

L'ordre sériel en mémoire de travail

Auteur : Blondel, Mathieu

Promoteur(s) : Majerus, Steve

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/27760>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education

L'ordre sériel en mémoire de travail

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Master en
Sciences Psychologiques, à finalité spécialisée**

Blondel Mathieu

Promoteur : Steve Majerus

Superviseur : Robin Remouchamps

Lecteur / Lectrice :

Monsieur David Stawarczyk

Madame Fabienne Collette

Année académique : 2025-2026

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur, le professeur Steve Majerus, pour son suivi, son aide et sa présence tout au long de la réalisation de ce projet.

Je tiens également à remercier mon superviseur, le doctorant Robin Remouchamps, pour sa supervision, sa disponibilité, sa présence et nos nombreux échanges tout au long de ce travail.

Un grand merci également à l'ensemble des professeurs pour les connaissances et les savoirs transmis dans le cadre de mes études. Ceux-ci ont grandement contribué à développer ma curiosité intellectuelle, tout en me permettant d'améliorer mon esprit critique.

Je remercie également mes lecteurs, Monsieur David Stawarczyk et Madame Fabienne Collette, pour le temps consacré à la lecture de ce document.

Enfin, une pensée particulière pour les membres de ma famille ainsi que pour mes proches, qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de ces années d'études, ainsi que durant la rédaction de ce mémoire.

Table des matières

1	Introduction	1
1.a	La mémoire de travail	1
1.b	Le problème de l'ordre sériel	3
1.c	Résumé des différentes théories proposées dans la littérature.....	4
1.d	La théorie du chaînage	6
1.d.i	Les données en faveur de la théorie du chaînage.....	6
1.d.ii	Les données en défaveur de la théorie du chaînage	8
1.e	La théorie positionnelle	10
1.e.i.A	Les données en faveur de la théorie positionnelle	11
1.e.i.B	Les données en défaveur de la théorie positionnelle	13
2	Objectifs et hypothèses.....	15
3	Méthodologie.....	17
3.a	Participants.....	17
3.b	Matériel.....	19
3.c	Méthode	20
3.c.i	Générale	20
3.c.ii	Tâche de mémoire de travail	22
3.c.iii	Condition chaining.....	23
3.c.iv	Condition Position	25
3.c.v	Condition contrôle.....	26
3.d	Analyse statistique	27
3.e	Résultats	28
3.e.i	Analyse des effets expérimentaux sur l'exactitude des réponses à la tâche de mémoire de travail 29	
3.e.ii	Analyse des effets expérimentaux sur les temps de réactions à la tâche de mémoire de travail (données brutes)	30
3.e.iii	Analyse des effets expérimentaux sur les temps de réactions à la tâche de mémoire de travail avec nettoyage MAD.....	35
4	Discussion	37
5	Limites	41
6	Perspectives futures	42
7	BIBLIOGRAPHIE	44
8	Annexe	56
8.a	Annexe A : Stabilisation séquentielle des temps de réactions pour les données brutes .	56
8.b	Annexe B : Stabilisation séquentielle pour les données nettoyées MAD	57

8.c	Annexe C : Grille d'utilisation des intelligences artificielles.....	59
------------	---	-----------

Introduction générale

La mémoire de travail constitue l'une des fonctions cognitives essentielles au fonctionnement quotidien. Elle nous permet de retenir temporairement des informations, de les maintenir actives et de les manipuler afin de réaliser une tâche. Cette capacité intervient dans de nombreuses activités telles que le raisonnement, l'apprentissage, la compréhension du langage, la planification ou encore la résolution de problèmes. Elle entretient également des liens étroits avec d'autres fonctions cognitives, notamment l'intelligence fluide.

Parmi les différents processus impliqués dans la mémoire de travail, le maintien de l'ordre sériel occupe une place centrale. En effet, de nombreuses activités nécessitent non seulement de retenir les informations, mais également de préserver leur ordre d'apparition. Que ce soit pour comprendre une phrase, effectuer un calcul ou exécuter une suite d'actions, la capacité à représenter correctement l'ordre des éléments est indispensable.

Malgré son importance, les mécanismes cognitifs responsables du maintien de l'ordre sériel restent débattus. Deux grandes propositions théoriques dominent actuellement la littérature : la théorie du chaînage, qui suppose que les éléments sont reliés entre eux par des associations successives, et la théorie positionnelle, selon laquelle chaque information est associée à une position spécifique au sein de la séquence. Ces deux approches permettent d'expliquer plusieurs observations comportementales, tout en formulant des prédictions différentes.

L'objectif de ce mémoire est de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans le maintien de l'ordre sériel en mémoire de travail en confrontant expérimentalement ces deux propositions théoriques.

1 Introduction

1.a La mémoire de travail

La mémoire de travail peut être définie comme la capacité à maintenir et à manipuler temporairement des informations afin de réaliser une tâche (Baddeley, 2012 ; Baddeley & Hitch, 1974). Elle constitue une fonction cognitive complexe, impliquée dans de nombreuses activités de la vie quotidienne. Elle intervient notamment dans le suivi d'une conversation, la

réalisation d'actions nécessitant plusieurs étapes successives, comme la conduite automobile, ou encore dans différentes situations d'apprentissage. La mémoire de travail joue également un rôle important dans l'apprentissage du langage, notamment à travers les processus impliqués dans le traitement sériel, tels que la décomposition des graphèmes ou l'organisation temporelle des informations linguistiques. Elle intervient également dans la réalisation de calculs, la réussite académique, les capacités d'apprentissage et l'intelligence fluide (Andersson, 2008 ; Archibald, 2017 ; Vernucci et al., 2021 ; Giofrè et al., 2017). Afin de proposer une explication du fonctionnement de la mémoire de travail, Baddeley et Hitch (1974) ont proposé un modèle comprenant initialement trois composantes : la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et l'administrateur central. Ce modèle a ensuite été complété par l'ajout du buffer épisodique (Baddeley, 2000). Toutefois, bien que ce modèle ait largement contribué à la compréhension de la mémoire de travail, il ne permet pas à lui seul de rendre compte de l'ensemble de sa complexité. D'autres modèles théoriques ont donc été proposés afin d'intégrer les connaissances actuelles sur son fonctionnement, comme le modèle A-O-STM (Attentional–Order–Short-Term Memory) de Majerus et Poncelet (2009). Ce modèle propose une conception intégrative de la mémoire de travail en distinguant plusieurs niveaux de traitement impliqués dans le maintien temporaire de l'information. Il considère notamment trois composantes principales. Premièrement, une composante attentionnelle est nécessaire afin de maintenir l'attention sur les informations pertinentes et permettre leur maintien en mémoire de travail. Deuxièmement, pour le matériel verbal, les connaissances langagières interviennent à travers un accès aux représentations stockées en mémoire à long terme, comprenant notamment les connaissances sémantiques et lexicales, ainsi que les représentations phonologiques lexicales (pour les mots connus) et sous-lexicales (pour le traitement des sons et des non-mots). Enfin, ce modèle inclut une composante spécifique au traitement sériel de l'information.

Les capacités liées au traitement de l'ordre semblent en effet constituer une dimension essentielle de la mémoire de travail et pourraient impliquer des processus partiellement distincts des mécanismes de maintien des items eux-mêmes (informations brutes). Dans de nombreuses situations cognitives, l'utilisation de la mémoire de travail repose conjointement sur le maintien des informations individuelles et sur leur organisation séquentielle. Par exemple, la compréhension d'un dialogue dépend non seulement des informations présentes, mais également de leur agencement temporel et syntaxique. De même, les compétences

arithmétiques reposent à la fois sur la manipulation d'informations individuelles, telles que les nombres et les opérateurs, et sur leur organisation séquentielle permettant de réaliser correctement une opération. Le traitement de l'ordre sériel joue également un rôle central dans l'apprentissage du langage au cours du développement (Archibald, 2017). La capacité à retenir et organiser successivement les sons, les mots et les structures linguistiques constitue une étape essentielle dans l'acquisition du langage. Ces processus liés à l'ordre sériel font donc aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant dans la littérature scientifique, avec l'émergence de différentes propositions théoriques visant à expliquer les mécanismes sous-jacents. L'objectif de ce travail est ainsi de contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans le maintien et le traitement de l'ordre sériel en mémoire de travail.

1.b Le problème de l'ordre sériel

Lorsque nous composons un numéro de téléphone ou suivons une recette de cuisine, nous devons mémoriser non seulement les informations individuelles, telles que les chiffres ou les ingrédients, mais également leur ordre de présentation. Sans la conservation de cette organisation séquentielle, nous risquerions par exemple de composer un mauvais numéro de téléphone ou de ne pas réaliser correctement les différentes étapes d'une recette. Il est en effet nécessaire de retenir deux types d'informations : le numéro (ou l'ingrédient) mais également sa représentation ordinale dans une séquence donnée. Malgré l'importance du traitement de l'ordre dans de nombreuses activités cognitives, les mécanismes permettant l'encodage et le maintien de l'ordre sériel en mémoire de travail restent aujourd'hui débattus. Plusieurs propositions théoriques ont ainsi été développées afin d'expliquer la manière dont les informations séquentielles sont représentées et récupérées. Dans cette introduction, nous nous intéresserons plus particulièrement à deux grandes approches théoriques : les modèles reposant sur un traitement de type relationnel (« chaining ») et les modèles reposant sur un traitement de type positionnel. Nous présenterons les principaux arguments empiriques soutenant ou questionnant chacune de ces approches. L'objectif de ce travail est de confronter ces différentes propositions théoriques à travers une manipulation expérimentale visant à tester leurs prédictions comportementales. Nous allons dans un premier temps présenter brièvement les principales théories proposées pour expliquer l'encodage de l'ordre sériel, avant d'approfondir leurs mécanismes et leurs prédictions respectives.

1.c Résumé des différentes théories proposées dans la littérature

La première théorie considérée dans le cadre de ce mémoire concerne la théorie du chaînage. Selon cette approche, le maintien de l'ordre sériel repose sur un traitement associatif entre les différents items d'une séquence. Chaque élément fournit ainsi un indice permettant de retrouver les items qui lui sont associés dans la séquence (Costa & Garcia-Marques, 2006 ; Henson, 1998 ; Kalm & Norris, 2014 ; Lashley, 1951 ; Marshuetz, 2005 ; Murdock, 1995). Dans cette perspective, les items ne sont pas nécessairement associés à une position spécifique, mais plutôt reliés entre eux par des associations successives. Par exemple, si nous devons retenir une liste composée des éléments suivants : Banane ; Voiture ; Pomme ; Vélo, le modèle du chaînage suppose que Banane est associée à Voiture, Voiture à Pomme, et Pomme à Vélo. La récupération de la séquence s'effectuerait alors progressivement, chaque élément servant d'indice pour retrouver l'élément suivant, selon un fonctionnement comparable à un effet domino.

La seconde grande approche concerne la théorie positionnelle. Selon cette théorie, le maintien de l'ordre repose sur l'association entre chaque item et une représentation de sa position dans la séquence, ces deux éléments étant considérés comme des représentations distinctes (Costa & Garcia-Marques, 2006 ; Henson, 1998 ; Kalm & Norris, 2014 ; Marshuetz, 2005). Ainsi, dans une liste composée des éléments suivants : Éléphant ; Arbre ; Costume ; Livre, chaque item pourrait être associé à une position spécifique : Éléphant à la première position, Arbre à la deuxième, et ainsi de suite. Toutefois, la position peut être représentée de différentes manières. Elle peut notamment être encodée de manière absolue, c'est-à-dire en référence à une position fixe dans la séquence, ou de manière relative, en fonction des relations entre les éléments de la liste. Le modèle « start-end » proposé par Henson (1998) constitue un exemple de représentation positionnelle relative, dans laquelle les items sont codés en fonction de leur proximité avec le début ou la fin de la séquence.

Dans les modèles positionnels, l'association entre un item et sa position nécessite l'utilisation d'un signal ou d'un marqueur permettant cette correspondance. Cependant, la nature exacte de ce signal reste encore débattue dans la littérature. Différents mécanismes ont ainsi été proposés afin d'expliquer comment une position peut être représentée en mémoire.

Parmi ces propositions figure notamment le modèle du gradient de primauté proposé par Page et Norris (1998). Selon cette approche, les items sont encodés selon différents niveaux d'activation, avec une diminution progressive de la force d'activation au cours de la séquence. Les premiers éléments bénéficieraient ainsi d'un niveau d'activation plus élevé que les éléments ultérieurs. La récupération de l'ordre s'effectuerait en sélectionnant successivement l'item présentant le niveau d'activation le plus élevé, puis en le retirant du système mnésique avant de sélectionner le suivant.

D'autres propositions concernent également un marqueur de type temporel, qui suggère que l'ordre sériel pourrait être représenté grâce à des contextes dynamiques évoluant au cours du temps (Brown et al., 2000 ; Hurlstone et al., 2014 ; Magro et al., 2022). Une autre approche propose un rôle de l'attention spatiale, selon laquelle l'ordre pourrait être représenté dans une représentation mentale spatialisée, parfois décrite comme un « tableau blanc mental » (Abrahamse et al., 2014). Dans cette perspective, une séquence pourrait être organisée selon différentes dimensions spatiales internes, telles qu'une organisation de gauche à droite ou de haut en bas.

Ainsi, cette première présentation permet de distinguer deux grandes familles théoriques concernant l'encodage de l'ordre sériel : les modèles reposant sur un traitement relationnel entre les items (chaînage) et les modèles reposant sur une représentation positionnelle. Dans le cadre de ce mémoire, l'objectif n'est toutefois pas de déterminer la nature précise du code positionnel utilisé, mais plutôt de confronter ces deux grandes propositions théoriques. Afin de comprendre les raisons motivant cette comparaison, il est nécessaire d'examiner les différentes observations qui peuvent être de nature comportementales, cérébral ou psychophysologique utilisées pour évaluer les modèles de l'ordre sériel. La pertinence d'une théorie dépend notamment de sa capacité à expliquer et prédire les phénomènes observés lors des tâches impliquant un traitement séquentiel.

Parmi ces observations comportementales, figure notamment l'effet de position sérielle décrit par Sternberg (1967), qui met en évidence une variation des temps de réaction lors de la récupération des items en fonction de leur position dans la séquence (Marshuetz, 2005 ; Sternberg, 1967). Les erreurs produites lors des tâches de rappel sériel constituent également une source d'information importante. Les erreurs de transposition, correspondant au rappel

d'éléments corrects mais dans une position incorrecte, permettent notamment d'étudier la manière dont l'ordre est représenté en mémoire (Brown et al., 2000 ; Hurlstone et al., 2014 ; Logan, 2021 ; Marshuetz, 2005). Un autre phénomène central concerne l'effet de distance. Celui-ci correspond au fait que la discrimination ou la récupération entre deux éléments proches dans une séquence est généralement plus difficile et plus lente que lorsqu'ils sont séparés par une distance plus importante (Abrahamse et al., 2014 ; Brown et al., 2007 ; Marshuetz, 2005 ; Zhou et al., 2021). Cet effet sera particulièrement important dans le cadre du présent mémoire. D'autres observations comportementales contribuent également à l'étude de l'ordre sériel, telles que les effets de primauté et de récence, correspondant à une meilleure récupération des éléments situés au début et à la fin d'une séquence (Cheng et al., 2020 ; Hartley et al., 2016 ; Page & Norris, 1998), ou encore l'effet de similarité phonologique, selon lequel les séquences composées d'items phonologiquement proches sont plus difficiles à rappeler que celles composées d'items distincts (Hartley et al., 2016 ; Henson et al., 1996 ; Page & Norris, 1998). Enfin, certaines approches utilisent également des mesures complémentaires, telles que les techniques d'imagerie cérébrale ou les mesures psychophysiologiques, afin d'étudier les mécanismes impliqués dans le traitement de l'ordre sériel. Historiquement, la théorie du chaînage a été largement discutée et critiquée, notamment parce qu'elle ne permettait pas d'expliquer certains résultats expérimentaux importants. Toutefois, le développement de nouveaux modèles a récemment conduit à un regain d'intérêt pour cette approche, en proposant des mécanismes permettant de répondre à certaines limites initialement identifiées.

1.d La théorie du chaînage

1.d.i Les données en faveur de la théorie du chaînage

Données comportementales :

Nous débutons par l'examen des données expérimentales soutenant la théorie du chaînage. Cette approche permet notamment d'expliquer certains aspects de l'effet de position sérielle. En effet, l'augmentation du temps nécessaire pour récupérer des éléments éloignés dans une séquence peut être interprétée comme la conséquence d'un parcours progressif des associations entre les différents items de la chaîne (Marshuetz, 2005). Ainsi, retrouver un élément éloigné nécessiterait de traverser plusieurs associations successives avant d'accéder à l'information recherchée. Au-delà du modèle de chaînage simple, plusieurs

modèles plus complexes reposant sur une logique associative ont été proposés. Parmi ceux-ci, le modèle TODAM (« Theory of Distributed Associative Memory »), proposé par Lewandowsky et Murdock (1989), constitue une évolution importante de cette approche. Contrairement au chaînage simple, dans lequel chaque item est uniquement associé à son voisin immédiat, le modèle TODAM repose sur un système de mémoire associative distribuée dans lequel chaque élément peut être associé aux autres éléments de la séquence. Cette architecture permet notamment d'expliquer plusieurs phénomènes observés dans les tâches d'ordre sériel, comme les effets de primauté et de récence (Hurlstone et al., 2014 ; Lewandowsky & Murdock, 1989).

Plus récemment, Logan (2021) a proposé un nouveau modèle fondé sur une logique relationnelle : le modèle CRU (« Context Retrieval and Updating »). Contrairement aux modèles de chaînage classiques reposant sur une association directe entre les items, le modèle CRU propose que les éléments soient associés à un contexte évolutif lors de leur encodage (Logan, 2021 ; Osth & Hurlstone, 2023). Le contexte correspond ici aux informations entourant l'encodage d'un élément mnésique. Par exemple, lorsqu'une information est mémorisée, celle-ci est associée à un environnement physique particulier, ainsi qu'à un moment précis dans le temps. Lohnas et ses collaborateurs (2015) illustrent cette notion à travers la mémoire épisodique : le souvenir d'un événement, comme la récupération d'un diplôme, peut être associé au lieu, à la période et aux circonstances dans lesquelles celui-ci s'est produit.

Dans le modèle CRU, Logan propose cependant un contexte principalement temporel, évoluant progressivement au cours de la présentation d'une séquence. Ce contexte est dynamique, cumulatif et continuellement mis à jour. Prenons l'exemple d'une séquence composée des lettres suivantes : « Y P U G H ». Lors de la présentation de la première lettre Y, celle-ci est associée au contexte initial, noté C' . Cette association entre le contexte et l'item (« $C' + Y$ ») est ensuite stockée en mémoire. Lors de la présentation de la lettre suivante P, le contexte est actualisé afin d'intégrer l'information précédemment encodée, produisant un nouveau contexte (« $C' + Y + P$ »), lui-même associé à l'item P. Ce processus se poursuit pour chaque nouvel élément présenté jusqu'à la fin de la séquence. Lors de la récupération, le modèle compare le contexte actuel avec les différents contextes enregistrés en mémoire. Afin de retrouver le premier élément, le système sélectionne le contexte le plus similaire au contexte initial, correspondant ici à « $C' + Y$ », permettant ainsi de récupérer la lettre Y. Le contexte de récupération est ensuite mis à jour en intégrant l'élément retrouvé (« $C' + Y$ »),

permettant de rechercher l'élément suivant grâce à la comparaison avec les contextes stockés (« C' + Y + P », etc.). Ce processus se poursuit jusqu'à la récupération complète de la séquence.

Le modèle CRU permet ainsi d'expliquer plusieurs observations comportementales associées à l'ordre sériel, notamment les effets de primauté et de récence, l'effet de longueur des séquences ainsi que les erreurs de transposition (Logan, 2021). Plus récemment, Osth et ses collaborateurs ont également montré, à travers des simulations du modèle CRU, que celui-ci pouvait reproduire les résultats obtenus dans les séquences mixtes composées d'items phonologiquement similaires et dissimilaires (Osth & Hurlstone, 2023). Ces séquences présentent généralement un profil d'erreurs en « dent de scie », avec davantage d'erreurs pour les items phonologiquement similaires que pour les items distincts (Henson et al., 1996 ; Osth & Hurlstone, 2023). Cette observation constitue un résultat particulièrement important pour les modèles de chaînage. Historiquement, l'incapacité à expliquer ce type de phénomène représentait effectivement une limite majeure attribuée aux approches relationnelles de l'ordre sériel (Henson et al., 1996 ; Osth & Hurlstone, 2023). Les modèles récents, tels que le CRU, ont cependant permis de répondre à certaines de ces critiques en proposant une architecture associative plus flexible.

1.d.ii Les données en défaveur de la théorie du chaînage

Données comportementales :

Nous allons maintenant aborder les observations qui ont historiquement constitué des limites pour la théorie du chaînage. Certaines données expérimentales semblent en effet difficilement compatibles avec les versions simples de cette approche, notamment lorsque les associations entre items sont considérées comme le principal mécanisme permettant le maintien et la récupération de l'ordre sériel.

Un premier argument concerne l'effet de distance. Dans un modèle de chaînage simple, l'existence d'associations fortes entre des items successifs devrait théoriquement faciliter la récupération des éléments proches dans une séquence. Ainsi, retrouver un item devrait être plus rapide lorsque l'élément recherché lui est directement associé. Prenons l'exemple d'une séquence composée des éléments suivants : voiture ; guitare ; livre ; maison. Si l'item « guitare » est fortement associé à « livre », la récupération de « guitare » devrait faciliter l'accès à « livre ». Pourtant, les observations classiques montrent généralement un effet opposé, avec

une récupération plus difficile et plus lente lorsque les éléments sont proches dans la séquence (Abrahamse et al., 2014 ; Marshuetz, 2005 ; Zhou et al., 2021).

Cependant, des travaux récents invitent à nuancer cette interprétation en mettant en évidence un effet de distance inverse (Attout et al., 2022 ; Dewulf et al., 2024). Celui-ci correspond à des performances meilleures pour les éléments proches, particulièrement pour les items adjacents (distance 1). Contrairement à l'effet de distance classique, cet effet est compatible avec une conception associative de l'ordre sériel, puisque les éléments directement liés pourraient être récupérés plus facilement. Initialement observé dans les tâches de jugement de magnitude numérique, cet effet a également été rapporté dans des tâches de jugement d'ordre sériel en mémoire de travail (Attout et al., 2022 ; Dewulf et al., 2024). Les différences entre les résultats antérieurs et ces observations récentes pourraient notamment s'expliquer par des différences méthodologiques, telles que les analyses utilisées ou l'absence d'examen spécifique des items adjacents (Attout et al., 2022).

Une seconde critique importante concerne l'absence apparente de propagation systématique des erreurs lors de la récupération. Dans une conception associative simple, une erreur sur un item pourrait théoriquement entraîner une succession d'erreurs, puisque chaque élément sert d'indice pour retrouver l'élément suivant. Par exemple, si un item est mal récupéré, les associations suivantes pourraient être perturbées et conduire à une récupération incorrecte des éléments ultérieurs (Abrahamse et al., 2014 ; Henson, 1998 ; Marshuetz, 2005 ; Murdock, 1995). Toutefois, les observations expérimentales montrent qu'une erreur isolée n'empêche pas nécessairement la récupération correcte des éléments suivants. Cette absence de propagation systématique constitue une difficulté pour les modèles de chaînage simples. Néanmoins, certains modèles associatifs plus complexes, comme TODAM, permettent de répondre en partie à cette limite (Henson et al., 1996 ; Hurlstone et al., 2014).

La présence d'éléments répétés dans une séquence constitue également une difficulté pour les modèles de chaînage classiques (Brown et al., 2000 ; Henson, 1998 ; Hurlstone et al., 2014). Prenons l'exemple d'un numéro de téléphone : 05256179. Le chiffre « 5 » apparaît deux fois dans la séquence. Dans une représentation fondée uniquement sur les associations entre items, la première occurrence de 5 serait associée au chiffre suivant « 2 », tandis que la seconde occurrence serait associée à « 6 ». Le système doit alors distinguer deux représentations identiques possédant des associations différentes, ce qui représente une

difficulté pour une architecture associative simple. Enfin, comme évoqué précédemment, une limite historique majeure du chaînage concerne son incapacité initiale à expliquer les profils d'erreurs en « dent de scie » observés dans les séquences composées d'items phonologiquement similaires et dissimilaires (Henson et al., 1996). Cependant, les modèles associatifs récents, notamment le modèle CRU, permettent désormais de reproduire ces observations grâce à une représentation contextuelle dynamique (Logan, 2021 ; Osth & Hurlstone, 2023).

Technique d'imagerie cérébrale :

Au-delà des observations comportementales, certaines études ont également comparé les modèles de l'ordre sériel à l'aide de techniques de neuroimagerie. Kalm et Norris (2014) ont notamment étudié les profils d'activation cérébrale associés au maintien de l'ordre sériel. Leurs résultats semblent davantage compatibles avec une représentation positionnelle qu'avec un fonctionnement reposant uniquement sur des associations inter-items, suggérant ainsi une implication de représentations liées à la position plutôt qu'un simple chaînage associatif.

1.e La théorie positionnelle

Nous avons précédemment vu que la théorie du chaînage permet d'expliquer certaines observations comportementales liées à l'ordre sériel, tout en rencontrant plusieurs difficultés pour rendre compte d'autres phénomènes. Nous allons maintenant aborder la théorie positionnelle, qui constitue aujourd'hui l'un des cadres théoriques les plus étudiés dans le domaine de l'ordre sériel. Selon cette approche, les items sont associés à une représentation de leur position dans la séquence, considérée comme une information distincte de l'item lui-même. Cependant, la nature exacte du signal permettant de représenter cette position reste encore débattue dans la littérature et ne constitue pas l'objet principal de ce mémoire. À titre informatif, les modèles proposant un codage temporel disposent actuellement d'un nombre important d'arguments empiriques en leur faveur (Attout et al., 2026). D'autres propositions, notamment basées sur un codage spatial ou sur différents types de contexte, ont également été avancées.

Ces différents types de codes positionnels permettent d'expliquer certaines observations comportementales associées au traitement de l'ordre sériel, mais présentent également des limites. Nous présenterons donc brièvement les principales propositions associées à la théorie

positionnelle, en mettant en évidence leurs prédictions comportementales ainsi que les éléments empiriques favorables et défavorables à ces modèles.

1.e.i.A Les données en faveur de la théorie positionnelle

Codage par attention spatiale

Une première proposition concernant la nature du code positionnel repose sur l'hypothèse d'une représentation spatiale de l'ordre sériel. Plusieurs travaux suggèrent l'implication de réseaux cérébraux associés au traitement spatial et attentionnel lors des tâches d'ordre en mémoire de travail, notamment le réseau fronto-pariétal, le réseau attentionnel dorsal ainsi que le sillon intrapariétal (Abrahamse et al., 2014 ; Attout et al., 2022 ; Majerus, 2019 ; Zhou et al., 2021). Plus particulièrement, plusieurs études soulignent une distinction entre le traitement des items et celui de leur ordre : le sillon intrapariétal gauche serait davantage impliqué dans le maintien des informations relatives aux items, tandis que le sillon intrapariétal droit participerait davantage au maintien de l'ordre sériel (Abrahamse et al., 2014 ; Majerus, 2010 ; Majerus, 2019).

Des données psychophysiologiques apportent également des arguments en faveur d'une représentation spatiale de l'ordre. Rasoulzadeh et ses collaborateurs (2021) ont étudié plusieurs marqueurs EEG associés à l'orientation de l'attention dans une tâche de mémoire de travail impliquant du matériel non spatial. La présence de ces marqueurs dans une tâche d'ordre sériel suggère que des mécanismes attentionnels spatiaux pourraient contribuer au maintien de l'ordre, même lorsque le matériel présenté ne possède pas de dimension spatiale explicite. Des résultats issus du suivi oculaire vont également dans ce sens. Sahan et ses collaborateurs (2022) ont montré que les participants effectuaient davantage de mouvements oculaires vers la gauche lors de la récupération d'items situés en début de séquence et vers la droite pour les items situés en fin de séquence. Les auteurs interprètent ces mouvements comme le reflet d'une représentation spatiale interne de la séquence, organisée de gauche à droite.

Au niveau comportemental, cette hypothèse permet notamment d'expliquer plusieurs effets observés dans les tâches d'ordre sériel. L'augmentation du temps de récupération pour

des items éloignés pourrait refléter la nécessité de parcourir une représentation spatiale interne afin d'accéder à l'information recherchée (Abrahamse et al., 2014 ; De Belder et al., 2015). L'effet de distance pourrait également être expliqué par une plus grande confusion entre des positions proches dans cet espace mental. De même, les effets de primauté et de récence pourraient s'expliquer par une meilleure discrimination des positions situées aux extrémités de la représentation spatiale (Cristoforetti et al., 2022). Un autre argument comportemental repose sur les effets SNARC et SPOARC. L'effet SNARC correspond à une association entre la grandeur numérique et la rapidité des réponses selon la main utilisée : les petits nombres sont généralement associés à des réponses plus rapides avec la main gauche, tandis que les grands nombres sont associés à des réponses plus rapides avec la main droite (Abrahamse et al., 2014 ; Guida et al., 2018 ; Shaki & Gevers, 2011). L'effet SPOARC correspond à un phénomène similaire appliqué à l'ordre sériel, avec des réponses plus rapides de la main gauche pour les items en début de séquence et de la main droite pour les items en fin de séquence (Guida et al., 2018 ; Majerus, 2019 ; van Dijck et al., 2020). Ces observations suggèrent que l'ordre sériel pourrait être représenté spatialement, possiblement sous l'influence des habitudes culturelles liées au sens de lecture (Abrahamse et al., 2014 ; Guida et al., 2018).

Enfin, des données neuropsychologiques issues de patients présentant une hémiparésie apportent des résultats plus nuancés. Antoine et ses collaborateurs (2019) ont observé que ces patients présentaient des performances préservées pour le traitement des items, mais une diminution des performances concernant l'ordre sériel. Toutefois, les erreurs n'étaient pas spécifiquement limitées à une extrémité de la séquence. Les auteurs proposent que les patients puissent compresser la représentation séquentielle dans leur espace préservé, entraînant une diminution de la distinction entre les positions.

La théorie temporelle

Une autre possibilité concernant la nature du code positionnel repose sur une représentation temporelle de l'ordre sériel. Le modèle OSCAR (« Oscillator-Based Associative Recall ») proposé par Brown et ses collaborateurs (2000) suggère que chaque item est associé à un contexte temporel dynamique correspondant à un état particulier de l'horloge interne. Lors de la récupération, le système recrée cette évolution temporelle afin de retrouver

progressivement les différents éléments de la séquence. Cette approche permet notamment d'expliquer l'effet de distance : des éléments proches temporellement possèdent des contextes similaires et sont donc plus difficiles à distinguer (Brown et al., 2007 ; Hurlstone et al., 2014). Elle permet également d'expliquer les effets de primauté et de récence par un « effet de bord », selon lequel les premiers et derniers éléments disposent de moins d'éléments voisins susceptibles de créer des confusions (Brown et al., 2000 ; Brown et al., 2007). Le modèle prédit également un effet d'isolation temporelle : les éléments suffisamment éloignés temporellement devraient être mieux discriminés et donc mieux rappelés. Cet effet a effectivement été observé dans certaines tâches de rappel libre, mais reste plus difficilement observable dans les tâches de rappel sériel immédiat où l'ordre exact doit être maintenu (Brown et al., 2007 ; Hartley et al., 2016 ; Lewandowsky et al., 2008 ; Peteranderl & Oberauer, 2018).

1.e.i.B Les données en défaveur de la théorie positionnelle

Codage spatiale

Nous allons maintenant examiner certaines données qui nuancent l'hypothèse d'un encodage spatial de l'ordre sériel. Il est important de préciser que ces résultats ne remettent pas nécessairement en cause la théorie positionnelle dans son ensemble. Ils suggèrent plutôt que les marqueurs utilisés pour représenter l'ordre pourraient être flexibles et dépendre de différents facteurs, tels que les ressources cognitives, l'expérience individuelle ou encore le contexte de la tâche. Concernant le codage spatial, plusieurs études suggèrent que la représentation spatiale de l'ordre sériel n'est pas systématique. Bottini et ses collaborateurs (2016) ont notamment étudié l'impact de l'expérience visuelle sur l'organisation spatiale des séquences. Leurs résultats montrent que, contrairement aux participants voyants et aux participants devenus aveugles tardivement, les participants aveugles précoces ne présentaient pas d'effet SPOARC, bien qu'ils soient capables de maintenir correctement l'ordre des éléments. Ces résultats suggèrent que l'organisation spatiale de l'ordre pourrait dépendre de l'expérience sensorielle et du développement. Cette influence de l'expérience est également retrouvée dans les travaux portant sur les effets SNARC et SPOARC. Guida et al. (2018) ont montré que l'organisation spatiale des représentations sérielles pouvait être influencée par les habitudes culturelles, notamment le sens de lecture. De même, van Dijck et al. (2020) ont

observé que les enfants préalphabétisés ne présentaient pas tous une organisation spatiale de l'ordre sériel, malgré leur capacité à restituer correctement les séquences. Ces résultats soutiennent l'idée que la représentation spatiale constitue un mécanisme possible parmi plusieurs stratégies d'encodage, plutôt qu'un mécanisme universel.

Codage temporelle

Le codage temporel présente également certaines limites. Comme évoqué précédemment, les modèles temporels permettent notamment d'expliquer certains effets comportementaux tels que l'effet de distance, en considérant que des éléments proches temporellement sont plus difficiles à discriminer (Brown et al., 2007 ; Hurlstone et al., 2014). Ils permettent également d'expliquer certains phénomènes comme l'effet de primauté et de récence, à travers l'idée que les éléments situés aux extrémités d'une séquence disposent de moins de voisins temporels et sont donc moins sujets aux confusions. Cependant, certains résultats restent difficiles à expliquer par cette approche. Par exemple, l'effet d'isolation temporelle, prédit par ces modèles, apparaît principalement dans les tâches de rappel libre et semble moins présent dans les tâches de rappel sériel immédiat (Morin et al., 2010 ; Hartley et al., Hitch, 2016 ; Lewandowsky et al., 2008 ; Peteranderl & Oberauer, 2018). De plus, les modèles temporels expliquent difficilement certains phénomènes comme l'effet de regroupement, correspondant à une amélioration des performances lorsque des groupes d'items sont séparés par des intervalles plus longs (Brown et al., 2007 ; Hurlstone et al., 2014).

Ainsi, malgré les nombreux arguments en faveur d'un encodage positionnel, aucune forme spécifique de marqueur positionnel ne permet actuellement d'expliquer l'ensemble des observations comportementales. Il est possible que l'encodage sériel repose sur une combinaison de plusieurs mécanismes, utilisés de manière flexible selon la nature de la tâche, les caractéristiques du matériel ou les ressources disponibles.

À ce jour, aucun consensus ne permet donc d'expliquer précisément les mécanismes impliqués dans le maintien de l'ordre sériel. L'objectif de ce mémoire est de proposer un nouveau paradigme expérimental permettant d'apporter un élément supplémentaire à cette question. Plus précisément, nous cherchons à confronter deux grandes propositions théoriques : la théorie du chaînage et la théorie positionnelle. Ces deux approches proposent

des prédictions comportementales distinctes concernant les effets de distance. La théorie du chaînage prédit notamment un effet de distance inverse, tandis que la théorie positionnelle prédit un effet de distance standard. Afin d'examiner ces prédictions, nous proposons de perturber les mécanismes supposés sous-jacents à ces deux théories à l'aide de tâches interférentes spécifiques. Une tâche visant un traitement associatif sera utilisée afin de cibler les processus associés au chaînage, tandis qu'une tâche visant un traitement positionnel sera utilisée afin de cibler les processus associés à la théorie positionnelle. L'objectif sera alors d'évaluer si ces perturbations entraînent une modulation différente des effets de distance observés.

2 Objectifs et hypothèses

Notre objectif est de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la rétention de l'ordre sériel en mémoire de travail, en adoptant une approche permettant d'examiner conjointement les principales propositions théoriques avancées dans la littérature. En effet, les différents modèles proposés pour expliquer l'ordre sériel ont souvent été étudiés de manière indépendante, alors qu'il est possible que la complexité du phénomène ne puisse être expliquée par un seul mécanisme (Fischer-Baum & McCloskey, 2015). Nous nous intéresserons donc aux deux grandes familles de modèles actuellement proposées : les modèles de chaînage, reposant sur des associations entre les différents items d'une séquence, et les modèles positionnels/ordinaux, reposant sur l'association des items à des marqueurs de position.

Afin d'examiner ces deux types de représentations, nous proposons une approche indirecte basée sur la perturbation de leurs prédicteurs comportementaux. En effet, les modèles de l'ordre sériel prédisent des observations comportementales distinctes, notamment au travers des effets de distance. L'effet de distance standard, caractérisé par une meilleure performance en mémoire de travail ainsi qu'un temps de réaction plus court pour les items éloignés dans la séquence, est généralement associé à un traitement de type positionnel, dans lequel les items sont associés à une position spécifique. À l'inverse, l'effet de distance inverse, caractérisé par un avantage pour les items proches dans la séquence, en termes de performance en mémoire de travail et en rapidité, est davantage compatible avec un traitement relationnel reposant sur des associations entre items adjacents, comme proposé par les modèles de chaînage.

Ainsi, si ces différents codes participent effectivement au maintien de l'ordre sériel, il devrait être possible de moduler ces effets de distance en perturbant les ressources cognitives impliquées dans ces deux types de traitement. Pour tester cette hypothèse, nous avons mis en place une tâche de mémoire de travail incluant une tâche interférente réalisée durant la phase de maintien. Cette tâche interférente était supposée solliciter préférentiellement un traitement relationnel ou un traitement positionnel, permettant ainsi d'examiner l'impact d'une perturbation spécifique sur les mécanismes de maintien de l'ordre sériel. Le choix d'introduire la tâche interférente durant la phase de maintien, plutôt que durant l'encodage, repose sur la volonté d'éviter une perturbation directe de la formation des associations entre items, notamment dans la condition visant à solliciter le traitement de type chaînage. L'expérience comprenait trois conditions expérimentales : une condition de perturbation de type chaînage, une condition de perturbation de type positionnelle et une condition contrôle. Dans cette dernière condition, les participants réalisaient uniquement la tâche de mémoire de travail, avec une durée de maintien équivalente à celle imposée par les tâches secondaires. Cette condition permet d'obtenir une mesure de référence des effets de distance, qui peut ensuite être comparée aux effets observés lors des différentes conditions de perturbation.

Plus précisément, trois hypothèses peuvent être formulées :

Hypothèse de traitement de type chaînage (condition chaining) :

Si le maintien de l'ordre sériel repose sur des associations inter-items, une perturbation du traitement relationnel devrait affecter ces associations. Cette perturbation devrait se traduire par une diminution des performances en mémoire de travail et une augmentation des temps de réaction, particulièrement pour les items adjacents (distance 1), correspondant à une diminution de l'effet de distance inverse.

Hypothèse de traitement de type positionnel (condition position) :

Si le maintien de l'ordre sériel repose sur un codage positionnel, une perturbation des marqueurs positionnels devrait affecter la récupération des items associés à leur position dans la séquence. Cette perturbation devrait se traduire par une diminution des performances en mémoire de travail et une augmentation des temps de réaction, notamment pour les items éloignés (distance 3), correspondant à une diminution de l'effet de distance standard.

Hypothèse d'une utilisation conjointe des deux types de représentation.

Si l'ordre sériel repose sur une combinaison entre des mécanismes relationnels et positionnels, la perturbation d'un type de représentation pourrait entraîner une compensation par l'autre mécanisme.

Ainsi :

- En cas de perturbation de type chaînage, une diminution de l'effet de distance inverse pourrait être accompagnée d'une augmentation de l'effet de distance standard ;
- En cas de perturbation de type positionnelle, une diminution de l'effet de distance standard pourrait être accompagnée d'une augmentation de l'effet de distance inverse.

Au regard de ces hypothèses, nous nous attendons donc à observer une interaction entre la condition expérimentale et la distance, aussi bien pour les performances en mémoire de travail que pour les temps de réaction. Plus précisément, une modification des effets de distance selon le type de tâche interférente indiquerait une contribution spécifique des mécanismes perturbés dans le maintien de l'ordre sériel.

3 Méthodologie

3.a Participants

Dans le cadre de cette étude, nous avons recueilli des données sur 50 sujets (24 participants hommes et 26 participantes femmes), âgés de 18 à 30 ans, avec une moyenne d'âge de 22,4 ans. Afin de participer, les sujets devaient être francophones, avoir entre 18 et 30 ans, et ne pas présenter de trouble de l'apprentissage (exemples : dyslexie, dyscalculie) ou de trouble neurodéveloppemental (exemple : TDA/H). Les sujets devaient également avoir une vision et une audition correctes et/ou corrigées (ou ne présentant pas d'entrave à la réalisation de l'expérience) lors de la passation de l'expérience. L'étude a été autorisée par le comité d'éthique Hospitalo-Facultaire de l'université de Liège. Un formulaire de consentement a été distribué afin de leur donner les informations nécessaires et ainsi, récolter leur signatures et accord, en condition de participant informé et éclairé.

La taille de l'échantillon a été déterminée selon une approche bayésienne séquentielle (Schönbrodt et al., 2017). Les analyses bayésiennes présentent plusieurs avantages, notamment la possibilité de quantifier directement le degré d'évidence en faveur ou en défaveur d'un modèle, contrairement aux approches fréquentistes qui évaluent principalement la compatibilité des données avec une hypothèse nulle (Schönbrodt et al., 2017). L'approche séquentielle permet également de suivre l'évolution de cette évidence au cours de l'augmentation de la taille de l'échantillon et d'évaluer la stabilité des conclusions statistiques. Dans cette étude, une première analyse bayésienne a été réalisée après le recrutement de 30 participants. Les analyses ont ensuite été répétées après l'ajout successif de chaque participant jusqu'à l'effectif final de 50 participants. Cette procédure avait pour objectif d'examiner la stabilité du modèle privilégié au cours de l'augmentation de la taille de l'échantillon. Bien que les approches bayésiennes séquentielles puissent être utilisées afin de définir une règle d'arrêt basée sur l'atteinte d'un niveau d'évidence prédéfini, il reste possible de poursuivre le recrutement après l'obtention d'un tel critère lorsque l'objectif est d'obtenir une estimation plus précise des effets étudiés (Schönbrodt et al., 2017). Ainsi, le recrutement a été poursuivi jusqu'à un effectif final de 50 participants afin d'obtenir une estimation plus précise des modèles étudiés. L'analyse de stabilité a été réalisée uniquement sur les temps de réaction, ceux-ci constituant une mesure plus sensible des variations du traitement cognitif. Contrairement aux performances en mémoire de travail, qui correspondent à une mesure proportionnelle pouvant être limitée par des effets plafond, les temps de réaction constituent une mesure continue ce qui correspond à une métrique plus précise et plus fine pour quantifier des différences (Luck & Gold, 2008).

À chaque étape de l'analyse séquentielle, le modèle gagnant ainsi que son facteur de Bayes (BF_{10}) ont été relevés. Un critère opérationnel de stabilisation du modèle a été défini : le modèle était considéré comme stable lorsque le même modèle gagnant était retrouvé lors de cinq analyses successives avec un BF_{10} supérieur à 3 en comparaison au second meilleur modèle. Ce critère permettait d'identifier une convergence progressive du modèle privilégié au cours de l'augmentation de la taille de l'échantillon.

Au cours de l'examen des données, des temps de réaction particulièrement élevés ont été identifiés dans les distributions. Cette observation a conduit à examiner plus précisément la distribution des temps de réaction et à envisager l'influence potentielle de ces valeurs

extrêmes sur les analyses. Une procédure de nettoyage fondée sur la médiane des écarts absolus (MAD, *Median Absolute Deviation*) (Leys et al., 2013) a alors été appliquée à posteriori afin d'évaluer la robustesse des résultats. La procédure de nettoyage ainsi que les analyses complémentaires réalisées sur les temps de réaction sont détaillées dans la section consacrée à leur analyse. Les deux analyses séquentielles indiquent une stabilité du modèle gagnant au cours de l'ajout progressif des participants. Cependant l'évaluation du modèle gagnante s'avère différente en fonction de l'analyse effectuée (données brutes vs nettoyées). L'évolution du support relatif du modèle gagnant par rapport au deuxième modèle le mieux soutenu est présentée en [Annexe A](#) pour les données brutes et en [Annexe B](#) pour les données après nettoyage MAD.

3.b Matériel

L'expérience a été réalisée à l'aide du logiciel PsychoPy (Peirce et al., 2022). Le matériel expérimental repose sur deux types de stimuli : des items verbaux à mémoriser, pour la tâche de mémoire de travail, et des « blobs » (formes abstraites) utilisés dans le cadre de la tâche secondaire. Le choix d'utiliser du matériel visuel dans la tâche secondaire s'inscrit dans une réflexion plus générale concernant les mécanismes impliqués dans le traitement de l'ordre sériel. En effet, il existe actuellement un débat concernant le caractère général ou spécifique au domaine des mécanismes de codage de l'ordre sériel. Certains travaux suggèrent l'existence de mécanismes généraux indépendants de la nature du matériel présenté, tandis que d'autres proposent des mécanismes partiellement spécifiques au domaine, pouvant différer selon que le matériel est verbal ou visuel (Ginsburg et al., 2017 ; Tian et al., 2022). Dans cette perspective, une étude complémentaire sera réalisée ultérieurement afin d'examiner cette question en utilisant une tâche secondaire de nature verbale, composée de non-mots. La comparaison entre ces deux approches permettra d'explorer davantage la contribution potentielle de mécanismes généraux versus spécifiques au domaine dans le maintien de l'ordre sériel. Les items à mémoriser étaient constitués de lettres présentées successivement au centre de l'écran. Ces lettres étaient phonologiquement dissimilaires. Seules des consonnes ont été utilisées afin d'éviter que les participants ne puissent recourir à des stratégies de regroupement basées sur la formation de mots ou de pseudo-mots impliquant des voyelles, ce qui aurait pu faciliter la mémorisation des six éléments. Les blobs

ont été générés à l'aide d'un générateur en ligne et correspondent à trois formes distinctes les unes des autres (<https://gradients.app/fr/blob>).

3.c Méthode

3.c.i Générale

Afin d'examiner l'implication de mécanismes relationnels et positionnels dans le maintien de l'ordre sériel, nous avons cherché à moduler les effets de distance en perturbant les processus de maintien en mémoire de travail à l'aide d'une tâche secondaire. Plus précisément, une double tâche a été utilisée afin d'interférer avec les processus impliqués durant la phase de maintien. Trois distances entre les items sont manipulées afin de permettre une interprétation plus fine des effets observés. Chaque essai débute par la présentation séquentielle de six items au centre de l'écran, afin de limiter l'utilisation de stratégies de reconstruction spatiale. Cette phase est ensuite suivie d'une tâche secondaire pouvant prendre deux formes : (1) une tâche visant à perturber un traitement de type relationnel (condition chaining), ou (2) une tâche sollicitant un traitement de type positionnel (condition position). Les deux tâches secondaires devaient être similaires en termes de difficulté et de matériel, afin que les effets ne soient pas imputables à ces seules différences de conception. La tâche secondaire comporte trois essais de détection par séquence (une description détaillée est présentée dans la section « Procédure »).

Le choix d'utiliser trois essais de détection répond à un compromis méthodologique entre plusieurs objectifs : assurer une exposition suffisante à la tâche interférente tout au long de l'expérience, afin de maximiser son potentiel de perturbation du traitement sériel, maintenir une durée expérimentale raisonnable et conserver un niveau de difficulté accessible. Une condition contrôle de maintien est également incluse afin d'obtenir une mesure de référence des effets de distance, en l'absence d'interférence spécifique (voir Figure 1). L'expérience se déroule sur ordinateur et comprend trois blocs correspondant aux trois conditions expérimentales (chaining, position et contrôle).

L'ordre de présentation des blocs est randomisé afin de limiter les effets liés à la fatigue ou à l'ordre de passation. Un fichier expérimental distinct est attribué à chaque participant afin de contrôler l'ordre des essais, tout en conservant une structure expérimentale identique entre les participants. L'expérience comprend un total de 198 essais, répartis équitablement

entre les trois conditions expérimentales (66 essais par condition), avec 22 essais pour chacune des trois distances manipulées (distances 1, 2 et 3).

Un contrôle particulier a été appliqué concernant les positions sondées. En effet, l'effet de distance classique peut potentiellement être influencé par les effets de primauté et de récence, associés aux positions extrêmes d'une liste. Des distances importantes entre deux items peuvent effectivement impliquer plus fréquemment, des positions de début ou de fin de séquence, qui bénéficient généralement d'un avantage mnésique. Ainsi, l'effet de distance pourrait être partiellement confondu avec ces effets liés aux positions extrêmes (Dewulf et al., 2024). Afin de limiter ces facteurs confondants, la majorité des sondes concernait des positions intermédiaires. Parmi les 22 essais correspondant à chaque distance, 18 essais portaient sur des positions centrales, tandis que 4 essais incluaient des positions de début ou de fin de liste. La présence de quelques sondes en position extrême était néanmoins nécessaire afin d'éviter que les participants identifient une absence systématique de ces positions et adaptent leur stratégie de mémorisation en conséquence. Enfin, les sondes étaient équilibrées selon la réponse attendue, avec 11 essais nécessitant une réponse positive et 11 essais nécessitant une réponse négative pour chaque condition expérimentale.

Avant de commencer l'expérience, les sujets réalisent une phase d'entraînement comprenant plusieurs étapes : un entraînement à la tâche de mémoire de travail seule (encodage et test sériel de la sonde), un entraînement aux tâches interférentes seules (chaining et position), puis un entraînement combinant les lettres et les tâches interférentes (un essai chaining, un essai position et un essai contrôle). Cette phase d'entraînement permet aux sujets de se familiariser avec le matériel expérimental et d'assimiler correctement les

consignes. L'ensemble du protocole a subi des tests pilotes, afin de vérifier de la faisabilité de l'expérience. Voir la figure 1 pour observer une représentation de la tâche avec les deux tâches interférentes.

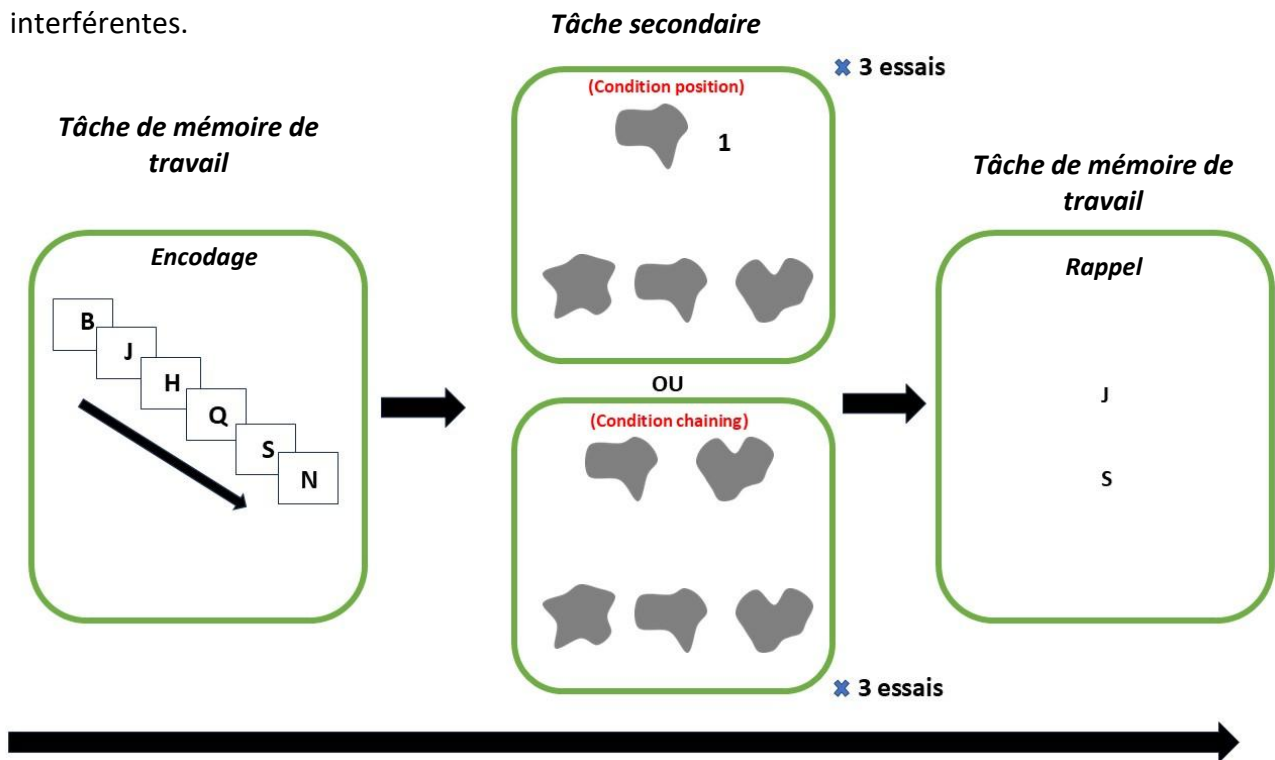


Figure 1 Représentation de la tâche selon le type d'interférence (chaînage ou positionnelle)

3.c.ii Tâche de mémoire de travail

À chaque essai, les participants sont exposés à une séquence composée de six lettres. Cette phase d'encodage est suivie soit d'une tâche secondaire, répétée trois fois dans les conditions de chaining ou de position, soit d'une phase de maintien équivalente en termes de temps dans la condition contrôle. Les lettres sont présentées successivement au centre de l'écran pendant 500 ms chacune, avec un intervalle de 200 ms entre chaque présentation. Après la phase de maintien, une sonde composée de deux lettres présentées verticalement apparaît à l'écran. La lettre du haut est censée correspondre à celle qui précédait la lettre du bas dans la séquence initiale (ordre absolue). Les participants doivent alors indiquer si l'ordre des deux lettres correspond à celui observé dans la séquence initiale.

Procédure de la tâche de mémoire de travail

Le participant est informé, via les consignes expérimentales, qu'il doit mémoriser une séquence composée de six lettres. Lors de la présentation de la sonde, aucune limite de temps

de réponse n'est imposée ; le participant est invité à répondre dès qu'il estime disposer de la réponse. Il est également précisé que le jugement doit porter sur l'ordre absolu des deux lettres présentées, c'est-à-dire que leur position respective dans la séquence initiale doit être prise en compte, indépendamment de la distance qui les sépare dans cette séquence. Aucune contrainte temporelle n'a été imposée lors de cette première manipulation, compte tenu du caractère novateur de ce paradigme expérimental et du manque de données préalables concernant les paramètres temporels optimaux pour cette tâche. Cette décision visait à éviter qu'une limite de temps arbitraire ne puisse influencer négativement la réalisation de la tâche ou introduire un biais dans les performances des participants. Une représentation schématique de la procédure expérimentale est présentée dans la Figure 2.

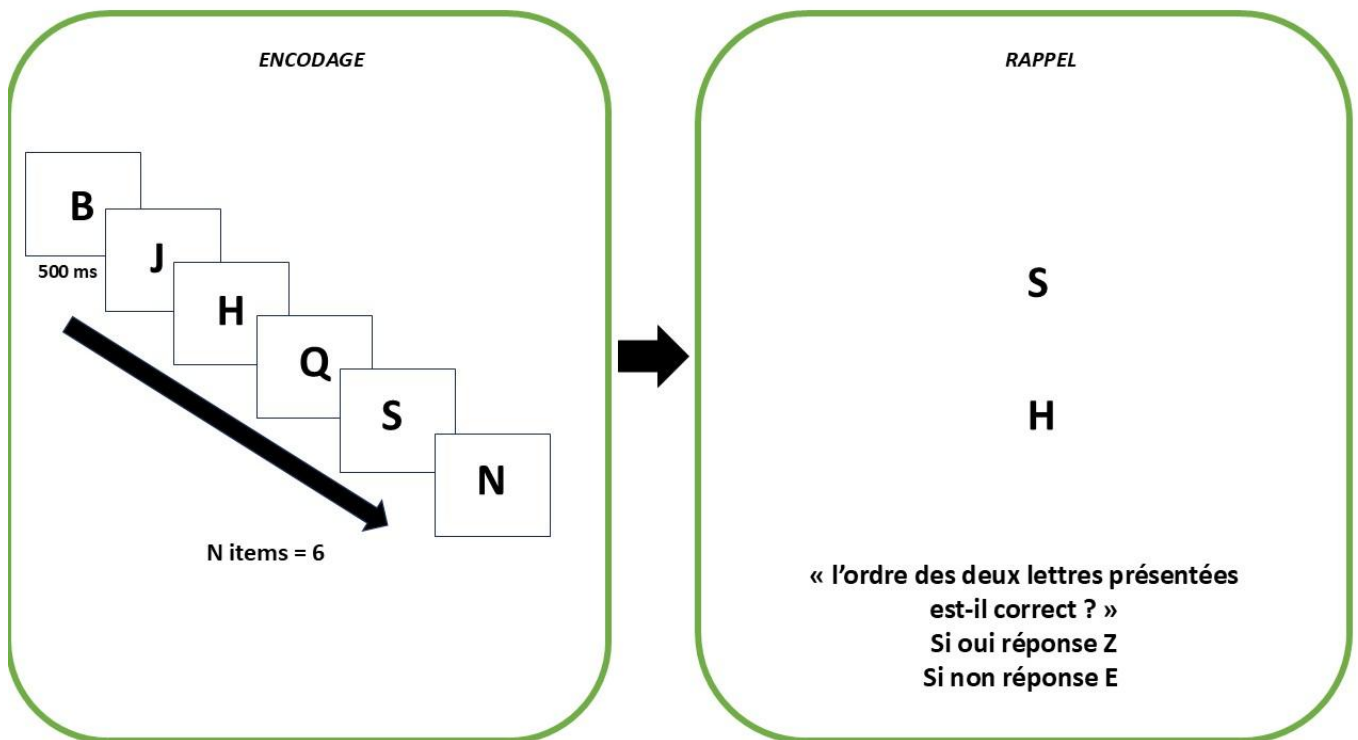


Figure 2 Représentation de la tâche de mémoire de travail pour un essai négatif

3.c.iii Condition chaining

La double tâche débute 200 ms après la présentation de la dernière lettre de la séquence à mémoriser. Elle comprend trois essais successifs (trois triplets de blobs). Chaque essai commence par la présentation d'une cible composée de deux blobs, affichée en haut de l'écran pendant 1000 ms. Après un délai de 200 ms, trois blobs sont présentés successivement au centre de l'écran afin de former un triplet. Chaque blob du triplet reste affiché pendant

500 ms, avec un intervalle inter-stimulus de 200 ms entre chaque présentation, soit une durée totale de 2,3 secondes par triplet. La totalité de la tâche secondaire, comprenant les trois triplets, dure ainsi 9,9 secondes. Pour chaque nouveau triplet, une nouvelle cible ainsi qu'une nouvelle séquence de blobs sont présentées. La tâche du participant consiste à déterminer si la relation entre les deux blobs de la cible est présente au sein du triplet présenté. Lorsque les deux blobs apparaissent strictement dans le même ordre que celui de la cible, la relation est considérée comme présente et le participant doit fournir une réponse positive (voir la figure 3 ci-dessous, pour une représentation d'un essai positif). À l'inverse, lorsque cette relation n'est pas retrouvée dans le triplet, le participant doit fournir une réponse négative.

Après la réalisation des trois triplets, une sonde de mémoire de travail est présentée. Deux lettres apparaissent alors verticalement à l'écran, la lettre supérieure correspondant à la lettre présentée en premier dans la séquence initiale. Le participant doit déterminer si l'ordre relatif des deux lettres correspond à celui de la séquence mémorisée.

Procédure de la condition chaining :

Le participant est informé qu'il doit se concentrer sur la présence ou l'absence d'une association, ou « pattern », entre les blobs présentés. Lorsqu'une association correcte est identifiée, le participant doit répondre à l'aide de la touche « z ». Dans le cas contraire, il doit utiliser la touche « e ». Le participant est invité à répondre pendant la présentation du triplet de blobs. La réponse est enregistrée à partir de l'apparition du premier blob jusqu'à la disparition du dernier blob, correspondant à une fenêtre de réponse totale de 2,3 secondes. En cas de changement de réponse au cours de cette période, seule la dernière réponse enregistrée est prise en compte pour l'analyse. Une représentation schématique de la tâche est présentée dans la Figure 3.

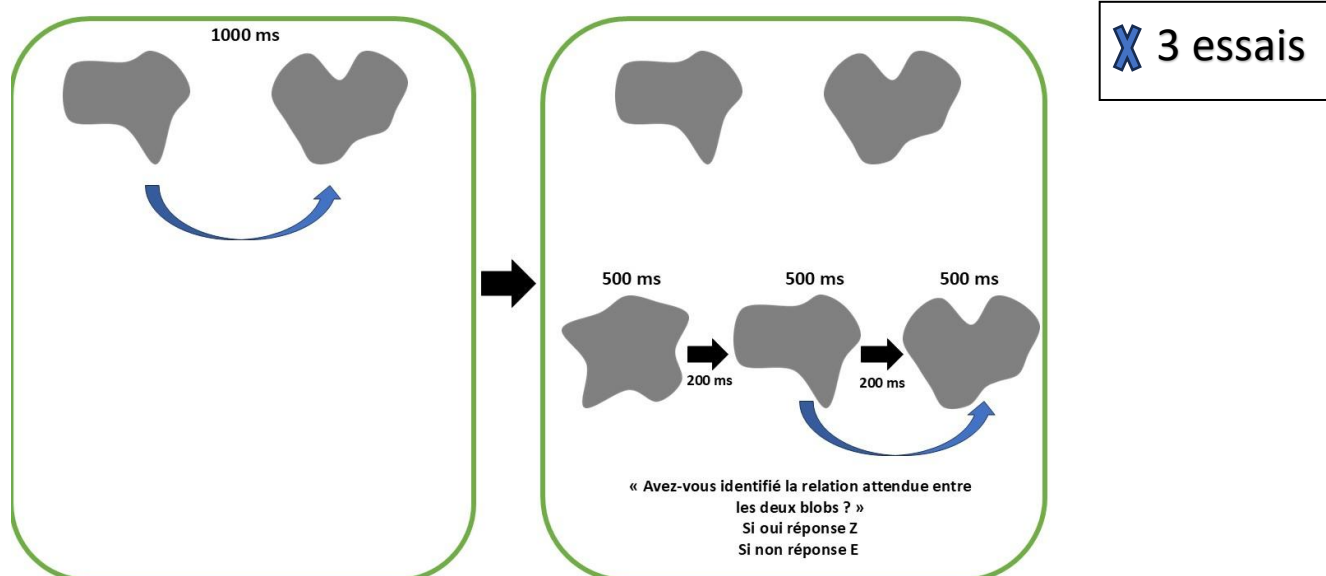


Figure 3 Représentation de la tâche secondaire de type chaînage pour un essai positif

3.c.iv Condition Position

La condition position présente une organisation similaire à celle de la condition chaining concernant la présentation de la tâche secondaire. Lors de cette tâche, un blob accompagné d'un chiffre apparaît en haut de l'écran. Le chiffre correspond à une position sérielle prédite pour le blob présenté. Trois triplets de blobs sont ensuite présentés successivement au centre de l'écran. La tâche du participant consiste à déterminer si la position indiquée par le chiffre correspond effectivement à la position du blob cible au sein de la séquence présentée (voir la figure 4 ci-dessous, pour une représentation d'un essai négatif). Les durées de présentation des stimuli ainsi que les intervalles inter-stimulus sont identiques à ceux utilisés dans la condition chaining, afin de permettre une comparaison entre les deux conditions expérimentales. Comme pour la condition chaining, 50 % des triplets correspondent à des essais positifs, dans lesquels la relation cible est présente, et 50 % correspondent à des essais négatifs, dans lesquels elle est absente.

Procédure de la condition position :

Dans cette double tâche, le participant doit effectuer un jugement relatif à la position sérielle d'un blob. L'organisation de la tâche est similaire à celle de la condition chaining, à l'exception que la cible correspond désormais à un blob (identique à ceux utilisés dans la condition chaining) associé à un chiffre indiquant une position prédite dans la séquence (position 1, 2 ou 3). Le participant doit déterminer si la position indiquée par le chiffre correspond effectivement à la position du blob cible dans la séquence présentée. Lorsque la position prédite est correcte, le participant doit répondre à l'aide de la touche « z ». Lorsque la position indiquée est incorrecte, il doit répondre à l'aide de la touche « e ». Une représentation de la tâche secondaire position est présentée ci-dessous à la figure 4.

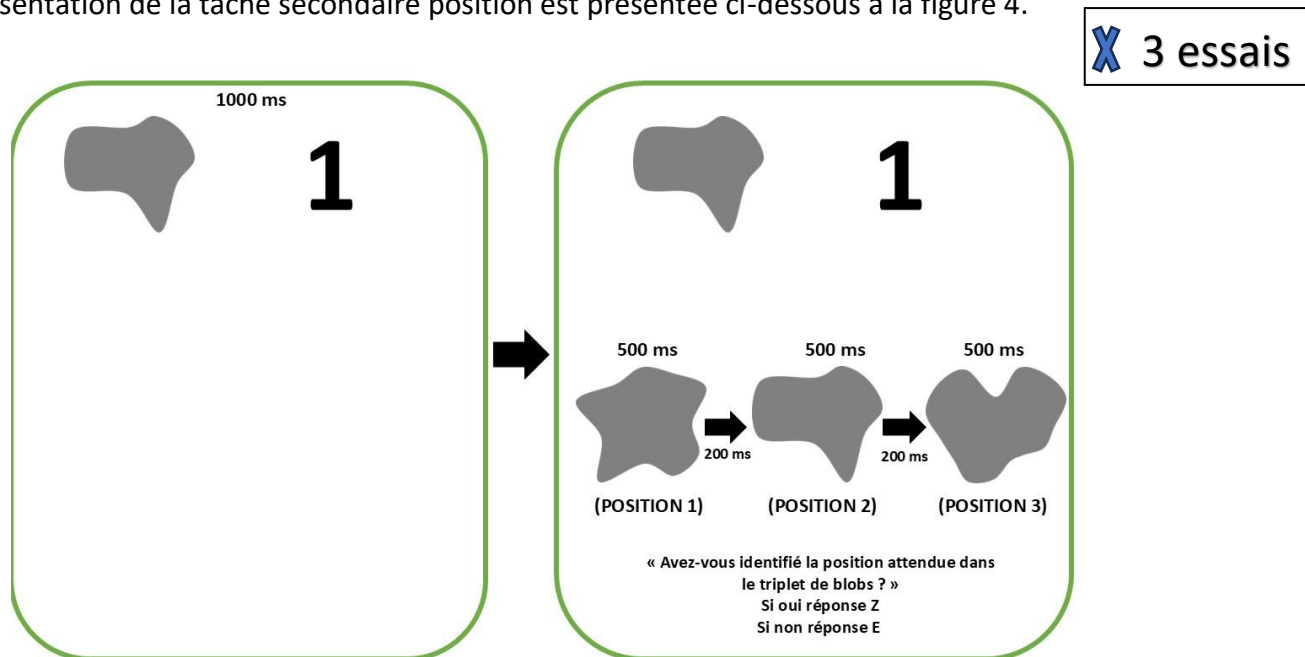


Figure 4 Représentation de la tâche secondaire de type positionnelle pour un essai négatif

3.c.v Condition contrôle

La condition contrôle comprend uniquement les six lettres, sans tâche interférente. La tâche interférente est remplacée par une phase de maintenance d'une durée exactement identique à celle de la tâche secondaire, soit 9,9 secondes. Cette phase est également suivie d'une sonde de jugement sériel.

3.d Analyse statistique

Des ANOVA bayésiennes à mesures répétées ont été réalisées sur les performances en mémoire de travail, ainsi que sur les temps de réactions à l'aide du logiciel JASP (Version 0.98.1 ; JASP Team, 2026). Plusieurs modèles ont été comparés : un modèle incluant uniquement l'effet de la condition, un modèle incluant uniquement l'effet de la distance, un modèle comprenant les effets principaux de la condition et de la distance, ainsi qu'un modèle incluant leur interaction. Ces différents modèles ont été évalués en comparaison avec le modèle nul, qui constitue le modèle de référence n'incluant aucun effet systématique des facteurs expérimentaux étudiés (autrement dit aléatoire). L'approche bayésienne permet ainsi de quantifier l'évidence relative apportée par les données en faveur du modèle testé par rapport au modèle nul (BF_{10}), ou inversement en faveur du modèle nul (BF_{01}). La valeur du BF_{10} permet d'interpréter le niveau d'évidence associé à un modèle selon différentes catégories, conformément à l'échelle proposée par Quintana et Williams (2018). Le modèle

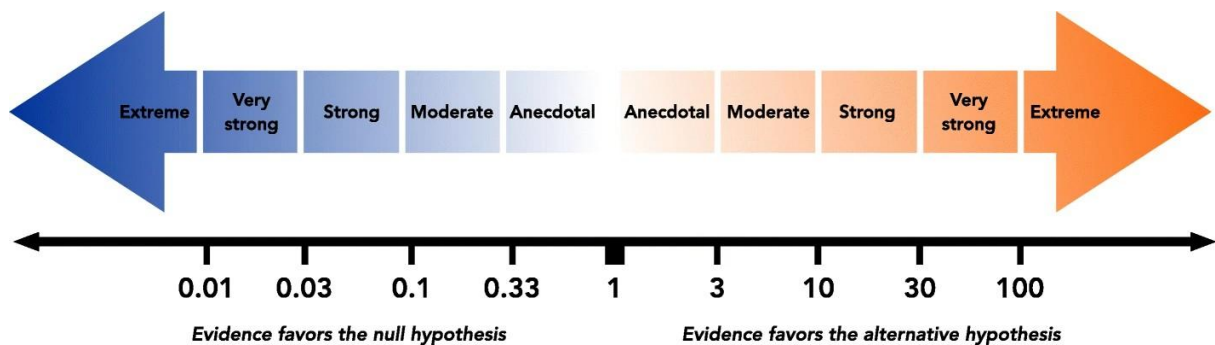


Figure 5 Échelle d'interprétation du facteur de Bayes (BF_{10})

d'intérêt correspondait à l'interaction entre la condition expérimentale et la distance, celle-ci permettant de tester directement l'hypothèse selon laquelle la perturbation des différents types de représentation de l'ordre sériel (chaining ou position) modifie les effets de distance observés. Les analyses ont porté uniquement sur les positions intermédiaires, afin de limiter une influence potentielle des effets de primauté et de récence.

3.e Résultats

Analyses préparatoires : Analyse des performances de la tâche interférente :

La tâche secondaire fait partie intégrante de nos analyses, puisqu'elle vise à examiner la possibilité d'une interférence avec les mécanismes supposés impliqués dans le maintien de l'ordre sériel, la réalisation correcte de cette tâche est donc nécessaire à l'interprétation des résultats. Cette section correspond donc à l'analyse de potentielles données atypiques, qui correspondrait dans ce contexte précis, à des réponses de types aléatoires des participants.

L'expérience comprend un total de 198 essais répartis entre trois conditions expérimentales : chaining, position et contrôle. Seules les conditions chaining et position comprennent une tâche interférente, correspondant ainsi à 132 essais au total. Chaque essai de tâche secondaire comprend trois triplets de blobs, chacun donnant lieu à une réponse binaire (oui/non). Au total, la tâche interférente comprend donc 396 réponses analysables (132 essais $\times$ 3 triplets).

Les performances à la tâche secondaire ont d'abord été agrégées pour chaque participant et chaque condition expérimentale. Une moyenne globale des performances aux conditions chaining et position a ensuite été calculée afin d'obtenir une mesure unique de performance comprise entre 0 et 1 pour chaque participant. Afin de déterminer si les performances observées étaient significativement supérieures au niveau du hasard, un seuil critique a été établi à partir de la distribution binomiale sous l'hypothèse nulle ($p = 0,5$), correspondant à un test unilatéral avec un seuil de significativité $\alpha = .05$. Le seuil critique a été calculé dans RStudio (R Core Team, 2026) à l'aide de la fonction de quantile de la loi binomiale : `qbinom(0.95, size = 396, prob = 0.5)`. Cette fonction indique le nombre minimal de réponses correctes nécessaires pour dépasser le 95e percentile de la distribution attendue sous l'hypothèse nulle. Le seuil obtenu correspond à 214 réponses correctes sur 396, soit une proportion de 0,5404. Une performance inférieure à ce seuil ne permettrait donc pas d'établir que la réalisation de la tâche secondaire dépasse le niveau attendu par hasard. Les performances moyennes observées à la tâche interférente sont comprises entre 0,63 et 0,974 selon les participants. L'ensemble des performances dépasse le seuil défini, indiquant que les participants ont globalement bien réalisé la tâche secondaire avec des performances au-dessus du niveau attendu par hasard.

3.e.i Analyse des effets expérimentaux sur l'exactitude des réponses à la tâche de mémoire de travail

Le modèle ayant l'évidence la plus forte correspond à un effet de condition et de distance, possédant une évidence modérée ($BF_{10} = 4,996$). Le détail des modèles comparés est présenté dans la Figure 6, tandis que la Figure 7 présente les performances selon les distances et les conditions expérimentales. Le modèle incluant l'interaction condition $\times$ distance ne correspond toutefois pas au modèle le mieux soutenu, avec une évidence modérée contre l'interaction ($BF_{01} = 1,59$), correspondant à un BF_{10} de 0,605.

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF_M	BF_{10}	error %
Null model (incl. subject and random slopes)	0.200	0.088	0.385	1.000	
Condition + Distance	0.200	0.439	3.124	4.996	2.473
Distance	0.200	0.274	1.513	3.127	6.261
Condition	0.200	0.146	0.685	1.665	1.415
Condition + Distance + Condition * Distance	0.200	0.053	0.224	0.605	1.684

Note. All models include subject, and random slopes for all repeated measures factors.

Figure 6 Tableau comparatif de tous les modèles comparés au modèle nul (50 observations)

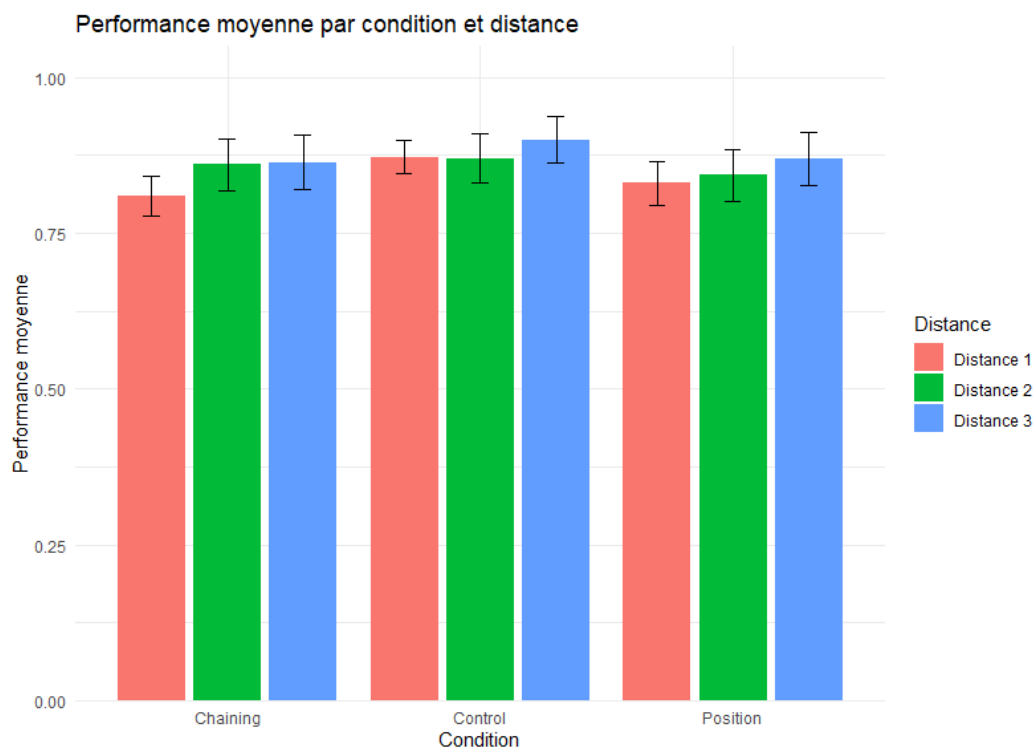


Figure 7 Performances moyennes selon la condition et la distance

Note. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 %.

Discussion

Ainsi, les résultats nous renseignent d'un effet de la condition expérimentale et de la distance sur les performances. Cependant, ils ne fournissent pas d'évidence en faveur d'une modulation des effets de distance par la condition expérimentale. Le deuxième modèle le mieux soutenu par les données correspond au modèle incluant uniquement une évidence modérée pour l'effet de distance ($BF_{10} = 3,127$). La comparaison entre le modèle le mieux soutenu (condition + distance) et le deuxième modèle le mieux soutenu (distance seule) indique que les données sont environ 1,60 fois mieux soutenues sous le modèle incluant les effets de condition et de distance que sous le modèle incluant uniquement l'effet de distance.

- 3.e.ii Analyse des effets expérimentaux sur les temps de réactions à la tâche de mémoire de travail (données brutes)

Analyses préparatoires : Potentiels outliers dans les temps de réactions

Aucun critère temporel d'exclusion des temps de réaction n'a été défini a priori pour cette première manipulation. Toutefois, lors de l'inspection des données, certaines valeurs particulièrement élevées ont été identifiées. Cette section s'articule donc, dans l'analyse et l'identification de valeurs atypiques.

Parmi les 8100 observations disponibles, un essai présente un temps de réaction de 117,74 secondes, ce qui constitue une valeur extrêmement élevée au regard de la nature de la tâche, les temps de réponse attendus dans une tâche de mémoire de travail étant généralement de l'ordre de quelques secondes. Dix autres essais, associés à dix participants différents, présentent également des temps de réaction supérieurs à 30 secondes (compris entre 32,33 et 45,45 secondes), ce qui suggère également des valeurs atypiques. Une analyse de la distribution des temps de réaction ainsi que des graphiques de type boîte à moustaches ont été réalisés sous RStudio (R Core Team, 2026), afin d'examiner la présence éventuelle de valeurs extrêmes (voir Figure 8 pour la distribution brute des temps de réaction).

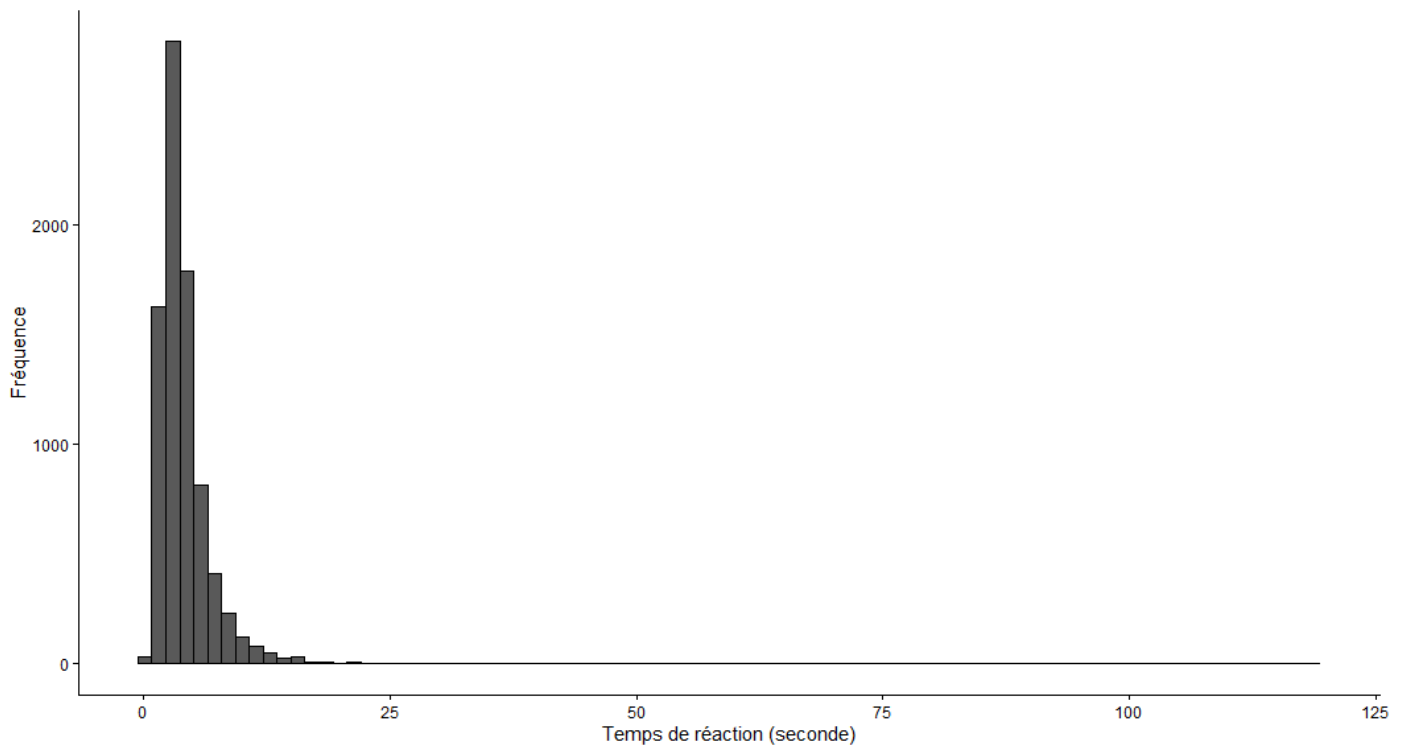


Figure 8 Distribution brute des temps de réaction (en seconde)

La distribution présente une forte asymétrie positive, avec un temps de réaction moyen de 4,08 secondes, suggérant la présence de valeurs élevées influençant la distribution générale.

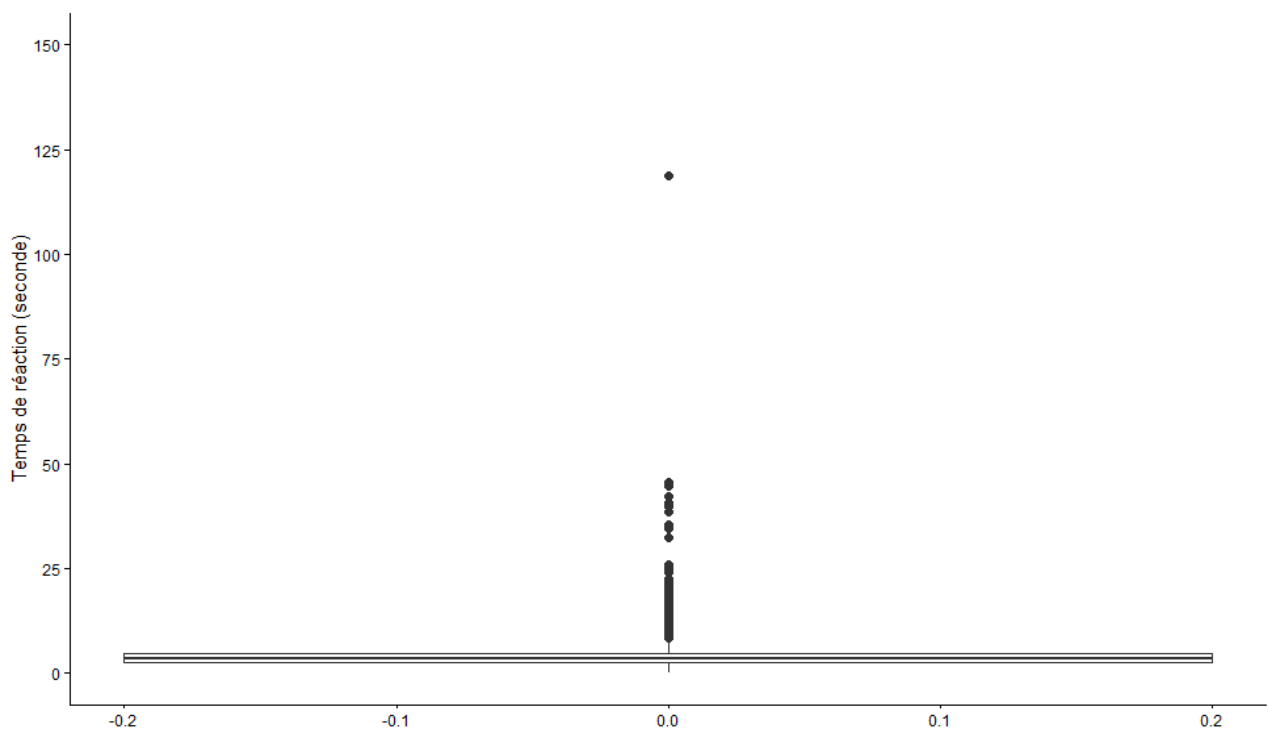


Figure 9 Boîtes à moustaches des temps de réaction (en seconde)

Le graphique en boîte (Figure 9) met également en évidence plusieurs observations situées au-delà des limites attendues.

La gestion des valeurs extrêmes dans les temps de réaction constitue une question méthodologique discutée dans la littérature, différentes stratégies existent, chacune présentant des avantages et des limites (Ratcliff, 1993). L'application d'un critère d'exclusion défini a priori est généralement recommandée, car elle permet de limiter les décisions prises après observation des résultats et d'assurer une plus grande transparence analytique (Vankov, 2023). À l'inverse, une procédure de nettoyage décidée uniquement après inspection des données peut soulever des interrogations quant au risque d'adapter les analyses aux résultats observés (Vankov, 2023). Dans le cadre de cette étude, certaines valeurs extrêmes semblaient toutefois susceptibles d'introduire un bruit important dans les analyses, notamment parce que les temps de réaction constituent une mesure continue particulièrement sensible aux valeurs extrêmes (Luck & Gold, 2008). Afin d'évaluer l'impact de ces observations sur les résultats, deux jeux de données ont donc été analysés : les données brutes, conservant l'ensemble des observations, et les données nettoyées selon une procédure de détection des valeurs extrêmes. Cette approche permet de discuter la robustesse des résultats au regard du traitement des données.

Le nettoyage des temps de réaction a été réalisé à l'aide de la méthode MAD (« Median Absolute Deviation »), sous RStudio (R Core Team, 2026). Cette méthode présente l'avantage d'être moins sensible aux valeurs extrêmes que les approches basées sur la moyenne, car elle repose sur la médiane et constitue ainsi une mesure robuste de dispersion (Leys et al., 2013). Conformément aux recommandations de Leys et ses collaborateurs (2013), les observations présentant une valeur supérieure à 2,5 fois le MAD ont été exclues. Le nettoyage des données a également été effectué sous RStudio (R Core Team, 2026). Le nombre initial d'observations pour les 50 participants s'élève à 8 100. Après application du critère d'exclusion basé sur le MAD, 7 440 observations sont conservées, correspondant à une diminution d'environ 8,15 % des observations initiales.

Après nettoyage, la distribution des temps de réaction apparaît moins asymétrique que celle observée dans les données brutes (voir Figure 10), avec un temps de réaction moyen d'environ 3,46 secondes. Le graphique de type boîte à moustaches (voir Figure 11) met également en évidence une distribution plus homogène, avec une réduction du nombre d'observations identifiées comme extrêmes selon le critère défini.

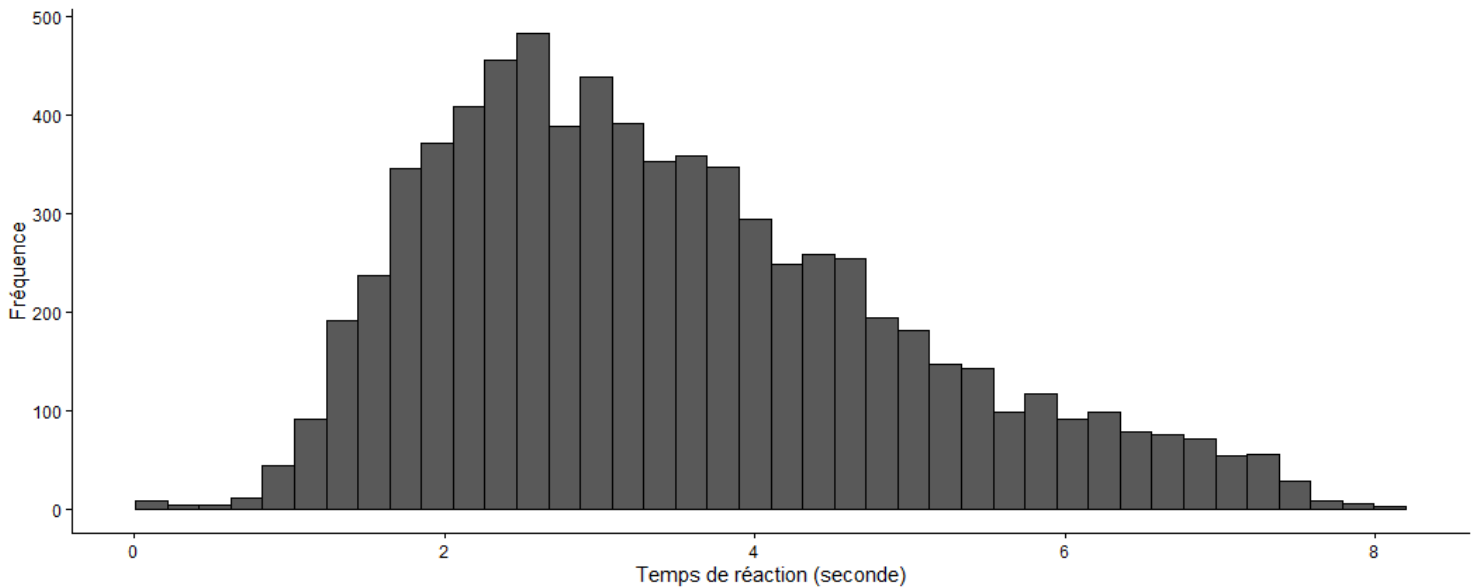


Figure 10 Distribution des temps de réaction après nettoyage MAD (en seconde)

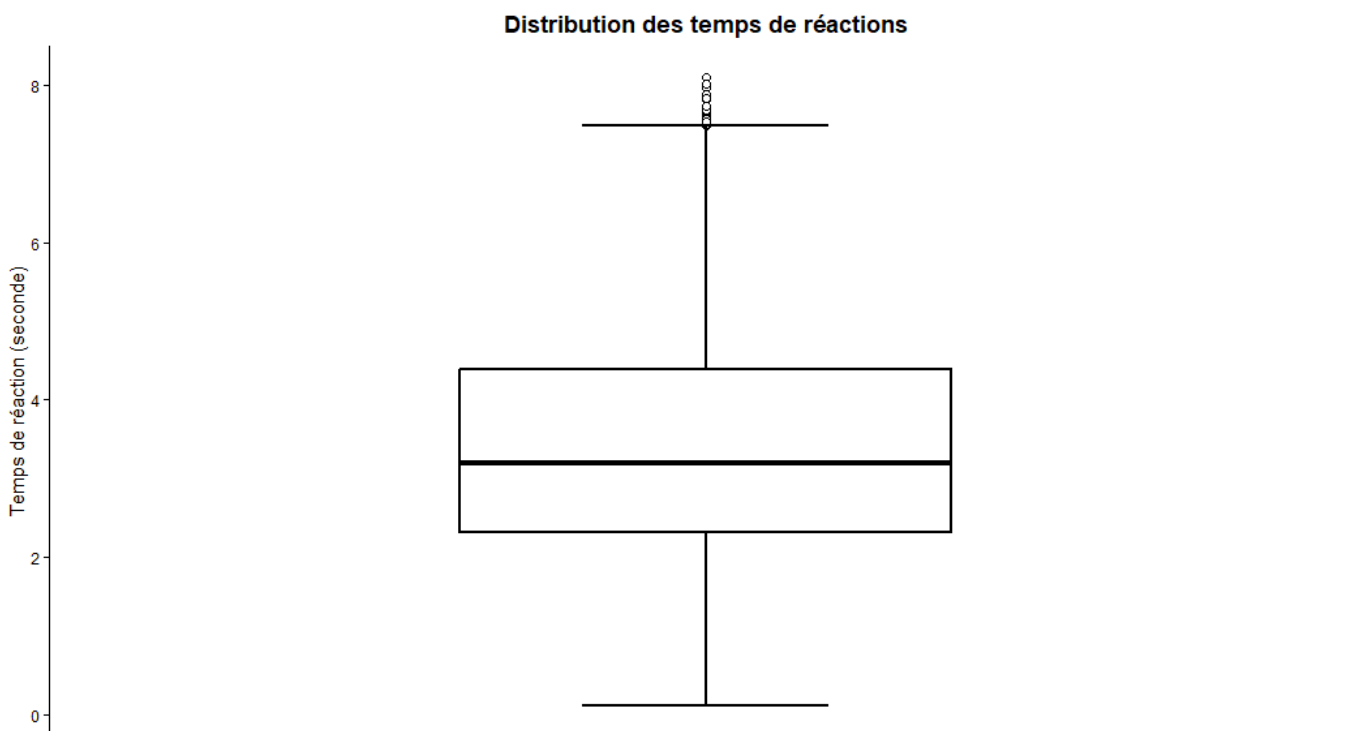


Figure 11 Boîtes à moustaches des temps de réaction après nettoyage MAD (en seconde)

Analyse des effets expérimentaux sur les temps de réactions à la tâche de mémoire de travail en ce qui concerne les données brutes

Le modèle ayant l'évidence la plus forte porte uniquement sur l'effet de la condition avec une évidence modérée ($BF_{10} = 3,625$) (La comparaison de l'ensemble des modèles testés est présentée dans la Figure 12). Le deuxième modèle le mieux soutenu correspond au modèle incluant les effets de condition et de distance, pour lequel les données apportent une évidence anecdotique ($BF_{10} = 0,568$). Une représentation des temps de réaction selon les conditions expérimentales et les distances est présentée dans la Figure 13.

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF_M	BF_{10}	error %
Null model (incl. subject and random slopes)	0.200	0.185	0.905	1.000	
Condition	0.200	0.669	8.083	3.625	1.702
Condition + Distance	0.200	0.105	0.469	0.568	4.238
Distance	0.200	0.028	0.116	0.153	1.703
Condition + Distance + Condition * Distance	0.200	0.013	0.054	0.073	1.943

Note. All models include subject, and random slopes for all repeated measures factors.

Figure 12 Tableau comparatif de tous les modèles comparés au modèle nul (50 observations)

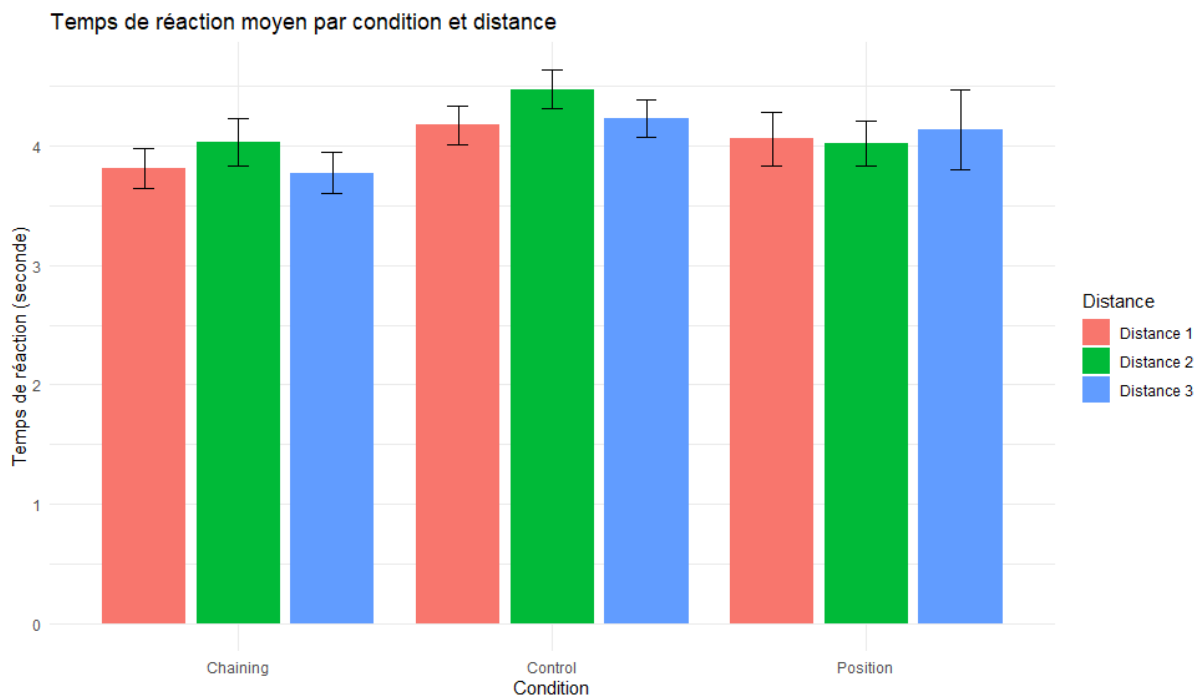


Figure 13 Temps de réaction moyens selon la condition et la distance

Note. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 %.

Discussion

Ces résultats suggèrent que, parmi les modèles testés, le modèle incluant uniquement l'effet de la condition expérimentale fournit le meilleur compte rendu des temps de réaction. Nos hypothèses ne sont donc pas supportées par nos données. En effet, l'objectif était de déterminer si la condition expérimentale modulait les effets de distance, ce qui aurait été attendu dans le cas d'une perturbation spécifique des mécanismes de représentation de l'ordre sériel en mémoire de travail. L'interaction présente une évidence forte en faveur du modèle nul ($BF_{10} = 0,074$), correspondant à un $BF_{01} = 13,5$. Ainsi, les données sont environ 13,5 fois plus probables sous le modèle nul que sous le modèle incluant l'interaction condition $\times$ distance.

3.e.iii Analyse des effets expérimentaux sur les temps de réactions à la tâche de mémoire de travail avec nettoyage MAD

Dans cette analyse, le modèle ayant l'évidence la plus forte correspond au modèle incluant les effets de condition et de distance, avec une évidence extrêmement forte de la présence de cet effet ($BF_{10} = 9,281 \times 10^6$). Voir la figure 14 ci-dessous, pour un aperçu des différents modèles.

Model Comparison

Models	P(M)	P(M data)	BF_M	BF_{10}	error %
Null model (incl. subject and random slopes)	0.200	8.473×10^{-8}	3.389×10^{-7}	1.000	
Condition + Distance	0.200	0.786	14.73	9.281×10^6	1.747
Condition + Distance + Condition $\times$ Distance	0.200	0.136	0.631	1.608×10^6	5.789
Condition	0.200	0.077	0.335	912900	1.569
Distance	0.200	8.755×10^{-7}	3.502×10^{-6}	10.33	1.739

Note. All models include subject, and random slopes for all repeated measures factors.

Figure 14 Tableau des différents modèles contre le modèle nul (50 observations)

La figure 15 contient une représentation des temps de réactions en fonction de la condition expérimentale et de la distance

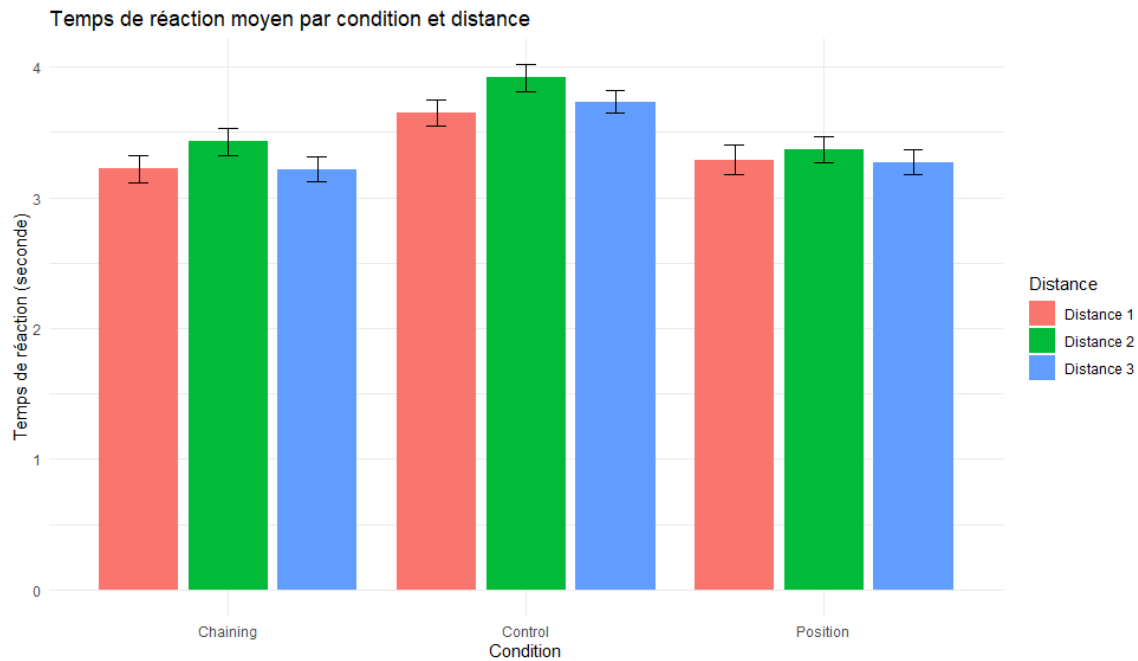


Figure 15 Temps de réaction moyens selon la condition et la distance après nettoyage MAD

Note. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 %.

Discussion

Les résultats semblent démontrer que l'effet de la condition et de la distance possède l'évidence la plus forte et apporte donc une meilleure explication de nos données. Ces observations ne supportent pas nos hypothèses, qui reposaient sur la présence d'une interaction condition $\times$ distance. Le modèle incluant cette interaction correspond au deuxième modèle le mieux soutenu, avec un $BF_{10} = 1,608 \times 10^6$ par rapport au modèle nul. La comparaison directe entre les deux modèles indique que les données sont environ 5,77 fois plus favorables aux modèles sans interactions qu'au modèle incluant l'interaction condition $\times$ distance. Ces résultats ne fournissent donc pas d'évidence en faveur d'une modulation de l'effet de distance par la condition expérimentale.

4 Discussion

Les processus impliqués dans l'encodage de l'ordre sériel restent aujourd'hui largement débattus dans la littérature. Deux grandes conceptions théoriques sont principalement étudiées : le traitement de type chaining ainsi que le traitement positionnel. Ces deux approches reposent sur des mécanismes théoriques différents et proposent des prédictions comportementales pouvant être observées. Par exemple, l'effet de distance standard est généralement associé à un traitement positionnel, tandis que l'effet de distance inverse est davantage compatible avec un traitement de type relationnel (« chaining »). Ces deux cadres théoriques permettent donc d'expliquer et de prédire certaines observations comportementales associées au rappel de l'ordre sériel.

L'objectif de cette étude était de proposer un nouveau paradigme expérimental original, permettant de confronter ces deux hypothèses, en perturbant spécifiquement les mécanismes supposés associés à ces traitements, à l'aide d'une tâche interférente. Ces deux cadres théoriques permettant tous deux, d'expliquer un certain nombre de phénomène observé en mémoire de travail, il était donc pertinent de les confronter dans un paradigme expérimental. Cette démarche s'inscrit plus largement dans une logique de confrontation entre modèles théoriques concurrents, nécessaire à l'évaluation de leurs prédictions respectives et à l'avancement des connaissances sur les mécanismes impliqués dans le traitement de l'ordre sériel. De ce fait l'objectif était d'observer une éventuelle modification des effets de distance en fonction du type de perturbation appliquée. Nos prédictions reposaient principalement sur l'existence d'une interaction entre la condition expérimentale et la distance, ce qui aurait pu démontrer la présence d'un traitement de type relationnel et ou de type positionnel.

Concernant les performances en mémoire de travail, les analyses ne mettent pas en évidence d'interaction attendue entre la condition et la distance. Le modèle incluant uniquement les effets principaux de condition et de distance permettait de mieux expliquer la variation des données. Malgré l'absence d'interaction, la présence d'un effet de distance est cohérente avec les nombreuses observations rapportées dans la littérature. Ce résultat constitue un élément en faveur de la validité du paradigme utilisé pour mesurer les processus impliqués dans la mémoire de travail sérielle. Cependant, l'absence d'interaction indique que le type de condition expérimentale ne semble pas moduler les effets de distance observés.

Autrement dit, les variations associées aux distances apparaissent similaires entre les différentes conditions expérimentales. Ce qui ne semble donc pas en faveur de la présence d'un traitement de type positionnel ou relationnel.

Concernant les temps de réaction, deux analyses principales ont été réalisées : une analyse conservant l'ensemble des observations disponibles (données brutes) et une analyse après nettoyage des valeurs atypiques à l'aide de la procédure MAD. L'analyse des données brutes indique que le modèle incluant uniquement l'effet de la condition constitue le modèle le mieux soutenu. Ce résultat suggère que les variations des temps de réaction seraient principalement expliquées par les différences entre conditions expérimentales. Cependant, l'absence d'effet de distance dans ces analyses est surprenante au regard des effets habituellement observés dans les tâches de mémoire de travail sérielle. Cette absence d'effet doit toutefois être interprétée avec prudence au regard de la présence de plusieurs valeurs atypiques dans les temps de réactions. Certaines observations particulièrement élevées ont pu influencer les analyses statistiques, les temps de réaction constituant une mesure continue particulièrement sensible aux valeurs atypiques (Luck & Gold, 2008).

Les analyses réalisées après nettoyage MAD mettent en évidence un modèle différent, incluant les effets principaux de condition et de distance. Ce résultat suggère alors une contribution conjointe des effets liés à la condition expérimentale et à la distance dans l'explication des temps de réaction. Il est néanmoins important de rester prudent dans l'interprétation de cette différence entre les analyses avec et sans exclusions. La convergence entre le modèle obtenu après nettoyage des temps de réaction et celui observé dans l'analyse des performances en mémoire de travail constitue cependant un élément intéressant. En effet, les performances n'ayant pas fait l'objet d'un filtrage des observations, l'observation d'un effet de distance dans cette mesure suggère que cet effet pourrait représenter une composante robuste du paradigme. La différence entre les analyses brutes et nettoyées souligne également la sensibilité des analyses statistiques à la présence de valeurs atypiques.

Une limite méthodologique concerne l'absence de définition a priori d'un critère d'exclusion des temps de réaction extrêmes. Une stratégie de traitement des valeurs atypiques aurait idéalement dû être définie avant la collecte des données. Afin de limiter les biais et favoriser la transparence, nous avons donc présenté à la fois les analyses réalisées sur les données

brutes et celles obtenues après nettoyage MAD. Cette approche permet d'assurer une plus grande transparence méthodologique et d'évaluer la robustesse des conclusions obtenues. Les analyses réalisées sur les performances en mémoire de travail ainsi que sur les temps de réaction, qu'ils soient considérés avant ou après nettoyage, ne mettent toutefois pas en évidence d'interaction condition $\times$ distance comme modèle explicatif principal. Les résultats suggèrent donc que les effets de distance ne semblent pas être modulés par le type de tâche interférente. Autrement dit, les résultats ne fournissent pas d'évidence en faveur d'un effet différentiel des deux tâches secondaires sur les effets de distance.

Plusieurs explications peuvent être envisagées pour interpréter l'absence d'interaction entre la condition expérimentale et les effets de distances. Premièrement, il est possible que le paradigme expérimental ne soit pas suffisamment sensible pour perturber spécifiquement les mécanismes supposés associés au chaining ou au traitement positionnel. Bien que les tâches interférentes aient été conçues afin de solliciter préférentiellement l'un ou l'autre de ces traitements, il est possible que leur impact corresponde principalement à une augmentation générale de la charge attentionnelle, plutôt qu'à une perturbation spécifique d'un mécanisme de représentation de l'ordre sériel. Le choix de trois triplets dans les tâches interférentes reposait sur un compromis entre le niveau de difficulté, la durée de la tâche secondaire et la nécessité de maintenir une interférence suffisante. Une augmentation de l'intensité ou de la durée de l'interférence aurait toutefois pu produire des effets différents.

De plus, la problématique vient peut-être de la volonté de perturber le type de traitement de façon globale. En effet, nous avons vu par exemple, que le traitement de la position peut être théoriquement encodé avec des marqueurs de types spatial et ou temporel (Abrahamse et al., 2014 ; Hartley et al., 2016). Plus spécifiquement, certains éléments dans la littérature renseignent d'une perturbation possible de certains marqueurs dont celui de la temporalité. En effet, des articles mettent en évidence qu'il est possible d'impacter les performances en mémoire de travail en ajoutant une interférence de type temporelle (Attout et al., 2026 ; Henson et al., 2003). Une perturbation du marqueur en lien avec l'encodage temporel, permettrait peut-être d'avoir un impact plus robuste sur les effets de distances, par exemple. Le chaining quant à lui, comprend également différentes explications théoriques, une perturbation plus précise pourrait également être plus impactante. Une autre difficulté provient également de la nécessité de recourir à des tâches secondaires globalement similaires

dans notre paradigme, les deux tâches secondaires, doivent être relativement comparables en termes de difficulté, afin de ne pas ajouter du bruit dans nos observations.

Deuxièmement, il est possible que les codes supposés étudiés ne soient pas nécessaires au maintien de l'ordre sériel. Certains modèles computationnels, comme celui proposé par Botvinick et Plaut (2006), permettent notamment d'expliquer certaines observations comportementales, sans recourir à des représentations explicitement relationnelles ou positionnelles. Une absence d'interaction pourrait donc indirectement signifier que ces types d'encodage ne sont simplement pas présents.

Troisièmement, il est également possible que ces différents codes existent, mais qu'ils ne soient pas mobilisés de manière équivalente selon les tâches ou les caractéristiques du matériel utilisé. Les stratégies mobilisées par les participants, qu'elles soient implicites ou explicites, pourraient favoriser certains types de traitement ordinal en fonction du contexte expérimental. Ainsi, un code pourrait être davantage impliqué dans certaines tâches de mémoire de travail et moins dans d'autres. Une possibilité serait que la contribution relative de ces mécanismes dépende notamment de la nature du matériel ou des exigences de la tâche. Par exemple, une tâche impliquant des relations syntaxiques et sémantiques pourrait davantage solliciter des représentations relationnelles entre les éléments, tandis qu'une tâche portant sur des éléments relativement indépendants, tels que des chiffres ou des lettres, pourrait davantage mobiliser d'autres formes de représentation. Ces possibilités et réflexion restent cependant spéculatives et devraient être directement testées dans de futures études.

Une seule expérience ne permet donc pas de conclure définitivement quant à la présence ou à l'absence de ces mécanismes. De nombreux facteurs peuvent influencer les observations comportementales, et un résultat négatif ne suffit pas à réfuter l'existence d'un traitement relationnel ou positionnel. De futures études utilisant différents paradigmes expérimentaux seront nécessaires afin d'accumuler davantage d'éléments permettant de préciser les mécanismes impliqués dans l'encodage de l'ordre sériel.

La compréhension des processus permettant l'encodage de l'ordre sériel représente un enjeu important pour l'étude de la cognition humaine. Ces mécanismes interviennent dans de

nombreuses activités quotidiennes, notamment l'apprentissage, le langage, le raisonnement ou encore le calcul. Une meilleure compréhension de ces processus pourrait également contribuer à l'identification de difficultés spécifiques liées à la mémoire de travail sérielle et participer au développement d'approches de prise en charge plus ciblées. Certaines recherches suggèrent notamment l'existence de dissociations possibles entre les difficultés liées aux items et celles liées à l'ordre sériel (Wokuri et al., 2023). Une compréhension plus précise des mécanismes impliqués pourrait ainsi permettre d'envisager des interventions adaptées aux difficultés spécifiques rencontrées par certains individus. Toutefois, la complexité des mécanismes d'encodage sériel nécessite encore de nombreuses recherches. L'étude de ces processus permettra non seulement de mieux comprendre le fonctionnement de la mémoire de travail, mais également d'ouvrir de nouvelles perspectives concernant les mécanismes cognitifs impliqués dans le traitement de l'ordre.

5 Limites

Plusieurs limites peuvent être identifiées dans le cadre de ce projet. Tout d'abord, la présence potentielle de valeurs extrêmes dans les temps de réaction n'avait pas été anticipée avant la collecte des données. Une définition a priori des stratégies d'analyse, notamment concernant le traitement des valeurs atypiques, est généralement recommandée afin de limiter l'influence de décisions prises après observation des données et de réduire les risques de biais méthodologiques (Leys et al., 2013). Dans ce contexte, la mise en place préalable d'un critère de gestion des temps de réaction extrêmes aurait permis d'encadrer davantage l'analyse.

Par ailleurs, l'absence de limite temporelle stricte lors de la réponse pourrait également constituer une limite méthodologique. Les participants étaient invités à répondre le plus rapidement possible une fois certains de leur réponse. Cependant, certains essais ont pu être influencés par des périodes de déconcentration ou de vagabondage mental (Killeen, 2013), au vu du manque d'une valeur limite temporelle afin de répondre. N'ayant pas d'impératif direct

au sein de l'expérience (même si le sujet a été encouragé à répondre le plus rapidement possible) cela a pu amener le sujet à vagabonder ou se sortir de la tâche (Killeen, 2013) pouvant contribuer à l'apparition de temps de réaction particulièrement élevés. De plus, il est possible que l'absence d'un temps de temps de réponse, ait pu amener à des différences inter-individuelles, en ce qui concerne le caractère conservateur ou libéral des sujets (Luck & Gold, 2008). Plus précisément, un sujet conservateur va prendre plus de temps afin de donner une réponse, en attendant d'être sûr de lui, tandis que le libéral aura tendance à répondre plus rapidement. De ce fait, nos résultats contiennent probablement un mélange d'effet de la mémoire de travail, mais également d'autre phénomènes cognitifs. L'instauration d'un temps de réponse maximal aurait pu permettre de limiter l'apparition de ces valeurs et d'engager davantage les participants dans la réalisation de la tâche. Ensuite, bien que la condition contrôle permette d'obtenir une estimation des effets de distance en l'absence d'une tâche interférente spécifique, l'ajout d'une condition comprenant une tâche secondaire neutre aurait pu constituer un complément intéressant. Une telle condition aurait permis de distinguer plus précisément un effet général lié à la présence d'une double tâche d'un effet spécifique associé à la perturbation d'un traitement de type « chaining » ou positionnel. Cependant, cela aurait également alourdi le design actuel Enfin, une limite importante concerne la capacité réelle des tâches secondaires à perturber spécifiquement les mécanismes étudiés. Bien que les tâches aient été conçues afin de solliciter préférentiellement un traitement relationnel ou positionnel, il reste difficile d'affirmer qu'elles mobilisent suffisamment ces processus pour entraîner une perturbation spécifique des codes supposés. Des recherches futures pourraient donc chercher à renforcer la spécificité des tâches interférentes ou à utiliser d'autres méthodes permettant de manipuler plus directement ces mécanismes.

6 Perspectives futures

Des manipulations supplémentaires pourraient être mises en œuvre à partir des résultats et des observations obtenus dans cette étude. Premièrement, au vu de la distribution des temps de réaction observée dans la présente expérience, il pourrait être pertinent d'imposer un temps de réponse maximal aux participants. Cette procédure n'avait pas été mise en place, notamment par crainte d'augmenter la difficulté de la tâche. Elle pourrait néanmoins permettre de limiter l'apparition de temps de réaction particulièrement élevés. Les analyses

des distributions sur nos temps de réponse nettoyées, montre une moyenne globale de 3.46 secondes. Nous pourrions par exemple, appliquer un temps de réponse maximum de 5 secondes.

Ensuite, une future expérimentation pourrait définir a priori une stratégie d'analyse et de traitement des temps de réaction, pour les raisons évoquées dans la discussion.

Une analyse plus approfondie de la sensibilité des tâches interférentes pourrait également être envisagée. En effet, il reste difficile de déterminer dans quelle mesure celles-ci ont effectivement perturbé les mécanismes ciblés, si elles sont effectivement mobilisées dans la tâche. D'autres types de tâches interférentes pourraient ainsi être testés afin d'évaluer leur capacité à perturber plus spécifiquement les traitements associés au chaining ou au traitement positionnel.

Globalement, une seconde expérimentation intégrant ces modifications permettrait d'examiner plus rigoureusement les observations obtenues dans la présente étude et d'évaluer la robustesse de l'absence d'interaction entre la condition expérimentale et la distance.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Abrahamse, E., van Dijck, J.-P., Majerus, S., & Fias, W. (2014). Finding the answer in space : The mental whiteboard hypothesis on serial order in working memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00932>
- Andersson, Ulf. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children : The importance of central executive functions. *British Journal of Educational Psychology*, 78(2), 181-203. <https://doi.org/10.1348/000709907X209854>
- Antoine, S., Ranzini, M., van Dijck, J.-P., Slama, H., Bonato, M., Tousch, A., Dewulf, M., Bier, J.-C., & Gevers, W. (2019). Hemispatial neglect and serial order in verbal working memory. *Journal of Neuropsychology*, 13(2), 272-288. <https://doi.org/10.1111/jnp.12145>
- Archibald, L. M. (2017). Working memory and language learning : A review. *Child Language Teaching and Therapy*, 33(1), 5-17. <https://doi.org/10.1177/0265659016654206>
- Asselen, M. van, Lubbe, R. H. J. van der, & Postma, A. (2006). Are time and space automatically integrated in episodic memory? *Memory*, (14), 232-240.
- Attout, L., Fias, W., Salmon, E., & Majerus, S. (2014). Common Neural Substrates for Ordinal Representation in Short-Term Memory, Numerical and Alphabetical Cognition. *PLOS ONE*, 9(3), e92049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092049>

- Attout, L., Leroy, N., & Majerus, S. (2022). The Neural Representation of Ordinal Information : Domain-Specific or Domain-General? *Cerebral Cortex*, 32(6), 1170-1183. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab279>
- Attout, L., Remouchamps, R., & Majerus, S. (2026). Impact of concurrent temporal but not spatial processing on working memory for serial order. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 79(2), 324-337. <https://doi.org/10.1177/17470218251346745>
- 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. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Éd.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, p. 47-89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Belder, M. D., Abrahamse, E., Kerckhof, M., Fias, W., & Dijck, J.-P. van. (2015). Serial Position Markers in Space : Visuospatial Priming of Serial Order Working Memory Retrieval. *PLOS ONE*, 10(1), e0116469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116469>
- Bottini, R., Mattioni, S., & Collignon, O. (2016). Early blindness alters the spatial organization of verbal working memory. *Cortex*, 83, 271-279. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.08.007>

- Brown, G. D. A., Neath, I., & Chater, N. (2007). A temporal ratio model of memory. *Psychological Review*, 114(3), 539-576. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.3.539>
- Brown, G. D., Preece, T., & Hulme, C. (2000). Oscillator-based memory for serial order. *Psychological Review*, 107(1), 127-181. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.107.1.127>
- Burgess, N., & Hitch, G. J. (2006). A revised model of short-term memory and long-term learning of verbal sequences. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 627-652. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.08.005>
- Cheng, S., Cohen, A. S., Holmlund, T. B., Foltz, P. W., Cheng, J., Bernstein, J. C., Rosenfeld, E. P., & Elvevåg, B. (2020). A Dynamic Method, Analysis, and Model of Short-Term Memory for Serial Order with Clinical Applications. *Psychiatry Research*, 294, 113494. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113494>
- Costa, R. S., & Garcia-Marques, L. (2006). Memory for Serial Order in Social Cognition : Does Order Matter When We Are Forming Impressions About Strangers? *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 28(28). <https://escholarship.org/uc/item/0rg613h7>
- Cristoforetti, G., Majerus, S., Sahan, M. I., van Dijck, J.-P., & Fias, W. (2022). Neural Patterns in Parietal Cortex and Hippocampus Distinguish Retrieval of Start versus End Positions in Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(7), 1230-1245. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01860

De Belder, M., van Dijck, J.-P., Cappelletti, M., & Fias, W. (2017). How serially organized working memory information interacts with timing. *PSYCHOLOGICAL RESEARCH-PSYCHOLOGISCHE FORSCHUNG*, 81(6), 1255-1263.
<https://doi.org/10.1007/s00426-016-0816-8>

Delogu, F., Nijboer, T. C. W., & Postma, A. (2012). Encoding location and serial order in auditory working memory : Evidence for separable processes. *Cognitive Processing*, 13(3), 267-276. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0442-3>

Dewulf, M., Gevers, W., & Antoine, S. (2024). The ordinal distance effect in working memory : Does it exist in the absence of confounds? *Psychological Research*, 88(3), 852-860. <https://doi.org/10.1007/s00426-023-01892-y>

Fischer-Baum, S., & McCloskey, M. (2015). Representation of item position in immediate serial recall : Evidence from intrusion errors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(5), 1426-1446. <https://doi.org/10.1037/xlm0000102>

Ginsburg, V., Archambeau, K., van Dijck, J.-P., Chetail, F., & Gevers, W. (2017). Coding of serial order in verbal, visual and spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology. General*, 146(5), 632-650. <https://doi.org/10.1037/xge0000278>

Giofrè, D., Borella, E., & Mammarella, I. C. (2017). The relationship between intelligence, working memory, academic self-esteem, and academic achievement. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(6), 731-747.
<https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1310110>

Guida, A., Megreya, A. M., Lavielle-Guida, M., Noël, Y., Mathy, F., van Dijck, J.-P., & Abrahamse, E. (2018). Spatialization in working memory is related to literacy and reading direction : Culture « literarily » directs our thoughts. *Cognition*, 175, 96-100.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.02.013>

Hartley, T., Hurlstone, M. J., & Hitch, G. J. (2016). Effects of rhythm on memory for spoken sequences : A model and tests of its stimulus-driven mechanism. *Cognitive Psychology*, 87, 135-178. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2016.05.001>

Henson, R., Hartley, T., Burgess, N., Hitch, G., & Flude, B. (2003). Selective interference with verbal short-term memory for serial order information : A new paradigm and tests of a timing-signal hypothesis. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 56(8), 1307-1334.
<https://doi.org/10.1080/02724980244000747>

- Henson, R. N. (1998). Short-term memory for serial order : The Start-End Model. *Cognitive Psychology*, 36(2), 73-137. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0685>
- Henson, R. N. A., Norris, D. G., Page, M. P. A., & Baddeley, A. D. (1996). Unchained Memory : Error Patterns Rule out Chaining Models of Immediate Serial Recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 80-115. <https://doi.org/10.1080/713755612>
- Hurlstone, M. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2014). Memory for serial order across domains : An overview of the literature and directions for future research. *Psychological Bulletin*, 140(2), 339-373. <https://doi.org/10.1037/a0034221>
- JASP Team (2026). JASP (Version 0.98.0)[Computer software].
- Kalm, K., & Norris, D. (2014). The representation of order information in auditory-verbal short-term memory. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(20), 6879-6886. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4104-13.2014>
- Killeen, P. R. (2013). Absent without leave; a neuroenergetic theory of mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00373>

- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In *Cerebral mechanisms in behavior; the Hixon Symposium* (p. 112-146). Wiley.
- Lewandowsky, S., & Murdock Jr., B. B. (1989). Memory for serial order. *Psychological Review*, 96(1), 25-57. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.1.25>
- Lewandowsky, S., Nimmo, L. M., & Brown, G. D. A. (2008). When temporal isolation benefits memory for serial order. *Journal of Memory and Language*, 58(2), 415-428. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.11.003>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers : Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Logan, G. D. (2021). Serial order in perception, memory, and action. *Psychological Review*, 128(1), 1-44. <https://doi.org/10.1037/rev0000253>
- Lohnas, L. J., Polyn, S. M., & Kahana, M. J. (2015). Expanding the scope of memory search : Modeling intralist and interlist effects in free recall. *Psychological Review*, 122(2), 337-363. <https://doi.org/10.1037/a0039036>
- Long, N. M., & Kahana, M. J. (2019). Hippocampal contributions to serial-order memory. *Hippocampus*, 29(3), 252-259. <https://doi.org/10.1002/hipo.23025>

Luck, S. J., & Gold, J. M. (2008). The Translation of Cognitive Paradigms for Patient Research. *Schizophrenia Bulletin*, 34(4), 629-644.

<https://doi.org/10.1093/schbul/sbn036>

Majerus, S. (2010). Les multiples déterminants de la mémoire à court terme verbale : Implications théoriques et évaluatives. *Développements*, 4(1), 5-15.

<https://doi.org/10.3917/devel.004.0005>

Majerus, S. (2019). Verbal working memory and the phonological buffer : The question of serial order. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 112, 122-133. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.04.016>

Majerus, S. (2023). Chapitre 14. Les troubles de la rétention en mémoire à court terme/mémoire de travail. *Neuropsychologie*, 3, 215-229.

Marshuetz, C. (2005). Order information in working memory : An integrative review of evidence from brain and behavior. *Psychological Bulletin*, 131(3), 323-339.

<https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.323>

Morin, C., Brown, G. D. A., & Lewandowsky, S. (2010). Temporal isolation effects in recognition and serial recall. *Memory & Cognition*, 38(7), 849-859.

<https://doi.org/10.3758/MC.38.7.849>

Murdock, B. B. (1995). Developing TODAM : Three models for serial-order information.

Memory & Cognition, 23(5), 631-645. <https://doi.org/10.3758/bf03197264>

Ordóñez Magro, L., Mirault, J., Grainger, J., & Majerus, S. (2022). Sequential versus simultaneous presentation of memoranda in verbal working memory : (How) does it matter? *Memory & Cognition*, 50(8), 1756-1771. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01284-4>

Osth, A. F., & Hurlstone, M. J. (2023). Do item-dependent context representations underlie serial order in cognition? : Commentary on Logan (2021). *Psychological Review*, 130(2), 513-545. <https://doi.org/10.1037/rev0000352>

Page, M. P. A., & Norris, D. (1998). The primacy model : A new model of immediate serial recall. *Psychological Review*, 105(4), 761-781. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.4.761-781>

Parton, A., Malhotra, P., & Husain, M. (2004). Hemispatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 75(1), 13-21.

Peirce, J. W., Hirst, R. J. & MacAskill, M. R. (2022). Building Experiments in PsychoPy. 2nd Edn London: Sage.

Peteranderl, S., & Oberauer, K. (2018). Serial recall of colors : Two models of memory for serial order applied to continuous visual stimuli. *Memory & Cognition*, 46(1), 1-16. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0741-0>

Posit team (2025). *RStudio: Integrated Development Environment for R*.

Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.

Quintana, D. S., & Williams, D. R. (2018). Bayesian alternatives for common null-hypothesis significance tests in psychiatry : A non-technical guide using JASP. *BMC Psychiatry*, 18(1), 178. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1761-4>

Rasoulzadeh, V., Sahan, M. I., van Dijck, J.-P., Abrahamse, E., Marzecova, A., Verguts, T., & Fias, W. (2021). Spatial Attention in Serial Order Working Memory : An EEG Study. *Cerebral Cortex*, 31(5), 2482-2493. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa368>

Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, 114(3), 510-532. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.3.510>

Sahan, M. I., van Dijck, J.-P., & Fias, W. (2022). Eye-movements reveal the serial position of the attended item in verbal working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(2), 530-540. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-02005-9>

Schönbrodt, F. D., Wagenmakers, E.-J., Zehetleitner, M., & Perugini, M. (2017). Sequential hypothesis testing with Bayes factors : Efficiently testing mean differences. *Psychological Methods*, 22(2), 322-339. <https://doi.org/10.1037/met0000061>

Shaki, S., & Gevers, W. (2011). Cultural characteristics dissociate magnitude and ordinal information processing. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(4), 639-650.

<https://doi.org/10.1177/0022022111406100>

Sternberg, S. (1967). Retrieval of contextual information from memory. *Psychonomic Science*, 8(2), 55-56. <https://doi.org/10.3758/BF03330664>

Tian, Y., Beier, M. E., & Fischer-Baum, S. (2022). The domain-specificity of serial order working memory. *Memory & Cognition*, 50(5), 941-961.

<https://doi.org/10.3758/s13421-021-01260-4>

van Dijck, J.-P., Abrahamse, E., & Fias, W. (2020). Do preliterate children spontaneously employ spatial coding for serial order in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1477(1), 91-99. <https://doi.org/10.1111/nyas.14430>

Vankov, I. I. (2023). The hazards of dealing with response time outliers. *Frontiers in Psychology*, 14, 1220281. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1220281>

Vernucci, S., Aydmune, Y., Andrés, M. L., Burin, D. I., & Canet-Juric, L. (2021). Working memory and fluid intelligence predict reading comprehension in school-age children : A one-year longitudinal study. *Applied Cognitive Psychology*, 35(4), 1115-1124.

<https://doi.org/10.1002/acp.3841>

Wokuri, S., Gonthier, C., Marec-Breton, N., & Majerus, S. (2023). Heterogeneity of short-term memory deficits in children with dyslexia. *Dyslexia*, 29(4), 385-407.

<https://doi.org/10.1002/dys.1749>

Zhou, D., Cai, Q., Luo, J., Yi, Z., Li, Y., Seger, C. A., & Chen, Q. (2021). The neural mechanism of spatial-positional association in working memory : A fMRI study. *Brain and Cognition*, 152, 105756. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2021.105756>

8 Annexe

8.a Annexe A : Stabilisation séquentielle des temps de réactions pour les données brutes

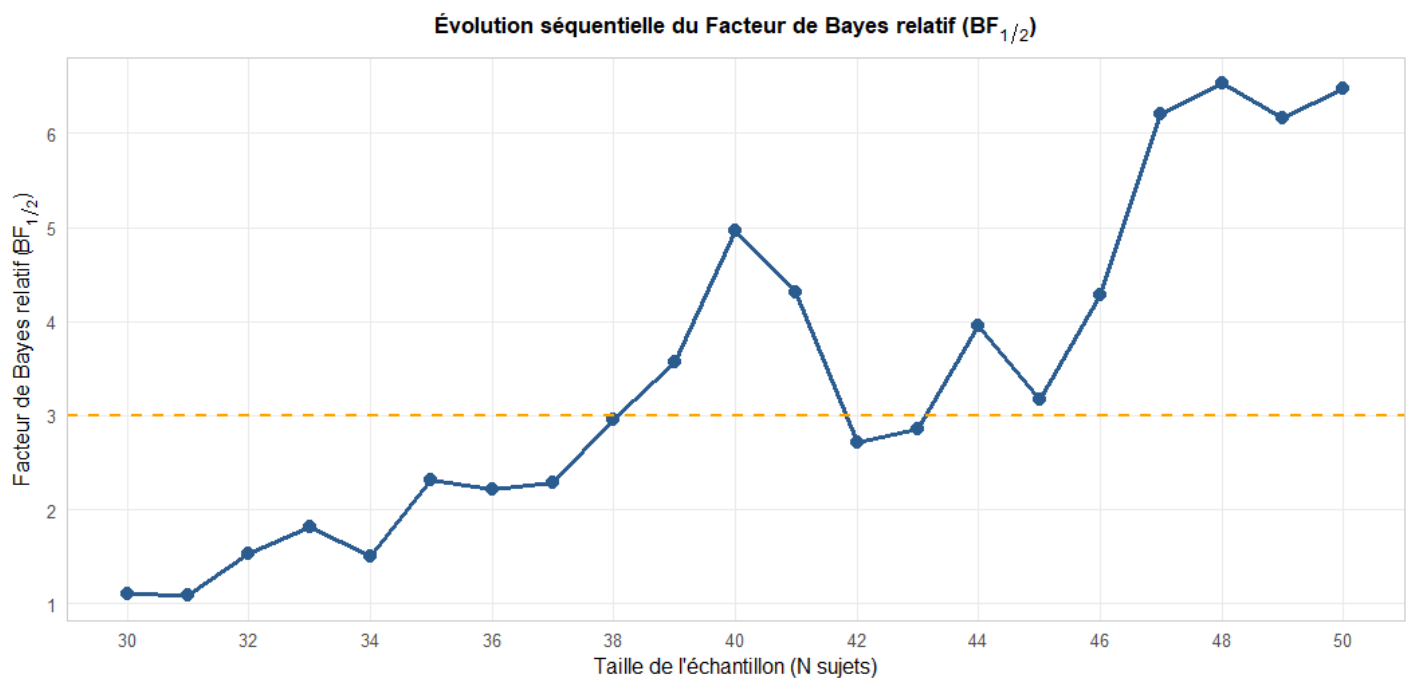


Figure 1 Graphique représentant l'évolution de la stabilisation du modèle gagnant

La figure 1 représente le calcul de stabilisation réalisé sur les temps de réaction bruts. Les pointillés jaunes représentent le niveau d'évidence minimum attendu pour considérer la stabilisation comme atteinte sur au moins cinq sujets consécutifs. Schönbrodt et ses collaborateurs (2017) recommande de commencer avec un minimum de 20 sujets, puis de vérifier si le modèle se stabilise sur au moins 5 sujets consécutifs. Ces recommandations étant le minimum, nous avons commencé l'analyse sur 30 sujets, afin d'avoir une robustesse supplémentaire. Le calcul de la stabilisation a été effectué en commençant les analyses sur les 30 premiers participants, puis en identifiant les deux modèles les mieux soutenus pour chaque analyse supplémentaire, en ajoutant les participants un à un. Cela permet de calculer un BF relatif, correspondant au rapport entre le BF du premier modèle gagnant et celui du deuxième modèle gagnant.

Les analyses sont considérées comme stables lorsque le même modèle reste gagnant et que son BF relatif est supérieur au seuil défini (BF supérieur à 3 et représenté par les pointillés jaunes), et ce pendant au moins cinq sujets consécutifs. Comme nous pouvons le voir sur le

graphique, le modèle gagnant reste stable du sujet 30 au sujet 50. Le BF relatif fluctue toutefois entre les sujets 38 et 44, avec plusieurs valeurs situées au-dessus du seuil. La stabilisation du modèle peut néanmoins être considérée comme atteinte entre les sujets 44 et 50, période durant laquelle le BF relatif reste supérieur à 3 sur au moins 5 sujets consécutifs.

8.b Annexe B : Stabilisation séquentielle pour les données nettoyées MAD

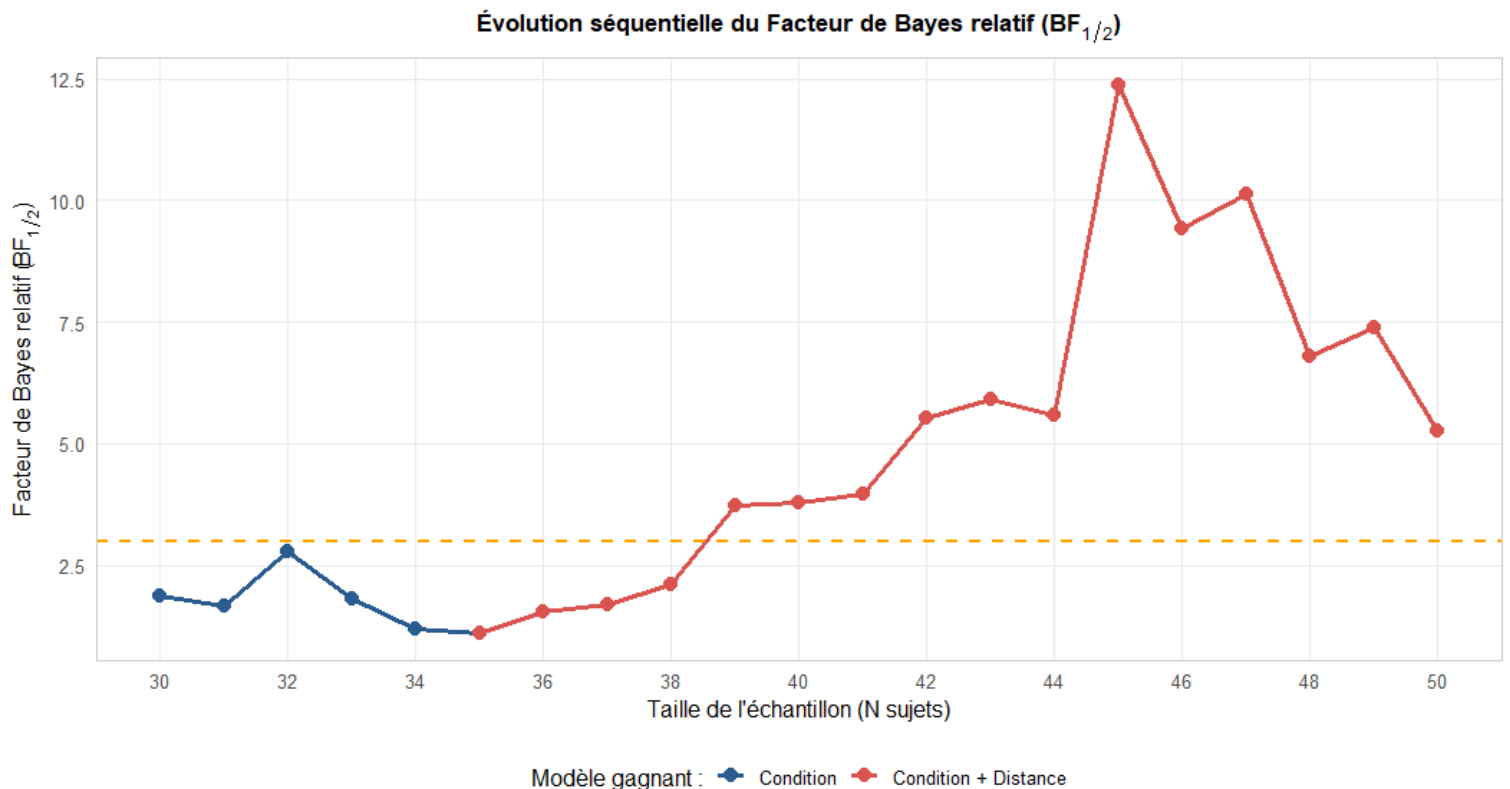


Figure 2 Graphique représentant l'évolution de la stabilisation du modèle gagnant

La figure 2 représente le calcul de stabilisation réalisé sur les temps de réaction nettoyés à l'aide de la procédure « Median Absolute Deviation » (MAD). La procédure de calcul est la même que celle détaillée dans l'annexe A.

Comme nous pouvons le voir sur le graphique, le modèle gagnant correspond au modèle incluant uniquement l'effet de la condition, du sujet 30 au sujet 34. Du sujet 35 au sujet 39, le BF relatif fluctue en dessous du seuil de 3, également représenté par les pointillés jaunes. À partir du sujet 39 et jusqu'au sujet 50, le BF relatif reste supérieur à 3. Le modèle incluant les effets de condition et de distance peut ainsi être considéré comme stable, puisque son BF

relatif reste supérieur à 3 pendant au moins cinq sujets consécutifs. Les deux types d'analyses rapportent une stabilisation du modèle d'après les critères définis. Nous n'avons donc pas recruté de sujets supplémentaires en raison de ces observations. L'échantillon final comprend donc 50 participants.

8.c Annexe C : Grille d'utilisation des intelligences artificielles

ANNEXE 1. Grille d'utilisation des intelligences artificielles génératives pour le mémoire et le travail préparatoire à la recherche (TPR)

Dans ce cours, l'utilisation des IA Génératives pour ...	Utilisation autorisée	Utilisation de l'étudiant	Nom de/des IA générative(s) utilisée(s)
Aider à la rédaction du plan et de la structure du travail	✓	NON	
Vérifier l'orthographe et la grammaire	✓	OUI	ChatGPT/Claude.ai
Reformuler le contenu de votre travail ou améliorer le style	✓	OUI	ChatGPT
Traduire une autre langue	✓	OUI	ChatGPT
Aider à la planification et gestion de projet	✓	NON	
Obtenir des informations générales sur un sujet, expliquer et approfondir la compréhension de concepts	✓	OUI	ChatGPT
Faire un brainstorming et évaluer ses propres idées, pour trouver d'autres perspectives ou des contre-arguments	✓	OUI	ChatGPT
Aider à la recherche documentaire	✓	OUI	Claude.ai
Aider à la synthèse de la littérature	✓	NON	
Aider à la formulation de questions de recherche et d'hypothèses	✓	NON	
Aider à l'analyse de données (identification d'analyses à réaliser)	✓	NON	
Aider à l'interprétation des résultats	✓	OUI	ChatGPT/Claude.ai
Aider au respect des normes APA de la liste des références	✓	NON	
Aider à la programmation de code et au débogage	✓	OUI	ChatGPT/Gemini
Générer un feedback critique et révision	✓	OUI	Claude.ai
Créer du contenu multimédia, par exemple des images, des vidéos, des animations ou du son (mais toujours expliquer l'utilisation des IA)	✓	NON	

Générer le contenu du travail à partir de mots clés, d'un thème ou d'une question de départ sans vérification et appropriation personnelle	✗	NON	
Reproduire ou reformuler du contenu existant sans citer la source (plagiat)	✗	NON	
Falsifier, créer des données	✗	NON	
Générer des références bibliographiques sans en contrôler l'existence ou l'exactitude	✗	NON	
Utiliser dans une IA des données non anonymisées issues de l'étude (participants, résultats, verbatim, etc.)	✗	NON	

Je, soussigné Blondel Mathieu
(nom et prénom), déclare sur l'honneur avoir complété la grille
avec exactitude et honnêteté, en toute bonne foi.

Légende :

✓ = L'utilisation des IA Génératives est autorisée (ce qui ne veut pas dire qu'elle est encouragée. Voir ci-dessous)

✗ = L'utilisation des IA Génératives n'est pas autorisée, les infractions entraîneront des sanctions.

n.a = Non-applicable pour ce cours

L'étudiant remplit sa colonne par « Oui » ou par « Non » en fonction de s'il a utilisé ou non une IA générative.

***Attention :** le fait que certaines pratiques soient autorisées ne signifie pas que l'on attende ou que l'on encourage l'utilisation d'IA Génératives pour cette évaluation. Dans de nombreuses situations, vous obtiendrez probablement de meilleurs résultats sans utiliser d'IA Génératives.

Cette grille est une adaptation du « Tableau d'utilisation des IA Génératives » de la Faculté des Arts et des Sciences Sociales (FASoS) de l'Université de Maastricht.