifiquement au désengagement de l'attention perceptive au profit de l'attention réflexive. Si le contenu de l'attention réflexive est distinct des stimuli externes, alors ce basculement réduira leur probabilité d'accès en mémoire de travail, handicapant ainsi leur encodage. À l'inverse, si le contenu est lié aux stimuli environnementaux, leur encodage sera favorisé par un traitement associatif, résultant de connexions tissées entre les stimuli et les pensées (voir **Figure 6**). Le modèle PRAM envisage des situations de conflits exécutifs entre des informations internes ou entre des informations externes, au sein de leur focus attentionnel réflexif. Le phénomène du *mind wandering* montre que des conflits peuvent également avoir lieu entre l'attention perceptive et l'attention réflexive, pour l'accès en mémoire de travail. Cependant, ce basculement d'un type d'attention à l'autre permet également de maintenir le



**Figure 6** Illustration de l'effet du focus attentionnel sur l'encodage en mémoire épisodique. **À gauche**, le focus attentionnel est maintenu sur un stimulus externe, qui sera traité en mémoire de travail et encodé. La production de stimuli internes (représentés en bleu) est bloquée afin de maintenir l'attention sur les stimuli externes (en rouge). **Au centre**, l'attention est portée sur des pensées sans lien avec l'environnement. Le contenu de la mémoire de travail est occupé par les stimuli internes qui seront encodés au détriment des stimuli externes, illustrant le découplage perceptif du *mind wandering*. Enfin, **à droite**, l'attention est partagée entre le traitement d'un stimulus externe et sa représentation interne. Ce cas illustre le fonctionnement du *mind wandering* associé à un stimulus, permettant d'effectuer des traitements associatifs favorisant l'encodage.

traitement attentionnel d'un stimulus en passant d'une représentation externe à une représentation interne. Comprendre le *mind wandering* comme la dynamique des interactions entre attention perceptive et réflexive permet ainsi de se détacher de la vision réductrice d'un phénomène systématiquement délétère pour la cognition. Le *mind wandering* n'aurait pas d'effet en tant que tel sur les processus mnésiques. C'est le contenu du focus attentionnel qui serait responsable du succès d'un encodage. Autrement dit : *kill the message, not the messenger*.

Nous allons à présent discuter d'autres aspects du lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique qui n'ont pas été résolus par les études de cette thèse et qui mériteraient d'être explorés dans des études futures. En premier lieu, nous aborderons la question des traitements à l'encodage impactés par le *mind wandering*, étant donné que nos évaluations ne distinguent pas les étapes de traitements que reçoivent les stimuli à l'encodage. Ensuite, ce travail de thèse s'étant focalisé exclusivement sur le processus d'encodage initial, nous examinerons quelles prédictions nous pouvons faire concernant le processus de ré-encodage. Enfin, nous discuterons d'autres aspects du *mind wandering* qui pourraient avoir un impact sur la mémoire épisodique et quels indices pourraient être utilisés pour les développer.

## 7.2 Composantes de l'encodage affectées par le *mind wandering*

Les études de cette thèse, ainsi que la plupart des études testant l'impact du *mind wandering* sur la mémoire, testent cet impact globalement, sans nécessairement s'intéresser spécifiquement à quelle étape du traitement de l'information est impactée par le *mind wandering*. Nous allons donc décrire, dans cette partie, quels traitements à l'encodage peuvent être affectés par le *mind wandering*, quelles sont les hypothèses les plus probables et comment les tester expérimentalement.

Comme nous l'avons brièvement évoqué dans la discussion de la revue systématique de la littérature, il existe une incertitude quant à l'étape précise du traitement où prend place l'effet du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique. Cet effet est régulièrement justifié par le découplage perceptif accompagnant le *mind wandering* (Blondé et al., 2020; Krasich et al., 2018; Riby et al., 2008; Zhang et al., 2021). Une telle explication place donc le moment d'impact du *mind wandering* dès les premières étapes du traitement de l'information, au niveau perceptif. Si l'on considère que le *mind wandering* correspond au basculement d'un mode d'attention perceptif à un mode d'attention réflexif, alors le modèle

PRAM effectue une prédiction similaire. Les ressources attentionnelles étant limitées et dédiées au traitement des stimuli internes lors du *mind wandering*, elles ne pourraient pas être allouées au traitement perceptif des stimuli externes. Cette hypothèse est supportée par plusieurs résultats montrant des données comportementales et physiologiques caractéristiques d'un traitement perceptif altéré. Les mouvements oculaires, associés au *mind wandering* sont un indicateur particulièrement éloquent d'un traitement perceptif amoindri, visant à minimiser l'influence de l'environnement externe lors d'épisodes de *mind wandering*. Durant un épisode de *mind wandering*, des fixations plus longues, dispersées et moins nombreuses sont observées (Faber et al., 2020; Foulsham et al., 2013; Krasich et al., 2018; Reichle et al., 2010; Uzzaman & Joordens, 2011; Zhang et al., 2021). La dispersion et la diminution des fixations caractérisent une exploration visuelle peu efficace, tandis que l'allongement des temps de fixation est interprété comme une plus grande difficulté à traiter les informations perceptives lorsque l'objet du focus attentionnel est interne. Une diminution du diamètre de la pupille est également détectée lors d'un épisode de *mind wandering* (Grandchamp et al., 2014; Konishi et al., 2017; Unsworth & Robison, 2016b; van den Brink et al., 2016). Ce phénomène pourrait représenter une moindre captation d'informations perceptives visant à maintenir un focus attentionnel réflexif. Cette idée est corroborée par certains résultats montrant une absence de dilatation pupillaire quand un stimulus apparaît lors du *mind wandering* (Kang et al., 2014; Smallwood, Brown, et al., 2011). Ces indicateurs d'une recherche visuelle amoindrie sont si caractéristiques du *mind wandering* qu'il est possible d'en prédire l'occurrence en les détectant (Bixler & D'Mello, 2016; Faber et al., 2020; Jang et al., 2020; Klesel et al., 2020; Mills et al., 2016, 2020; Unsworth & Robison, 2018), bien que ceux-ci pourraient également être des marqueurs de somnolence, phénomène co-occurent avec le *mind wandering* (Stawarczyk et al., 2020). Ces indicateurs physiques d'un moindre traitement perceptif sont complétés par des marqueurs d'activité cérébrale. Notamment, les amplitudes de la P100 et de la N100, indiquant respectivement les premières phases des traitements visuels et auditifs d'un stimulus, sont amoindries lorsque celles-ci sont associées à des épisodes de *mind wandering* (Baird et al., 2014; Kam et al., 2011). De même, l'amplitude de la P300 (effet positif tardif en centro-pariétal), représentative d'un traitement attentionnel de l'information perçue, était également plus faible (Kam et al., 2012; O'Connell et al., 2009; Smallwood et al., 2008).

Ainsi, s'il n'est pas à exclure que le *mind wandering* puisse impacter les étapes tardives du traitement de l'information à l'encodage, comme le traitement sémantique, les résultats



décrits précédemment suggèrent que le *mind wandering* impacte en premier lieu les traitements perceptifs. Pourtant, dans les quelques études contrastant directement les traitements perceptifs et sémantiques lors de l'encodage, des résultats plus mitigés apparaissent. En analysant l'impact du *mind wandering* sur l'encodage volontaire de mots et de non-mots, Smallwood et al. (2004) ont montré que le fait d'être concentré sur la tâche, par rapport au fait d'être dans ses pensées, n'améliorait l'encodage que pour les mots. Pour les non-mots, aucun effet du *mind wandering* sur les performances en mémoire n'a été mis en évidence. Étant donné que les non-mots ne peuvent, par définition, pas recevoir de traitement sémantique, une absence d'effet du *mind wandering* sur leur rétention pourrait impliquer que c'est bien ce type de traitement qui est impacté. Cependant, la reconnaissance des non-mots a également pu être associée à un effet plancher, rendant difficile d'observer une relation avec le *mind wandering*. Thomson et al. (2014) ont adopté une autre approche, et ont comparé l'impact du *mind wandering* sur les performances en mémoire suivant un traitement perceptif (jugement de taille des lettres) ou sémantique (jugement de taille de l'item). L'impact négatif du *mind wandering* sur la mémoire n'était présent que lorsque les mots étaient traités sémantiquement, mais pas perceptivement. Plus précisément, cet effet négatif était médié par le taux de réponses correctes à l'encodage : le *mind wandering* diminuait le nombre de jugements corrects, ce qui ensuite entraînait de moindres performances mnésiques. Aucune médiation, ni aucun effet du *mind wandering* sur la précision de la réponse, n'a été trouvé dans la tâche de jugement perceptif. Cette étude est en contradiction évidente avec les prédictions du modèle du découplage perceptif. Si le *mind wandering* est censé monopoliser les ressources attentionnelles dès le niveau perceptif, alors une diminution du taux de réponses correctes suivie d'une moindre mémorisation des items aurait dû être observée. Ces résultats pourraient être expliqués par un traitement perceptif automatique effectué malgré les épisodes de *mind wandering*. En effet, même si la mesure du *mind wandering* est parfois simplement résumée en une dichotomie *on-task/off-task*, il semble peu probable qu'un épisode de *mind wandering* entraîne une totale déconnexion avec la perception des stimuli externes. Le matériel utilisé ici – des mots uniques – était par ailleurs très simple et facile à traiter avec un minimum de ressources attentionnelles. Face à l'ampleur des résultats suggérant un impact sur le traitement perceptif, ces deux études, présentant plusieurs limites au niveau des stimuli employés, semblent insuffisantes pour servir de contre-argument. Étant donné qu'aucune autre étude n'a examiné directement la

question, il conviendrait de mettre en place une nouvelle expérience pour clarifier cette situation.

Pour tenter de résoudre la question par une expérience, plusieurs points doivent être pris en considération. En premier lieu, il serait préférable que le type d'item employé soit des stimuli complexes, tels que des images présentant des paysages, par exemple. Les mots isolés étant des stimuli ne requérant que peu d'attention pour être traités, il est probable qu'ils soient moins sensibles aux variations de l'attention lors du *mind wandering*, au contraire de stimuli plus complexes, tels que des paysages. L'emploi de tels stimuli permet également de tester facilement la mémoire contextuelle, en testant d'abord la reconnaissance d'un élément de l'image isolé, puis en demandant aux participants de le replacer dans son contexte. Ensuite, contrairement à Smallwood et al. (2004) qui firent varier le traitement de l'item en fonction des caractéristiques des mots eux-mêmes, il serait plus judicieux de maintenir les items constants et de faire varier le traitement à effectuer pour s'assurer que les différences de résultats soient bien la conséquence d'opérations différentes réalisées à l'encodage. Enfin, les sondes de pensée devraient être numériques afin de rendre compte de manière plus fine de la distribution des ressources attentionnelles. L'utilisation de sondes numériques permettrait de représenter le lien *mind wandering*/mémoire par des régressions linéaires dont la pente pourrait différer en fonction des traitements effectués à l'encodage. En effet, il est possible que l'effet négatif du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique soit plus important lors d'un traitement sémantique, mais moins prononcé lors d'un traitement perceptif. Le traitement perceptif demandant relativement peu de ressources attentionnelles, il est possible que l'impact négatif du *mind wandering* ait moins d'impact sur la probabilité d'encodage de l'information.

### 7.3 Consolidation en mémoire et *mind wandering*

La plupart des études liant *mind wandering* et mémoire épisodique – y compris celles de la présente thèse – portent sur l'encodage initial. Cependant, comme nous l'avons vu dans l'introduction, le souvenir d'un item peut être ré-encodé à différentes reprises, phénomène qui a été relativement ignoré par la littérature portant sur le *mind wandering*. Nous allons donc examiner dans cette nouvelle partie de la discussion comment ces deux phénomènes peuvent être liés, et quelles pistes pourraient être mises en place pour l'examiner plus en détail.

L'encodage d'une information n'est pas un phénomène unique et isolé (Nadel et al., 2012). Une fois le souvenir de cette information créé, il peut passer par une étape d'encodage à différentes reprises, étant donné que la récupération d'une information en mémoire épisodique réactive l'information. Celle-ci est ainsi ré-encodée dans le contexte de la récupération, ce qui rend le souvenir labile et disposé à modification. Les résultats de notre troisième étude suggèrent que le contenu du *mind wandering* peut avoir un effet bénéfique sur l'encodage. Si le modèle PRAM n'évoque pas directement le phénomène de ré-encodage, le fait qu'un item précédemment encodé devienne l'objet de l'attention réflexive devrait, selon ce modèle, renforcer la trace mnésique associée. Ainsi, le *mind wandering* pourrait favoriser la consolidation en mémoire épisodique *via* la mise en place d'un ré-encodage et être, sur le long terme, bénéfique pour les informations déjà présentes en mémoire épisodique. Malheureusement, la question des liens entre *mind wandering* et consolidation en mémoire épisodique manque, à l'heure actuelle, de données empiriques pour être éclaircie. S'il a été montré à plusieurs reprises qu'une période de repos permettait de consolider l'encodage d'informations (pour une brève revue, voir Wamsley, 2019), le fait que cet effet puisse être lié au *mind wandering* a peu été étudié. À notre connaissance, une seule étude a investigué de plus près la consolidation en mémoire épisodique ainsi que son lien avec le *mind wandering* (Varma et al., 2019). L'expérience qu'ils ont réalisée consiste en deux phases d'encodage incident de paires mots-images. Cet encodage était suivi d'une soit d'une tâche de n-back, soit d'une période de repos avant la reconnaissance. Les participants effectuaient les deux tâches de manière contrebalancée. La propension au *mind wandering* a été évaluée après chaque tâche distractive par un questionnaire et l'étude a été faite sur un groupe de jeunes adultes ainsi qu'un groupe d'âgés. La propension au *mind wandering* durant la tâche distractive modulait la proportion de reconnaissances correctes entre les deux conditions. Ainsi, si la propension au *mind wandering* était haute pendant la période de repos, alors la rétention des items associés était meilleure que celle associée à la tâche de n-back. En d'autres termes, les participants (jeunes comme âgés) ayant effectué du *mind wandering* pendant leur période de repos mémorisaient mieux les items que lorsqu'ils effectuaient une tâche de n-back. Les auteurs interprètent ce résultat comme découlant du contenu des pensées, supposément associé aux items vus pendant la tâche d'encodage. Une telle hypothèse irait dans le sens de nos prédictions concernant l'effet positif du *mind wandering* sur la mémorisation lorsque ce contenu est associé à l'information mémorisée et étendrait cet effet positif de l'encodage initial aux ré-encodages subséquents.

Si la littérature concernant l'impact du *mind wandering* sur la consolidation d'informations encodées lors d'une expérience est encore peu développée, plusieurs études ont déjà investigué comment le *mind wandering* était associé à la (re)consolidation de souvenirs plus anciens. L'orientation temporelle des pensées spontanées a été montrée à plusieurs reprises comme étant principalement focalisée sur le futur, que ce soit dans le cadre de la planification d'actions à réaliser ou de la projection dans des situations hypothétiques (Baird et al., 2011; Berntsen & Jacobsen, 2008; D'Argembeau et al., 2011; Song & Wang, 2012; Stawarczyk, Majerus, Maj, et al., 2011). Cependant, certaines observations ne mettent pas en évidence un tel biais et soulignent qu'une grande part du *mind wandering* est dédiée au rappel d'événements passés (Finnbogadóttir & Berntsen, 2013). Cette forme de récupération a été étudiée au travers du prisme des souvenirs autobiographiques involontaires (*involuntary autobiographical memories*), qui correspondent à la survenue spontanée de souvenirs, sans volonté consciente de les récupérer (Berntsen, 1996). Pour Berntsen (2012), ce mode de récupération spontané est automatique correspondrait au mode de récupération par défaut des souvenirs. Cette proposition est cohérente avec le fonctionnement du *mind wandering* décrit par McVay et Kane (2010). En effet, selon leur modèle, une production de pensées automatiques se produit en permanence, et doit être monitorée par le contrôle exécutif. Le parallèle est renforcé par le fait que la propension aux souvenirs autobiographiques involontaires est également corrélée à une plus grande propension aux échecs cognitifs (Kamiya, 2014). Si la prévalence des pensées orientées vers le futur dans le *mind wandering* peut aiguiller sur son rôle dans la planification et l'anticipation de situations à venir (Baird et al., 2011), quel serait la raison pour laquelle des souvenirs autobiographiques surviendraient spontanément au gré des fluctuations du *mind wandering* ? Rasmussen et Berntsen (2009) proposent que les souvenirs autobiographiques involontaires garantissent une continuité dans le sens du soi, permettant à la fois de ré-évaluer ses actions passées et d'ajuster ses buts futurs sans efforts cognitifs particuliers. Par ailleurs, étant donné que les souvenirs autobiographiques spontanés sont particulièrement spécifiques (Berntsen, 1998; Berntsen & Hall, 2004; Schlagman et al., 2008; Watson et al., 2013), leur rôle peut être lié à la proposition de Mills et al. (2018) concernant le rôle du *mind wandering* sur la mémoire. Cette proposition théorique stipule que l'accès spontané à des souvenirs permet de les ré-encoder et d'améliorer leur distinctivité vis-à-vis des autres souvenirs. Ainsi, le *mind wandering* aurait un second but fonctionnel, en plus de la planification d'actions futures : il permettrait d'assurer la continuité dans le temps aux

souvenirs anciens en les faisant régulièrement passer par un processus de ré-encodage. Le *mind wandering* serait donc intrinsèquement lié à la fonctionnalité de la mémoire épisodique, étant donné qu'il assurerait une continuité entre le passé et le futur de l'individu.

### 7.3 Prédiction de la mémoire grâce à la variabilité du *mind wandering*

Si, comme l'affirme Christoff et al. (2016), la caractéristique fondamentale du *mind wandering* est son caractère dynamique, fluctuant sans contraintes au fil du temps, alors les outils que nous employons pour le mesurer semblent relativement inadéquats. En effet, l'emploi majoritaire de mesures globales, telles que les moyennes ou la proportion d'un type de pensées, ne permet pas de rendre compte de la variation au cours du temps. L'emploi de mesures prédictives, que ce soit *via* une évaluation subjective ou *via* des mesures implicites, permet certes de rendre compte du lien causal entre *mind wandering* et d'autres processus cognitifs à un instant précis, mais ne rend pas non plus compte de l'évolution de ce lien au cours du temps. Nous allons donc voir dans cette partie finale de la discussion comment la question de la variabilité du *mind wandering* a été abordée dans la littérature, quels outils seraient pertinents pour l'évaluer et quelles hypothèses pourraient être émises quant à son lien avec la mémoire épisodique.

Avant toute chose, il convient de faire une distinction concernant l'objet de cette variabilité du *mind wandering*. D'une part, ce terme peut s'appliquer à la variabilité présente dans le *contenu* du *mind wandering*. Il décrira alors l'enchaînement narratif des pensées, c'est-à-dire à quel point elles sont liées les unes aux autres au sein d'un épisode de *mind wandering*, sans prendre en compte les demandes de la tâche (Mills et al., 2018). D'autre part, il peut s'agir de la variabilité dans *l'intensité* du *mind wandering*. Ce terme décrira alors la variabilité dans la distribution du focus attentionnel entre stimuli externes et stimuli internes, c'est-à-dire à quel point on est focalisé sur ce que l'on fait ou sur ses pensées. La variabilité de contenu n'a, à ce jour, pas été étudiée expérimentalement, étant donné la difficulté d'évaluer en temps réel le contenu narratif des pensées. La variabilité de l'intensité de *mind wandering* a, quant à elle, été surtout étudiée au travers de la variabilité des temps de réaction. Cette mesure permet en effet de rendre compte implicitement de déficits attentionnels (Keith et al., 2017; Machida et al., 2019; Tamm et al., 2012) et plus spécifiquement du *mind wandering* (Kucyi et al., 2016). Notamment, une augmentation de

la variabilité dans les temps de réaction permet de prédire l'existence d'un état de *mind wandering* (Bastian & Sackur, 2013; Henríquez et al., 2016; Zanesco et al., 2020). Cependant, cette mesure indirecte ne rend pas nécessairement compte de la variabilité de l'intensité du *mind wandering* à proprement parler. En effet, les temps de réaction peuvent également correspondre à des évolutions adaptatives du système cognitif aux demandes de la tâche. Par exemple, la détection d'une erreur commise est souvent suivie d'un ralentissement des temps de réaction sans lien avec le *mind wandering* (Jentsch & Dudschig, 2009). À notre connaissance, une seule étude a mesuré la variabilité de l'intensité du *mind wandering* en employant des mesures explicites (M. Allen et al., 2013). Allen et al. (2013) utilisèrent à la fois la moyenne et la variance de scores quantitatifs de *mind wandering* évalués lors d'une tâche de monitoring d'erreurs (*Error Awareness Task* : EAT ; Hester et al., 2005). Cette tâche est une version adaptée du Go/No Go où les participants doivent, s'ils effectuent une erreur, appuyer sur une touche spécifique lors de l'essai suivant au lieu de répondre normalement, illustrant ainsi que l'erreur a bien été détectée. La moyenne du *mind wandering* prédisait négativement la précision des réponses à la tâche, ce qui est cohérent avec l'hypothèse du découplage perceptif (Smallwood & Schooler, 2006). La variance, quant à elle, prédisait positivement le taux moyen de conscience des erreurs commises. Ainsi, plus le focus attentionnel présentait des variations importantes, plus les participants tendaient à correctement reporter leurs erreurs. Cet effet a été interprété comme un indicateur d'une meilleure capacité à réorienter son attention en fonction des demandes de la tâche. Ainsi, si le niveau moyen de *mind wandering* est régulièrement associé à des baisses de performances, la variabilité des scores de *mind wandering* au cours d'une tâche pourrait moduler cet effet.

Étant encore peu étudiée, la variabilité du *mind wandering* n'a pas encore d'indice standard permettant son évaluation. Comme dans le paragraphe précédent, nous nous focaliserons davantage ici sur la variabilité de l'intensité du *mind wandering*, celle-ci étant plus facile à transformer en indice numérique. La variance des scores de *mind wandering*, comme Allen et al. (2013) l'ont montré, peut être employée. De même, étant donné qu'il s'agit d'une mesure associée à la variance, l'écart-type pourrait être un indicateur fiable de la dispersion du focus attentionnel. Ces deux indices sont simples à calculer et indiquent de manière adéquate comment les scores de *mind wandering* sont globalement dispersés. Ces mesures, cependant, évaluent la dispersion des scores de manière globale, mais ne rendent pas compte de l'évolution successive des scores de *mind wandering*. Pour mesurer la

continuité temporelle du *mind wandering*, un score pourrait être dérivé à partir de la moyenne quadratique des différences successives (*Root Mean Square of Successive Differences* ; RMSSD). Cet indicateur, fréquemment utilisé comme index de variabilité de la fréquence cardiaque (Berntson et al., 2005; Ciccone et al., 2017) rend compte de la variabilité des battements du cœur sur un temps donné. Plus l'indicateur est faible, plus il rend compte d'un rythme invariable, où les intervalles entre chaque battement sont similaires. Plus l'indicateur est haut, plus le rythme cardiaque sera variable, dû à des intervalles cardiaques irréguliers. Si l'on adapte cet indicateur à l'évaluation du *mind wandering*, il serait intéressant de remplacer les écarts temporels utilisés dans la formule de variabilité de fréquence cardiaque, par des écarts de valeurs entre des sondes de pensées quantitatives. Ainsi, ce RMSSD adapté au *mind wandering* rendrait compte de la stabilité du focus attentionnel au cours d'une tâche, un score faible indiquant un focus stable ou présentant des variations régulières, tandis qu'un score élevé indiquerait une attention présentant de fortes variations d'amplitude et fluctuant de manière irrégulière. Le problème de ces indicateurs est qu'ils rendent compte de la dispersion des scores sans prendre en compte le niveau moyen du *mind wandering*, nécessitant de faire des analyses séparées portant sur le niveau moyen et sur la variabilité. Un indice composite permettrait de pallier ce problème, par exemple en divisant le score de variabilité par la moyenne. L'interprétation des indices de variabilité pourrait changer, cependant, et une définition mathématique plus approfondie doit être effectuée avant de conclure sur la validité d'un tel indice.

Quelles prédictions pouvons-nous maintenant formuler concernant l'utilisation d'indices de variabilité du *mind wandering* pour prédire la probabilité d'encodage en mémoire épisodique ? Si nous partons du principe que la variabilité de l'intensité du *mind wandering* reflète les capacités d'adaptation des ressources attentionnelles à la tâche, alors il serait possible que la variabilité module l'effet du *mind wandering* sur la mémoire. Par exemple, un participant présentant une moyenne de *mind wandering* élevée pourrait, s'il présente également une forte variabilité dans ses scores, réduire l'impact négatif du *mind wandering* à l'encodage. L'effet du *mind wandering* sur les différentes composantes de la mémoire épisodique pourrait donc varier et décroître en fonction de la variabilité d'intensité associée. Cette prédiction est basée sur le fait que la propension au *mind wandering* est ajustée aux difficultés de la tâche chez les individus possédant un bon contrôle exécutif (Rummel & Boywitt, 2014). Enfin, concernant la variabilité de contenu, Mills et al. (2018) postulent que plus elle est importante, meilleure sera la rétention de souvenirs sur le long

terme. En effet, leur hypothèse majeure est que le *mind wandering*, au travers de la répétition mentale de souvenirs passés, va améliorer la rétention de ceux-ci. Cependant, comme indiqué précédemment, la transformation du contenu mental en score numérique peut s'avérer hasardeuse. Éventuellement, il pourrait être possible d'évaluer la propension à la variabilité de contenu du *mind wandering* en demandant aux participants de reporter, lors d'une période de repos, chaque moment où ils remarquent que leur contenu change. Mais une telle procédure serait plus une mesure de méta-conscience du contenu de ses pensées qu'autre chose.

## 7.4 Conclusion

Nous avons tâché, dans cette thèse, de rendre compte de l'effet du *mind wandering* sur l'encodage en mémoire épisodique dans différentes situations, visant à retranscrire au mieux comment ce lien prend place de manière naturelle.

La première expérience (Blondé et al., 2020) a permis de suggérer l'existence de ce lien dans un environnement riche et complexe. Les mesures globales de *mind wandering* prédisaient celles du rappel des scènes encodées incidemment, mais les mesures individuelles du *mind wandering* associées à l'encodage de chaque item n'avaient pas de pouvoir prédictif fiable. Ce manque de fiabilité a été attribué à une difficulté d'évaluer l'objet de l'attention dans un environnement riche en détails. La phénoménologie associée au rappel, évaluée *via* le taux subjectif de réponses *Remember* était prédite de manière quadratique, selon une courbe en U inversé, par les mesures globales et individuelles du *mind wandering* à l'encodage. Un état moyen de *mind wandering* pourrait ainsi être positif pour l'établissement d'un souvenir subjectif riche, car il permettrait d'effectuer des associations entre pensées et stimuli du monde externe, et permettrait d'éviter d'être trop absorbé soit par certains stimuli de l'environnement, soit par ses propres pensées.

La seconde étude (Blondé et al., *accepted*), portant cette fois-ci sur un paradigme de laboratoire (une tâche de n-back adaptée avec des stimuli visuels), visait à tester le lien entre *mind wandering* et mémoire épisodique dans une situation où l'attention était dirigée directement sur les items, et où les niveaux de *mind wandering* ainsi que d'ennui étaient modulés par la difficulté de la tâche. Les résultats montrent, cette fois-ci, que les scores individuels de *mind wandering* à l'encodage prédisent avec une grande fiabilité les scores de rappel des items ainsi que de leur source. L'ennui fut également trouvé comme étant un



prédicteur fiable, mais l'analyse de modèles complexes incluant le *mind wandering*, l'ennui et la condition d'encodage en tant que prédicteur de la mémoire suggèrent que cet effet découle de l'effet du *mind wandering*.

La troisième étude (Blondé et al., *in prep*) avait pour but de répliquer, dans un environnement plus contrôlé, le *pattern* de résultats de la première étude concernant la phénoménologie du rappel. L'hypothèse invoquée pour expliquer ce *pattern* surprenant a été testée *via* une évaluation de l'intensité aussi bien que du contenu du *mind wandering* lors de l'encodage incident de mots focalisés et non focalisés. Le *pattern* de résultats de la première expérience n'a pas pu être mis à jour, étant donné que les stimuli non focalisés n'ont pas été traités différemment des distracteurs lors de la tâche de récupération, suggérant qu'ils n'ont pas été traités lors de l'encodage. Concernant les stimuli focalisés, les scores individuels de *mind wandering* prédisaient positivement la récupération subséquente des items. Plus particulièrement, les épisodes de *mind wandering* liés aux items présentaient une plus grande proportion d'items rappelés que ceux du *mind wandering* non-lié, ou que des situations de focalisation sur la tâche. Ces résultats suggèrent que le simple fait de demander aux participants d'évaluer le contenu de leurs pensées implique un traitement attentionnel additionnel tant sur les stimuli externes qu'internes, et participe à un meilleur encodage.

La présente thèse représente un nouvel effort pour combler le fossé entre les domaines de l'attention et de la mémoire. En employant une méthodologie prédictive et en effectuant des évaluations les plus représentatives possibles des mécanismes cognitifs étudiés, nous avons pu montrer comment la mémorisation spontanée d'informations pouvait découler directement des fluctuations de l'attention à l'encodage. Ces fluctuations de l'attention entre les stimuli externes et internes, caractérisant le phénomène du *mind wandering*, peuvent être négatives pour la mémorisation d'information, la phénoménologie associée ainsi que la mémorisation de la source de l'information. Cependant, elles peuvent également entraîner de meilleures performances mnésiques, si tant est que le contenu mental interne est en lien avec les stimuli externes. Ainsi, nous arguons, en accord avec le modèle PRAM, que la mémoire épisodique correspond à une représentation au long terme découlant d'associations mentales initiées lors du traitement attentionnel, celui-ci pouvant être aussi bien interne qu'externe. Le *mind wandering*, au cœur de cette relation, ne serait pas un phénomène négatif en tant que tel et permettrait, au contraire, de favoriser le maintien à long-terme d'informations. Cependant, les ressources attentionnelles étant limitées, une redirection de

l'attention vers les stimuli internes se fait nécessairement au détriment de l'encodage d'informations présentes.

Les conclusions de cette thèse concernent principalement l'effet du *mind wandering* sur l'encodage initial en mémoire épisodique. Il serait pertinent de déterminer plus précisément quelles étapes du traitement à l'encodage seraient affectées par le *mind wandering*, et notamment de tester l'hypothèse que ce sont les traitements perceptifs qui sont affectés en premier lieu. Il serait également intéressant d'envisager la mémoire épisodique sur le long terme et de tester si l'effet du *mind wandering* lors de l'encodage initial se retrouve aussi lors du ré-encodage de l'information, suggérant un effet bénéfique du *mind wandering* pour la consolidation des souvenirs. Enfin, d'autres mesures du *mind wandering*, tels que des indices de dispersion pourraient être testés et développés afin de représenter d'autres aspects du *mind wandering* qui ne sont pas pris en compte par les mesures couramment utilisées telles que la moyenne.



# Bibliographie

- Agren, T., Engman, J., Frick, A., Bjorkstrand, J., Larsson, E.-M., Furmark, T., & Fredrikson, M. (2012). Disruption of Reconsolidation Erases a Fear Memory Trace in the Human Amygdala. *Science*, *337*(6101), 1550–1552. <https://doi.org/10.1126/science.1223006>
- Alberini, C. M., & LeDoux, J. E. (2013). Memory reconsolidation. *Current Biology*, *23*(17), R746–R750. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.06.046>
- Allen, M., Smallwood, J., Christensen, J., Gramm, D., Rasmussen, B., Jensen, C. G., Roepstorff, A., & Lutz, A. (2013). The balanced mind: the variability of task-unrelated thoughts predicts error monitoring. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*(NOV), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00743>
- Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(2), 298–313. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.2.298>
- Anderson, & Craik, F. I. M. (1974). The effect of a concurrent task on recall from primary memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *13*(1), 107–113. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(74\)80035-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(74)80035-6)
- Anderson, N. D., Craik, F. I. M., & Naveh-Benjamin, M. (1998). The attentional demands of encoding and retrieval in younger and older adults: I. Evidence from divided attention costs. *Psychology and Aging*, *13*(3), 405–423. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.13.3.405>
- Anderson, N. D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. M. (2000). The Effects of Divided Attention on Encoding- and Retrieval-Related Brain Activity: A PET Study of Younger and Older Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(5), 775–792. <https://doi.org/10.1162/089892900562598>

- Andrews-Hanna, J. R., Reidler, J. S., Sepulcre, J., Poulin, R., & Buckner, R. L. (2010). Functional-Anatomic Fractionation of the Brain's Default Network. *Neuron*, 65(4), 550–562. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.02.005>
- Arabacı, G., & Parris, B. A. (2018). Probe-caught spontaneous and deliberate mind wandering in relation to self-reported inattentive, hyperactive and impulsive traits in adults. *Scientific Reports*, 8(1), 4113. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22390-x>
- Armougum, A., Orriols, E., Gaston-Bellegarde, A., Marle, C. J.-L., & Piolino, P. (2019). Virtual reality: A new method to investigate cognitive load during navigation. *Journal of Environmental Psychology*, 65(August), 101338. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101338>
- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1973). Factors influencing speed and accuracy of word recognition. *Fourth International Symposium on Attention and Performance*, February, 583–612. [http://suppes-corpus.stanford.edu/techreports/IMSSS\\_177.pdf](http://suppes-corpus.stanford.edu/techreports/IMSSS_177.pdf)
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. In *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, Issue 5, pp. 89–195). [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82–90. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5089457>
- Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S.-H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 139(1), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.08.023>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393–1400. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042>

- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In *Medical Research Council* (pp. 47–89). [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A., Lewis, V., Eldridge, M., & Thomson, N. (1984). Attention and retrieval from long-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*(4), 518–540. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.113.4.518>
- Baird, B., Smallwood, J., Lutz, A., & Schooler, J. W. (2014). The Decoupled Mind: Mind-wandering Disrupts Cortical Phase-locking to Perceptual Events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(11), 2596–2607. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00656](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00656)
- Baird, B., Smallwood, J., Mrazek, M. D., Kam, J. W. Y., Franklin, M. S., & Schooler, J. W. (2012). Inspired by Distraction. *Psychological Science*, *23*(10), 1117–1122. <https://doi.org/10.1177/0956797612446024>
- Baird, B., Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2011). Back to the future: Autobiographical planning and the functionality of mind-wandering. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1604–1611. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.007>
- Banks, J. B., Welhaf, M. S., Hood, A. V. B., Boals, A., & Tartar, J. L. (2016). Examining the role of emotional valence of mind wandering: All mind wandering is not equal. *Consciousness and Cognition*, *43*, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.06.003>
- Bastian, M., & Sackur, J. (2013). Mind wandering at the fingertips: automatic parsing of subjective states based on response time variability. *Frontiers in Psychology*, *4*(SEP), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00573>
- Baxter, M. G. (2009). Involvement of Medial Temporal Lobe Structures in Memory and Perception. *Neuron*, *61*(5), 667–677. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.02.007>
- Bergmann, H. C., Rijpkema, M., Fernández, G., & Kessels, R. P. C. (2012). Distinct neural correlates of associative working memory and long-term memory encoding in the medial temporal lobe. *NeuroImage*, *63*(2), 989–997. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.047>
- Bernstein, J., Roye, S., Calamia, M., & De Vito, A. (2019). Utility of a novel simulator paradigm in the assessment of driving ability in individuals with and without attention-

- deficit hyperactivity disorder. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 11(4), 403–411. <https://doi.org/10.1007/s12402-019-00303-w>
- Berntsen, D. (1996). Involuntary Autobiographical Memories. *Applied Cognitive Psychology*, 10(5), 435–454. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199610\)10:5<435::AID-ACP408>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199610)10:5<435::AID-ACP408>3.0.CO;2-L)
- Berntsen, D. (1998). Voluntary and Involuntary Access to Autobiographical Memory. *Memory*, 6(2), 113–141. <https://doi.org/10.1080/741942071>
- Berntsen, D. (2012). Spontaneous recollections: involuntary autobiographical memories are a basic mode of remembering. In D. Berntsen & D. C. Rubin (Eds.), *Understanding Autobiographical Memory* (pp. 290–310). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139021937.021>
- Berntsen, D., & Hall, N. M. (2004). The episodic nature of involuntary autobiographical memories. *Memory & Cognition*, 32(5), 789–803. <https://doi.org/10.3758/BF03195869>
- Berntsen, D., & Jacobsen, A. S. (2008). Involuntary (spontaneous) mental time travel into the past and future. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1093–1104. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.001>
- Berntson, G. G., Lozano, D. L., & Chen, Y.-J. (2005). Filter properties of root mean square successive difference (RMSSD) for heart rate. *Psychophysiology*, 42(2), 246–252. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00277.x>
- Berry, C. J., Shanks, D. R., & Henson, R. N. A. (2008). A unitary signal-detection model of implicit and explicit memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(10), 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.06.005>
- Bixler, R., & D’Mello, S. (2016). Automatic gaze-based user-independent detection of mind wandering during computerized reading. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 26(1), 33–68. <https://doi.org/10.1007/s11257-015-9167-1>
- Blondé, P., Makowski, D., Sperduti, M., & Piolino, P. (2020). In Medio Stat Virtus: intermediate levels of mind wandering improve episodic memory encoding in a virtual environment. *Psychological Research*, Urp 7536. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01358-5>

- Blumenfeld, R. S. (2006). Dorsolateral Prefrontal Cortex Promotes Long-Term Memory Formation through Its Role in Working Memory Organization. *Journal of Neuroscience*, 26(3), 916–925. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2353-05.2006>
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(12), 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.10.003>
- Bower, G. H. (1970). Imagery as a relational organizer in associative learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9(5), 529–533. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(70\)80096-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(70)80096-2)
- Brady, T. F., Konkle, T., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2008). Visual long-term memory has a massive storage capacity for object details. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(38), 14325–14329. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803390105>
- Broadbent, D. (1958). Perception and communication. In *London: Pergamon*. <https://doi.org/10.1108/eb015727>
- Brooks, B. M. (1999). The Specificity of Memory Enhancement During Interaction with a Virtual Environment. *Memory*, 7(1), 65–78. <https://doi.org/10.1080/741943713>
- Brown, M. W., & Aggleton, J. P. (2001). Recognition memory: What are the roles of the perirhinal cortex and hippocampus? *Nature Reviews Neuroscience*, 2(1), 51–61. <https://doi.org/10.1038/35049064>
- Bruce, D. (1985). The how and why of ecological memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(1), 78–90. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.114.1.78>
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 1–38. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.011>
- Buckner, R. L., & Koutstaal, W. (1998). Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 891–898. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.891>



- Buckner, R. L., Logan, J., Donaldson, D. I., & Wheeler, M. E. (2000). Cognitive neuroscience of episodic memory encoding. *Acta Psychologica*, *105*(2–3), 127–139. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(00\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(00)00057-3)
- Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *4*(6), 547–558. <https://doi.org/10.1017/s1355617798466037>
- Butters, M. A., Kaszniak, A. W., Glisky, E. L., Eslinger, P. J., & Schacter, D. L. (1994). Recency discrimination deficits in frontal lobe patients. *Neuropsychology*, *8*(3), 343–353. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.3.343>
- Cabeza, R., Dolcos, F., Graham, R., & Nyberg, L. (2002). Similarities and Differences in the Neural Correlates of Episodic Memory Retrieval and Working Memory. *NeuroImage*, *16*(2), 317–330. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1063>
- Cabeza, R., Mangels, J., Nyberg, L., Habib, R., Houle, S., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (1997). Brain Regions Differentially Involved in Remembering What and When: a PET Study. *Neuron*, *19*(4), 863–870. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80967-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80967-8)
- Callard, F., Smallwood, J., Golchert, J., & Margulies, D. S. (2013). The era of the wandering mind? Twenty-first century research on self-generated mental activity. *Frontiers in Psychology*, *4*(DEC), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00891>
- Carassa, A., Geminiani, G., Morganti, F., & Varotto, D. (2002). Active and passive spatial learning in a complex virtual environment : The effect of efficient exploration. *Cognitive Processing*, *3*(4), 65–81. [www.psy.unipd.it/~varotto/diego\\_file/Carassa et al.pdf](http://www.psy.unipd.it/~varotto/diego_file/Carassa_et_al.pdf)
- Carriere, J. S. A., Seli, P., & Smilek, D. (2013). Wandering in both mind and body: Individual differences in mind wandering and inattention predict fidgeting. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *67*(1), 19–31. <https://doi.org/10.1037/a0031438>
- Chaytor, N., Schmitter-Edgecombe, M., & Burr, R. (2006). Improving the ecological validity of executive functioning assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology : The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *21*(3), 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2005.12.002>

- Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), 975–979.  
<https://doi.org/10.1121/1.1907229>
- Chinchanachokchai, S., Duff, B. R. L., & Faber, R. J. (2020a). Distracted mind: the effects of multitasking and mind wandering on consumer memory for ad content. *International Journal of Advertising*, 39(5), 631–654.  
<https://doi.org/10.1080/02650487.2019.1670536>
- Chinchanachokchai, S., Duff, B. R. L., & Faber, R. J. (2020b). Angry Birds vs. Sudoku: How Different Types of Tasks in Multitasking Affect Ad Memory and Mind Wandering. *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, 0(0), 1–14.  
<https://doi.org/10.1080/10641734.2020.1838359>
- Chiorri, C., & Vannucci, M. (2019). Replicability of the psychometric properties of trait-levels measures of spontaneous and deliberate mind wandering. *European Journal of Psychological Assessment*, 35(4), 459–468. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000422>
- Christoff, K., Gordon, A. M., Smallwood, J., Smith, R., & Schooler, J. W. (2009). Experience sampling during fMRI reveals default network and executive system contributions to mind wandering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8719–8724. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900234106>
- Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Mind-wandering as spontaneous thought: a dynamic framework. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(11), 718–731. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.113>
- Chun, M M, & Phelps, E. A. (1999). Memory deficits for implicit contextual information in human amnesics. *Nature Neuroscience*, 2(9), 844–847.
- Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A Taxonomy of External and Internal Attention. *Annual Review of Psychology*, 62(1), 73–101.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100427>
- Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2011). Memory: Enduring Traces of Perceptual and Reflective Attention. *Neuron*, 72(4), 520–535.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.026>

- Chun, M. M., & Turk-Browne, N. B. (2007). Interactions between attention and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, *17*(2), 177–184.  
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.03.005>
- Ciccone, A. B., Siedlik, J. A., Wecht, J. M., Deckert, J. A., Nguyen, N. D., & Weir, J. P. (2017). Reminder: RMSSD and SD1 are identical heart rate variability metrics. *Muscle & Nerve*, *56*(4), 674–678. <https://doi.org/10.1002/mus.25573>
- Colquhoun, D. (2014). An investigation of the false discovery rate and the misinterpretation of p -values. *Royal Society Open Science*, *1*(3), 140216.  
<https://doi.org/10.1098/rsos.140216>
- Colquhoun, D. (2017). The reproducibility of research and the misinterpretation of p -values. *Royal Society Open Science*, *4*(12), 171085.  
<https://doi.org/10.1098/rsos.171085>
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(3), 831–838.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.831>
- Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P., & Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, *3*(3), 292–297. <https://doi.org/10.1038/73009>
- Corbetta, M., Kincade, J. M., & Shulman, G. L. (2002). Neural Systems for Visual Orienting and Their Relationships to Spatial Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 508–523. <https://doi.org/10.1162/089892902317362029>
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The Reorienting System of the Human Brain: From Environment to Theory of Mind. *Neuron*, *58*(3), 306–324.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(3), 201–215.  
<https://doi.org/10.1038/nrn755>

- Corkin, S. (1984). Lasting Consequences of Bilateral Medial Temporal Lobectomy: Clinical Course and Experimental Findings in H.M. *Seminars in Neurology*, 4(02), 249–259. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1041556>
- Coull, J. T., Nobre, A. C., & Frith, C. D. (2001). The Noradrenergic 2 Agonist Clonidine Modulates Behavioural and Neuroanatomical Correlates of Human Attentional Orienting and Alerting. *Cerebral Cortex*, 11(1), 73–84. <https://doi.org/10.1093/cercor/11.1.73>
- Cowan, N. (1995). Attention and memory: An integrated framework. In *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford University Press.
- Cowan, N., Naveh-benjamin, M., Kilb, A., & Saults, J. S. (2006). Life-Span Development of Visual Working Memory : When is. *Developmental Psychology*, 42(6), 1089–1102.
- Craik, F. I. M., Eftekhari, E., & Binns, M. A. (2018). Effects of divided attention at encoding and retrieval: Further data. *Memory & Cognition*, 46(8), 1263–1277. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0835-3>
- Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(2), 159–180. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.2.159>
- Craik, F. I. M., Luo, L., & Sakuta, Y. (2010). Effects of aging and divided attention on memory for items and their contexts. *Psychology and Aging*, 25(4), 968–979. <https://doi.org/10.1037/a0020276>
- Craik, F. I. M., & Salthouse, T. A. (2015). *The handbook of aging and cognition: third edition*. January 2008.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 268–294. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
- Cuadra, R. (2020). Frequency of Mind-Wandering in a Sustained Attention to Response Task : A Cognitive Model of Distraction. *Research in Computing Science*, 149, 11–21.

- Cumming, G., Fidler, F., Leonard, M., Kalinowski, P., Christiansen, A., Kleinig, A., Lo, J., McMenamin, N., & Wilson, S. (2007). Statistical Reform in Psychology. *Psychological Science, 18*(3), 230–232. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01881.x>
- Curran, T. (2000). Brain potentials of recollection and familiarity. *Memory & Cognition, 28*(6), 923–938. <https://doi.org/10.3758/BF03209340>
- Curran, T. (2004). Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of recollection and familiarity. *Neuropsychologia, 42*(8), 1088–1106. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.011>
- D'Argembeau, A., Renaud, O., & Van der Linden, M. (2011). Frequency, characteristics and functions of future-oriented thoughts in daily life. *Applied Cognitive Psychology, 25*(1), 96–103. <https://doi.org/10.1002/acp.1647>
- D'Argembeau, A., Stawarczyk, D., Majerus, S., Collette, F., Van der Linden, M., Feyers, D., Maquet, P., & Salmon, E. (2010). The Neural Basis of Personal Goal Processing When Envisioning Future Events. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(8), 1701–1713. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21314>
- D'Esposito, M., Postle, B. R., Jonides, J., & Smith, E. E. (1999). The neural substrate and temporal dynamics of interference effects in working memory as revealed by event-related functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 96*(13), 7514–7519. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.13.7514>
- D'Mello, S. K., & Mills, C. S. (2021). Mind wandering during reading: An interdisciplinary and integrative review of psychological, computing, and intervention research and theory. *Language and Linguistics Compass, 15*(4), e12412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/lnc3.12412>
- Danckert, J., Hammerschmidt, T., Marty-Dugas, J., & Smilek, D. (2018). Boredom: Under-aroused and restless. *Consciousness and Cognition, 61*(November 2017), 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.03.014>
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*(4), 450–466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)

- Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2006). Triple Dissociation in the Medial Temporal Lobes: Recollection, Familiarity, and Novelty. *Journal of Neurophysiology*, *96*(4), 1902–1911. <https://doi.org/10.1152/jn.01029.2005>
- Davachi, L., & Wagner, A. D. (2002). Hippocampal Contributions to Episodic Encoding: Insights From Relational and Item-Based Learning. *Journal of Neurophysiology*, *88*(2), 982–990. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.2.982>
- deBettencourt, M. T., Norman, K. A., & Turk-Browne, N. B. (2018). Forgetting from lapses of sustained attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(2), 605–611. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1309-5>
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, *79*(1–2), 1–37. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(00\)00123-2](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(00)00123-2)
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*(1), 80–90. <https://doi.org/10.1037/h0039515>
- Dewhurst, S. A., & Anderson, S. J. (1999). Effects of exact and category repetition in true and false recognition memory. *Memory & Cognition*, *27*(4), 665–673. <https://doi.org/10.3758/BF03211560>
- Dewhurst, S. A., & Conway, M. A. (1994). Pictures, images, and recollective experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1088–1098. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.5.1088>
- Dewhurst, S. A., & Hitch, G. J. (1999). Cognitive Effort and Recollective Experience in Recognition Memory. *Memory*, *7*(2), 129–146. <https://doi.org/10.1080/741944067>
- Diana, R. A., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). Imaging recollection and familiarity in the medial temporal lobe: a three-component model. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(9), 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.001>
- Dixon, P., & Li, H. (2013). Mind wandering in text comprehension under dual-task conditions. *Frontiers in Psychology*, *4*(OCT), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00682>

- Dobbins, I. G., Kroll, N. E. A., & Yonelinas, A. P. (2004). Dissociating familiarity from recollection using rote rehearsal. *Memory & Cognition*, *32*(6), 932–944.  
<https://doi.org/10.3758/BF03196871>
- Donaldson, W. (1996). The role of decision processes in remembering and knowing. *Memory & Cognition*, *24*(4), 523–533. <https://doi.org/10.3758/BF03200940>
- Duarte, A., Henson, R. N., & Graham, K. S. (2011). Stimulus content and the neural correlates of source memory. *Brain Research*, *1373*, 110–123.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.11.086>
- Dunn, J. C. (2008). The dimensionality of the remember-know task: A state-trace analysis. *Psychological Review*, *115*(2), 426–446. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.2.426>
- Duzel, E., Vargha-Khadem, F., Heinze, H. J., & Mishkin, M. (2001). Brain activity evidence for recognition without recollection after early hippocampal damage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(14), 8101–8106.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.131205798>
- Duzel, E., Yonelinas, A. P., Mangun, G. R., Heinze, H.-J., & Tulving, E. (1997). Event-related brain potential correlates of two states of conscious awareness in memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *94*(11), 5973–5978.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.94.11.5973>
- Egeth, H., & Kahneman, D. (1975). Attention and Effort. *The American Journal of Psychology*, *88*(2), 339. <https://doi.org/10.2307/1421603>
- Eichenbaum, H. (2004). Hippocampus: cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory. *Neuron*, *44*(1), 109–120.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.08.028>
- Eichenbaum, H., Otto, T., & Cohen, N. J. (1994). Two functional components of the hippocampal memory system. *Behavioral and Brain Sciences*, *17*(3), 449–472.  
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00035391>
- Eichenbaum, H., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). The Medial Temporal Lobe and Recognition Memory. *Annual Review of Neuroscience*, *30*(1), 123–152.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094328>

- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. In *The Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory* (Vol. 44, pp. 145–199).  
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(03\)44005-X](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(03)44005-X)
- Eriksen, C. W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*(4), 225–240.  
<https://doi.org/10.3758/BF03211502>
- Eriksen, C. W., & Yeh, Y.-Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(5), 583–597.  
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.583>
- Evans, F. J., & Thorn, W. A. F. (1966). Two types of posthypnotic amnesia: Recall amnesia and source amnesia. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, *14*(2), 162–179. <https://doi.org/10.1080/00207146608412959>
- Faber, M., Krasich, K., Bixler, R. E., Brockmole, J. R., & D’Mello, S. K. (2020). The eye–mind wandering link: Identifying gaze indices of mind wandering across tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *46*(10), 1201–1221. <https://doi.org/10.1037/xhp0000743>
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*, *26*(2), 471–479.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004>
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340–347.
- Fanning, J., Mackenzie, M., Roberts, S., Crato, I., Ehlers, D., & McAuley, E. (2016). Physical Activity, Mind Wandering, Affect, and Sleep: An Ecological Momentary Assessment. *JMIR MHealth and UHealth*, *4*(3), e104.  
<https://doi.org/10.2196/mhealth.5855>
- Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: the effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology*, *4*(SEP), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00619>



- Fenesi, B., Lucibello, K., Kim, J. A., & Heisz, J. J. (2018). Sweat So You Don't Forget: Exercise Breaks During a University Lecture Increase On-Task Attention and Learning. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(2), 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.01.012>
- Fernandes, M. A., & Moscovitch, M. (2000). Divided attention and memory: Evidence of substantial interference effects at retrieval and encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(2), 155–176. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.129.2.155>
- Finnbogadóttir, H., & Berntsen, D. (2013). Involuntary future projections are as frequent as involuntary memories, but more positive. *Consciousness and Cognition*, 22(1), 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.06.014>
- Foulsham, T., Farley, J., & Kingstone, A. (2013). Mind wandering in sentence reading: Decoupling the link between mind and eye. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 67(1), 51–59. <https://doi.org/10.1037/a0030217>
- Friedman, D., & Johnson, R. (2000). Event-related potential (ERP) studies of memory encoding and retrieval: A selective review. *Microscopy Research and Technique*, 51(1), 6–28. [https://doi.org/10.1002/1097-0029\(20001001\)51:1<6::AID-JEMT2>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1097-0029(20001001)51:1<6::AID-JEMT2>3.0.CO;2-R)
- Gable, S. L., Hopper, E. A., & Schooler, J. W. (2019). When the Muses Strike: Creative Ideas of Physicists and Writers Routinely Occur During Mind Wandering. *Psychological Science*, 30(3), 396–404. <https://doi.org/10.1177/0956797618820626>
- Galli, G. (2014). What Makes Deeply Encoded Items Memorable? Insights into the Levels of Processing Framework from Neuroimaging and Neuromodulation. *Frontiers in Psychiatry*, 5(MAY), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00061>
- Gardiner, J. M. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*, 16(4), 309–313. <https://doi.org/10.3758/BF03197041>
- Gardiner, J. M., Gawlik, B., & Richardson-Klavehn, A. (1994). Maintenance rehearsal affects knowing, not remembering; elaborative rehearsal affects remembering, not knowing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(1), 107–110. <https://doi.org/10.3758/BF03200764>

- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1991). Forgetting in recognition memory with and without recollective experience. *Memory & Cognition*, *19*(6), 617–623.  
<https://doi.org/10.3758/BF03197157>
- Gardiner, J. M., Java, R. I., & Richardson-Klavehn, A. (1996). How level of processing really influences awareness in recognition memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *50*(1), 114–122. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.50.1.114>
- Gardiner, J. M., Kaminska, Z., Dixon, M., & Java, R. I. (1996). Repetition of previously novel melodies sometimes increases both remember and know responses in recognition memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*(3), 366–371.  
<https://doi.org/10.3758/BF03210762>
- Gardiner, J. M., & Parkin, A. J. (1990). Attention and recollective experience in recognition memory. *Memory & Cognition*, *18*(6), 579–583.  
<https://doi.org/10.3758/BF03197100>
- Gardiner, J. M., Ramponi, C., & Richardson-Klavehn, A. (1998). Experiences of Remembering, Knowing, and Guessing. *Consciousness and Cognition*, *7*(1), 1–26.  
<https://doi.org/10.1006/ccog.1997.0321>
- Giambra, L. M. (1989). Task-unrelated-thought frequency as a function of age: a laboratory study. *Psychology and Aging*, *4*(2), 136–143. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.2.136>
- Glanzer, M., & Cunitz, A. R. (1966). Two storage mechanisms in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*(4), 351–360. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(66\)80044-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(66)80044-0)
- Goetschalckx, L., Moors, J., & Wagemans, J. (2019). Incidental image memorability. *Memory*, *27*(9), 1273–1282. <https://doi.org/10.1080/09658211.2019.1652328>
- Golchert, J., Smallwood, J., Jefferies, E., Seli, P., Huntenburg, J. M., Liem, F., Lauckner, M. E., Oligschläger, S., Bernhardt, B. C., Villringer, A., & Margulies, D. S. (2017). Individual variation in intentionality in the mind-wandering state is reflected in the integration of the default-mode, fronto-parietal, and limbic networks. *NeuroImage*, *146*(November), 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.025>

- Golkar, A., Tjaden, C., & Kindt, M. (2017). Vicarious extinction learning during reconsolidation neutralizes fear memory. *Behaviour Research and Therapy*, *92*, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.004>
- Grandchamp, R., Braboszcz, C., & Delorme, A. (2014). Oculometric variations during mind wandering. *Frontiers in Psychology*, *5*(FEB), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00031>
- Gray, J. A., & Wedderburn, A. A. I. (1960). Shorter articles and notes grouping strategies with simultaneous stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*(3), 180–184. <https://doi.org/10.1080/17470216008416722>
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). Signal detection theory and psychophysics. In *New York: Wiley*. <https://doi.org/10.1177/001316446702700437>
- Gregg, V. H., & Gardiner, J. M. (1994). Recognition memory and awareness: A large effect of study-test modalities on “know” responses following a highly perceptual orienting task. *European Journal of Cognitive Psychology*, *6*(2), 131–147. <https://doi.org/10.1080/09541449408520140>
- Haaf, J. M., Rhodes, S., Naveh-Benjamin, M., Sun, T., Snyder, H. K., & Rouder, J. N. (2021). Revisiting the remember–know task: Replications of Gardiner and Java (1990). *Memory & Cognition*, *49*(1), 46–66. <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01073-x>
- Hale, A. C., Tolle, K. A., Kitchen Andren, K. A., & Spencer, R. J. (2020). Cross-validation of incidental learning tasks from the WAIS-IV as a measure of memory. *Applied Neuropsychology: Adult*, *27*(6), 517–524. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1570930>
- Hannula, D. E., & Ranganath, C. (2008). Medial Temporal Lobe Activity Predicts Successful Relational Memory Binding. *Journal of Neuroscience*, *28*(1), 116–124. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3086-07.2008>
- Hao, N., Wu, M., Runco, M. A., & Pina, J. (2015). More mind wandering, fewer original ideas: Be not distracted during creative idea generation. *Acta Psychologica*, *161*, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.09.001>

- Harrison, S. A., & Tong, F. (2009). Decoding reveals the contents of visual working memory in early visual areas. *Nature*, *458*(7238), 632–635.  
<https://doi.org/10.1038/nature07832>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *108*(3), 356–388. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.108.3.356>
- Hayes, S. M., Ryan, L., Schnyer, D. M., & Nadel, L. (2004). An fMRI Study of Episodic Memory: Retrieval of Object, Spatial, and Temporal Information. *Behavioral Neuroscience*, *118*(5), 885–896. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.118.5.885>
- He, J., Becic, E., Lee, Y.-C., & McCarley, J. S. (2011). Mind Wandering Behind the Wheel. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *53*(1), 13–21. <https://doi.org/10.1177/0018720810391530>
- Henke, K., Buck, A., Weber, B., & Wieser, H. G. (1997). Human hippocampus establishes associations in memory. *Hippocampus*, *7*(3), 249–256.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1063\(1997\)7:3<249::AID-HIPO1>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1063(1997)7:3<249::AID-HIPO1>3.0.CO;2-G)
- Henríquez, R. A., Chica, A. B., Billeke, P., & Bartolomeo, P. (2016). Fluctuating Minds: Spontaneous Psychophysical Variability during Mind-Wandering. *PLOS ONE*, *11*(2), e0147174. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147174>
- Henson, R. N. A., Shallice, T., & Dolan, R. J. (1999). Right prefrontal cortex and episodic memory retrieval: a functional MRI test of the monitoring hypothesis. *Brain*, *122*(7), 1367–1381. <https://doi.org/10.1093/brain/122.7.1367>
- Hester, R., Foxe, J. J., Molholm, S., Shpaner, M., & Garavan, H. (2005). Neural mechanisms involved in error processing: A comparison of errors made with and without awareness. *NeuroImage*, *27*(3), 602–608.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.04.035>
- Hicks, J. L., Marsh, R. L., & Ritschel, L. (2002). The role of recollection and partial information in source monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *28*(3), 503–508. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.3.503>
- Hintzman, D. L. (1986). “Schema abstraction” in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, *93*(4), 411–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.93.4.411>

- Hirshman, E., & Master, S. (1997). Modeling the conscious correlates of recognition memory: Reflections on the remember-know paradigm. *Memory & Cognition*, 25(3), 345–351. <https://doi.org/10.3758/BF03211290>
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2002). Accurate visual memory for previously attended objects in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(1), 113–136. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.1.113>
- Hollis, R. B., & Was, C. A. (2016). Mind wandering, control failures, and social media distractions in online learning. *Learning and Instruction*, 42, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.007>
- Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, 3(3), 284–291. <https://doi.org/10.1038/72999>
- Hubbard, R. (2011). The widespread misinterpretation of p -values as error probabilities. *Journal of Applied Statistics*, 38(11), 2617–2626. <https://doi.org/10.1080/02664763.2011.567245>
- Huimin, W., Aggleton, J. P., & Brown, M. W. (1999). Different contributions of the hippocampus and perirhinal cortex to recognition memory. *Journal of Neuroscience*, 19(3), 1142–1148. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.19-03-01142.1999>
- Hunsaker, M. R., Chen, V., Tran, G. T., & Kesner, R. P. (2013). The medial and lateral entorhinal cortex both contribute to contextual and item recognition memory: A test of the binding of items and context model. *Hippocampus*, 23(5), 380–391. <https://doi.org/10.1002/hipo.22097>
- Hupbach, A., Gomez, R., Hardt, O., & Nadel, L. (2007). Reconsolidation of episodic memories: A subtle reminder triggers integration of new information. *Learning & Memory*, 14(1–2), 47–53. <https://doi.org/10.1101/lm.365707>
- Hyde, T. S., & Jenkins, J. J. (1969). Differential effects of incidental tasks on the organization of recall of a list of highly associated words. *Journal of Experimental Psychology*, 82(3), 472–481. <https://doi.org/10.1037/h0028372>

- Iidaka, T., Anderson, N. D., Kapur, S., Cabeza, R., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of divided attention on encoding and retrieval in episodic memory revealed by positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(2), 267–280.  
<https://doi.org/10.1162/089892900562093>
- Irving, Z. C. (2016). Mind-wandering is unguided attention: accounting for the “purposeful” wanderer. *Philosophical Studies*, *173*(2), 547–571.  
<https://doi.org/10.1007/s11098-015-0506-1>
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, *30*(5), 513–541.  
[https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)
- Jacoby, L. L. (1998). Invariance in automatic influences of memory: Toward a user’s guide for the process-dissociation procedure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*(1), 3–26. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.1.3>
- Jacoby, L. L., Toth, J. P., & Yonelinas, A. P. (1993). Separating conscious and unconscious influences of memory: Measuring recollection. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*(2), 139–154. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.2.139>
- Jacoby, L. L., Woloshyn, V., & Kelley, C. (1989). Becoming famous without being recognized: Unconscious influences of memory produced by dividing attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *118*(2), 115–125.  
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.118.2.115>
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (Vol. 1). <https://doi.org/10.30936/1606-951x-2018-20-3/4-27-64>
- Jang, D., Yang, I., & Kim, S. (2020). Detecting Mind-Wandering from Eye Movement and Oculomotor Data during Learning Video Lecture. *Education Sciences*, *10*(3), 51.  
<https://doi.org/10.3390/educsci10030051>
- Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1989). Source memory impairment in patients with frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *27*(8), 1043–1056.  
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(89\)90184-X](https://doi.org/10.1016/0028-3932(89)90184-X)

- Jason, L. A., Schade, J., Furo, L., Reichler, A., & Brickman, C. (1989). Time Orientation: Past, Present, and Future Perceptions. *Psychological Reports*, *64*(3\_suppl), 1199–1205. <https://doi.org/10.2466/pr0.1989.64.3c.1199>
- Java, R. I., & Gregg, V. H. (1997). What Do People Actually Remember (and Know) in “Remember/Know” Experiments? *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 187–197. <https://doi.org/10.1080/713752553>
- Java, R. I., Kaminska, Z., & Gardiner, J. M. (1995). Recognition Memory and Awareness for Famous and Obscure Musical Themes. *European Journal of Cognitive Psychology*, *7*(1), 41–53. <https://doi.org/10.1080/09541449508520156>
- Jebara, N., Orriols, E., Zaoui, M., Berthoz, A., & Piolino, P. (2014). Effects of Enactment in Episodic Memory: A Pilot Virtual Reality Study with Young and Elderly Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*(DEC). <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00338>
- Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1993). Automatic Versus Intentional Uses of Memory: Aging, Attention, and Control. *Psychology and Aging*, *8*(2), 283–293. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.8.2.283>
- Jentsch, I., & Dudschig, C. (2009). Short Article: Why do we slow down after an error? Mechanisms underlying the effects of posterror slowing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(2), 209–218. <https://doi.org/10.1080/17470210802240655>
- Jing, H. G., Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2016). Interpolated testing influences focused attention and improves integration of information during a video-recorded lecture. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *22*(3), 305–318. <https://doi.org/10.1037/xap0000087>
- Johnson, J. D., McDuff, S. G. R., Rugg, M. D., & Norman, K. A. (2009). Recollection, Familiarity, and Cortical Reinstatement: A Multivoxel Pattern Analysis. *Neuron*, *63*(5), 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.08.011>
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source Monitoring. In *Psychological Bulletin* (Vol. 114, Issue 1, pp. 3–28). Psychological Bulletin.
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Mitchell, K. J., Greene, E. J., Cunningham, W. A., & Sanislow, C. A. (2005). Using fMRI to investigate a component process of reflection:

---

Prefrontal correlates of refreshing a just-activated representation. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5(3), 339–361. <https://doi.org/10.3758/CABN.5.3.339>

Johnson, M. K., Reeder, J. A., Raye, C. L., & Mitchell, K. J. (2002). Second Thoughts versus Second Looks: An Age-Related Deficit in Reflectively Refreshing Just-Activated Information. *Psychological Science*, 13(1), 64–67.  
<https://doi.org/10.1111/1467-9280.00411>

Johnson, S. C. (2002). Neural correlates of self-reflection. *Brain*, 125(8), 1808–1814.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awf181>

Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The Demonstration of Short-Term Consolidation. *Cognitive Psychology*, 36(2), 138–202. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0684>

Jordão, M., Ferreira-Santos, F., Pinho, M. S., & St. Jacques, P. L. (2019). Meta-analysis of aging effects in mind wandering: Methodological and sociodemographic factors. *Psychology and Aging*, 34(4), 531–544. <https://doi.org/10.1037/pag0000356>

Kam, J. W. Y., Dao, E., Blinn, P., Krigolson, O. E., Boyd, L. A., & Handy, T. C. (2012). Mind wandering and motor control: off-task thinking disrupts the online adjustment of behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(DEC), 1–9.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00329>

Kam, J. W. Y., Dao, E., Farley, J., Fitzpatrick, K., Smallwood, J., Schooler, J. W., & Handy, T. C. (2011). Slow Fluctuations in Attentional Control of Sensory Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 460–470.  
<https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21443>

Kamiya, S. (2014). Relationship between frequency of involuntary autobiographical memories and cognitive failure. *Memory*, 22(7), 839–851.  
<https://doi.org/10.1080/09658211.2013.838630>

Kan, I. P., Giovanello, K. S., Schnyer, D. M., Makris, N., & Verfaellie, M. (2007). Role of the medial temporal lobes in relational memory: Neuropsychological evidence from a cued recognition paradigm. *Neuropsychologia*, 45(11), 2589–2597.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.03.006>



- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For Whom the Mind Wanders, and When. *Psychological Science, 18*(7), 614–621. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x>
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(1), 47–70. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.47>
- Kane, M. J., Smeekens, B. A., von Bastian, C. C., Lurquin, J. H., Carruth, N. P., & Miyake, A. (2017). A combined experimental and individual-differences investigation into mind wandering during a video lecture. *Journal of Experimental Psychology: General, 146*(11), 1649–1674. <https://doi.org/10.1037/xge0000362>
- Kane, M. J., Tuholski, S. W., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(2), 189–217. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.2.189>
- Kang, O. E., Huffer, K. E., & Wheatley, T. P. (2014). Pupil Dilation Dynamics Track Attention to High-Level Information. *PLoS ONE, 9*(8), e102463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102463>
- Kapur, S., Tulving, E., Cabeza, R., McIntosh, A. R., Houle, S., & Craik, F. I. M. (1996). The neural correlates of intentional learning of verbal materials: A PET study in humans. *Cognitive Brain Research, 4*(4), 243–249. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(96\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(96)00058-4)
- Karapanagiotidis, T., Bernhardt, B. C., Jefferies, E., & Smallwood, J. (2017). Tracking thoughts: Exploring the neural architecture of mental time travel during mind-wandering. *NeuroImage, 147*(December 2016), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.12.031>
- Kass, R. E., & Raftery, A. E. (1995). Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association, 90*(430), 773–795. <https://doi.org/10.1080/01621459.1995.10476572>
- Keith, J. R., Blackwood, M. E., Mathew, R. T., & Lecci, L. B. (2017). Self-Reported Mindful Attention and Awareness, Go/No-Go Response-Time Variability, and

Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Mindfulness*, 8(3), 765–774.  
<https://doi.org/10.1007/s12671-016-0655-0>

Kelley, W. M., Miezin, F. M., McDermott, K. B., Buckner, R. L., Raichle, M. E., Cohen, N. J., Ollinger, J. M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., & Petersen, S. E. (1998). Hemispheric specialization in human dorsal frontal cortex and medial temporal lobe for verbal and nonverbal memory encoding. *Neuron*, 20(5), 927–936.  
[https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80474-2](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80474-2)

Kensinger, E. A., Clarke, R. J., & Corkin, S. (2003). What Neural Correlates Underlie Successful Encoding and Retrieval? A Functional Magnetic Resonance Imaging Study Using a Divided Attention Paradigm. *The Journal of Neuroscience*, 23(6), 2407–2415.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-06-02407.2003>

Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior Cingulate Conflict Monitoring and Adjustments in Control. *Science*, 303(5660), 1023–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1089910>

Killingsworth, M. A., & Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind. *Science*, 330(6006), 932. <https://doi.org/10.1126/science.1192439>

Klesel, M., Schlechtinger, M., Oschinsky, F. M., Conrad, C., & Niehaves, B. (2020). Detecting Mind Wandering Episodes in Virtual Realities Using Eye Tracking. In *Lecture Notes in Information Systems and Organisation* (Vol. 43, pp. 163–171). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60073-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60073-0_18)

Klinger, E. (1971). Structure and functions of fantasy. In *New York: Wiley*.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2466-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2466-9_9)

Klinger, E. (1999). Thought flow: Properties and mechanisms underlying shifts in content. *At Play in the Fields of Consciousness: Essays in Honor of Jerome L. Singer*, 29–50.

Klinger, E. (2015). Daydreaming and Fantasizing: Thought Flow and Motivation. In *Handbook of Imagination and Mental Simulation* (Issue 11237). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203809846.ch15>

Klinger, E., & Cox, W. M. (1987). Dimensions of Thought Flow in Everyday Life. *Imagination, Cognition and Personality*, 7(2), 105–128. <https://doi.org/10.2190/7K24-G343-MTQW-115V>

- Knowlton, B. J., & Squire, L. R. (1995). Remembering and knowing: Two different expressions of declarative memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*(3), 699–710. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.3.699>
- Konishi, M., Brown, K., Battaglini, L., & Smallwood, J. (2017). When attention wanders: Pupillometric signatures of fluctuations in external attention. *Cognition*, *168*, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.06.006>
- Koriat, A., & Goldsmith, M. (1994). Memory in naturalistic and laboratory contexts: Distinguishing the accuracy-oriented and quantity-oriented approaches to memory assessment. *Journal of Experimental Psychology: General*, *123*(3), 297–315. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.3.297>
- Köster, E. P., Møller, P., & Mojet, J. (2014). A “Misfit” Theory of Spontaneous Conscious Odor Perception (MITSCOP): reflections on the role and function of odor memory in everyday life. *Frontiers in Psychology*, *5*(FEB), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00064>
- Krasich, K., McManus, R., Hutt, S., Faber, M., D’Mello, S. K., & Brockmole, J. R. (2018). Gaze-based signatures of mind wandering during real-world scene processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, *147*(8), 1111–1124. <https://doi.org/10.1037/xge0000411>
- Krimsky, M., Forster, D. E., Llabre, M. M., & Jha, A. P. (2017). The influence of time on task on mind wandering and visual working memory. *Cognition*, *169*(August), 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.08.006>
- Kucyi, A., Esterman, M., Riley, C. S., & Valera, E. M. (2016). Spontaneous default network activity reflects behavioral variability independent of mind-wandering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(48), 13899–13904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1611743113>
- Kvavilashvili, L., & Fisher, L. (2007). Is time-based prospective remembering mediated by self-initiated rehearsals? Role of incidental cues, ongoing activity, age, and motivation. *Journal of Experimental Psychology: General*, *136*(1), 112–132. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.1.112>

- Kvavilashvili, L., & Rummel, J. (2020). On the Nature of Everyday Prospecation: A Review and Theoretical Integration of Research on Mind-Wandering, Future Thinking, and Prospective Memory. *Review of General Psychology, 24*(3), 210–237. <https://doi.org/10.1177/1089268020918843>
- La Corte, V., Sperduti, M., Abichou, K., & Piolino, P. (2019). Episodic Memory Assessment and Remediation in Normal and Pathological Aging Using Virtual Reality: A Mini Review. *Frontiers in Psychology, 10*(FEB), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00173>
- LaRocque, K. F., Smith, M. E., Carr, V. A., Witthoft, N., Grill-Spector, K., & Wagner, A. D. (2013). Global Similarity and Pattern Separation in the Human Medial Temporal Lobe Predict Subsequent Memory. *Journal of Neuroscience, 33*(13), 5466–5474. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4293-12.2013>
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(3), 451–468. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.3.451>
- Lee, J. L. C. (2009). Reconsolidation: maintaining memory relevance. *Trends in Neurosciences, 32*(8), 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.05.002>
- Lee, J. L. C., Nader, K., & Schiller, D. (2017). An Update on Memory Reconsolidation Updating. *Trends in Cognitive Sciences, 21*(7), 531–545. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.04.006>
- Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L., & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 97*(1), 506–511. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.1.506>
- Leszczynski, M., Chaieb, L., Reber, T. P., Derner, M., Axmacher, N., & Fell, J. (2017). Mind wandering simultaneously prolongs reactions and promotes creative incubation. *Scientific Reports, 7*(1), 10197. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10616-3>
- Levinson, D. B., Smallwood, J., & Davidson, R. J. (2012). The Persistence of Thought: Evidence for a Role of Working Memory in the Maintenance of Task-Unrelated Thinking. *Psychological Science, 23*(4), 375–380. <https://doi.org/10.1177/0956797611431465>

- Lewis, D. J. (1979). Psychobiology of active and inactive memory. *Psychological Bulletin*, 86(5), 1054–1083. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.1054>
- Lin, C.-T., Chuang, C.-H., Kerick, S., Mullen, T., Jung, T.-P., Ko, L.-W., Chen, S.-A., King, J.-T., & McDowell, K. (2016). Mind-Wandering Tends to Occur under Low Perceptual Demands during Driving. *Scientific Reports*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep21353>
- Liu, J., Zhao, L., Xue, Y., Shi, J., Suo, L., Luo, Y., Chai, B., Yang, C., Fang, Q., Zhang, Y., Bao, Y., Pickens, C. L., & Lu, L. (2014). An Unconditioned Stimulus Retrieval Extinction Procedure to Prevent the Return of Fear Memory. *Biological Psychiatry*, 76(11), 895–901. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.03.027>
- Løevenbruck, H., Grandchamp, R., Rapin, L., Perrone-bertolotti, M., Pichat, C., Haldin, C., Cousin, E., Lachaux, J.-P., Dohen, M., Perrier, P., Garnier, M., & Baciú, M. (2019). Neural correlates of inner speaking , imitating and hearing : an fMRI study. *ICPhS 2019-19th International Congress of Phonetic Sciences*.
- Logan, G. D., & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, 108(2), 393–434. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.2.393>
- Long, N. M., Kuhl, B. A., & Chun, M. M. (2018). Memory and Attention. In *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (pp. 1–37). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn109>
- Luck, D., Danion, J.-M., Marrer, C., Pham, B.-T., Gounot, D., & Foucher, J. (2010). The right parahippocampal gyrus contributes to the formation and maintenance of bound information in working memory. *Brain and Cognition*, 72(2), 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.09.009>
- Lyu, X.-K., Xu, Y., Zhao, X.-F., Zuo, X.-N., & Hu, C.-P. (2020). Beyond psychology: prevalence of p value and confidence interval misinterpretation across different fields. *Journal of Pacific Rim Psychology*, 14, e6. <https://doi.org/10.1017/prp.2019.28>
- Lyu, Z., Peng, K., & Hu, C.-P. (2018). P-Value, Confidence Intervals, and Statistical Inference: A New Dataset of Misinterpretation. *Frontiers in Psychology*, 9(JUN), 2016–2019. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00868>

- Machida, K., Murias, M., & Johnson, K. A. (2019). Electrophysiological Correlates of Response Time Variability During a Sustained Attention Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*(October), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00363>
- Mackay, D. G. (1973). Aspects of the Theory of Comprehension, Memory and Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *25*(1), 22–40. <https://doi.org/10.1080/14640747308400320>
- Maillet, D., Beaty, R. E., Jordano, M. L., Touron, D. R., Adnan, A., Silvia, P. J., Kwapil, T. R., Turner, G. R., Nathan Spreng, R., & Kane, M. J. (2018). Age-related differences in mind-wandering in daily life. *Psychology and Aging*, *33*(4), 643–653. <https://doi.org/10.1037/pag0000260>
- Maillet, D., & Rajah, M. N. (2013). Age-related changes in frequency of mind-wandering and task-related interferences during memory encoding and their impact on retrieval. *Memory*, *21*(7), 818–831. <https://doi.org/10.1080/09658211.2012.761714>
- Maillet, D., & Rajah, M. N. (2014). Dissociable roles of default-mode regions during episodic encoding. *NeuroImage*, *89*, 244–255. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.11.050>
- Maillet, D., & Rajah, M. N. (2016). Assessing the Neural Correlates of Task-unrelated Thoughts during Episodic Encoding and Their Association with Subsequent Memory in Young and Older Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *28*(6), 826–841. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00935](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00935)
- Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016a). From mind wandering to involuntary retrieval: Age-related differences in spontaneous cognitive processes. *Neuropsychologia*, *80*, 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.017>
- Maillet, D., & Schacter, D. L. (2016b). When the mind wanders: Distinguishing stimulus-dependent from stimulus-independent thoughts during incidental encoding in young and older adults. *Psychology and Aging*, *31*(4), 370–379. <https://doi.org/10.1037/pag0000099>
- Maillet, D., Seli, P., & Schacter, D. L. (2017). Mind-wandering and task stimuli: Stimulus-dependent thoughts influence performance on memory tasks and are more often past-

- versus future-oriented. *Consciousness and Cognition*, 52(October), 55–67.  
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.014>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M., & Lüdtke, D. (2019). bayestestR: Describing Effects and their Uncertainty, Existence and Significance within the Bayesian Framework. *Journal of Open Source Software*, 4(40), 1541. <https://doi.org/10.21105/joss.01541>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdtke, D. (2019). Indices of Effect Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*, 10(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767>
- Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychological Review*, 87(3), 252–271. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.252>
- Mar, R. A., Mason, M. F., & Litvack, A. (2012). How daydreaming relates to life satisfaction, loneliness, and social support: The importance of gender and daydream content. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 401–407.  
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.001>
- Marchetti, I., Koster, E. H. W., & De Raedt, R. (2012). Mindwandering heightens the accessibility of negative relative to positive thought. *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1517–1525. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.013>
- Marois, R., & Ivanoff, J. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 296–305.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.04.010>
- Mason, M. F., Brown, K., Mar, R. A., & Smallwood, J. (2013). Driver of discontent or escape vehicle: The affective consequences of mindwandering. *Frontiers in Psychology*, 4(JUL), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00477>
- Mason, M. F., Norton, M. I., Van Horn, J. D., Wegner, D. M., Grafton, S. T., & Macrae, C. N. (2007). Wandering Minds: The Default Network and Stimulus-Independent Thought. *Science*, 315(5810), 393–395. <https://doi.org/10.1126/science.1131295>
- Mason, M. F., & Reinholtz, N. (2015). Avenues down which a self-reminding mind can wander. *Motivation Science*, 1(1), 1–21. <https://doi.org/10.1037/mot0000011>

- Mather, M. (2007). Emotional Arousal and Memory Binding: An Object-Based Framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Matsumoto, K., & Tanaka, K. (2004). Conflict and Cognitive Control. *Science*, 303(5660), 969–970. <https://doi.org/10.1126/science.1094733>
- Matthews, G., Joyner, L., Gilliland, K., Campbell, S., Falconer, S., & Huggins, J. (1999). Validation of a comprehensive stress state questionnaire - Towards a state “big three”? *Personality Psychology in Europe*, 7, 335–350.
- McCormick, C., Rosenthal, C. R., Miller, T. D., & Maguire, E. A. (2018). Mind-Wandering in People with Hippocampal Damage. *The Journal of Neuroscience*, 38(11), 2745–2754. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1812-17.2018>
- McCullagh, P., & Nelder, J. A. (1989). *Generalized linear models* (CRC Press (ed.)). <http://indico.ictp.it/event/a06218/session/41/contribution/22/material/0/0.pdf>
- McElreath, R. (2015). Statistical rethinking: a Bayesian course with examples in R and Stan , Chapman & Hall/CRC texts in statistical science series. In *Chapman and Hall/CRC*. <https://ideas.repec.org/a/bla/jorssa/v179y2016i4p1131-1132.html>
- McElree, B., Dolan, P. O., & Jacoby, L. L. (1999). Isolating the Contributions of Familiarity and Source Information to Item Recognition: A Time Course Analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 25(3), 563–582. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.3.563>
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 196–204. <https://doi.org/10.1037/a0014104>
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2010). Does mind wandering reflect executive function or executive failure? Comment on Smallwood and Schooler (2006) and Watkins (2008). *Psychological Bulletin*, 136(2), 188–197. <https://doi.org/10.1037/a0018298>
- McVay, J. C., Kane, M. J., & Kwapil, T. R. (2009). Tracking the train of thought from the laboratory into everyday life: An experience-sampling study of mind wandering across



- controlled and ecological contexts. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(5), 857–863.  
<https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.857>
- McVay, J. C., Meier, M. E., Touron, D. R., & Kane, M. J. (2013). Aging ebbs the flow of thought: Adult age differences in mind wandering, executive control, and self-evaluation. *Acta Psychologica*, *142*(1), 136–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.11.006>
- Mecklinger, A. (2000). Interfacing mind and brain: A neurocognitive model of recognition memory. *Psychophysiology*, *37*(5), S0048577200992230.  
<https://doi.org/10.1017/S0048577200992230>
- Mills, C., Bixler, R., Wang, X., & D’Mello, S. K. (2016). Automatic gaze-based detection of mind wandering during narrative film comprehension. *Proceedings of the 9th International Conference on Educational Data Mining, EDM 2016*, 30–37.  
<https://doi.org/10.1.1.1040.9644>
- Mills, C., Gregg, J., Bixler, R., & D’Mello, S. K. (2020). Eye-Mind reader: an intelligent reading interface that promotes long-term comprehension by detecting and responding to mind wandering. *Human–Computer Interaction*, *00*(00), 1–27.  
<https://doi.org/10.1080/07370024.2020.1716762>
- Mills, C., Herrera-Bennett, A., Faber, M., & Christoff, K. (2018). Why the mind wanders: How spontaneous thought’s default variability may support episodic efficiency and semantic optimization. *The Oxford Handbook of Spontaneous Thought: Mind-Wandering, Creativity, and Dreaming*, April, 11–22.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190464745.013.42>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, *6*(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Montaldi, D., & Mayes, A. R. (2010). The role of recollection and familiarity in the functional differentiation of the medial temporal lobes. *Hippocampus*, *20*(11), 1291–1314. <https://doi.org/10.1002/hipo.20853>

- Moscovitch, M. (1994). Cognitive resources and dual-task interference effects at retrieval in normal people: The role of the frontal lobes and medial temporal cortex. *Neuropsychology*, 8(4), 524–534. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.524>
- Mrazek, M. D., Smallwood, J., Franklin, M. S., Chin, J. M., Baird, B., & Schooler, J. W. (2012). The role of mind-wandering in measurements of general aptitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(4), 788–798. <https://doi.org/10.1037/a0027968>
- Murray, S., & Krasich, K. (2020). Can the mind wander intentionally? *Mind & Language*, April, mila.12332. <https://doi.org/10.1111/mila.12332>
- Nadel, L., Hupbach, A., Gomez, R., & Newman-Smith, K. (2012). Memory formation, consolidation and transformation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(7), 1640–1645. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.03.001>
- Nader, K., & Einarsson, E. Ö. (2010). Memory reconsolidation: an update. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 27–41. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05443.x>
- Nauer, R. K., Whiteman, A. S., Dunne, M. F., Stern, C. E., & Schon, K. (2015). Hippocampal subfield and medial temporal cortical persistent activity during working memory reflects ongoing encoding. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9(MAR), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00030>
- Naveh-Benjamin, M. (1988). Recognition memory of spatial location information: Another failure to support automaticity. *Memory & Cognition*, 16(5), 437–445. <https://doi.org/10.3758/BF03214224>
- Naveh-Benjamin, M., & Brubaker, M. S. (2019). Are the effects of divided attention on memory encoding processes due to the disruption of deep-level elaborative processes? Evidence from cued- and free-recall tasks. *Journal of Memory and Language*, 106(March 2018), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2019.02.007>
- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Guez, J., & Dori, H. (1998). Effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory: Further support for an asymmetry. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(5), 1091–1104. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.5.1091>

- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Perretta, J. G., & Tonev, S. T. (2000). The Effects of Divided Attention on Encoding and Retrieval Processes: The Resiliency of Retrieval Processes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *53*(3), 609–625. <https://doi.org/10.1080/713755914>
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Hara, Y., Brubaker, M. S., & Lowenschuss-Erich, I. (2014). The effects of divided attention on encoding processes under incidental and intentional learning instructions: Underlying mechanisms? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(9), 1682–1696. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.867517>
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., & Sorek, S. (2007). The effects of divided attention on encoding processes in memory: Mapping the locus of interference. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *61*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/cjep2007001>
- Naveh-Benjamin, M., & Jonides, J. (1984). Maintenance rehearsal: A two-component analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*(3), 369–385. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.10.3.369>
- Norman, K. A., & O'Reilly, R. C. (2003). Modeling hippocampal and neocortical contributions to recognition memory: A complementary-learning-systems approach. *Psychological Review*, *110*(4), 611–646. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.110.4.611>
- O'Connell, R. G., Dockree, P. M., Robertson, I. H., Bellgrove, M. A., Foxe, J. J., & Kelly, S. P. (2009). Uncovering the neural signature of lapsing attention: Electrophysiological signals predict errors up to 20 s before they occur. *Journal of Neuroscience*, *29*(26), 8604–8611. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5967-08.2009>
- Ochsner, K. N., Beer, J. S., Robertson, E. R., Cooper, J. C., Gabrieli, J. D. E., Kihlstrom, J. F., & D'Esposito, M. (2005). The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *NeuroImage*, *28*(4), 797–814. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.06.069>
- Olson, I. R. (2006). Working Memory for Conjunctions Relies on the Medial Temporal Lobe. *Journal of Neuroscience*, *26*(17), 4596–4601. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1923-05.2006>

- Olson, I. R., Moore, K. S., Stark, M., & Chatterjee, A. (2006). Visual Working Memory Is Impaired when the Medial Temporal Lobe Is Damaged. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(7), 1087–1097. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.7.1087>
- Ostojic-Aitkens, D., Brooker, B., & Miller, C. J. (2019). Using ecological momentary assessments to evaluate extant measures of mind wandering. *Psychological Assessment, 31*(6), 817–827. <https://doi.org/10.1037/pas0000701>
- Paivio, A., & Csapo, K. (1973). Picture superiority in free recall: Imagery or dual coding? *Cognitive Psychology, 5*(2), 176–206. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90032-7)
- Pan, S. C., Sana, F., Schmitt, A. G., & Ligon, E. (2020). Pretesting Reduces Mind Wandering and Enhances Learning During Online Lectures. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*–42.
- Park, D. C., Smith, A. D., Dudley, W. N., & Lafronza, V. N. (1989). Effects of age and a divided attention task presented during encoding and retrieval on memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*(6), 1185–1191. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.6.1185>
- Parkin, A. J., Gardiner, J. M., & Rosser, R. (1995). Functional Aspects of Recollective Experience in Face Recognition. *Consciousness and Cognition, 4*(4), 387–398. <https://doi.org/10.1006/ccog.1995.1046>
- Parsons, T. D., Silva, T. M., Pair, J., & Rizzo, A. A. (2008). Virtual environment for assessment of neurocognitive functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. *Studies in Health Technology and Informatics, 132*, 351–356. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18391320>
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10*(3), 358–377. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.3.358>
- Pashler, H., & Johnston, J. C. (1989). Chronometric Evidence for Central Postponement in Temporally Overlapping Tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 41*(1), 19–45. <https://doi.org/10.1080/14640748908402351>
- Perfect, T. J., Mayes, A. R., Downes, J. J., & Van Eijk, R. (1996). Does Context Discriminate Recollection from Familiarity in Recognition Memory? *The Quarterly*

*Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(3), 797–813.  
<https://doi.org/10.1080/713755644>

Perrone-Bertolotti, M., Rapin, L., Lachaux, J.-P., Baciú, M., & Løevenbruck, H. (2014). What is that little voice inside my head? Inner speech phenomenology, its role in cognitive performance, and its relation to self-monitoring. *Behavioural Brain Research*, 261, 220–239. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.12.034>

Peterson, D. J., & Naveh-Benjamin, M. (2017). The role of attention in item-item binding in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 43(9), 1403–1414. <https://doi.org/10.1037/xlm0000386>

Pizzagalli, D. A., Peccoralo, L. A., Davidson, R. J., & Cohen, J. D. (2006). Resting anterior cingulate activity and abnormal responses to errors in subjects with elevated depressive symptoms: A 128-channel EEG study. *Human Brain Mapping*, 27(3), 185–201. <https://doi.org/10.1002/hbm.20172>

Plancher, G., Barra, J., Orriols, E., & Piolino, P. (2013). The influence of action on episodic memory: A virtual reality study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(5), 895–909. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.722657>

Plancher, G., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2010). Age effect on components of episodic memory and feature binding: A virtual reality study. *Neuropsychology*, 24(3), 379–390. <https://doi.org/10.1037/a0018680>

Plancher, G., Gyselinck, V., & Piolino, P. (2018). The integration of realistic episodic memories relies on different working memory processes: Evidence from virtual navigation. *Frontiers in Psychology*, 9(JAN), 1–10.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00047>

Plancher, G., Tirard, A., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2012). Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: Influence of active and passive encoding. *Neuropsychologia*, 50(5), 592–602.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.12.013>

- Plimpton, B., Patel, P., & Kvavilashvili, L. (2015). Role of triggers and dysphoria in mind-wandering about past, present and future: A laboratory study. *Consciousness and Cognition*, *33*, 261–276. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.01.014>
- Poerio, G. L., Totterdell, P., & Miles, E. (2013). Mind-wandering and negative mood: Does one thing really lead to another? *Consciousness and Cognition*, *22*(4), 1412–1421. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.09.012>
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*(1), 25–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (2004). Attention and Cognitive Control. In *Cognitive psychology: Key readings*. Psychology Press.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*(2), 160–174. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>
- Preiss, D. D., Cosmelli, D., Grau, V., & Ortiz, D. (2016). Examining the influence of mind wandering and metacognition on creativity in university and vocational students. *Learning and Individual Differences*, *51*, 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.07.010>
- Prince, S. E. (2005). Neural Correlates of Relational Memory: Successful Encoding and Retrieval of Semantic and Perceptual Associations. *Journal of Neuroscience*, *25*(5), 1203–1210. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2540-04.2005>
- Qu, W., Ge, Y., Xiong, Y., Carciofo, R., Zhao, W., & Zhang, K. (2015). The relationship between mind wandering and dangerous driving behavior among Chinese drivers. *Safety Science*, *78*, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.016>
- Rabinowitz, J. C., Craik, F. I. M., & Ackerman, B. P. (1982). A processing resource account of age differences in recall. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, *36*(2), 325–344. <https://doi.org/10.1037/h0080643>
- Ranganath, C. (2010). Binding Items and Contexts. *Current Directions in Psychological Science*, *19*(3), 131–137. <https://doi.org/10.1177/0963721410368805>

- Ranganath, C., Cohen, M. X., & Brozinsky, C. J. (2005). Working Memory Maintenance Contributes to Long-term Memory Formation: Neural and Behavioral Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(7), 994–1010.  
<https://doi.org/10.1162/0898929054475118>
- Ranganath, C., & D'Esposito, M. (2001). Medial Temporal Lobe Activity Associated with Active Maintenance of Novel Information. *Neuron*, *31*(5), 865–873.  
[https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00411-1](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00411-1)
- Ranganath, C., Yonelinas, A. P., Cohen, M. X., Dy, C. J., Tom, S. M., & D'Esposito, M. (2004). Dissociable correlates of recollection and familiarity within the medial temporal lobes. *Neuropsychologia*, *42*(1), 2–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.07.006>
- Rasmussen, A. S., & Berntsen, D. (2009). The possible functions of involuntary autobiographical memories. *Applied Cognitive Psychology*, *23*(8), 1137–1152.  
<https://doi.org/10.1002/acp.1615>
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary Suppression of Visual Processing in an RSVP Task: An Attentional Blink? In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* (Vol. 18, Issue 3, pp. 849–860).  
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.849>
- Reeves, A., & Sperling, G. (1986). Attention gating in short-term visual memory. *Psychological Review*, *93*(2), 180–206. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.93.2.180>
- Reichle, E. D., Reineberg, A. E., & Schooler, J. W. (2010). Eye Movements During Mindless Reading. *Psychological Science*, *21*(9), 1300–1310.  
<https://doi.org/10.1177/0956797610378686>
- Reinitz, M. T., Morrissey, J., & Demb, J. (1994). Role of attention in face encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(1), 161–168. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.1.161>
- Riby, L. M., Smallwood, J., & Gunn, V. P. (2008). Mind Wandering and Retrieval from Episodic Memory: A Pilot Event-Related Potential Study. *Psychological Reports*, *102*(3), 805–818. <https://doi.org/10.2466/pr0.102.3.805-818>

- Risko, E. F., Anderson, N., Sarwal, A., Engelhardt, M., & Kingstone, A. (2012). Everyday Attention: Variation in Mind Wandering and Memory in a Lecture. *Applied Cognitive Psychology, 26*(2), 234–242. <https://doi.org/10.1002/acp.1814>
- Risko, E. F., Buchanan, D., Medimorec, S., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention: Mind wandering and computer use during lectures. *Computers & Education, 68*, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.001>
- Rizzo, A. A., Schultheis, M., Kerns, K. A., & Mateer, C. (2004). Analysis of assets for virtual reality applications in neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation, 14*(1–2), 207–239. <https://doi.org/10.1080/09602010343000183>
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). ‘Oops!’: Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia, 35*(6), 747–758. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00015-8)
- Robison, M. K., & Unsworth, N. (2017). Cognitive and Contextual Correlates of Spontaneous and Deliberate Mind-Wandering. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition, 44*(1), 85–98. <https://doi.org/10.1037/xlm0000444>
- Robison, M. K., & Unsworth, N. (2019). Pupillometry tracks fluctuations in working memory performance. *Attention, Perception, & Psychophysics, 81*(2), 407–419. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1618-4>
- Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science, 17*(3), 249–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x>
- Ruby, F. J. M., Smallwood, J., Engen, H., & Singer, T. (2013). How Self-Generated Thought Shapes Mood-The Relation between Mind-Wandering and Mood Depends on the Socio-Temporal Content of Thoughts. *PLoS ONE, 8*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077554>
- Rummel, J., & Boywitt, C. D. (2014). Controlling the stream of thought: Working memory capacity predicts adjustment of mind-wandering to situational demands. *Psychonomic Bulletin & Review, 21*(5), 1309–1315. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0580-3>



- Sauzéon, H., Arvind Pala, P., Larrue, F., Wallet, G., D jos, M., Zheng, X., Guitton, P., & N'Kaoua, B. (2012). The Use of Virtual Reality for Episodic Memory Assessment. *Experimental Psychology*, *59*(2), 99–108. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000131>
- Schacter, D. L., Harbluk, J. L., & McLachlan, D. R. (1984). Retrieval without recollection: An experimental analysis of source amnesia. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *23*(5), 593–611. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(84\)90373-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(84)90373-6)
- Schiller, D., Monfils, M.-H., Raio, C. M., Johnson, D. C., LeDoux, J. E., & Phelps, E. A. (2010). Preventing the return of fear in humans using reconsolidation update mechanisms. *Nature*, *463*(7277), 49–53. <https://doi.org/10.1038/nature08637>
- Schlagman, S., Kvavilashvili, L., & Schulz, J. (2008). Effects of Age on Involuntary Autobiographical Memories. In *Involuntary Memory* (Issue October, pp. 87–112). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470774069.ch5>
- Schmuckler, M. A. (2001). What Is Ecological Validity? A Dimensional Analysis. *Infancy*, *2*(4), 419–436. [https://doi.org/10.1207/S15327078IN0204\\_02](https://doi.org/10.1207/S15327078IN0204_02)
- Schooler, J. W., Smallwood, J., Christoff, K., Handy, T. C., Reichle, E. D., & Sayette, M. A. (2011). Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(7), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.05.006>
- Schultheis, M. T., Himmelstein, J., & Rizzo, A. A. (2002). Virtual Reality and Neuropsychology. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *17*(5), 378–394. <https://doi.org/10.1097/00001199-200210000-00002>
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *20*(1), 11–21. <https://doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11>
- Scully, I. D., Napper, L. E., & Hupbach, A. (2017). Does reactivation trigger episodic memory change? A meta-analysis. *Neurobiology of Learning and Memory*, *142*, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.12.012>
- Seamon, J. G., & Murray, P. (1976). Depth of processing in recall and recognition memory: Differential effects of stimulus meaningfulness and serial position. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, *2*(6), 680–687. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.2.6.680>

- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable Intrinsic Connectivity Networks for Salience Processing and Executive Control. *Journal of Neuroscience*, *27*(9), 2349–2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>
- Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive task performance. *Memory & Cognition*, *19*(5), 507–513. <https://doi.org/10.3758/BF03199574>
- Sekiguchi, T. (2018). Task-unrelated thought depends on the phonological short-term memory system more than the visual short-term memory system. *Acta Psychologica*, *190*(July), 228–238. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.08.011>
- Seli, P., Beaty, R. E., Cheyne, J. A., Smilek, D., Oakman, J., & Schacter, D. L. (2018). How pervasive is mind wandering, really? *Consciousness and Cognition*, *66*(September), 74–78. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.10.002>
- Seli, P., Carriere, J. S. A., Levene, M., & Smilek, D. (2013). How few and far between? Examining the effects of probe rate on self-reported mind wandering. *Frontiers in Psychology*, *4*(JUL), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00430>
- Seli, P., Carriere, J. S. A., & Smilek, D. (2015). Not all mind wandering is created equal: dissociating deliberate from spontaneous mind wandering. *Psychological Research*, *79*(5), 750–758. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0617-x>
- Seli, P., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2013). Wandering minds and wavering rhythms: Linking mind wandering and behavioral variability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1037/a0030954>
- Seli, P., Cheyne, J. A., Xu, M., Purdon, C., & Smilek, D. (2015). Motivation, intentionality, and mind wandering: Implications for assessments of task-unrelated thought. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(5), 1417–1425. <https://doi.org/10.1037/xlm0000116>
- Seli, P., Kane, M. J., Smallwood, J., Schacter, D. L., Maillet, D., Schooler, J. W., & Smilek, D. (2018). Mind-Wandering as a Natural Kind: A Family-Resemblances

- View. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(6), 479–490.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.03.010>
- Seli, P., Konishi, M., Risko, E. F., & Smilek, D. (2018). The role of task difficulty in theoretical accounts of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 65(April), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.08.005>
- Seli, P., Ralph, B. C. W., Konishi, M., Smilek, D., & Schacter, D. L. (2017). What did you have in mind? Examining the content of intentional and unintentional types of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, 51(March), 149–156.  
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.03.007>
- Seli, P., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). On the Necessity of Distinguishing Between Unintentional and Intentional Mind Wandering. *Psychological Science*, 27(5), 685–691. <https://doi.org/10.1177/0956797616634068>
- Seli, P., Risko, E. F., Smilek, D., & Schacter, D. L. (2016). Mind-Wandering With and Without Intention. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(8), 605–617.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.05.010>
- Seli, P., Schacter, D. L., Risko, E. F., & Smilek, D. (2019). Increasing participant motivation reduces rates of intentional and unintentional mind wandering. *Psychological Research*, 83(5), 1057–1069. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0914-2>
- Seli, P., Smilek, D., Ralph, B. C. W., & Schacter, D. L. (2018). The awakening of the attention: Evidence for a link between the monitoring of mind wandering and prospective goals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(3), 431–443.  
<https://doi.org/10.1037/xge0000385>
- Shimamura, A. P., Janowsky, J. S., & Squire, L. R. (1990). Memory for the temporal order of events in patients with frontal lobe lesions and amnesic patients. *Neuropsychologia*, 28(8), 803–813. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90004-8)
- Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1987). A neuropsychological study of fact memory and source amnesia. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 464–473. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.3.464>

- Smallwood, J. (2010). Why the Global Availability of Mind Wandering Necessitates Resource Competition: Reply to McVay and Kane (2010). *Psychological Bulletin*, *136*(2), 202–207. <https://doi.org/10.1037/a0018673>
- Smallwood, J. (2011). Mind-wandering While Reading: Attentional Decoupling, Mindless Reading and the Cascade Model of Inattention. *Language and Linguistics Compass*, *5*(2), 63–77. <https://doi.org/10.1177/0956797610378686>
- Smallwood, J. (2013). Distinguishing how from why the mind wanders: A process-occurrence framework for self-generated mental activity. *Psychological Bulletin*, *139*(3), 519–535. <https://doi.org/10.1037/a0030010>
- Smallwood, J., Baracaia, S. F., Lowe, M., & Obonsawin, M. (2003). Task unrelated thought whilst encoding information. *Consciousness and Cognition*, *12*(3), 452–484. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00018-7)
- Smallwood, J., Beach, E., Schooler, J. W., & Handy, T. C. (2008). Going AWOL in the Brain: Mind Wandering Reduces Cortical Analysis of External Events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(3), 458–469. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20037>
- Smallwood, J., Brown, K. S., Tipper, C., Giesbrecht, B., Franklin, M. S., Mrazek, M. D., Carlson, J. M., & Schooler, J. W. (2011). Pupillometric Evidence for the Decoupling of Attention from Perceptual Input during Offline Thought. *PLoS ONE*, *6*(3), e18298. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018298>
- Smallwood, J., Davies, J. B., Heim, D., Finnigan, F., Sudberry, M., O'Connor, R., & Obonsawin, M. (2004). Subjective experience and the attentional lapse: Task engagement and disengagement during sustained attention. *Consciousness and Cognition*, *13*(4), 657–690. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.06.003>
- Smallwood, J., Fitzgerald, A., Miles, L. K., & Phillips, L. H. (2009). Shifting Moods, Wandering Minds: Negative Moods Lead the Mind to Wander. *Emotion*, *9*(2), 271–276. <https://doi.org/10.1037/a0014855>
- Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2007). The lights are on but no one's home: Meta-awareness and the decoupling of attention when the mind wanders. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(3), 527–533. <https://doi.org/10.3758/BF03194102>

- Smallwood, J., Nind, L., & O'Connor, R. C. (2009). When is your head at? An exploration of the factors associated with the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and Cognition*, *18*(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.11.004>
- Smallwood, J., & O'Connor, R. C. (2011). Imprisoned by the past: Unhappy moods lead to a retrospective bias to mind wandering. *Cognition & Emotion*, *25*(8), 1481–1490. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.545263>
- Smallwood, J., O'Connor, R. C., Sudberry, M. V., Haskell, C., & Ballantyne, C. (2004). The consequences of encoding information on the maintenance of internally generated images and thoughts: The role of meaning complexes. *Consciousness and Cognition*, *13*(4), 789–820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2004.07.004>
- Smallwood, J., Obonsawin, M., & Heim, D. (2003). Task unrelated thought: The role of distributed processing. *Consciousness and Cognition*, *12*(2), 169–189. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(02\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(02)00003-X)
- Smallwood, J., Riby, L., Heim, D., & Davies, J. B. (2006). Encoding during the attentional lapse: Accuracy of encoding during the semantic sustained attention to response task. *Consciousness and Cognition*, *15*(1), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.03.003>
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, *132*(6), 946–958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2015). The Science of Mind Wandering: Empirically Navigating the Stream of Consciousness. *Annual Review of Psychology*, *66*(1), 487–518. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015331>
- Smallwood, J., Schooler, J. W., Turk, D. J., Cunningham, S. J., Burns, P., & Macrae, C. N. (2011). Self-reflection and the temporal focus of the wandering mind. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.12.017>
- Smeekens, B. A., & Kane, M. J. (2016). Working memory capacity, mind wandering, and creative cognition: An individual-differences investigation into the benefits of controlled versus spontaneous thought. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *10*(4), 389–415. <https://doi.org/10.1037/aca0000046>

- Smith, M. E. (1993). Neurophysiological Manifestations of Recollective Experience during Recognition Memory Judgments. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.1.1>
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1994). Interference in immediate spatial memory. *Memory & Cognition*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.3758/BF03202756>
- Song, X., & Wang, X. (2012). Mind Wandering in Chinese Daily Lives – An Experience Sampling Study. *PLoS ONE*, 7(9), e44423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044423>
- Spelke, E., Hirst, W., & Neisser, U. (1976). Skills of divided attention. *Cognition*, 4(3), 215–230. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(76\)90018-4](https://doi.org/10.1016/0010-0277(76)90018-4)
- Sperduti, M., Armougum, A., Makowski, D., Blondé, P., & Piolino, P. (2017). Interaction between attentional systems and episodic memory encoding: the impact of conflict on binding of information. *Experimental Brain Research*, 235(12), 3553–3560. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5081-6>
- Squire, L. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>
- Squire, L., & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, 253(5026), 1380–1386. <https://doi.org/10.1126/science.1896849>
- Staresina, B. P., & Davachi, L. (2008). Selective and shared contributions of the hippocampus and perirhinal cortex to episodic item and associative encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1478–1489. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20104>
- Stawarczyk, D., Cassol, H., & D'Argembeau, A. (2013). Phenomenology of future-oriented mind-wandering episodes. *Frontiers in Psychology*, 4(JUL), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00425>
- Stawarczyk, D., & D'Argembeau, A. (2016). Conjoint influence of mind-wandering and sleepiness on task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(10), 1587–1600. <https://doi.org/10.1037/xhp0000254>

- Stawarczyk, D., François, C., Wertz, J., & D'Argembeau, A. (2020). Drowsiness or mind-wandering? Fluctuations in ocular parameters during attentional lapses. *Biological Psychology*, *156*(August), 107950. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107950>
- Stawarczyk, D., Majerus, S., Catale, C., & D'Argembeau, A. (2014). Relationships between mind-wandering and attentional control abilities in young adults and adolescents. *Acta Psychologica*, *148*(January 2014), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.007>
- Stawarczyk, D., Majerus, S., & D'Argembeau, A. (2013). Concern-induced negative affect is associated with the occurrence and content of mind-wandering. *Consciousness and Cognition*, *22*(2), 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.01.012>
- Stawarczyk, D., Majerus, S., der Linden, M. Van, & D'Argembeau, A. (2012). Using the daydreaming frequency scale to investigate the relationships between mind-wandering, psychological well-being, and present-moment awareness. *Frontiers in Psychology*, *3*(SEP), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00363>
- Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011). Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience sampling method. *Acta Psychologica*, *136*(3), 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.01.002>
- Stawarczyk, D., Majerus, S., Maquet, P., & D'Argembeau, A. (2011). Neural Correlates of Ongoing Conscious Experience: Both Task-Unrelatedness and Stimulus-Independence Are Related to Default Network Activity. *PLoS ONE*, *6*(2), e16997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016997>
- Steindorf, L., Hammerton, H. A., & Rummel, J. (2020). Mind wandering outside the box—About the role of off-task thoughts and their assessment during creative incubation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. <https://doi.org/10.1037/aca0000373>
- Steyvers, M., & Hemmer, P. (2012). Reconstruction from Memory in Naturalistic Environments. In *Antimicrobial agents and chemotherapy* (Vol. 58, Issue 12, pp. 125–144). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394393-4.00004-2>
- Sturm, W., & Willmes, K. (2001). On the Functional Neuroanatomy of Intrinsic and Phasic Alertness. *NeuroImage*, *14*(1), S76–S84. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0839>

- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Palumbo, C. L., Buckle, L., & et al. (1994). Organizational strategies with unilateral or bilateral frontal lobe injury in word learning tasks. *Neuropsychology*, 8(3), 355–373. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.3.355>
- Szarras, K., & Niedźwieńska, A. (2011). The role of rehearsals in self-generated prospective memory tasks. *International Journal of Psychology*, 46(5), 346–353. <https://doi.org/10.1080/00207594.2011.565342>
- Tamm, L., Narad, M. E., Antonini, T. N., O'Brien, K. M., Hawk, L. W., & Epstein, J. N. (2012). Reaction Time Variability in ADHD: A Review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 500–508. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0138-5>
- Tarnow, E. (2010). Why The Atkinson-Shiffrin Model Was Wrong From The Beginning. *WebmedCentral NEUROLOGY*, 1(10), 1–13.
- Taylor, A. E., Saint-Cyr, J. ., & Lang, A. . (1990). Memory and learning in early Parkinson's disease: Evidence for a "frontal lobe syndrome." *Brain and Cognition*, 13(2), 211–232. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(90\)90051-O](https://doi.org/10.1016/0278-2626(90)90051-O)
- Teasdale, J. D., Dritschel, B. H., Taylor, M. J., Proctor, L., Lloyd, C. A., Nimmo-Smith, I., & Baddeley, A. D. (1995). Stimulus-independent thought depends on central executive resources. *Memory & Cognition*, 23(5), 551–559. <https://doi.org/10.3758/BF03197257>
- Thomson, D. R., Smilek, D., & Besner, D. (2014). On the asymmetric effects of mind-wandering on levels of processing at encoding and retrieval. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 728–733. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0526-9>
- Till, R. E., & Jenkins, J. J. (1973). The effects of cued orienting tasks on the free recall of words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12(5), 489–498. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(73\)80029-5](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(73)80029-5)
- Tombu, M., & Jolicoœur, P. (2003). A Central Capacity Sharing Model of Dual-Task Performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 3–18. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.29.1.3>
- Treisman, A. M. (1964). Selective Attention in Man. *British Medical Bulletin*, 20(1), 12–16. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070274>



- Troyer, A. K., & Craik, F. I. M. (2000). The effect of divided attention on memory for items and their context. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *54*(3), 161–171.  
<https://doi.org/10.1037/h0087338>
- Troyer, A. K., Winocur, G., Craik, F. I. M., & Moscovitch, M. (1999). Source memory and divided attention: Reciprocal costs to primary and secondary tasks. *Neuropsychology*, *13*(4), 467–474. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.13.4.467>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of Memory*, *1*, 381–403.
- Tulving, E. (1985a). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*(4), 385–398. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.4.385>
- Tulving, E. (1985b). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *26*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>
- Tulving, E. (1989). Remembering and knowing the past. *American Scientist*, *77*(4), 361–367.
- Tulving, E. (1993). What Is Episodic Memory? *Current Directions in Psychological Science*, *2*(3), 67–70. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770899>
- Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*, *53*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- Tulving, E., Schacter, D. L., & Stark, H. A. (1982). Priming effects in word-fragment completion are independent of recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *8*(4), 336–342.  
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.4.336>
- Tulving, E., Stuss, D. T., & Tulving, E. (1995). Frontal Lobe Damage Produces Episodic Memory Impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *1*(6), 525–536. <https://doi.org/10.1017/S1355617700000655>
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, *80*(5), 352–373.  
<https://doi.org/10.1037/h0020071>

- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, *28*(2), 127–154. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(89\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0749-596X(89)90040-5)
- Turriziani, P., Fadda, L., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2004). Recognition memory for single items and for associations in amnesic patients. *Neuropsychologia*, *42*(4), 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.10.003>
- Uncapher, M. R., & Rugg, M. D. (2005). Effects of divided attention on fMRI correlates of memory encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(12), 1923–1935. <https://doi.org/10.1162/089892905775008616>
- Unsworth, N., & Brewer, G. A. (2009). Examining the relationships among item recognition, source recognition, and recall from an individual differences perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(6), 1578–1585. <https://doi.org/10.1037/a0017255>
- Unsworth, N., & McMillan, B. D. (2013). Mind wandering and reading comprehension: Examining the roles of working memory capacity, interest, motivation, and topic experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *39*(3), 832–842. <https://doi.org/10.1037/a0029669>
- Unsworth, N., & Robison, M. K. (2016a). The influence of lapses of attention on working memory capacity. *Memory and Cognition*, *44*(2), 188–196. <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0560-0>
- Unsworth, N., & Robison, M. K. (2016b). Pupillary correlates of lapses of sustained attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *16*(4), 601–615. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0417-4>
- Unsworth, N., & Robison, M. K. (2018). Tracking arousal state and mind wandering with pupillometry. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *18*(4), 638–664. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0594-4>
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010). Variation in working memory capacity and episodic recall: The contributions of strategic encoding and contextual retrieval. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(2), 200–205. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.2.200>

- Uzzaman, S., & Joordens, S. (2011). The eyes know what you are thinking: Eye movements as an objective measure of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1882–1886. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.09.010>
- van den Brink, R. L., Murphy, P. R., & Nieuwenhuis, S. (2016). Pupil Diameter Tracks Lapses of Attention. *PLOS ONE*, *11*(10), e0165274. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165274>
- Vannucci, M., Chiorri, C., Nocentini, A., & Menesini, E. (2020). Distinguishing spontaneous from deliberate mind wandering in adolescents: The role of attentional control and depressive symptoms. *British Journal of Developmental Psychology*, *38*(3), 434–441. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12325>
- van Veen, V., & Carter, C. (2002). The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies. *Physiology & Behavior*, *77*(4–5), 477–482. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(02\)00930-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(02)00930-7)
- Varao-Sousa, T. L., & Kingstone, A. (2015). Memory for Lectures: How Lecture Format Impacts the Learning Experience. *PLOS ONE*, *10*(11), e0141587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141587>
- Varao-Sousa, T. L., & Kingstone, A. (2019). Are mind wandering rates an artifact of the probe-caught method? Using self-caught mind wandering in the classroom to test, and reject, this possibility. *Behavior Research Methods*, *51*(1), 235–242. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1073-0>
- Varao-Sousa, T. L., Mills, C., & Kingstone, A. (2019). Where You Are, Not What You See: The Impact of Learning Environment on Mind Wandering and Material Retention. *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 421–425. <https://doi.org/10.1145/3303772.3303824>
- Varao-Sousa, T. L., Smilek, D., & Kingstone, A. (2018). In the lab and in the wild: How distraction and mind wandering affect attention and memory. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *3*(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0137-0>
- Varendonck, J. (1951). The psychology of daydreams. In *Organization and pathology of thought: Selected sources*. (pp. 451–473). Columbia University Press. <https://doi.org/10.1037/10584-022>

- Varma, S., Takashima, A., Fu, L., & Kessels, R. P. C. (2019). Mindwandering propensity modulates episodic memory consolidation. *Aging Clinical and Experimental Research*, *31*(11), 1601–1607. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01251-1>
- Verde, M. F., & Rotello, C. M. (2007). Memory strength and the decision process. *Memory & Cognition*, *35*(2), 254–262.
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, *26*(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Vincent, J. L., Kahn, I., Snyder, A. Z., Raichle, M. E., & Buckner, R. L. (2008). Evidence for a Frontoparietal Control System Revealed by Intrinsic Functional Connectivity. *Journal of Neurophysiology*, *100*(6), 3328–3342. <https://doi.org/10.1152/jn.90355.2008>
- Vingerhoets, G., Vermeule, E., & Santens, P. (2005). Impaired intentional content learning but spared incidental retention of contextual information in non-demented patients with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, *43*(5), 675–681. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.09.003>
- Vinski, M. T., & Watter, S. (2012). Priming honesty reduces subjective bias in self-report measures of mind wandering. *Consciousness and Cognition*, *21*(1), 451–455. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.11.001>
- Wagner, A. D. (1999). Working Memory Contributions Minireview to Human Learning and Remembering episodic memory reflects the recruitment of specific working memory processes in the service of episodic learning and remembering (Buckner and Koutstaal. *Neuron*, *22*, 19–22. [https://www.cell.com/neuron/pdf/S0896-6273\(00\)80674-1.pdf](https://www.cell.com/neuron/pdf/S0896-6273(00)80674-1.pdf)
- Walsh, D. A., & Jenkins, J. J. (1973). Effects of orienting tasks on free recall in incidental learning: “difficulty,” “effort,” and “process” explanations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *12*(5), 481–488. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(73\)80028-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(73)80028-3)

- Wammes, J. D., & Fernandes, M. A. (2016). Interfering with memory for faces: The cost of doing two things at once. *Memory, 24*(2), 184–203. <https://doi.org/10.1080/09658211.2014.998240>
- Wammes, J. D., Seli, P., Cheyne, J. A., Boucher, P. O., & Smilek, D. (2016). Mind wandering during lectures II: Relation to academic performance. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology, 2*(1), 33–48. <https://doi.org/10.1037/stl0000055>
- Wammes, J. D., & Smilek, D. (2017). Examining the Influence of Lecture Format on Degree of Mind Wandering. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 6*(2), 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.01.015>
- Wamsley, E. J. (2019). Memory Consolidation during Waking Rest. *Trends in Cognitive Sciences, 23*(3), 171–173. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.12.007>
- Warden, E. A., Plimpton, B., & Kvavilashvili, L. (2019). Absence of age effects on spontaneous past and future thinking in daily life. *Psychological Research, 83*(4), 727–746. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1103-7>
- Watson, L. A., Berntsen, D., Kuyken, W., & Watkins, E. R. (2013). Involuntary and voluntary autobiographical memory specificity as a function of depression. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 44*(1), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2012.06.001>
- Weinstein, Y. (2018). Mind-wandering, how do I measure thee with probes? Let me count the ways. *Behavior Research Methods, 50*(2), 642–661. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0891-9>
- Weinstein, Y., De Lima, H. J., & van der Zee, T. (2018). Are you mind-wandering, or is your mind on task? The effect of probe framing on mind-wandering reports. *Psychonomic Bulletin and Review, 25*(2), 754–760. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1322-8>
- Welford, A. T. (1959). Evidence of a Single-Channel Decision Mechanism Limiting Performance in a Serial Reaction Task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 11*(4), 193–210. <https://doi.org/10.1080/17470215908416312>
- Westlye, L. T., Grydeland, H., Walhovd, K. B., & Fjell, A. M. (2011). Associations between Regional Cortical Thickness and Attentional Networks as Measured by the

- Attention Network Test. *Cerebral Cortex*, 21(2), 345–356.  
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhq101>
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1), 48–64. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.131.1.48>
- Wickens, C. D. (1991). Processing Resources in Attention. *Multiple-Task Performance*, 61.
- Wiemers, E. A., & Redick, T. S. (2019). The influence of thought probes on performance: Does the mind wander more if you ask it? *Psychonomic Bulletin and Review*, 26(1), 367–373. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1529-3>
- Winocur, G., & Moscovitch, M. (2011). Memory Transformation and Systems Consolidation. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(05), 766–780. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000683>
- Yamaoka, A., & Yukawa, S. (2019). Does Mind Wandering During the Thought Incubation Period Improve Creativity and Worsen Mood? *Psychological Reports*, 003329411989603. <https://doi.org/10.1177/0033294119896039>
- Yamaoka, A., & Yukawa, S. (2020). Mind wandering in creative problem-solving: Relationships with divergent thinking and mental health. *PLoS ONE*, 15(4), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231946>
- Yanko, M. R., & Spalek, T. M. (2014). Driving With the Wandering Mind: The Effect That Mind-Wandering Has on Driving Performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(2), 260–269. <https://doi.org/10.1177/0018720813495280>
- Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(6), 1341–1354. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.6.1341>
- Yonelinas, A. P. (1999). The contribution of recollection and familiarity to recognition and source-memory judgments: A formal dual-process model and an analysis of receiver

- operating characteristics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(6), 1415–1434. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.6.1415>
- Yonelinas, A. P. (2001). Consciousness, control, and confidence: The 3 Cs of recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3), 361–379. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.3.361>
- Yonelinas, A. P. (2002). The Nature of Recollection and Familiarity: A Review of 30 Years of Research. *Journal of Memory and Language*, 46(3), 441–517. <https://doi.org/10.1006/jmla.2002.2864>
- Yonelinas, A. P. (2013). The hippocampus supports high-resolution binding in the service of perception, working memory and long-term memory. *Behavioural Brain Research*, 254, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.05.030>
- Yonelinas, A. P., Dobbins, I., Szymanski, M. D., Dhaliwal, H. S., & King, L. (1996). Signal-Detection, Threshold, and Dual-Process Models of Recognition Memory: ROCs and Conscious Recollection. *Consciousness and Cognition*, 5(4), 418–441. <https://doi.org/10.1006/ccog.1996.0026>
- Yonelinas, A. P., & Levy, B. J. (2002). Dissociating familiarity from recollection in human recognition memory : Different rates of forgetting over short retention intervals. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 575–582.
- Yonelinas, A. P., Ranganath, C., Ekstrom, A. D., & Wiltgen, B. J. (2019). A contextual binding theory of episodic memory: systems consolidation reconsidered. *Nature Reviews Neuroscience*, 20(6), 364–375. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0150-4>
- Yu, S. S., & Rugg, M. D. (2010). Dissociation of the electrophysiological correlates of familiarity strength and item repetition. *Brain Research*, 1320, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.071>
- Zanenko, A. P., Denkova, E., Witkin, J. E., & Jha, A. P. (2020). Experience sampling of the degree of mind wandering distinguishes hidden attentional states. *Cognition*, 205(August), 104380. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104380>
- Zedelius, C. M., & Schooler, J. W. (2015). Mind wandering “Ahas” versus mindful reasoning: alternative routes to creative solutions. *Frontiers in Psychology*, 6(June), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00834>

Zhang, H., Anderson, N. C., & Miller, K. F. (2021). Refixation patterns of mind-wandering during real-world scene perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *47*(1), 36–52. <https://doi.org/10.1037/xhp0000877>





# Matériel supplémentaire

	<i>Mean</i>	<i>Standard deviation</i>
<i>MWQ</i>	4.1	0.64
<i>Negative PANAS</i>	1.29	0.31
<i>Positive PANAS</i>	3.07	0.54
<i>SART Hit score (%)</i>	96.52	2.55
<i>SART accuracy (%)</i>	68.66	12.35
<i>PHQ4 Anxiety score</i>	6.13	2.01
<i>PHQ4 Depression score</i>	4.01	1.94
<i>A posteriori mind wandering score (%)</i>	12.16	12.74
<i>Online mind wandering score</i>	3.13	1.66
<i>A' Linked</i>	1.8	3.79
<i>A' Nonlinked</i>	3.8	6.21
<i>Recognition ratio</i>	0.38	0.2
<i>Remember ratio</i>	0.44	0.37
<i>Know ratio</i>	0.28	0.35
<i>Guess ratio</i>	0.29	0.34
<i>Spatial recognition ratio</i>	0.45	0.33
<i>Temporal estimation (s)</i>	89.44	54.97

**Supplementary Table 1** *Descriptive table of raw data*

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>A posteriori Mind Wandering</i>	95.33	1.84	0.09	3.61

**Supplementary Table 2** *A posteriori mind wandering score predicted by online mind wandering score*

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>A posteriori Mind Wandering</i>	99.38	7.05	2.95	11.80
<i>Online Mind Wandering</i>	63.8	0.13	-0.46	0.72

**Supplementary Table 3** *Mind wandering scores predicted by MWQ score*

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>A posteriori Mind Wandering</i>	96.05	10.11	0.06	19.30
<i>Online Mind Wandering</i>	57.5	-0.15	-1.38	1.21

**Supplementary Table 4** *Mind wandering scores predicted by Negative PANAS score*

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>A posteriori Mind Wandering</i>	73.28	-2.11	-7.80	3.25
<i>Online Mind Wandering</i>	80.78	-0.34	-1.07	0.33

**Supplementary Table 5** *Mind wandering scores predicted by Positive PANAS score*

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>Hit ratio of correct recognitions – linear</i>	95.28	-0.32	-0.6	0.02
<i>Hit ratio of correct recognitions – quadratic</i>	77.25	-0.14	-0.45	0.18
<i>Remember responses ratio – linear</i>	90.78	-0.53	-1.12	0.13
<i>Remember responses ratio – quadratic</i>	97.43	-0.73	-1.36	-0.18
<i>Hit ratio of correct spatial recognitions – linear</i>	90.8	-0.37	-0.81	0.10
<i>Hit ratio of correct spatial recognitions – quadratic</i>	62.98	-0.08	-0.47	0.32
<i>Temporal precision – linear</i>	61.28	11.27	-0.49	71.73
<i>Temporal precision – quadratic</i>	75	24.26	-0.34	85.73

**Supplementary Table 6** Summary table of all memory scores predicted by a posteriori mind wandering score

Factor predicted	<i>MPE</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>
<i>Hit ratio of correct recognitions – linear</i>	89.25	-2.89	-6.55	1.09
<i>Hit ratio of correct recognitions – quadratic</i>	58.40	-0.5	-4.15	3.18
<i>Remember responses ratio – linear</i>	60.13	0.81	-4.24	5.84
<i>Remember responses ratio – quadratic</i>	96.68	-5.44	-11.10	-0.70
<i>Hit ratio of correct spatial recognitions – linear</i>	89.08	4.02	-1.77	9.64
<i>Hit ratio of correct spatial recognitions – quadratic</i>	81.1	-2.61	-7.25	2.71
<i>Temporal precision – linear</i>	60.6	-15.89	-0.01	88.16
<i>Temporal precision – quadratic</i>	59.75	15.13	-0.82	115.37

**Supplementary Table 7** Summary table of all memory scores predicted by online mind wandering score.

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>98.28</b>	-2.82	-4.89	-0.58	0.23
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.18</b>	3.37	0.97	5.47	0.23
<i>Item occurrence (Repeated – Unrepeated)</i>	<b>100</b>	6.05	3.81	8.33	0.23

**Supplementary Table 1** *Linear model predicting the percentage of correct responses between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	0.58	0.50	0.66	0.11
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.5</b>	-0.09	-0.14	-0.03	0.11
<i>Item occurrence (Repeated – Unrepeated)</i>	<b>100</b>	-0.26	-0.33	-0.19	0.11

**Supplementary Table 2** *Linear model predicting response times (z-scores) between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	-1.99	-2.30	-1.67	0.60
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	0.76	0.45	1.07	0.60

**Supplementary Table 3** *Linear model predicting mind wandering scores between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	-2.12	-2.39	-1.83	0.68
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	1.27	0.99	1.54	0.68

**Supplementary Table 4** *Linear model predicting boredom scores between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Boredom</i>	<b>100</b>	0.46	0.28	0.65	0.64
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>99.2</b>	-1.08	-1.73	-0.36	0.64
<i>Block Order (First – Second)</i>	71.18	0.21	-0.45	0.82	0.64

**Supplementary Table 5** *Linear model predicting mean mind wandering with mean boredom score*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Mind wandering</i>	71.25	-0.16	-0.62	0.31	0.22
<i>Working memory load (Low – High)</i>	88	-1.63	-3.85	0.63	0.22
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.7</b>	3.38	1.30	5.32	0.22
<i>Item occurrence (Repeated – Unrepeated)</i>	<b>100</b>	4.85	2.68	6.80	0.22

**Supplementary Table 6** *Linear model predicting the percentage of correct responses with mean mind wandering score*



Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Boredom</i>	77.33	-0.2	-0.62	0.27	0.21
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>98.08</b>	-2.78	-4.80	-0.58	0.21
<i>Block Order (First – Second)</i>	94.13	1.92	-0.25	3.81	0.21
<i>Item occurrence (Repeated – Unrepeated)</i>	<b>100</b>	4.93	3.01	6.91	0.21

**Supplementary Table 7** *Linear model predicting the percentage of correct responses with mean boredom score*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>99.93</b>	10.24	5.56	15.12	0.61
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.63</b>	8.28	3.51	13.14	0.61

**Supplementary Table 8** *Linear model predicting mean item recognition between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>99.98</b>	15.24	7.66	22.21	0.25
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>97.33</b>	8.46	1.33	15.88	0.25

**Supplementary Table 9** *Linear model predicting mean context recognition between low and high working memory load conditions*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Reaction Time (z-score)</i>	64.8	0.03	-0.08	0.13	0.21
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	0.79	0.44	1.10	0.21
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	0.59	0.40	0.81	0.21

**Supplementary Table 10** Logistic model predicting the probability of a correct recognition for an item with the reaction time at encoding

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Reaction Time (z-score)</i>	<b>97.95</b>	0.13	0.03	0.24	0.11
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	0.86	0.61	1.07	0.11
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	0.47	0.27	0.67	0.11

**Supplementary Table 11** Logistic model predicting the probability of a correct context recognition of an item with the reaction time at encoding

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Mind wandering</i>	<b>99.98</b>	-0.30	-0.45	-0.14	0.28
<i>Working memory load (Low – High)</i>	53.63	0.03	-0.70	0.85	0.28
<i>Block Order (First – Second)</i>	90.75	0.53	-0.11	1.22	0.28

**Supplementary Table 12** Logistic model predicting the probability of a correct recognition of an item with the mind wandering score to the following probe

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Mind wandering</i>	96.68	-0.18	-0.35	-0.01	0.33
<i>Reaction Time (z-score)</i>	80.73	0.19	-0.18	0.55	0.33
<i>Working memory load (Low – High)</i>	90.70	0.68	-0.26	1.57	0.33
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>97.13</b>	0.84	0.10	1.58	0.33

**Supplementary Table 13** Logistic model predicting the probability of a correct context recognition of an item with the mind wandering score to the following probe

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Boredom</i>	<b>98.38</b>	-0.19	-0.35	-0.03	0.30
<i>Working memory load (Low – High)</i>	80.15	0.42	-0.39	1.24	0.30
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.9</b>	1.22	0.54	1.97	0.30

**Supplementary Table 14** Logistic model predicting the probability of a correct recognition of an item with the boredom score to the following probe

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Boredom</i>	74.43	-0.06	-0.21	0.09	0.21
<i>Reaction Time (z-score)</i>	55.35	-0.03	-0.39	0.30	0.21
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>99.83</b>	1.31	0.53	2.21	0.21
<i>Block Order (First – Second)</i>	96.9	0.76	0.03	1.46	0.21

**Supplementary Table 15** Logistic model predicting the probability of a correct context recognition of an item with the boredom score to the following probe

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Mind Wandering</i>	<b>99.8</b>	-3.36	-5.1	-1.5	0.67
<i>Boredom</i>	67.13	-0.46	-2.03	1.41	0.67
<i>Working memory load (Low – High)</i>	76.08	2.43	-3.29	8.41	0.67
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.98</b>	11.45	6.44	16.06	0.67

**Supplementary Table 16** Complete model including mind wandering, boredom and working memory load as predictors for item recognition

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Mind Wandering</i>	<b>100</b>	-3.59	-5.34	-2.14	0.68
<i>Working memory load (Low – High)</i>	81.23	2.92	-2.64	8.27	0.68
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.98</b>	11.11	6.93	15.98	0.68

**Supplementary Table 17** Reduced model including mind wandering and working memory load as predictors for item recognition

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Boredom</i>	<b>97.68</b>	-1.94	-3.57	-0.39	0.61
<i>Working memory load (Low – High)</i>	95.10	6.00	-0.04	11.72	0.61
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.90</b>	10.61	5.92	15.93	0.61

**Supplementary Table 18** Reduced model including boredom and working memory load as predictors for item recognition

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>99.93</b>	10.24	5.56	15.12	0.61
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>99.63</b>	8.28	3.51	13.14	0.61

**Supplementary Table 19** *Base model including working memory load as predictor for item recognition*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>HR</i>	71.48	-0.01	-0.04	0.02	0.62
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	-1.96	-2.32	-1.62	0.62
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	0.73	0.40	1.04	0.62

**Supplementary Table 20** *Linear model predicting mind wandering score with the mean HR measured 15s before the probe*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>HR</i>	<b>99.5</b>	-0.05	-0.09	-0.02	0.69
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	-2.03	-2.31	-1.74	0.69
<i>Block Order (First – Second)</i>	<b>100</b>	1.17	0.89	1.45	0.69

**Supplementary Table 21** *Linear model predicting boredom score with the mean HR measured 15s before the probe*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>SCR peaks</i>	80.95	-0.22	-0.65	0.18	0.52
<i>Working memory load (Low – High)</i>	<b>100</b>	-1.84	-2.43	-1.27	0.52
<i>Block Order (First – Second)</i>	95.08	0.57	0.01	1.12	0.52

**Supplementary Table 22** *Linear model predicting mind wandering score with the mean number of SCR peaks measured 15s before the probe*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
SCR peaks	74.38	-0.16	-0.56	0.24	0.67
Working memory load (Low – High)	<b>100</b>	-1.98	-2.44	-1.48	0.67
Block Order (First – Second)	<b>100</b>	1.20	0.75	1.65	0.67

**Supplementary Table 23** *Linear model predicting boredom score with the mean number of SCR peaks measured 15s before the probe*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Task response</i> ( <i>incorrect – correct</i> )	90.48	-0.29	-0.63	0.08	32	0.51

**Supplementary Table 1** *Linear model predicting the mind wandering score with the task response to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Response time</i>	<b>99.25</b>	2.52e-04	0	0.00	100	0.51

**Supplementary Table 2** *Linear model predicting the mind wandering score with the response time to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Task response</i> ( <i>incorrect – correct</i> )	<b>96.33</b>	0.21	0.01	0.38	39.32	0.24

**Supplementary Table 3** *Linear model predicting the probability of a correct recognition with the task response to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Response time</i>	81.47	-4.67e-05	0.00	0.00	100	0.24

**Supplementary Table 4** *Linear model predicting the probability of a correct recognition with the response time to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Task response (incorrect – correct)</i>	90.18	0.66	-0.20	1.50	12.12	0.42

**Supplementary Table 5** *Linear model predicting the probability of a Remember response with the task response to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Response time</i>	94.97	-6.45e-04	0.00	0.00	100	0.41

**Supplementary Table 6** *Linear model predicting the probability of a Remember response with the response time to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Task response (incorrect – correct)</i>	66.25	-0.06	-0.27	0.18	74.83	0.09

**Supplementary Table 7** *Linear model predicting the probability of a correct binding with the task response to the preceding trial*



Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Response time</i>	<b>92.45</b>	9.74e-05	0.00	0.00	100	0.09

**Supplementary Table 8** *Linear model predicting the probability of a correct binding with the response time to the preceding trial*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Attentional focus</i> ( <i>Attended – Unattended</i> )	<b>100</b>	-34.2	-36.87	-31.65	0	0.84

**Supplementary Table 9** *Linear model predicting the percentage of correct recognitions between attended and unattended words*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Attentional focus</i> ( <i>Attended – Unattended</i> )	<b>100</b>	0.58	0.50	0.66	0.05	0.27

**Supplementary Table 10** *Linear model predicting the rate of remember responses between attended and unattended correctly recognized words*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>Attentional focus</i> ( <i>Attended – Unattended</i> )	<b>100</b>	-21.92	-24.12	-19.74	0	0.66

**Supplementary Table 11** *Linear model predicting the mean percentage of correct binding between attended and unattended correctly recognized words*

MATÉRIEL SUPPLÉMENTAIRE (BLONDÉ ET AL. IN PREP)

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i> <i>ROPE</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<i>Attended &amp; Yes Sure –</i>	<b>100</b>	0.26	0.21	0.33	1.09	0.5
<i>Unattended &amp; Yes Sure</i>						
<i>Attended &amp; Yes Not Sure –</i>	<b>99.5</b>	0.07	0.02	0.13	80.25	0.5
<i>Unattended &amp; Yes Not Sure</i>						
<i>Attended &amp; No Sure –</i>	<b>100</b>	-0.14	-0.2	-0.07	13.43	0.5
<i>Unattended &amp; No Sure</i>						
<i>Attended &amp; No Not Sure –</i>	<b>100</b>	-0.21	-0.26	-0.15	0	0.5
<i>Unattended &amp; No Not Sure</i>						
<i>Attended &amp; Yes Sure –</i>	<b>100</b>	0.27	0.20	0.34	0	0.5
<i>Distractor &amp; Yes Sure</i>						
<i>Attended &amp; Yes Not Sure –</i>	<b>99.95</b>	0.10	0.04	0.16	53.10	0.5
<i>Distractor &amp; Yes Not Sure</i>						
<i>Attended &amp; No Sure –</i>	<b>100</b>	-0.18	-0.25	-0.12	0.78	0.5
<i>Distractor &amp; No Sure</i>						
<i>Attended &amp; No Not Sure –</i>	<b>100</b>	-0.21	-0.27	-0.16	0.02	0.5
<i>Distractor &amp; No Not Sure</i>						
<i>Unattended &amp; Yes Sure –</i>	57.35	-6.17e <sup>-03</sup>	-0.07	0.06	99.52	0.5
<i>Distractor &amp; Yes Sure</i>						
<i>Unattended &amp; Yes Not Sure –</i>	77.85	-0.02	-0.08	0.03	99.45	0.5
<i>Distractor &amp; Yes Not Sure</i>						
<i>Unattended &amp; No Sure –</i>	90.75	0.04	-0.02	0.10	96.28	0.5
<i>Distractor &amp; No Sure</i>						

<i>Unattended &amp; No Not Sure – Distractor &amp; No Not Sure</i>	59.6	6.92e <sup>-03</sup>	-0.05	0.06	99.9	0.5
--	------	----------------------	-------	------	------	-----

**Supplementary Table 12** *Contrasts of the linear model predicting the mean percentage of response with the response type and the attentional focus*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Mind wandering</i>	<b>96.08</b>	0.09	0.01	0.17	96	0.23
<i>Task response (incorrect – correct)</i>	70.08	-0.18	-0.7	0.4	34.65	0.23

**Supplementary Table 13** *Logistic model predicting the probability of correctly recognizing a word based on the mind wandering score associated at encoding*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Mind wandering</i>	<b>99.45</b>	0.21	0.08	0.36	35.43	0.38

**Supplementary Table 14** *Logistic model predicting the probability of having a R answer to a recognized word based on the mind wandering score associated at encoding*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in ROPE</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>Mind wandering</i>	53.83	-4.87e <sup>-03</sup>	-0.09	0.09	99.85	0.10

**Supplementary Table 15** *Logistic model predicting the probability of having a correct binding associated to a recognized word based on the mind wandering score associated at encoding*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>TRT - SDT</i>	<b>99.65</b>	19.61	7.51	31.25	1.15	0.10
<i>TRT - SIT</i>	85.30	6.64	-3.39	16.7	21.68	0.10
<i>SDT - SIT</i>	93.77	-12.91	-29.64	2.68	0.38	0.10

**Supplementary Table 16** *Contrasts of the linear model predicting the rate of correct responses between TRT, SDT and SIT*

Predictor	<i>Pd</i>	<i>Median</i>	<i>CI lower</i>	<i>CI higher</i>	<i>% in</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
<i>ROPE</i>						
<i>TRT - SDT</i>	50.32	0.10	-16.07	16.86	30.5	0.08
<i>TRT - SIT</i>	71.25	-5.15	-18.86	9.5	30.3	0.08
<i>SDT - SIT</i>	67.42	-5.15	-27.01	18.18	0.7	0.08

**Supplementary Table 17** *Contrasts of the linear model predicting the rate of remember responses between TRT, SDT and SIT*