



Impact de la nature et du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les tâches d'empan et de mémoire de travail

Sophie Bernardin, Sophie Portrat, Pierre Barrouillet

► To cite this version:

Sophie Bernardin, Sophie Portrat, Pierre Barrouillet. Impact de la nature et du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les tâches d'empan et de mémoire de travail. *Année Psychologique*, Centre Henri Pieron, 2006, 106, pp.23-42. <hal-00824152>

HAL Id: hal-00824152

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00824152>

Submitted on 21 May 2013

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

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

Impact de la nature et du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les
tâches d'empan de mémoire de travail.

Sophie Bernardin

Sophie Portrat

Pierre Barrouillet

Université de Bourgogne

Titre courant :

Empans de mémoire de travail : Effet des tâches secondaires et de leur rythme d'exécution

Correspondance :

Pierre Barrouillet

Université de Bourgogne - LEAD-CNRS 5022

Pôle AAFE – Esplanade Erasme

BP 26513 – 21065 DIJON France

Tel : 03 80 39 57 88 ; Fax : 03 80 39 57 67

barouil@u-bourgogne.fr

Impact de la nature et du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les tâches d'empan de mémoire de travail.

Résumé

Les tâches d'empan de mémoire de travail sont des tâches dans lesquelles des items doivent être maintenus en mémoire à court terme pendant qu'un traitement concurrent est effectué. Le but de la présente étude était de déterminer si, comme le soutient le modèle de partage temporel des ressources (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004), les traitements gênent le maintien parce que les deux composantes entrent en compétition pour des processus communs ou plus simplement parce que les stratégies de maintien des items à rappeler sont perturbées par l'intrusion de l'information à traiter simultanément. Quarante-deux sujets adultes étaient soumis à une tâche d'empan où ils devaient maintenir des lettres en même temps qu'ils devaient juger soit de la parité soit de la position spatiale de nombre présentés successivement à l'écran. Par ailleurs, ces nombres apparaissaient à un rythme régulier et donc prévisible ou bien aléatoire. Conformément à nos attentes, et contrairement à l'hypothèse d'une perturbation des stratégies de maintien, les jugements de parité qui nécessitent des récupérations en mémoire entraînaient de plus faibles empan que la tâche spatiale qui ne requiert qu'une sélection de réponse alors que le rythme de réalisation de la tâche secondaire n'avait pas d'effet sur les empan.

Mots-clés : Mémoire de travail, Coût cognitif, Double tâche.

On the role of the nature and rhythm of completion of the secondary task on working memory spans

Abstract

Working memory span tasks require participants to maintain items in short term memory while performing some concurrent processing (e.g., reading, counting, problem solving). The aim of the present experiment was to contrast two hypotheses about the locus of the detrimental effect of the processing component on the maintenance of items. Does processing impede maintenance because both components share some basic cognitive processes and supplies, as suggested by the Time-Based Resource-Sharing model (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004), or more simply because the strategies of maintenance are disrupted by the appearance of items to be concurrently processed. Eighty adult participants were given working memory span tasks in which they had to maintain letters while they judged either the parity (odd/even) or the spatial position (top/bottom) of series of numbers sequentially displayed on screen. Moreover, these numbers appeared either at a regular or at an unpredictable rhythm. In line with our expectations, and contrary to the hypothesis of a disruption of mnemonic strategies, parity judgements that require memory retrievals resulted in lower spans than the spatial judgements that rely on simple selection of response, while the rhythm of completion of the secondary task did not affect spans.

Key words: Working memory, Cognitive load, Dual task.

Impact de la nature et du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les tâches d'empan de mémoire de travail.

Depuis Baddeley et Hitch (1974), il est d'usage de définir la mémoire de travail comme un système dévolu à la coordination des activités de maintien et de traitement de l'information qui sont requises par nombre d'activités complexes comme la compréhension, la résolution de problème, ou le raisonnement. Les auteurs observaient en effet que les performances des adultes dans une tâche de raisonnement étaient diminuées par une charge mémorielle concurrente, et que cette diminution était d'autant plus importante que la tâche de raisonnement était difficile. Ils suggéraient que ces deux processus, traitement et maintien, étaient assujettis à un système cognitif commun de capacité limitée, le central exécutif. Le fait que traitement et maintien soient en compétition pour un *pool* de ressources limité expliquerait les phénomènes dits de *trade-off* (échange) : tout accroissement des ressources nécessaires au maintien se fait au détriment des ressources disponibles pour les traitements, entraînant une dégradation de la performance. Inversement, plus le traitement est coûteux et plus les ressources disponibles pour le maintien diminuent, conduisant à l'oubli de tout ou partie de l'information à maintenir en mémoire. Ces ressources cognitives sont considérées, selon les différents modèles de mémoire de travail, comme un espace mental (Case, 1985), des sources d'activation (Lovett, Reder, & Lebiere, 1999), une capacité d'attention contrôlée (Engle, Kane & Tuholski, 1999), ou encore des capacités pour superviser et coordonner le fonctionnement de systèmes multiples (Baddeley & Logie, 1999).

Les capacités de la mémoire sont évaluées grâce à des tâches d'empan complexe impliquant à la fois une activité de stockage et une activité de traitement. Une des premières tâches élaborées et des plus connues fut la tâche d'empan de lecture (Daneman et Carpenter, 1980) dans laquelle les sujets doivent lire des suites de phrases en même temps qu'ils

mémorisent le dernier mot de chacune d'elles. L'empan est le nombre maximal de phrases dont le dernier mot peut être rappelé. Dans la tâche d'empan de comptage (Case, Kurland, & Goldberg, 1982), les sujets dénombrent des collections en même temps qu'ils doivent en mémoriser le cardinal. L'empan est ici le nombre maximal de collections dont le cardinal peut être rappelé suite à leur dénombrement. Un des principaux arguments en faveur de l'hypothèse d'un partage des ressources lors de la réalisation de ces tâches est l'existence d'une relation linéaire entre les performances observées dans la tâche de traitement lorsqu'elle est réalisée seule et les performances d'empan. L'argument est ici que plus un traitement est efficace moins il est coûteux, les ressources ainsi épargnées pouvant alors être allouées au stockage et entraînant des empan plus élevés. Par exemple, en ce qui concerne l'empan de comptage, Case et al. (1982) suggéraient que la pratique et la maturation entraînent avec l'âge une diminution des ressources requises par le dénombrement qui peuvent alors être allouées au maintien des cardinaux à rappeler, d'où les meilleures performances de rappel chez les enfants plus âgés.

Cependant, cette conception d'un réservoir commun de ressources dévolues au maintien et au traitement à été remise en question par Towse et Hitch (1995) qui ont proposé une hypothèse alternative à celle du partage des ressources pour expliquer les performances en mémoire de travail : l'hypothèse du déclin mnésique. Selon ces auteurs, la force des traces mnésiques dans l'espace de stockage de la mémoire de travail s'affaiblirait à mesure que l'intervalle de temps entre le stockage et le rappel augmente. Ainsi, l'accroissement des empan de comptage avec l'âge serait dû non pas à une diminution des ressources requises par le dénombrement mais à une augmentation de sa vitesse qui entraîne une diminution de l'intervalle de temps entre le stockage et le rappel. En effet, si trois planches sont par exemple à dénombrer, la durée de maintien du cardinal de la première planche avant rappel correspond au temps nécessaire pour dénombrer les deux planches suivantes. Les enfants âgés comptant

plus vite, la durée de maintien de l'information serait plus brève et leurs rappels seraient meilleurs. Conformément à cette hypothèse, les auteurs ont observé que les empan demeurent insensibles à une manipulation de la difficulté de comptage (et donc de son coût cognitif) alors qu'un allongement de sa durée entraîne de plus faibles empan. Ainsi, ils concluent que les empan de mémoire de travail chez les enfants (Towse & Hitch, 1995 ; Towse , Hitch, & Hutton, 1998), mais aussi chez les adultes (Towse , Hitch & Hutton, 2000), ne dépendent pas de la difficulté de la composante de traitement mais simplement de sa durée. Selon cette conception, les notions de coût cognitif et de partage des ressources seraient superflues pour rendre compte des empan de mémoire de travail (Towse & Houston-Price, 2001).

Afin de tester cette hypothèse, Barrouillet et Camos (2001, voir aussi Gavens & Barrouillet, sous presse) ont proposé à des enfants diverses tâches de mémoire de travail dans lesquelles la durée de la composante de traitement était maintenue constante alors que son coût cognitif variait (résoudre des opérations, lire des chiffres, ou simplement répéter une syllabe pendant qu'on maintient des lettres à rappeler). Ils ont montré, contrairement à Towse et Hitch (1995), que les empan observés variaient effectivement en fonction du coût cognitif des traitements à effectuer. Toutefois, une augmentation que l'on peut supposer importante de ce coût cognitif (e.g. résoudre des opérations vs. répéter une syllabe) n'entraînait qu'une diminution modérée des performances de rappel. Une explication possible est alors d'imaginer que, pendant qu'ils réalisent des traitements complexes comme la résolution d'opérations, les sujets s'interrompent brièvement mais fréquemment pour rafraîchir les traces mnésiques des items à rappeler, parvenant ainsi à maintenir des performances de rappel correctes. Les auteurs ont donc suggéré d'intégrer des contraintes temporelles à celle du partage des ressources pour expliquer les performances dans les tâches de mémoire de travail.

Un tel modèle a été développé par Barrouillet, Bernardin & Camos (2004) et nommé le modèle du partage temporel des ressources (*Time Based Resource Sharing model*). Il repose sur quatre postulats. Premièrement, les deux composantes de la plupart des tâches de mémoire de travail (traitement et maintien) nécessitent des séries de récupérations en mémoire. Ces récupérations sont permises par un processus d'activation provoqué par des allocations attentionnelles (Anderson, 1993 ; Cowan, 1995). Ces récupérations sont, bien entendu, nécessaires à la réalisation des tâches secondaires habituellement utilisées (résolution d'opérations, lecture de phrases), mais aussi à la réactivation des traces mnésiques des items à rappeler qui déclinent en mémoire à court terme. Traitement et maintien requièrent donc de l'attention, laquelle constituerait un pool limité de ressources devant être partagé entre les deux processus. Deuxièmement, dès que l'attention est détournée des traces mnésiques des items à rappeler, leur activation décline avec le temps (Baddeley & Logie, 1999; Cowan, 1995, 1999). Le premier postulat posait que le rafraîchissement de ces traces pendant la réalisation d'une tâche d'empan nécessite leur récupération en mémoire grâce à une focalisation attentionnelle avant leur disparition complète. Ainsi, puisqu'une double tâche impose un partage de l'attention entre le traitement et le stockage, le déclin de l'activation des traces mnésiques et donc leur rappel ultérieur est fonction de la durée pendant laquelle le traitement capture totalement l'attention et empêche la réactivation de ces traces. Troisièmement, comme le rafraîchissement des traces mnésiques des items à rappeler demande de l'attention, n'importe quelle activité de traitement qui requiert de l'attention va limiter la possibilité de réactiver ces traces et devrait gêner leur maintien en mémoire. Cependant, Barrouillet et al. (2004) supposent que cet effet d'interférence devrait être encore plus fort lorsque la composante de traitement requiert des récupérations en mémoire, comme c'est le cas de la plupart des tâches de mémoire de travail. En effet, selon Pashler (1998 ; Roher, Pashler, & Etchegaray, 1998), les récupérations en mémoire sont contraintes par un

goulet d'étranglement qui empêche d'effectuer deux récupérations simultanément. Ainsi, parmi les processus susceptibles de capturer l'attention, les récupérations seraient de ceux qui bloquent l'attention de la façon la plus absolue et pour la durée la plus longue. Le quatrième postulat est que le partage de l'attention entre le stockage et le rappel est contraint temporellement. La nécessité de rafraîchir les traces mnésiques des items à rappeler durant la réalisation concurrente d'un traitement et l'existence d'un goulet d'étranglement pour les récupérations obligent à une alternance rapide et fréquente des focalisations attentionnelles entre le stockage et le traitement (Barrouillet & Camos, 2001).

Le modèle du partage temporel des ressources diffère ainsi des approches classiques quant à la notion de coût cognitif. Celles-ci assimilent en effet le coût cognitif d'une tâche à sa complexité. C'est ainsi que des activités secondaires complexes (effectuer des opérations arithmétiques, lire des phrases) ont été retenues dans la plupart des tâches traditionnelles de mémoire de travail afin d'obtenir un effet délétère sur le maintien des items à rappeler. En revanche, le modèle du partage temporel des ressources prédit qu'une activité n'a pas besoin d'être complexe pour entraver un maintien concurrent. En effet, le coût cognitif d'une activité serait simplement une fonction du temps pendant lequel cette activité capture l'attention et empêche ainsi le rafraîchissement des traces mnésiques déclinantes. Plus l'attention est fréquemment et longuement mobilisée par l'activité, moins fréquentes et plus courtes seront les pauses durant lesquelles elle peut en être détachée pour réactiver ces traces. Par exemple, pour une activité de traitement nécessitant des récupérations en mémoire et si celles-ci sont toutes de même nature (c'est-à-dire qu'elles obstruent le goulet d'étranglement durant un même temps), le coût cognitif C correspond alors à :

$$(1) C = a N/T$$

où N est le nombre de récupérations, a un paramètre de difficulté de ces récupérations en terme de temps, et T le temps total disponible pour mener à bien cette activité. Ainsi, ce n'est

pas tant de la durée totale T d'une tâche que l'occupation de l'attention qu'elle occasionne qui serait déterminante dans l'évaluation du coût cognitif.

Ce modèle a reçu de nombreuses confirmations expérimentales. Premièrement, même lorsque la durée totale de la tâche est maintenue strictement constante, les empan de mémoire de travail varient en fonction de la charge cognitive induite par la composante de traitement. Par exemple, résoudre des opérations continues ($4 + 1 - 2 + 1 + 1$) entre la présentation de lettres à maintenir entraîne de plus faibles rappels que la simple lecture de ces mêmes opérations et de leur résultat ($4 / +1 / 5 / -2 / 3 / +1 / 4 / +1 / 5$) ou encore que la répétition d'une syllabe (Barrouillet et al., 2004 ; Gavens & Barrouillet, sous presse). Deuxièmement, la charge cognitive d'une tâche est fonction de la proportion de temps durant laquelle cette tâche occupe l'attention. Par exemple, Barrouillet et al. (2004) demandaient aux participants de retenir des lettres apparaissant successivement et à intervalles réguliers (toutes les 6 secondes) pendant qu'ils devaient lire à voix haute des séries de 6 ou 10 chiffres présentés durant les intervalles entre les lettres. Conformément au modèle, les empan obtenus étaient plus élevés lorsque le nombre de chiffres à lire et donc de récupérations en mémoire à effectuer était le plus faible. De même, une quantité constante d'activité entre chaque lettre à retenir (e.g. lire 6 chiffres) avait un effet d'autant plus délétère sur leur maintien que le temps imparti pour lire les chiffres était faible. Conformément au modèle, une manipulation systématique du nombre de chiffres à lire et du temps imparti pour les lire mettait en évidence que les empan varient de façon linéaire avec le ratio Nombre de récupérations / Temps ; plus ce ratio est élevé, plus les empan sont faibles (corrélation de .96). Lépine, Bernardin et Barrouillet (sous presse) ont par ailleurs établi que la difficulté des tâches d'empan de mémoire de travail n'est pas liée à la complexité de la tâche secondaire. Une tâche n'a en effet pas besoin en effet d'être complexe pour capturer efficacement et de façon durable l'attention du sujet l'empêchant ainsi de rafraîchir les traces déclinantes des items à rappeler. Par exemple, la simple lecture de lettres

présentées successivement à l'écran mais à un rythme soutenu (une lettre toutes les 675 ms) a le même effet délétère sur le maintien concurrent de chiffres que la lecture de phrases en vue de leur compréhension comme dans une tâche d'empan de lecture.

Le modèle de partage temporel des ressources a conduit à mieux comprendre les répercussions des traitements habituellement utilisés dans les tâches de MDT. Il permet ainsi de proposer des tâches dans lesquelles les activités complexes sont remplacées par des activités élémentaires (lire des lettres, des chiffres, parcourir la chaîne numérique). Cependant, le rythme auquel ces activités doivent être effectuées n'est plus laissé à la discrétion du sujet mais lui est imposé. Lépine, Barrouillet et Camos (sous presse) ont montré que ces nouvelles tâches ont un meilleur pouvoir prédictif des habiletés cognitives de haut niveau comme les performances scolaires que les tâches traditionnelles de mémoire de travail (empan de lecture, empan d'opération, etc.).

Bien que plusieurs prédictions issues du modèle du partage temporel des ressources ait été vérifiées, un aspect essentiel de ce modèle est jusqu'ici resté inexploré. Comme nous l'avons dit plus haut, le modèle suppose que la composante de traitement entrave le maintien concurrent des items à rappeler parce que la capture de l'attention que ces traitements occasionnent interdit le rafraîchissement simultané des traces mémorielles déclinantes. Le facteur déterminant serait la durée de cette capture attentionnelle. Cependant, on pourrait tout aussi bien imaginer que la tâche secondaire entrave le maintien des items à rappeler moins par le fait qu'elle occupe pour une durée donnée un mécanisme nécessaire à ce maintien que par le fait qu'elle occasionne une perturbation dans la conduite des activités de rafraîchissement de ces items. En effet, comme la tâche principale du sujet consiste à maintenir et rappeler de l'information, on peut penser qu'il s'engage activement dans des stratégies de rafraîchissement des traces mémorielles. Ces stratégies peuvent bien sûr consister en répétition subvocale (Baddeley, 1986) mais aussi en simples recherches en mémoire (Cowan

et al., 1998). L'effet d'une tâche secondaire comme la lecture de chiffres pourrait alors tenir à ce que l'intrusion de ces chiffres à l'écran oblige le sujet à effectuer des traitements à des moments qu'il ne choisit pas. Le sujet n'étant plus totalement maître de la planification temporelle de son activité comme il l'est dans les tâches traditionnelles, les stratégies de maintien de l'information seraient fortement perturbées et les performances de rappel particulièrement faibles. Une telle conception expliquerait la surprenante difficulté des nouvelles tâches dérivées du modèle de partage temporel des ressources dans lesquelles des activités pourtant élémentaires perturbent fortement le maintien. Elle rendrait compte de la même façon de la relation établie entre les empan et le ratio Nombre de récupérations / Temps : de façon totalement indépendante de leur durée, plus nombreuses et fréquentes sont ces interruptions, plus les stratégies de maintien se trouvent mises en échec et deviennent inefficaces. En d'autres termes, l'effet délétère d'une succession d'activités élémentaires sur le maintien concurrent d'information ne serait pas lié au coût cognitif qu'impliquent ces activités mais au degré de perturbation qu'elles introduisent dans la planification et la gestion des activités de maintien.

Cette explication conduit à deux prédictions aisément testables. Premièrement, si l'effet des activités secondaires élémentaires sur les rappels est lié à une simple perturbation des stratégies de maintien, alors seul le nombre des événements perturbateurs devrait avoir un effet sur le rappel, la nature de ces événements ne devant pas avoir d'effet sur les empan. Par exemple, l'effet sur les rappels devrait être le même que cette activité secondaire nécessite ou non une récupération en mémoire, alors que le nombre d'interruptions des stratégies de maintien que cette activité occasionne devrait avoir un effet sur les empan. Deuxièmement, l'hypothèse d'une simple perturbation des stratégies de maintien prédit que l'effet de la tâche secondaire sur les performances de rappel sera d'autant plus fort que cette tâche devra être effectuée à un rythme aléatoire et imprévisible. En effet, les tâches utilisées jusqu'ici dans le

cadre du modèle de partage temporel des ressources étaient présentées à un rythme régulier. Par exemple, lorsque 10 chiffres devaient être lus dans une période de 6 secondes, ils étaient présentés au rythme régulier d'un chiffre toutes les 600 ms. Une telle régularité permet probablement la planification d'activités de maintien venant s'intercaler de manière optimale entre les épisodes de traitement requis par la tâche secondaire. À l'inverse, un rythme aléatoire provoque des interruptions imprévisibles qui devraient donc fortement altérer ces stratégies de maintien et les rendre inefficaces.

Le modèle du partage temporel des ressources conduit quant à lui à des prédictions opposées. D'une part, il prédit que les empan dépendent du coût cognitif de la tâche secondaire et donc de la nature de l'activité à effectuer. Bien que de nombreuses activités soient susceptibles de capter l'attention du sujet et de le détourner du rafraîchissement et du maintien des traces mémorielles, certaines activités devraient avoir un effet plus délétère que d'autres. Par exemple, Rohrer & Pashler (2003) ont étudié l'effet d'une tâche de choix sériel sur la récupération d'items en mémoire. Dans une situation de double tâche, les sujets devaient d'une part répondre le plus rapidement possible à des cibles présentées à l'écran en sélectionnant une réponse parmi trois (presser une parmi trois touches en fonction de la couleur rouge, bleue ou verte d'un carré apparaissant au centre de l'écran). D'autre part, ils devaient simultanément rappeler une liste de mots précédemment mémorisés. Les auteurs observaient que bien que la tâche de choix sériel n'impliquât pas de récupération en mémoire, elle affectait la vitesse et la précision de l'activité concurrente de rappel libre. Ils en concluaient que certaines étapes de la tâche de choix, par exemple la sélection de la réponse, sollicitent probablement des processus centraux et créent ainsi des interférences avec les récupérations mnésiques. Dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources, ceci indique que la sélection de réponse capte momentanément l'attention du sujet, les autres activités devant être temporairement ajournées. On peut donc supposer que les récupérations

en mémoire ne constituent pas le seul processus susceptible d'empêcher le rafraîchissement concurrent des traces en mémoire et qu'une tâche de choix devrait aussi entraver le maintien des items à rappeler dans nos tâches de mémoire de travail.

Cependant, une tâche secondaire n'impliquant qu'un choix de réponse devrait avoir moins d'effet sur le maintien qu'une série de récupérations en mémoire. En effet, une tâche secondaire nécessitant de fréquentes récupérations en mémoire entre directement en conflit avec les récupérations requises par le rafraîchissement des traces mémorielles pour l'occupation d'un même goulet d'étranglement (Barrouillet et al., 2004). Ainsi, à nombre constant de stimuli à traiter, les tâches secondaires qui nécessitent des récupérations en mémoire devraient entraîner les empan les plus faibles (Barrouillet et al., 2004). D'autre part, la nature régulière ou aléatoire du rythme de présentation devrait n'avoir qu'un faible impact sur les empan, voire pas d'impact du tout. En effet, selon le modèle, le facteur déterminant est la proportion de temps durant laquelle l'attention est capturée par la tâche de secondaire. Or, que le rythme d'apparition des épisodes de traitement soit régulier ou aléatoire et imprévisible, cette proportion demeure inchangée tant que le nombre des épisodes demeure constant. La régularité du rythme de réalisation de la tâche secondaire ne devrait donc pas avoir d'effet sur les rappels.

Ces hypothèses ont été testées en comparant les empan obtenus dans deux tâches de mémoire de travail. Dans ces deux tâches, les participants devaient retenir les mêmes séries de lettres. La présentation de chaque lettre était suivie de celle de 7 nombres (de 1 à 10) apparaissant successivement à l'écran pour lesquels les sujets devaient effectuer un traitement nécessitant soit une récupération en mémoire soit une simple sélection de réponse. Dans la première condition, les participants devaient juger de la parité de ces nombres. En effet, de nombreuses études attestent de ce que les informations liées à la parité des petits nombres sont stockées et récupérées en mémoire (Lemaire & Fayol, 1995 ; Lemaire & Reder, 1999). En

outre, les résultats de Dehaene, Bossini, et Giraux (1993) suggèrent que l'information sur la parité des nombres est extraite d'une représentation en base dix directement accessible à partir de la forme Arabe des nombres. Ainsi, aucun recodage verbal ne serait requis pour évaluer la parité. La tâche de jugement de parité présente donc cet avantage de nécessiter une récupération en mémoire sans créer d'interférence de nature phonologique avec le maintien concurrent des lettres. Dans la seconde condition, ils devaient juger de la position spatiale de ces nombres, lesquels apparaissaient soit au-dessus soit au-dessous d'une barre horizontale au centre de l'écran. De plus, dans chaque condition, ces nombres étaient présentés à un rythme régulier ou aléatoire. Le modèle de partage temporel des ressources prédit de plus faibles performances de rappel lorsque la tâche secondaire consiste à juger de la parité des nombres plutôt que de leur position spatiale, mais pas d'effet du rythme de présentation de la tâche secondaire. À l'inverse, l'hypothèse d'une simple perturbation des stratégies de maintien de l'information prédit un fort effet du rythme de présentation de l'information, mais peu ou pas d'effet du type de traitement à réaliser sur les événements perturbateurs.

Méthode

Participants

Quatre-vingts deux étudiants de première année de psychologie de l'université de Bourgogne ont participé à cette expérience. Ils ont été répartis aléatoirement dans quatre groupes expérimentaux de 20 participants chacun définis par le croisement des variables Type de tâche secondaire (jugement de parité vs. choix de réponse) et Rythme (régulier vs. aléatoire).

Matériel et Procédure

Toutes les tâches d'empan ont été administrées individuellement sur ordinateur à l'aide du logiciel *Psyscope*. Le matériel utilisé était strictement identique dans les quatre conditions expérimentales. Dans chaque condition, les participants devaient lire à voix haute et

mémoriser les mêmes séries de consonnes. La longueur de ces séries de lettres augmentait de façon régulière de 1 à 8 lettres. Trois séries de lettres de chaque longueur (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 lettres) pouvaient être présentées, soit 24 séries de lettres au total. Chaque série commençait par un signal (un astérisque) d'une durée de 750 ms suivi, après un délai de 500 ms, de la première lettre. Chaque lettre était présentée pendant 1500 ms. À la fin de la série de lettres, le mot « Rappel » apparaissait à l'écran, prévenant les participants qu'ils devaient alors rappeler les lettres de la série dans l'ordre de leur apparition.

Après chaque lettre à mémoriser apparaissaient successivement sept nombres (de 1 à 10) en chiffres arabes disposés soit au-dessus soit au-dessous d'une ligne horizontale placée au centre de l'écran. Une série de deux lettres pouvait par exemple prendre la forme suivante :

V	—	—	—	—	—	—	—	B	—	—	—	—	—	—	—	R	A	P	P	E	L	
		6	8	10	5				6		4	3	7									
	3		2	4					8	2				9								

Selon la condition expérimentale, la tâche secondaire consistait à juger de la parité du nombre ou à décider de sa position par rapport à la ligne. Le participant devait répondre à haute voix « pair » ou « impair » dans le premier cas, « haut » ou « bas » dans le second. La fréquence d'apparition de chacun des 10 nombres de 1 à 10 était identique et chacun apparaissait aussi souvent au-dessus et au-dessous de la ligne horizontale.

Chaque nombre à traiter demeurait à l'écran durant 600 ms. Cependant, le rythme d'apparition de ces nombres était manipulé. L'intervalle entre deux lettres était toujours de 9 secondes. Il comportait, outre la présentation des 7 nombres (soit 4200 ms), 8 délais durant lesquels l'écran restait vide (i.e., un délai avant l'apparition du premier nombre, 6 entre la disparition d'un nombre et l'apparition du suivant, et un dernier après la disparition du septième nombre et l'apparition d'une nouvelle lettre ou du mot Rappel). Dans la condition où le rythme était maintenu constant, ces 8 délais avaient tous une durée de 600 ms. Dans la

condition où le rythme était aléatoire, la durée moyenne des 8 délais demeurait de 600 ms mais ceux-ci étaient tirés au hasard sans remise parmi 8 valeurs différentes (200, 300, 400, 500, 700, 800, 900 ou 1000 ms).

Dans les quatre tâches d'empan, on présentait au participant les séries de lettres de longueur supérieure jusqu'à ce qu'il échoue à rappeler les trois séries de lettres d'une longueur donnée. Pour chaque série de lettres correctement rappelées dans l'ordre, un tiers de point était attribué, la somme de ces tiers de points correspondant à l'empan (Barrouillet et al, 2004). Par exemple, le rappel correct des trois séries de 1, 2, et 3 lettres, de deux séries de 4 lettres, et d'une série de 5 lettres correspond à un empan de $(3+3+3+2+1) \times 1/3 = 4$.

Avant la tâche d'empan, une phase d'entraînement était proposée aux participants. Ils devaient, selon la condition expérimentale à laquelle ils étaient assignés, décider de la position spatiale de 42 nombres ou juger de leur parité. Quatre essais de tâche de mémoire de travail étaient ensuite proposés au participant en guise d'entraînement (deux séries de lettres de longueur 1, et deux séries de lettres de longueur 2).

Résultats

Afin de s'assurer que les tâches secondaires de jugement de parité et de décision spatiale n'ont pas été négligées, les participants dont le pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire était inférieur à 75% ont été écartés des analyses. Cette procédure a conduit à écarter 2 sujets dans la condition tâche de jugement de parité avec rythme constant dont les pourcentages de réponses correctes étaient de 54 et 69 % seulement et dont les empan respectifs étaient de 2,67 et 3,33. Les 80 participants restants ont obtenu un pourcentage moyen de réponses correctes de 96% ($SD = 6\%$). La tâche de jugement de parité était significativement plus difficile que la tâche de choix (94 % et 97 % de réponses correctes respectivement), $t(78) = 3,21$, $p < .01$, alors que le nombre de réponses correctes n'était pas affecté par le rythme de présentation des stimuli (96 et 95 % de réponses correctes pour les

rythmes régulier et chaotique respectivement), $t(78) = 0,39$, $p = .69$. Ces pourcentages élevés de réponses correctes témoignent de ce que les sujets ne négligeaient pas la tâche secondaire.

Nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) de plan 2 x 2 avec le type de traitement effectué en tâche secondaire (jugement de parité vs. décision spatiale) et le rythme de présentation des stimuli dans la tâche secondaire (régulier vs. aléatoire) comme facteurs inter-sujets sur les empan (Tableau 1).

Tableau 1 : Empans moyens (et écarts-types) en fonction de la tâche secondaire (jugement de parité vs décision spatiale) et du rythme de présentation de items de la tâche secondaire (constant vs. aléatoire).

Rythme	Type de tâche		<i>Moyenne</i>
	Jugement de parité	Décision spatiale	
Constant	3,35 (1,55)	4,43 (1,21)	3,89
Aléatoire	3,13 (0,91)	4,05 (1,16)	3,59
<i>Moyenne</i>	3,24	4,24	

Table 1 : Mean spans (and SD) as a function of the nature (parity vs. spatial judgement) and rhythm (regular vs syncopated) of completion of the secondary task.

Conformément aux prédictions du modèle de partage temporel des ressources, l'empan moyen en tâche de jugement de parité était significativement inférieur (3,24) à l'empan moyen en tâche de décision spatiale (4,24), $F(1,76) = 13,05$, $p < .001$. Cet effet de la tâche n'interagissait pas avec le rythme de présentation des stimuli, $F < 1$, et était significatif aussi

bien dans la condition où le rythme était aléatoire, $F(1,76) = 5,49$, $p < .05$ que dans la condition où le rythme était régulier (3,35 et 4,43), $F(1,76) = 7,65$, $p < .01$.

Contrairement à l'hypothèse d'un effet de la tâche secondaire sur les rappels lié à une simple perturbation des stratégies de maintien, la nature du rythme de présentation des nombres n'avait pas d'effet sur les empan qui ne différaient pas significativement que le rythme soit régulier (3,89) ou aléatoire (3,59), $F(1,76) = 1,17$, $p = .28$. L'effet de la nature du rythme n'était significatif ni dans la condition jugement de parité (3,35 vs 3,13 pour les rythmes aléatoire et régulier respectivement) ni dans la condition décision spatiale (4,43 vs 4,05), $F_s < 1$.

Discussion

La présente étude testait un des aspects principaux du modèle de partage temporel des ressources (Barrouillet et al., 2004) concernant le locus de l'effet de la tâche secondaire sur le maintien des items à rappeler dans les tâches de mémoire de travail. Selon ce modèle, l'effet tient à ce que la tâche secondaire mobilise des processus qui sont aussi requis par le maintien des traces en mémoire et se trouvent donc momentanément indisponibles, d'où la difficulté de ces tâches. Afin d'éviter le déclin de ces traces mnésiques un déplacement rapide de l'attention aurait lieu entre la tâche secondaire et ces traces déclinantes durant la réalisation de la tâche secondaire, empêchant alors dans une large mesure un oubli total. Le coût cognitif des tâches varierait ainsi en fonction de la plus ou moins grande latitude qu'elles laissent au sujet de porter son attention sur autre chose et, dans le cas des tâches de mémoire de travail, sur les items à maintenir en mémoire. Ce modèle qui suppose que les paramètres temporels sont déterminants était opposé à une hypothèse plus simple selon laquelle l'effet perturbateur de la tâche secondaire serait dû à la fréquence plus qu'à la durée des interruptions qu'elle provoque dans les activités de maintien des traces mnésiques.

Un premier élément en défaveur de cette hypothèse et en faveur du modèle du partage temporel des ressources tient au fait que le rythme d'occurrence des épisodes de traitement requis par la tâche secondaire n'a pratiquement pas d'impact sur les rappels. Que la tâche secondaire doive être effectuée à un rythme régulier auquel le sujet a tout le temps de s'accoutumer ou bien à un rythme aléatoire et imprévisible, l'effet sur le maintien concurrent des items à rappeler est sensiblement le même. Ce phénomène appelle trois remarques concernant respectivement l'effet du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les doubles tâches, le rôle d'éventuelles stratégies mises en œuvre par les sujets dans la réalisation des tâches de mémoire de travail et enfin, plus généralement, le mécanisme de déplacement de l'attention au cœur du modèle de partage temporel des ressources. Le second élément en défaveur de l'hypothèse d'une simple perturbation des stratégies de maintien réside dans l'effet du type de traitement que nécessite la tâche secondaire. Nous aborderons successivement ces points en commençant par les remarques qu'appelle l'absence d'effet du rythme.

L'effet du rythme de réalisation de la tâche secondaire

En ce qui concerne l'effet du rythme de réalisation de la tâche secondaire dans les doubles tâches, la présente étude confirme et étend les données disponibles dans la littérature. Différentes études ont manipulé ce rythme de présentation. Il apparaît que le caractère perturbateur du rythme aléatoire dépend surtout de la conduite passive ou active du sujet vis à vis de ce rythme. En effet, lorsque le sujet doit générer lui-même le rythme aléatoire dans la tâche secondaire (conduite active), les performances à la tâche principale s'en trouvent fortement affectées, ce qui n'est pas le cas lorsqu'il doit simplement suivre le rythme aléatoire qui lui est imposé (conduite passive). Par exemple, Saito (1993) a montré qu'une activité de *tapping* manuel lors d'une tâche de rappel immédiat de listes de mots perturbe davantage ce rappel lorsque le rythme du *tapping* doit être aléatoire que lorsqu'il est effectué à intervalles

réguliers. Il suggère que cette interférence résulte d'un processus commun au *tapping* syncopé et la production verbale (Saito, 1994). Dans une étude portant sur la mémoire de travail, Larsen et Baddeley (2003) ont étudié les effets de la production d'un *tapping* manuel, de l'audition d'un discours à négliger, et de la suppression articulatoire sur le rappel sériel de consonnes phonologiquement similaires et dissimilaires (le sujet appuie de manière répétée sur une touche, entend ou prononce le chiffre 2). Dans une des expériences de l'étude, la tâche secondaire comprenait des intervalles de temps irréguliers. Les auteurs ont répliqué les résultats de Saito (1993, 1994) en observant une dégradation des performances de rappel lorsque le *tapping* manuel devait être effectué à un rythme aléatoire que le sujet produisait lui-même (condition active). Cet effet du rythme aléatoire se manifestait également avec une activité de suppression articulatoire. En revanche, lorsque le participant était soumis à un discours à négliger présenté à un rythme aléatoire (condition passive), l'effet du rythme était pratiquement inexistant.

Ainsi, il semble que le rythme auquel la tâche secondaire est effectuée ait un impact sur les performances mnésiques concurrentes lorsque le sujet doit produire lui-même un rythme irrégulier et aléatoire, mais non lorsqu'il doit suivre un rythme aléatoire qui lui est imposé. Des résultats similaires ont été obtenus par Vandierendonck, De Vooght et Van der Goten (1998). Ces auteurs utilisaient une tâche de mémoire de travail dans laquelle la tâche secondaire consistait en la répétition d'un rythme aléatoire (*Random Interval Repetition* : RIP, condition passive), le sujet devant appuyer sur une touche le plus vite possible chaque fois qu'il entendait un bip sonore. Les résultats montraient que cette tâche concurrente n'interférait pas avec le rappel sériel (sauf lorsque la longueur des listes à rappeler était supérieure à l'empan des sujets). À l'inverse, Vandierendonck et ses collègues ont montré à plusieurs reprises que la production d'intervalles de temps aléatoires (*Random time Interval Generation* : RIG, condition active) interférait avec les activités de récupération en mémoire

requis par exemple par la vérification de problèmes arithmétiques simples (De Rammelaere, Stuyven, & Vandierendonck, 1999, 2001).

Nos résultats sont conformes à ces observations en ce que, dans notre expérience, les sujets n'avaient pas à produire le rythme aléatoire mais seulement à s'y conformer, devant répondre chaque fois qu'un stimulus apparaissait à l'écran. Ils confirment en outre l'importance des récupérations en mémoire dans les activités de double tâche. En effet, Vandierendonck et ses collègues expliquent l'effet de la génération de rythmes aléatoires sur les récupérations concurrentes en mémoire par la nécessité de maintenir en mémoire le ou les intervalles précédemment produits afin d'éviter leur répétition. Cette hypothèse est conforme au modèle du partage temporel des ressources. À l'inverse, suivre un rythme, fut-il aléatoire, ne requiert pas de maintenir quoi que ce soit en mémoire, expliquant que la plus ou moins grande régularité du rythme de présentation n'ait qu'un faible effet sur les rappels. Cette absence d'effet suggère en outre que l'attention requise pour détecter l'apparition d'un nouveau stimulus à l'écran n'est pas du même type que celle qui est requise pour activer les traces des items à maintenir en mémoire.

Stratégies et déplacement de l'attention dans les tâches de mémoire de travail.

L'absence d'effet sur les rappels de la régularité de présentation des stimuli impliqués dans la tâche secondaire apporte par ailleurs des informations sur le rôle des aspects stratégiques dans les tâches d'empan de mémoire de travail. Lépine, Barrouillet et Camos (sous presse) ont déjà montré que moins une tâche de mémoire de travail laisse de latitude au sujet pour planifier et mettre en oeuvre des stratégies de réalisation de la double tâche, plus le pouvoir prédictif des empan obtenus est élevé. Dans la présente étude, on aurait pu penser que la nécessité de traiter des stimuli apparaissant de manière imprévisible aurait un effet dévastateur sur les rappels. Cette intuition repose sur l'idée que l'alternance rapide entre traitement et maintien ainsi que les déplacements d'attention qu'elle requiert est

stratégiquement planifiée, l'irruption des stimuli à traiter étant d'autant plus dommageable qu'elle est difficile à prévoir. Rien de tel ne se produit. Ceci suggère que les déplacements de l'attention d'une composante de la tâche à l'autre ne sont pas ou sont faiblement planifiés ou contrôlés. De fait, le modèle de partage temporel des ressources ne prévoit pas qu'un tel contrôle soit nécessaire.

Comme le proposent La Pointe et Engle (1990), la mémoire de travail contient les items de connaissance activés au-delà d'un certain seuil, lesquels constituent la toile de fond de notre activité cognitive à un moment donné. Dans le cas des tâches de mémoire de travail, un des principaux éléments maintenus actifs est sans doute le but courant de la tâche, qui est de garder en mémoire les items à rappeler. Conformément au modèle ACT-R (Anderson & Lebiere, 1998), ce but peut être conçu comme une représentation, un *chunk* déclaratif, dont le niveau d'activation ne doit pas descendre au-dessous d'un certain seuil, auquel cas le but à atteindre est simplement perdu de vue. Le sujet oublierait alors non pas simplement les lettres à rappeler mais le fait même que quelque chose devait être rappelé. On peut ainsi penser que lorsqu'un nombre apparaît à l'écran, ce but se trouve temporairement supplanté par celui qui est lié à la tâche secondaire (e.g. évaluer la parité du nombre). Toutefois, dès que la réponse est donnée et que le but de la tâche secondaire ne reçoit plus d'activation puisque aucun nombre nouveau à traiter n'est encore apparu, le but courant de la tâche principale, toujours présent en mémoire de travail, reçoit l'ensemble des ressources attentionnelles disponibles. En d'autres termes, les tâches de mémoire de travail, bien que difficiles, sont structurellement trop simples pour nécessiter des planifications stratégiques et des contrôles complexes des déplacements attentionnels. Il y a simplement deux buts à gérer dont l'un est activé par des inputs externes. Dès que la tâche secondaire ne sollicite plus l'attention, celle-ci est mécaniquement captée par le but courant, à la manière d'une pensée préoccupante qui s'impose à notre esprit aussitôt que les distractions nous font défaut. Ainsi, le caractère

imprévisible des interruptions n'a qu'un faible impact sur l'efficacité des activités de maintien dans la mesure où elles ne requièrent pas une nouvelle planification après chaque interruption, le but qui les dirige constituant la toile de fond de l'activité cognitive.

L'effet du type de traitement

En revanche, nos résultats indiquent que la nature de l'activité qui occasionne ces interruptions a, elle, un effet notable sur les performances de rappel. Comme le prédit le modèle de partage temporel des ressources, les récupérations en mémoire dégradent davantage les performances de rappel que d'autres types d'activités. Les seuls résultats dont nous disposions jusqu'ici concernaient la comparaison entre une activité de lecture de chiffres et la prononciation répétée d'une syllabe durant le maintien de lettres à rappeler (Barrouillet et al., 2004, Exp. 7). Les résultats indiquaient de plus faibles performances de rappel dans la condition lecture de chiffres, l'effet étant d'autant plus important que la densité temporelle de l'activité augmentait. Toutefois, la portée de ce résultat demeurait limitée. En effet, la prononciation répétée d'une même syllabe ne nécessitait pas de réel traitement d'un stimulus mais la simple production d'une même réponse à l'apparition d'un signal (la syllabe à prononcer apparaissait à l'écran). La présente étude étend les résultats précédents en montrant que lorsque les stimuli présentés doivent être traités, ce traitement gêne d'autant plus le maintien concurrent qu'il implique une récupération d'information en mémoire.

Si ce fait est conforme au modèle et montre que l'impact de la tâche secondaire n'est pas simplement lié au nombre d'épisodes de traitement qu'elle nécessite ou encore au taux de suppression articulatoire qu'elle occasionne, il ne suffit pas à asseoir définitivement l'hypothèse que la nature des épisodes de traitement a en elle-même un effet sur les rappels. Par exemple, on pourrait penser que les récupérations ont un effet plus délétère que les sélections de réponse, non pas parce qu'en plus de requérir de l'attention elles utilisent un processus qui est aussi nécessaire au rafraîchissement des traces en mémoire, mais plus

simplement parce qu'elles occupent plus longtemps l'attention, bloquant ainsi temporairement les processus centraux et tout autre traitement. Un tel modèle nécessite de supposer que des activités différentes comme les récupérations et la sélection de réponse seraient contraintes par un même goulet d'étranglement. L'impact sur les performances de rappel serait alors une fonction de la seule durée d'occupation de ce goulet d'étranglement, indépendamment du type d'activité qui occasionne cette occupation. Dans notre étude, une telle explication ne peut être écartée. En effet, les temps de réponse étaient probablement plus élevés dans la tâche de jugement de parité que dans celle de sélection de réponse. Un contrôle a posteriori effectué sur 12 sujets adultes à l'aide d'une clef vocale révélait que les jugements de parité sont produits en 560 ms en moyenne alors que le temps moyen de réponse pour la tâche spatiale n'est que de 411 ms. Bien que cette différence d'environ 150 ms puisse paraître minime lorsqu'elle est rapportée aux 1200 ms dont disposaient en moyenne les sujets pour traiter chaque nombre, l'hypothèse d'un goulet d'étranglement unique dont le taux d'occupation temporelle détermine le coût cognitif de l'activité ne peut être totalement exclue.

Selon le modèle de partage temporel des ressources et l'équation (1) donnée plus haut, le coût cognitif est une fonction du nombre d'événements à traiter, de la difficulté de ce traitement, ainsi que du temps total pour effectuer la tâche. En supposant que la difficulté des récupérations d'une part et des sélections de réponse d'autre part ne tient qu'à leur durée, et comme le nombre d'événements à traiter et la durée totale étaient maintenus constants, les coûts cognitifs engendrés par les activités de décision spatiale et de jugement de parité se trouveraient alors dans un rapport qui correspond à celui de leur durée, soit $411 \text{ ms} / 560 \text{ ms} = 0,734$. Par ailleurs, le modèle postule que les empans sont une fonction inverse du coût cognitif (plus celui-ci est élevé, plus les empans sont faibles). Selon l'hypothèse du goulet d'étranglement unique, les empans induits par les deux activités devraient alors être dans un rapport inverse de celui de leur durée. Or c'est ce qui était observé, le rapport entre les

empans étant extrêmement proche du rapport entre les durées ($3,24 / 4,24 = 0,764$). Pour fixer les idées, un rapport exactement identique (i.e., 0,734) avec un empan pour la tâche de décision spatiale établi à 4,24 conduirait à un empan pour la tâche de jugement de parité à 3,11. Cette valeur théorique se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance de la moyenne observée (i.e. 3,24), même pour une valeur conservatrice de $p = .10$ (intervalle de 2,90 à 3,58). En conséquence, même si une tâche secondaire nécessitant des récupérations conduisait à de plus faibles empans qu'une tâche nécessitant une simple sélection de réponse, l'hypothèse d'un goulet unique dont la durée d'occupation détermine le coût cognitif de l'activité ne peut être a priori être écartée. La vérification d'une telle hypothèse nécessitera des recherches ultérieures dans lesquelles le nombre mais aussi la durée de divers traitements requis par la tâche secondaire seraient précisément contrôlés.

En attendant ces prolongements, la présente étude éclaire deux points du modèle de partage temporel des ressources qui n'avaient pas jusqu'ici été précisément explorés. Dans les tâches d'empan de mémoire de travail, les composantes de traitement qui impliquent des récupérations entravent davantage le maintien que celles qui nécessitent de sélectionner une réponse. En revanche, que la régularité de leur rythme de présentation permette d'anticiper l'apparition des stimuli à traiter ou bien qu'ils apparaissent à un rythme chaotique et imprévisible n'a pratiquement pas d'effet sur les empans. Ces éléments concourent à une description plus précise du fonctionnement de la mémoire de travail et à une définition toujours moins métaphorique de la notion de coût cognitif.

Références

- Anderson, J.R. (1993). Rules of the mind. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J.R., & Lebiere, C. (1998). Atomic components of thought. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Baddeley, A.D. (1986). Working memory. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A.D., & Hitch, ,G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), Recent advances in learning and motivation (Vol 8, pp. 647-667). New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D., & Logie, R.H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In, A. Miyake, & P. Shah (Eds.), Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control (pp. 28-61). Cambridge: Cambridge University Press.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory span. Journal of Experimental Psychology: General, 133, 83-100.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2001). Developmental increase in working memory span: Resource sharing or temporal decay? Journal of Memory and Language, 45, 1-20.
- Case, R., Kurland, M. , & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory. Journal of Experimental Child Psychology, 33, 386-404.
- Cowan, N. (1995). Attention and memory: An integrated framework. New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-process model of working memory. In, A. Miyake, & P. Shah (Eds.), Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control (pp. 62-101). Cambridge: Cambridge University Press.

- Cowan, N., Wood, N.L., Wood, P.K., Keller, T.A. Nugent, L.D., & Keller, C.V. (1998). Two separate verbal processing rates contributing to short-term memory span. Journal of Experimental Psychology: General, 127, 141-160.
- Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19, 450-466.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. Journal of Experimental Psychology: General, 122, 371-396.
- De Rammelaere, S., Stuyven, E., & Vandierendonck, A. (1999). The contribution of working memory resources in the verification of simple mental arithmetic sums. Psychological Research, 62, 72-77.
- De Rammelaere, S., Stuyven, E., & Vandierendonck, A. (2001). Verifying simple arithmetic sums and products: Are the phonological loop and the central executive involved ? Memory & Cognition, 29, 267-273.
- Engle, R.W., Kane, M.J., & Tuholski, S.W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control (pp. 102-134). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gavens, N. & Barrouillet, P. (sous presse). Delays of retention, processing efficiency, and attentional resources in working memory span development. Journal of Memory and Language.
- La pointe, L. B., & Engle, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and Cognition, 6, 1118-1133.

- Larsen, J. D., & Baddeley, A. (2003). Disruption of verbal STM by irrelevant speech, articulatory suppression, and manual tapping: Do they have a common source? The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 56A, 1249-1268.
- Lemaire, P., & Fayol, M. (1995). When plausibility judgments supersede fact retrieval: The example of the odd/even effect on product verification. Memory & Cognition, 23, 34-48.
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. Memory & Cognition, 27, 364-382.
- Lépine, R., Barrouillet, P., & Camos, V. (in press). What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? Psychonomic Bulletin and Review.
- Lépine, R., Bernardin, S., & Barrouillet, P. (in press). Attention switching and working memory spans. European Journal of Cognitive Psychology.
- Lovett, M.C., Reder, L.M., Lebière, C. (1999). Modeling working memory in a unified architecture: An ACT-R perspective. In, A. Miyake, & P. Shah (Eds.), Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control (pp. 135-182). Cambridge: Cambridge University Press.
- Pashler, H. (1998). The psychology of attention. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rohrer, D., & Pashler, H. (2003). Concurrent task effects on memory retrieval. Psychonomic Bulletin and Review, 10, 96-103.
- Rohrer, D., Pashler, H., & Etchegaray, J. (1998). When two memories can and cannot be retrieved concurrently. Memory and Cognition, 26(4), 731-739.
- Saito, S. (1993). The disappearance of phonological similarity effect by complex rhythmic tapping. Psychologia, 36, 27-33.
- Saito, S. (1994). What effect can rhythmic tapping have on the phonological similarity effect? Memory & Cognition, 22, 181-187.

- Towse, J.N., & Hitch, G.J. (1995). Is there a relationship between task demand and storage space in tests of working memory capacity? The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 48A, 108-124.
- Towse, J.N., Hitch, G.J., & Hutton, U. (1998). A reevaluation of working memory capacity in children. Journal of Memory and Language, 39, 195-217.
- Towse, J.N., Hitch, G.J., & Hutton, U. (2000). On the interpretation of working memory spans in adults. Memory and Cognition, 28; 341-348.
- Towse, J.N., & Houston-Price, C.M.T. (2001). Reflections on the concept of central executive. In J. Andrade (Ed.), Working memory in perspective (pp. 240-260). Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Vandierendonck, A., De Vooght, G., & Van der Goten, K. (1998). Interfering with the central executive by means of a Random Interval Repetition task. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51A, 197-218.