



HAL
open science

L'acquisition de l'expertise ou l'abandon progressif du renforcement des processus génériques

G. Froger, C. Blättler, N. Bonnardel

► **To cite this version:**

G. Froger, C. Blättler, N. Bonnardel. L'acquisition de l'expertise ou l'abandon progressif du renforcement des processus génériques. *Psychologie Française*, 2023, 68 (3), pp.427-450. 10.1016/j.psfr.2023.02.002 . hal-04469833

HAL Id: hal-04469833

<https://amu.hal.science/hal-04469833v1>

Submitted on 21 Feb 2024

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.

Copyright

1 Froger, G., Blättler, C., & Bonnardel, N. (2023). L'acquisition de l'expertise ou l'abandon
2 progressif du renforcement des processus génériques. *Psychologie Française*, 68(3), 427-450.
3 <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2023.02.002>

4

5 Titre : L'acquisition de l'expertise ou l'abandon progressif du renforcement des processus
6 génériques

7

1 **Résumé**

2 La répétition d'épisodes multitâches entraîne un renforcement des processus génériques et
3 spécifiques sollicités ayant pour conséquence une amélioration des performances dans ces
4 mêmes tâches, jusqu'à un état final correspondant à l'expertise. Or, les performances de l'expert
5 sont attribuées à des processus considérés comme "domaine spécifique". Ainsi, le renforcement
6 des processus génériques développé au cours du cheminement vers l'acquisition de l'expertise
7 semble avoir disparu. Qu'est-il advenu des processus génériques renforcés ? Cette revue de
8 question articule plusieurs champs théoriques distincts : celui de l'acquisition de l'expertise
9 (Logan, 1988), de l'expertise acquise (Gobet & Simon, 1996), des situations de double tâche
10 (Pashler, 1994) et des fonctions exécutives (Miyake et al., 2000). Nous montrons qu'il est
11 possible d'envisager un renforcement des fonctions exécutives tout au long du processus
12 d'élaboration de l'expertise qui prendrait fin lorsque l'expertise est acquise.

13 **Abstract**

14 The repetition of multitasking episodes leads to a reinforcement of the generic and specific
15 processes solicited, resulting in an improvement of the performance in these same tasks, up to
16 a final state which corresponds to expertise. However, the expert's performance is attributed to
17 processes considered as "domain specific". Thus, the reinforcement of generic processes
18 developed during the pathway to expertise seems to have disappeared. What happened to the
19 reinforced generic processes? This review articulates several discrete theoretical fields: that of
20 expertise acquisition (Logan, 1988), acquired expertise (Gobet & Simon, 1996), dual-task
21 situations (Pashler, 1994) and executive functions (Miyake et al., 2000). We show that it is
22 possible to envisage reinforcement of executive functions throughout the process of developing
23 expertise and we propose that this reinforcement ceases when expertise is acquired.

1 Mots clefs : expertise ; processus génériques et spécifiques ; situation multitâche ;

2 permutation

3 key words: expertise; generic and specific processes; multi-tasking situation; switching

4 **1. Introduction**

5 En situation multitâche, la réalisation de tâches discrètes présentées de manière synchrone
6 repose sur la mise en œuvre de processus cognitifs génériques et spécifiques. En accord avec
7 Sala et Gobet (2018), il sera considéré ici que les processus dits *domain-general* et traduits ici
8 par le terme « générique » sont des processus relatifs aux capacités mentales utilisées pour
9 effectuer des tâches complexes sans tenir compte de leur contexte. Dans la même veine, les
10 processus dits *domain-specific* et traduits ici par le terme « spécifique » sont des processus
11 relatifs aux capacités mentales qui ne sont engagées que lorsqu'il s'agit de contenus liés à un
12 domaine particulier (Sala & Gobet, 2018). La répétition d'épisodes multitâches entraîne un
13 renforcement des processus génériques et spécifiques sollicités ayant pour conséquence une
14 amélioration des performances dans ces mêmes tâches, jusqu'à un état final correspondant à
15 l'expertise. Or, les performances de l'expert sont attribuées à des processus considérés comme
16 spécifiques (Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993). De plus, le renforcement des processus
17 génériques développé au cours du cheminement vers l'acquisition de l'expertise semble avoir
18 disparu. Qu'est-il advenu des processus génériques renforcés ? En d'autres termes, quelle est
19 l'évolution, la dynamique de renforcement des processus spécifiques et génériques au cours de
20 l'acquisition d'expertise ?

21 L'acquisition d'expertise est souvent expliquée par la mise en place de mécanismes
22 d'automatisation, de création de schémas, qui sont des processus centraux dans l'adaptation (et
23 donc la survie) des individus aux situations auxquelles ils sont confrontés et aux tâches qu'ils
24 ont à réaliser. Cependant, la propriété spécifique de ces mécanismes peut être un frein dans la
25 nature car aucune situation n'est parfaitement identique à une autre. Dans un tel contexte, la

1 répétition de tâches intégralement similaires est en fait impossible. S'il y a toujours une certaine
2 part de nouveauté dans les situations rencontrées, cela devrait avoir pour conséquence de
3 ralentir les processus vertueux d'automatisation et de création de schémas. Il est d'ailleurs
4 constaté que, pour être qualifié d'expert dans une activité réelle, il faut une dizaine d'années de
5 pratique quotidienne intensive et délibérée. Bien que long et progressif, ce développement de
6 l'expertise se produit. Il y a donc forcément une articulation des processus spécifiques, de
7 l'automatisation et de la création de configurations, de schémas, avec des processus génériques
8 qui viennent compenser les limites sus-décrites. Les propriétés d'un mécanisme appelé
9 "permutation" (ou *switch*) nous invitent à le considérer comme particulièrement prometteur
10 pour lever cet *impedimenta* causé par l'ambiguïté qui sous-tend la notion d'expertise. La
11 capacité de permutation correspond la capacité de passer d'une configuration du système
12 cognitif adaptée à une tâche vers une autre configuration du système cognitif adaptée à une
13 autre tâche. Ce processus repose sur des fonctions exécutives (Miyake, Friedman, Emerson,
14 Witzki, Howerter, & Wager, 2000) qui sont par essence génériques. En effet, les fonctions
15 exécutives sont des processus cognitifs de haut niveau qui contrôlent les processus de niveau
16 inférieur permettant aux individus de réguler leurs pensées et leurs actions lors d'un
17 comportement orienté vers un but (Friedman, Miyake, Altamirano, Corley, Yong, Rhea, &
18 Hewitt, 2016). Il s'agit notamment de processus relevant de la mémoire de travail (tels que le
19 maintien, le traitement et la mise à jour), la capacité à traiter des situations en "double tâche" et
20 la capacité à changer de configuration cognitive pour réaliser différentes tâches.

21 Après avoir défini les notions de tâches et de configuration du système cognitif en vue
22 de les réaliser (*task-set*) (Rogers & Monsell, 1995), nous présenterons le mécanisme
23 d'automatisation qui résulte de la répétition intensive de réalisation d'une tâche (Logan, 1988),
24 puis nous développerons ensuite les singularités à l'œuvre lors de la réalisation de plusieurs
25 tâches selon le processus de permutation qui permet de passer d'une configuration cognitive

1 pour la réalisation d'une tâche à une reconfiguration afin de réaliser une autre tâche (Monsell,
2 2003). Nous aborderons ensuite les effets résultant de la répétition, de l'entraînement à la
3 réalisation, de deux tâches présentées simultanément (Liepelt, Strobach, Frensch, & Schubert,
4 2011 ; Maquestiaux, Hartley & Bertsch, 2004 ; Strobach, 2020).

5 Nous présenterons par la suite des points de vue différents quant au caractère générique du
6 renforcement de l'habileté de permutation après entraînement. En effet, certains auteurs
7 montrent une absence de transfert suite à un entraînement cognitif (Gobet & Sala, 2022 ; Sala
8 & Gobet, 2017, 2018 ; Sala, Aksayli, Tatlidil, Tatsumi, Gondo & Gobet, 2019) tandis que
9 d'autres montrent cet effet de transfert d'un entraînement vers de nouvelles tâches (Green &
10 Bavelier, 2003 ; Liepelt et al, 2011 ; Strobach, Becker, Schubert, & Kühn, 2015). Ceci pose la
11 question de l'étendue du transfert d'un processus générique à l'issue d'un entraînement ayant
12 pour but de renforcer ce même processus. En d'autres termes, le transfert est-il un transfert
13 lointain, c'est-à-dire que cette habileté renforcée le serait dans l'ensemble des domaines où elle
14 peut être sollicitée, dont des domaines discrets de structure dissimilaire (e.g. les mathématiques
15 et le latin), ou bien le transfert est-il proche et ne concernerait-il que des domaines partageant
16 des structures similaires (e.g. des jeux vidéo) (Korbach & Kray, 2009) ?

17 Enfin, nous proposerons une compréhension des processus cognitifs articulant les résultats
18 présentés dans le souci de lever les apparentes contradictions qui opposent les théories
19 associées.

20 **2. Les notions de tâche et de configuration du système cognitif ou *task set***

21 Une tâche est une situation dans laquelle l'individu a un problème à résoudre ou un but
22 à atteindre. Monsell (1996) distingue deux types de tâches. Les premières sont les tâches à une
23 seule étape (*single-step task*), pour lesquelles à un stimulus particulier correspond une action
24 particulière. Ce sont des tâches fréquentes telles que répéter un mot, détecter une cible, nommer
25 un objet, etc. La particularité de ces tâches est qu'elles nécessitent un cycle unique des processus

1 configurés au sein du système cognitif pour pouvoir être réalisées. Le second type de tâches
2 désigne celles à plusieurs étapes. Monsell (1996) l'exemplifie avec la tâche "faire une tasse de
3 thé" pour laquelle plusieurs étapes sont nécessaires : localiser le récipient du thé, l'ouvrir,
4 localiser la tasse, prendre un sachet de thé et le mettre dans la tasse, localiser, remplir et mettre
5 à bouillir l'eau dans la bouilloire. Certaines de ces étapes doivent respecter un ordre particulier
6 comme mettre l'eau dans la bouilloire puis mettre à bouillir, alors que d'autres étapes peuvent
7 être réalisées dans des ordres variables, que ce soit en séquence ou en parallèle.

8 Pour réaliser ces tâches, l'individu déploie une configuration du système cognitif appelée *set*
9 ou *task-set* (Allport, 1989 ; Monsell, 1996). La notion de *set* a été développée en psychologie
10 expérimentale, en Allemagne, dès la fin du 19^{ème} siècle. Le contrôle intentionnel et contextuel
11 du *set* est notamment décrit par von Kries, en 1895, avec l'exemple de l'influence de la clef sur
12 une portée musicale : différentes clefs impliquent en effet que la même note sur la portée
13 corresponde à différentes notes à jouer. Jouer la note juste, en fonction de la clef et du contexte,
14 repose bien sur la mise en œuvre d'un contrôle intentionnel.

15 La configuration du système cognitif caractérise l'intention orientée par un but et implique la
16 mobilisation de différents processus du système cognitif permettant à la fois (i) la mise à
17 disposition des informations et opérations utiles afin d'atteindre ce but et (ii) le maintien de la
18 configuration adéquate du système cognitif permettant d'atteindre ce même but (Bouquet,
19 Bonnin & Gaonac'h, 2013). Cette notion de *set* s'applique dès les tâches les plus simples et cela
20 jusqu'aux tâches les plus complexes.

21 Afin de réaliser les tâches, le *set* comprend la capacité d'activer un ou plusieurs processus, ou
22 modules de traitement d'informations, de les relier entre eux, de les configurer (sélection de
23 l'opération, paramétrage des critères de décision, des critères de réalisation, etc.), la préparation
24 de la réponse et une capacité d'optimisation (Monsell, 1996). La plus simple tâche, par exemple
25 appuyer sur une touche lorsque vous entendez un bruit, nécessite le déploiement d'un *set*

1 (Meiran, 2010 ; Prinz, 1997). Dans le cas des tâches à étapes multiples, le *set* s'enrichit de
2 fonctions additionnelles telles que le choix de l'étape, l'organisation des étapes (réalisables en
3 séquence ou en parallèle). Le *set* mis en place pour effectuer une tâche serait stockable en
4 mémoire sous la forme d'un schéma (*task-set schemata*) et pourrait ainsi être mobilisé lors
5 d'une nouvelle occurrence de cette même tâche (Monsell, 1996). La composition du *set*, reprise
6 par Bouquet et al. (2013), est précisée par Meiran (2010), traduite par nos soins, selon : (a) le
7 but à atteindre ; (b) la sélection des informations pertinentes au moyen de mécanismes
8 attentionnels (incluant les informations pertinentes du stimulus et du feedback) ; (c) l'activation
9 des informations sémantiques pertinentes pour la tâche (e.g. lorsque la tâche requiert de
10 classer des nombres comme étant pairs ou impairs, les informations numériques idoines
11 doivent être actives) ; (d) l'activation des informations sur les réponses, telles que la préparation
12 motrice de la réponse ; (e) l'activation des règles de réponse (e.g. "si le chiffre est impair,
13 appuyez sur la touche gauche") ; (f) l'ordre des actions et leur interdépendance dans les tâches
14 impliquant plusieurs actions. Toutes ces étapes pourraient être décrites comme les paramètres
15 du système cognitif qui changent en fonction de la tâche à réaliser.

16 Le *set* serait donc à la fois un processus générique, en tant que mis en œuvre pour tous
17 les types de tâche, dès la plus simple (Prinz, 1997), mais également un processus spécifique
18 puisqu'à une tâche particulière correspond un *set* particulier. On peut donc comprendre le
19 mécanisme d'élaboration de *set* comme générique tandis que le *set* en tant que processus à
20 l'œuvre dépend de la tâche et est donc spécifique.

21 Le *set* serait ainsi une structure schématique comportant des variables. En ce sens, il est possible
22 de le renforcer en accessibilité, par la répétition, l'apprentissage, au sein de la mémoire à long
23 terme (MLT). Le *set* présente des similarités avec les modèles développés dans les travaux
24 portant à la fois sur l'acquisition de l'expertise et sur l'expertise acquise. L'identification de
25 structures communes au sein du modèle du *set* et des modèles portant sur l'expertise permet

1 d'enrichir les modèles respectifs, particulièrement sous le prisme de l'acquisition d'habiletés
2 génériques et de connaissances spécifiques (*chunk, template*) (Gobet & Simon, 1996 ; Gobet,
3 Lane & Lloyd-Kelly, 2015).

4 Après avoir décrit les notions de tâche et de *set* associé, nous allons présenter les effets de
5 l'entraînement et, plus particulièrement, ceux de la répétition de la réalisation d'une tâche.

6 **3. L'influence de la répétition sur les connaissances et les habiletés – l'automatisation**

7 Au sein de la théorie de l'automatisation par instance, Logan (1988) propose que chaque
8 rencontre avec un stimulus serait encodée, stockée et récupérée séparément. La répétition de
9 l'exposition à des épisodes d'une même tâche a pour conséquence une accumulation des traces
10 mnésiques relatives à cette tâche qui permet, lors de la réalisation de cette même tâche, une
11 transition progressive depuis un traitement algorithmique vers un traitement basé sur la
12 mémoire, c'est-à-dire sur la récupération en mémoire à long terme. Les processus de réalisation
13 d'une tâche sont différents si elle est automatisée ou non. Logan (ibid.) décrit le processus de
14 réalisation des tâches non-automatisées comme algorithmique. Ce processus algorithmique
15 adapté aux tâches non-automatisées, dont les tâches nouvelles, repose donc sur un processus
16 générique. Un processus de récupération en mémoire, adapté quant à lui aux tâches
17 automatisées, repose sur un processus spécifique. L'automatisation, en tant que conséquence
18 d'une accumulation de traces mnésiques spécifiques à un "épisode répété", à une exposition de
19 multiples fois à une même tâche, est par nature spécifique à cette tâche. Ainsi, la pratique
20 améliore les performances sur les stimuli et les "règles du jeu" qui ont été entraînées (Logan,
21 1988 ; Shiffrin & Dumais, 1981). L'automatisation reflète le développement d'une
22 connaissance, d'une bibliothèque de données, spécifique au domaine entraîné. Les
23 performances aux tâches non automatisées seraient ainsi limitées, selon Logan (1988), plus par
24 un manque de connaissances que par un manque de ressources.

1 Logan (ibid.) a conduit plusieurs expériences afin de vérifier les particularités de
2 l'apprentissage des participants selon deux hypothèses : (a) les participants apprennent une
3 réponse donnée à un stimulus donné, et (b) ce qui est appris se transfère mal avec d'autres
4 stimuli (absence de processus générique).

5 La première expérience consiste en la réalisation de tâches de décision lexicale. Les participants
6 se voient présenter des séquences de 4 lettres et ils doivent dire le plus rapidement et le plus
7 précisément possible si chaque chaîne de lettres constitue ou non un mot qui existe. Le groupe
8 expérimental traite 16 blocs constitués de 10 mots et 10 non-mots, dans lesquelles les mots et
9 les non-mots sont identiques dans chaque bloc, tandis qu'au sein du groupe contrôle les mots
10 et les non-mots sont nouveaux au sein de chaque bloc. Un effet de la pratique est constaté pour
11 tous les groupes, c'est-à-dire une diminution du temps de réponse au fur et à mesure de la
12 présentation des blocs, à la fois pour les mots et les non-mots. En outre, l'effet spécifique de la
13 pratique s'est révélé plus fort, c'est-à-dire que le groupe expérimental présente des
14 performances significativement meilleures que le groupe contrôle. Ces résultats sont
15 compatibles avec la notion de *set* (Meiran, 2010 ; Monsell, 1996) décrite précédemment puisque
16 les deux groupes bénéficient d'une répétition de la configuration du système cognitif pour
17 réaliser la tâche, c'est-à-dire du *set* spécifique à la tâche d'identification des mots et des non-
18 mots. Quant à la meilleure performance du groupe expérimental sur le groupe contrôle, Logan
19 l'explique par un renforcement des traces mnésiques des mots et non-mots qui sont identiques
20 au cours des 16 blocs, sous forme de représentations (ou instances), comparativement à des
21 traces mnésiques plus faibles dans le groupe contrôle qui a été exposé à des mots et des non-
22 mots différents. Au cours de deux autres expériences, les participants réalisent à nouveau des
23 tâches de décision lexicale entre des mots et des non-mots. Ces trois expériences montrent un
24 effet significatif de la répétition de l'exposition qui consiste en une diminution significative du
25 temps de réponse et des écarts-types à la fois pour les mots et pour les non-mots. Ces résultats

1 suggèrent que les effets de la répétition sont basés sur la mémoire d'épisodes, constitués ici des
2 expositions aux mots et aux non-mots, plutôt que sur un module de mémoire sémantique qui ne
3 permettrait l'amélioration de performance qu'au profit des mots. En d'autres termes, la
4 performance acquise s'explique par une acquisition en mémoire, c'est-à-dire une connaissance
5 spécifique, renforcée au cours de la répétition, sans avoir développé de processus générique.

6 Une dernière expérience a été réalisée pour vérifier la théorie des instances, de l'automatisation,
7 dans un contexte éloigné de celui du champ des tâches de décision lexicale, pour laquelle les
8 participants peuvent être familiers ou experts. L'expérience consiste en la réalisation de tâches
9 alphabético-numériques. Les participants devaient vérifier des équations de la forme $A + 2 = C$,
10 $B + 3 = E$, $C + 4 = G$, etc. Pour effectuer cette tâche, les participants devaient compter le nombre
11 de lettres dans l'ordre alphabétique suivant la lettre présentée jusqu'à atteindre le chiffre
12 présenté dans l'addition. La tâche consistait à dire si l'équation présentée était juste ou fausse.
13 Par exemple $E + 5 = K$ est faux car il faut compter à partir de E cinq lettres (soit F, G, H, I, J),
14 donc la bonne réponse est J. Les résultats de cette expérience se sont révélés en accord avec
15 ceux des expériences précédentes, en montrant que plus le nombre de répétitions des épisodes
16 est élevé, plus le traitement de ces mêmes épisodes est rapide.

17 Pour Logan (1988), la stratégie de résolution d'une tâche inconnue repose sur une méthode
18 algorithmique (comme compter les lettres dans l'expérience précédente). La répétition de
19 l'exposition à une même tâche renforce les traces mnésiques de la solution au cours de celle-ci,
20 jusqu'à devenir une connaissance récupérable, stockée en mémoire à long terme (MLT). Cette
21 connaissance spécifique à la tâche répétée repose sur des représentations/schémas (appelées
22 instances par l'auteur). De plus, la récupération automatique de ces schémas ne sollicite pas la
23 mémoire de travail (MdT) (Logan, 1988). C'est, par exemple, le phénomène expérimenté lors
24 de l'apprentissage des tables de multiplication où initialement compter 3 fois 9 se fait par étapes
25 telles que $9 + 9 + 9 = 18 + 9 = 27$, alors qu'après une répétition suffisante la solution 3 fois 9

1 = 27 est directement accessible en mémoire. L'utilisation d'une information accessible en MLT
2 présente l'avantage d'être plus rapide que la solution arithmétique qui sollicite la MdT.
3 En fonction de la nature de la tâche, de la variabilité interindividuelle, le nombre de répétitions
4 nécessaire permettant d'obtenir un stockage efficace en MLT est variable. L'automatisation est
5 décrite comme acquise lorsque les individus évitent complètement l'utilisation de l'algorithme
6 de résolution en utilisant la solution adaptée à la tâche stockée en MLT (Logan, 1988).
7 L'automatisation est donc la transition d'une performance basée sur un processus algorithmique
8 vers une performance basée sur un processus de stockage et de récupération en MLT. Sweller
9 (1994) décrit aussi cet aspect progressif de l'automatisation depuis un traitement contrôlé de
10 l'information vers un traitement automatique de la même information. Cette transition repose
11 sur un processus d'apprentissage continu et lent. L'apprentissage permet de créer et stocker en
12 MLT un schéma¹ approprié à une tâche et d'automatiser la récupération de ce schéma pour
13 disposer d'une solution adaptée à cette même tâche. Les schémas permettent de traiter un grand
14 nombre d'informations simultanément en associant, par un mécanisme de *chunking* (Gobet &
15 Simon, 1996), plusieurs éléments disjoints en un seul élément.
16 Le mécanisme de *chunking* est obtenu après une exposition répétée à des éléments disjoints.
17 Ainsi, lors de l'apprentissage du jeu d'échecs, le novice réalise plusieurs tâches discrètes, telles
18 que déplacer un pion, déplacer un cavalier, une tour... jusqu'à ce que, après avoir été
19 suffisamment exposé à des épisodes de jeu, de parties, les règles de déplacement de chacune
20 des pièces, qui sont autant de tâches avec leurs propres *sets*, soient stockées dans un schéma
21 spécifique aux règles du jeu d'échecs, dans un *set* plus vaste. En d'autres termes, le déplacement
22 de chacune des pièces ne représenterait plus un ensemble de tâches discrètes, mais deviendrait
23 une seule tâche "jouer aux échecs" (il en est de même avec de nombreuses activités de la vie
24 quotidienne, comme la conduite automobile par exemple). Poursuivre l'exposition à des

¹ Schéma : selon Sweller (1994), les schémas sont l'unité de base de la connaissance. Des termes alternatifs sont fréquemment utilisés, comme le *chunk* (Miller, 1956) ou le *script* (Schank & Abelson's, 1977).

1 épisodes de jeu conduit à développer de nouveaux schémas, plus complexes en tant
2 qu'articulation des précédents, structurés autour d'un noyau où seraient encodées des
3 informations stables et de cases permettant d'encoder des informations variables (Gobet &
4 Simon, 1996). Ces structures schématiques créées par l'exposition répétée dans un domaine
5 spécifique comprenant des informations stables (comme les règles du jeu d'échecs par exemple)
6 et des informations variables (possibilités de mouvement des pièces mais aussi évaluation des
7 plans d'action) sont définies comme des *templates* (Gobet & Simon, 1996). L'expertise se
8 définit notamment par des connaissances spécifiques reposant sur ces structures de *templates*
9 (Gobet & Simon, 1996). Classiquement, ces structures sont étudiées sous l'angle perceptif. Un
10 épisode étant constitué pour partie de perceptif, il est théoriquement envisageable de créer des
11 structures schématiques de type *template*, après une exposition répétée à des épisodes, pour
12 n'importe quel type de tâche comprenant des informations stables (e.g., des règles de réponse
13 qui sont donc de nature spécifique) et des informations variables (incertitude du stimulus). En
14 ce sens, la notion de *template* partage des caractéristiques communes avec la notion de *set*.
15 Pris ensemble ces résultats montrent que l'exposition répétée à des tâches comprenant de
16 multiples étapes (Monsell, 1996) conduit, d'une part, à automatiser chacune des étapes (Logan,
17 1988) et, d'autre part, à développer une structure de type *template* (Gobet, 2013 ; Guida, Gobet,
18 Tardieu & Nicolas, 2012).
19 L'exposition répétée à des situations de doubles tâches permet d'une part l'automatisation de
20 chacune des tâches mais également la création de *templates* spécifiques aux tâches entraînées
21 ensemble qui permettent d'activer simultanément des traces mnésiques de chacune des tâches,
22 dès l'exposition à l'une d'elle. En d'autres termes, l'automatisation en tant que résultat d'une
23 exposition répétée aux épisodes (Logan, 1988) deviendrait tout à la fois une automatisation de
24 la tâche effectuée lorsqu'elle est effectuée isolément, mais également une automatisation des
25 tâches effectuées ensemble en permettant non plus l'activation du *set* de la tâche A puis de la

1 tâche B, mais bien le *set* de la tâche “A et B”, auxquels les participants ont été exposés dans de
2 multiples épisodes. En effet, la théorie du *set* propose qu’un entraînement en condition double
3 tâche permettrait une intégration efficace des deux tâches entraînées en les combinant ensemble
4 jusqu’à ce qu’elles constituent une seule *supertâche* (e.g. Hazeltine, Aparicio, Weinstein, &
5 Ivry 2007 ; Hazeltine, Teague & Ivry, 2002 ; Oberauer & Kliegl, 2004 ; Rogers & Monsell,
6 1995 ; Ruthruff, van Selst, Johnston, & Remington, 2006). Ainsi, les *templates* (relevant du
7 cadre théorique de l’expertise acquise) apparaissent comme étant des *supertâches* (relevant du
8 cadre théorique du *set*). En effet, les deux notions sont caractérisées par un but à atteindre (par
9 exemple, gagner une partie d’échecs / se faire un thé) articulé autour de règles de résolution
10 fixes (par exemple, les règles de déplacement des pions au jeu d’échecs / les règles physiques
11 à respecter lorsque l’on fait du thé : i.e. faire bouillir l’eau avant d’y plonger le sachet) et de
12 variables (par exemple, des enchaînements de mouvements possibles / une fois l’eau en train
13 de bouillir, la possibilité de prendre en premier la tasse, le sachet de thé, le sucre ou la cuiller).
14 Ainsi, l’expertise doit reposer sur des mécanismes étudiés dans le champ théorique du *set*. Or
15 le *set* présente des caractéristiques spécifiques et génériques qui devraient donc être présentes
16 dans l’acquisition de l’expertise.

17 Le processus qui conduit à l’automatisation peut donc se comprendre comme la transition
18 depuis la mise en œuvre d’un *set* générique (algorithmique) vers la mise en œuvre d’un *set*
19 spécifique (adapté à la tâche suffisamment répétée et disponible en MLT). Cependant, comment
20 le système cognitif appréhende-t-il les situations multitâches quand il n’a pas (encore) de
21 connaissances spécifiques ?

22 Le mécanisme de permutation d’une tâche vers une autre offre un cadre théorique adapté pour
23 étudier cette question.

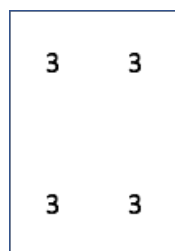
24 **4. La permutation : une habileté générique au cœur de toute situation de tâches** 25 **multiples**

1 Le mécanisme de permutation d'une tâche à l'autre constitue un processus du système cognitif.
2 Ce mécanisme est décrit comme une fonction exécutive (Miyake et al., 2000 ; Miyake &
3 Friedman, 2012) et a été étudié dès la première moitié du 20^{ème} siècle (Jersild, 1927).
4 L'exploration de ce phénomène vise à examiner le coût de la permutation d'une tâche A vers
5 une tâche B (Bouquet et al, 2013). Mesurer ce coût revient à mesurer le coût du changement de
6 configuration du *task set*. Classiquement, ce coût est mesuré en comparant le temps de réaction
7 (TR) et le taux d'erreur (TE) lorsque les participants changent de tâche, à ceux obtenus
8 lorsqu'ils répètent la même tâche. Il s'agit donc de comparer les TR et TE de la tâche A, après
9 avoir réalisé la tâche A (répétition AA), avec les TR et TE de la tâche A après avoir réalisé la
10 tâche B (permutation BA). Classiquement, les performances chutent dans le cas de la
11 permutation comparativement au cas de la répétition, c'est pourquoi la notion de coût de
12 permutation est née (ou *switch cost*).

13 Dans la version princeps du paradigme de permutation de tâche, Jersild (1927) disposait des
14 listes de nombres à deux chiffres auxquels les participant additionnaient ou soustrayaient un
15 même chiffre. Dans une condition, l'opération était toujours la même (par exemple, additionner
16 trois à l'ensemble des nombres de la liste) et, dans une autre condition, il fallait alterner addition
17 et soustraction lors de chaque changement de nombre dans la liste. Les réponses étaient
18 formulées à haute voix. Le temps de réponse observé dans la condition alternance (permutation)
19 a été plus important que celui observé dans la condition répétition. En 1976, Biederman et
20 Spector ont répliqué le paradigme de Jersild et ont obtenu des résultats similaires (Spector &
21 Biederman, 1976). Depuis, de nombreuses expériences ont permis d'affiner l'observation du
22 phénomène de coût de la permutation (Allport, Styles, & Hsieh, 1994 ; Rogers & Monsell,
23 1995 ; pour des revues voir Bouquet et al., 2013 ; Monsell, 2003, 2015) au moyen de mesures
24 de performance (TR et TE) mais également d'autres mesures telles que l'activité cérébrale (e.g.
25 Ruge, Jamadar, Zimmerman, & Karayanidis, 2013) ou l'oculométrie (Longman, Lavric &

1 Monsell, 2013, 2016) enregistrées au cours de changements de tâches et au cours de répétitions
2 de tâches.

3 Une des premières expériences ayant permis d'affiner la compréhension du phénomène de coût
4 de la permutation est l'expérience *shifting task set* (Allport et al., 1994). Au cours de cette
5 expérience, les stimuli présentés aux participants sont des groupes de 1 à 9 chiffres identiques
6 disposés symétriquement à l'intérieur d'un rectangle (e.g. voir figure 1 : quatre chiffres "3"
7 situés en haut à gauche, en bas à gauche, en bas à droite puis en haut à droite du rectangle).



8

9 Figure 1. Exemple de stimulus présenté au cours d'un essai de l'expérience 1. Dans cet exemple, $V = 3$ donc impair et inférieur
10 à 5 ; $G = 4$ donc pair et inférieur à 5. La condition à laquelle doit répondre le participant est présentée avant l'essai. Par exemple,
11 "G inférieur/supérieur" auquel il faut répondre dans ce cas inférieur puisque le nombre de caractères (4) est inférieur à 5.

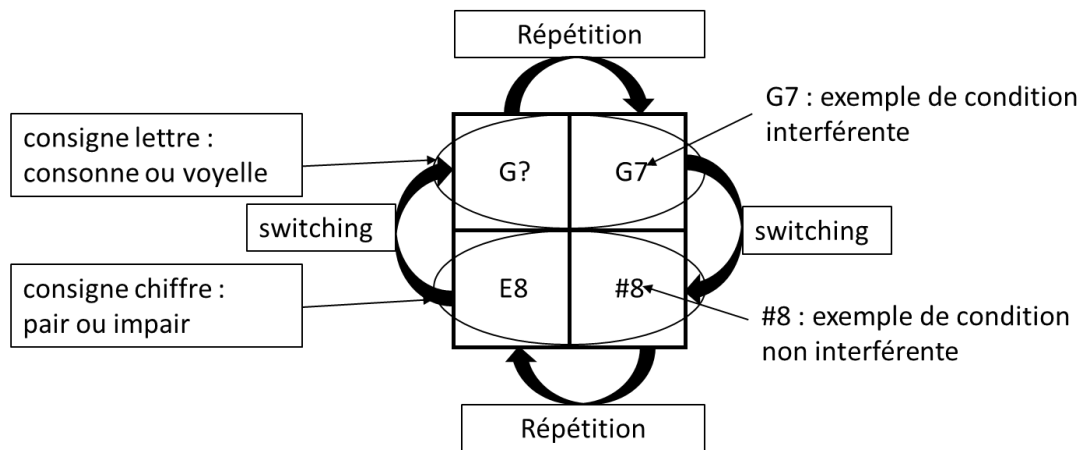
12

13 Deux types de dimensions étaient manipulées : la taille du groupe (G), c'est-à-dire le nombre
14 d'entiers identiques à l'intérieur du rectangle (e.g, $G = 4$ sur la figure 1) et la valeur (V) des
15 entiers identiques (e.g. $V = "3"$ sur la figure 1). G et V variaient entre un et neuf, à l'exclusion
16 de cinq, et étaient toujours différents entre les deux dimensions. Deux types de jugement
17 numérique pouvaient être demandés soit sur V , soit sur G : (1) soit le chiffre était pair ou impair
18 et (2) soit le chiffre était supérieur ou inférieur à cinq. La répétition consiste en l'utilisation du
19 même jugement numérique sur la même dimension pour deux essais consécutifs. La
20 permutation, quant à elle, est définie comme un changement de jugement numérique et/ou de
21 dimension pour deux essais consécutifs. Il y avait donc quatre situations possibles de répétition
22 (V pair/impair ; V supérieur/inférieur à cinq ; G pair/impair ; G supérieur/inférieur à cinq) et
23 six situations possibles de permutation de règle : deux pour la situation dimension constante
24 avec permutation de jugement numérique (V pair/impair vers V supérieur/inférieur à cinq ; G

1 pair/impair vers G supérieur/inférieur à cinq) ; deux pour la situation jugement numérique
2 constant avec permutation de dimension (V pair/impair vers G pair/impair ;
3 V supérieur/inférieur à cinq vers G supérieur/inférieur à cinq) et, enfin, deux pour les
4 alternances de jugement numérique et de dimension (V pair/impair vers G supérieur/inférieur à
5 cinq ; V supérieur/inférieur à cinq vers G pair/impair). Les résultats montrent un ralentissement
6 du temps de réponse significatif en situation de permutation comparativement à la situation de
7 répétition. Une série d'expérimentations appuie ces premiers résultats.

8 Rogers et Monsell (1995) apportent un contrôle supplémentaire de l'automatisation des tâches
9 par rapport aux travaux réalisés par Allport et al. (1994). Ces auteurs s'assurent que les
10 participants restent dans le cas où ils traitent bien deux tâches et non pas une seule *supertâche*.
11 En limitant le développement de processus spécifique dans la réalisation d'une tâche, les auteurs
12 se concentrent sur l'étude des processus génériques à l'œuvre lors de la réalisation de ces tâches.
13 Au cours de différentes expériences de reconfiguration du *task-set*, Rogers et Monsell (1995)
14 ont développé un nouveau paradigme de permutation, celui d'alternance constante, afin de
15 développer une nouvelle méthode de mesure du coût de la permutation. A la différence du
16 paradigme développé par Jersild (1927) et repris par Alport et al. (1994) qui compare des
17 performances entre des blocs de tâches alternées (i.e. ABABA...) et des blocs de tâches simples
18 (i.e. AAAA... ou BBBB...), Rogers et Monsell développent des blocs de type AABBAABB...
19 Ce paradigme permet d'affiner considérablement les mesures, non plus en comparant des
20 différences globales entre blocs, mais en comparant la performance à la tâche A lorsqu'elle suit
21 la réalisation de la tâche A à la performance à la tâche A lorsqu'elle suit la réalisation de la
22 tâche B. Il en est de même pour la tâche B. En d'autres termes, ce paradigme permet de
23 comparer la performance après une permutation (i.e. AB, BA) à la performance après une
24 répétition (i.e. AA, BB). Les mesures retenues pour comparer les performances demeurent le
25 temps de réaction (TR) et le taux d'erreur (TE).

1 Les tâches auxquelles sont soumis les participants consistaient à classer un chiffre comme pair
2 ou impair et une lettre comme consonne ou voyelle. Chaque stimulus était constitué d'une paire
3 de caractères présentés côte à côte (voir figure 2). Dans la tâche "lettre", un et seulement un
4 caractère était une lettre (sur les deux caractères présentés) ; le participant devait appuyer sur
5 une touche si la lettre était une consonne et sur une autre touche si la lettre était une voyelle.
6 Dans la tâche "chiffre", un et seulement un caractère était un chiffre (sur les deux caractères
7 présentés) ; le participant devait appuyer sur une touche si le chiffre était pair et sur une autre
8 touche si le chiffre était impair (voir figure 2). Ces tâches pouvaient être présentées en condition
9 sans interférence, c'est-à-dire que le caractère non pertinent de la tâche à réaliser était tiré d'un
10 troisième ensemble de caractères, cette fois-ci non alphanumérique (e.g. #) et appelé l'ensemble
11 "neutre". Puisque ces caractères n'étaient associés à aucune règle de réponse dans aucune des
12 tâches, chaque couple de caractères de chaque stimulus ne permettait de répondre qu'avec la
13 tâche appropriée (lettre ou chiffre). Dans la condition avec interférence, les stimuli étaient
14 constitués d'une lettre et d'un chiffre. La comparaison de la performance aux essais où il y a un
15 caractère neutre, c'est-à-dire dans la condition sans interférence, et de la performance aux essais
16 où les caractères sont une lettre et un chiffre (i.e. la condition interférente) permet d'évaluer
17 dans quelle mesure la présence d'un caractère non pertinent rend cette tâche plus difficile à
18 réaliser. En d'autres termes, cela permet de déterminer dans quelle mesure la présence d'une
19 tâche dont les règles de réponses sont connues et qui n'est pas à réaliser interfère avec la tâche
20 à réaliser.



1

2 Figure 2. Présentation des conditions en fonction du type d'essai de l'expérience de Rogers & Monsell (1995). Soit l'essai est
 3 interférent lorsqu'il est constitué d'une lettre et d'un chiffre, soit il est non interférent lorsqu'un caractère neutre (i.e. non lettre
 4 et non chiffre) est présent. Le passage d'un essai à l'autre constitue une répétition lorsqu'il est réalisé horizontalement et un
 5 *switching* lorsqu'il est réalisé verticalement.

6

7 La première expérience avait pour but de comparer le coût prévisible de la permutation de tâche,

8 en condition interférente ou non interférente. Les participants voyaient un carré découpé en

9 quatre carrés (voir figure 2 ci-dessus). Au cours de chaque essai, un couple de caractères

10 apparaissait dans un sous-carré. Lorsqu'une réponse était donnée, ou après une absence de

11 réponse de 5000 ms, un autre couple de caractères apparaissait dans le sous-carré adjacent, dans

12 le sens des aiguilles d'une montre. Lorsque les stimuli étaient dans les sous-carrés du haut, les

13 participants répondaient à la tâche lettre ; lorsque les stimuli étaient dans les sous-carrés du bas,

14 les participants répondaient à la tâche chiffre. Les présentations successives des stimuli se

15 déroulant dans le sens des aiguilles d'une montre, chaque bloc proposait une succession de

16 tâches de type AABBAABB... Les résultats corroborent ceux de Allport et al., (1994) en

17 montrant un coût classique de la permutation, significativement supérieur au coût de la

18 répétition (i.e. AB vs AA). De plus, en situation d'interférence, il y a un coût significativement

19 plus élevé de la condition interférente comparativement à la condition non interférente.

20 Suite à cette réplique, les auteurs ont voulu mettre à l'épreuve les trois hypothèses suivantes.

21 La première hypothèse, concerne l'éventuelle inertie du *task set* (*task set inertia*), et propose

22 que le coût de la permutation de tâche serait dû à l'activation persistante (et/ou son inhibition)

1 du *task-set* de la tâche réalisée précédemment, qui ne peut pas être complètement supprimé
2 malgré la préparation à la réalisation de la tâche qui suit (Allport et al., 1994 ; Yeung & Monsell,
3 2003). La durée de cette persistance du *task-set* est estimée à environ 1 minute (Allport et al.,
4 1994). La deuxième hypothèse est celle de la micro-pratique qui suppose que la répétition
5 consécutive de la même tâche permet d'améliorer ses performances d'essai en essai (Duncan,
6 1977). En d'autres termes, au cours d'une micro-série de type AAAA, les participants
7 progresseraient à chaque répétition et devraient présenter la meilleure performance au
8 quatrième A, comparativement au troisième, et au troisième comparativement au deuxième. La
9 dernière hypothèse est celle de l'achèvement de la tâche basée sur la perception du stimulus
10 (*stimulus-cued completion*). Cette hypothèse propose, en situation de permutation, qu'un acte
11 endogène (attente de la tâche suivante) déployé avant la présentation du stimulus de la tâche
12 suivante réalise une partie du processus de reconfiguration de *task-set* liée à cette prochaine
13 tâche. L'achèvement de cette reconfiguration de *task-set* serait alors initié par la présentation
14 du stimulus de la tâche à réaliser (acte exogène).

15 La dernière expérience de Rogers et Monsell (1995) s'assure d'un intervalle réponse - stimulus
16 (i.e. intervalle de temps séparant la réponse à un essai de la présentation du stimulus de l'essai
17 suivant) suffisamment long pour que chaque coût de permutation puisse refléter clairement la
18 composante persistante de ce coût de permutation, i.e. l'activation persistante (et/ou son
19 inhibition) du *task-set* de la tâche réalisée précédemment. Les participants devaient répondre
20 aux mêmes tâches (lettre et chiffre) que dans le protocole expérimental précédent. Cette fois-ci
21 les tâches apparaissaient dans un cercle découpé en 8, un peu comme des parts de pizza, dans
22 le sens horaire, et des indices étaient fournis aux participants pour déterminer à quelle tâche
23 (lettre ou chiffre) ils devaient répondre. Le cercle était séparé en deux parties égales et la
24 séparation se matérialisait par un trait épais. Dans une moitié du cercle, les participants
25 réalisaient la tâche lettre et dans l'autre moitié la tâche chiffre. Les participants réalisaient donc

1 les tâches selon l'enchaînement AAAABBBBBAAAA, etc. L'hypothèse de l'activation
2 persistante du *task set* de la tâche réalisée lors de l'essai précédent doit se matérialiser par un
3 temps plus long de réalisation de la séquence de tâches B, tant que le *task set* de A reste activé.
4 Les résultats montrent qu'un TR plus élevé, attribuable à l'activation persistante du *task set* de
5 la tâche précédente, n'est observé que sur le premier essai de la séquence. Ainsi, la persistance
6 du *task set* de la tâche précédente ne dure pas 1 minute comme suggéré par Alport (1994). Tout
7 se passerait comme si la réalisation d'un essai d'une tâche suffisait à désactiver le *task set* de la
8 tâche précédente. Ce même résultat permet d'invalider l'hypothèse de la micro-pratique qui
9 prédisait un TR de plus en plus réduit au fur et à mesure des essais d'une même séquence. En
10 effet, du deuxième au dernier essai au sein d'une même séquence (i.e. AAAA), le TR ne varie
11 plus. Enfin, alors que les participants s'attendent à un changement de tâche (d'autant plus
12 matérialisé par le trait vertical gras), ils subissent néanmoins un coût de permutation lors du
13 premier essai. C'est pourquoi les auteurs privilégient la nécessité d'un acte exogène
14 (présentation du stimulus de la tâche à réaliser) pour finaliser la reconfiguration du *task set*.
15 Ici, les participants n'ont pas automatisé les tâches. Aussi, leur pratique au cours de l'expérience
16 permet de les considérer comme des novices. Dans la vie de tous les jours, le novice réalise des
17 tâches séquentiellement (puisqu'il n'a pas encore de *chunk* ou de *supertâche*) et subit un coût
18 de reconfiguration du *task set* dès qu'il doit changer de tâche.
19 Pour résumer, les premières rencontres de toute situation multitâche mettent en œuvre le
20 mécanisme de permutation qui de fait est un processus générique. Autrement dit, le
21 développement de l'expertise en situation multitâche commence nécessairement par la mise en
22 œuvre de ce processus.
23 Après avoir appréhendé ce mécanisme de permutation, il convient de l'aborder dans les
24 situations de double tâche et d'identifier son évolution éventuelle jusqu'à l'automatisation. En

1 d'autres termes, comment ce mécanisme adapté à tout type de tâche, et donc par essence
2 générique, évolue-t-il après une répétition extensive ?

3 **5. Les avantages de l'entraînement en condition de double tâche**

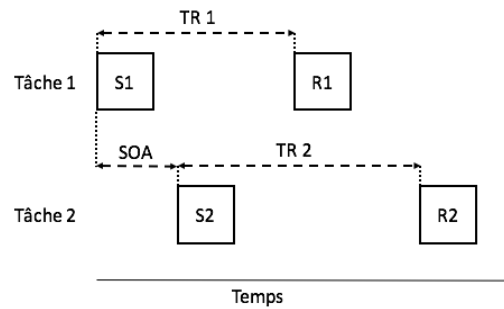
4 La réalisation de tâches présentées simultanément est difficile pour l'être humain. Une
5 expérience communément partagée est celle de la conduite sur une route sinueuse, difficilement
6 compatible avec l'écoute attentive d'une émission radiophonique. Ainsi, certaines activités
7 dynamiques soumettent régulièrement le système cognitif au besoin de réaliser des tâches
8 présentées de manière synchrone. Les mécanismes d'automatisation et de capacité de
9 permutation, que nous venons de décrire, sont particulièrement mobilisés pour permettre au
10 système cognitif de s'adapter à ces situations et donc de diminuer cette sensation de difficulté.
11 Par ailleurs, Maquestiaux (2012) rappelle que cette question trouve une naissance scientifique
12 sous la plume de Frédéric Paulhan dès la fin du 19ème siècle. Paulhan décrivait dans la *Revue*
13 *scientifique*, au sein d'un article intitulé "la simultanéité des actes psychiques" (Paulhan, 1887),
14 comment il expérimente ce phénomène, en faisant des multiplications tout en récitant de la
15 poésie par exemple avant de conceptualiser cette simultanéité des actes psychiques comme une
16 règle ne souffrant tout au plus que de rares exceptions. Si l'analyse de Paulhan est aujourd'hui
17 dépassée, la problématique qu'il souleva est toujours d'actualité. Elle est abordée au moyen
18 d'un protocole permettant d'une part la réalisation au cours d'un même essai de deux tâches
19 discrètes mais également la manipulation de la distance temporelle inter stimuli (Telford, 1931).
20 Le protocole développé prend le nom de Période Réfractaire Psychologique (PRP), en référence
21 à la phase d'inexcitabilité ou phase réfractaire mise en évidence par le physiologiste Etienne-
22 Jules Marey chez l'animal (Marey, 1876).

23 L'avantage d'un entraînement en condition de double tâche a été montré dans de nombreuses
24 études : avec une combinaison de tâches simples, par exemple des tâches où les stimuli sont
25 associés à 3 réponses possibles (e.g. Liepelt et al., 2011 ; Strobach, Frensch, Soutschek, &

1 Schubert, 2012), mais également dans une grande variété de tâches telles que deux tâches de
2 mise à jour de la mémoire de travail (e.g. Oberauer & Kliegel, 2004), dans deux tâches de
3 mémoire à long terme (e.g. Strobach, Schubert, Pashler, & Rickard, 2014), une tâche continue
4 et une tâche sensori-motrice (e.g. Bender, Filmer, Naughtin, & Dux, 2017) ou une tâche
5 motrice et une tâche cognitive (e.g. Sisupadol, Siu, Shumway-Cook, & Woolacott, 2006).

6 **5.1. Le protocole PRP**

7 Le protocole PRP consiste en l'exposition à une situation de double tâche, c'est-à-dire consistant
8 à faire réaliser deux tâches discrètes au cours d'un même essai. La figure 3 schématise ce type
9 d'essai de double tâche. L'étude de tâches relativement simples, c'est-à-dire dont les règles de
10 réponses à des stimuli comportent peu de possibilités et dont le temps de réponse prend
11 généralement moins d'une seconde, permet de tester plus précisément les hypothèses sur les
12 causes éventuelles d'interférence entre les tâches, en tous cas plus finement que ce qui serait
13 possible avec des tâches plus complexes et nécessitant plus de temps de réalisation (Pashler,
14 1994). Ainsi, chaque tâche consiste en l'apparition d'un stimulus S explicite (e.g. une forme ou
15 un son), associé à une règle de réponse R vocale ou motrice. Le temps de réponse, c'est-à-dire
16 le temps entre le début de la présentation d'un stimulus et le début de la réponse, est analysé
17 pour chacune des tâches. Chaque tâche peut se décomposer en trois stades : dans un premier
18 temps la perception ou stade amont ou précentral, le deuxième temps est celui du traitement ou
19 stade central (e.g. le choix de la réponse en fonction des règles de réponses), et le dernier stade
20 est celui de la génération de la réponse ou stade post-central ou encore stade aval. Les stades
21 pré et post-centraux sont aussi appelés stades périphériques (Maquestiaux, 2012).



1

2 Figure 3. Schéma du protocole PRP consistant en la réalisation de deux tâches discrètes au cours d'un même essai. Pour chaque
 3 tâche est présenté un stimulus S appelant une réponse R. La durée séparant la présentation de deux stimuli, appelée SOA
 4 (*Stimulus Onset Asynchrony*), est manipulée par l'expérimentateur. Les variables dépendantes de ce protocole sont le temps de
 5 réaction TR et le taux d'erreur TE.

6

7 Afin de pouvoir étudier précisément les stades éventuels d'interférence au cours de la
 8 réalisation des essais, certaines prescriptions expérimentales méritent d'être respectées. Il s'agit
 9 en particulier de réduire, voire d'éliminer, au mieux toute autre source d'interférence
 10 potentielle.

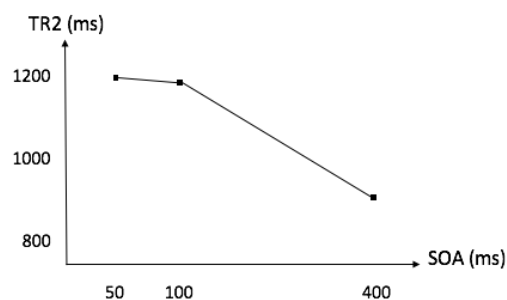
11 Cette réduction des interférences potentielles, au niveau des stades périphériques, s'articule sur
 12 des modalités et des codages différents de stimulus (e.g. auditive et visuelle, spatial et verbal)
 13 et de réponse (e.g. vocale et motrice), selon le principe que deux tâches partageant les mêmes
 14 processus cognitifs de perception et de réponse sont plus de nature à interférer que deux tâches
 15 qui ne les partagent pas (Brooks, 1968 ; Meyer & Kieras, 1997 ; Wickens, 1984). Par exemple,
 16 il semble plus probable qu'écouter deux consignes verbales simultanément soit de nature plus
 17 interférente qu'écouter une consigne verbale et de reconnaître une forme géométrique.

18 D'autre part, la manipulation des intervalles inter-stimuli au cours de différents essais, c'est-à-
 19 dire la manipulation du SOA (*Stimulus Onset Asynchrony*), entre la tâche 1 et la tâche 2, permet
 20 de constater la présence de l'effet PRP. Plus le SOA est court, plus les interférences de
 21 traitement central de réalisation de chaque tâche devraient être importantes. Inversement, plus
 22 le SOA est long, plus l'interférence devrait être faible. La comparaison des performances aux
 23 tâches en fonction des SOA permet de mesurer le coût de la proximité temporelle dans la
 24 réalisation de tâches discrètes. Par exemple, dans le cas de tâches T1 et T2 auditives, Telford

1 (1931) a mesuré la performance à la double tâche au cours de 100 essais et selon quatre durées
2 séparant les stimuli sonores (500, 1000, 2000 et 4000ms) et il a observé les performances les
3 plus faibles dans la condition de SOA 500ms. Les études postérieures ont montré des résultats
4 comparables avec des tâches visuo-motrices (Vince, 1948), puis dans une grande variété de
5 couples de tâches, caractérisés par diverses modalités de stimuli (e.g. visuels, auditifs)
6 (Wickens, 2004) et de réponse (verbale, motrice) (Hazeltine, Ruthruff & Remington, 2006 ;
7 Maquestiaux, 2012).

8 Enfin, une consigne sur le traitement prioritaire de la tâche 1, par exemple “répondez le plus
9 rapidement et le plus précisément possible aux deux tâches, en répondant d’abord à la tâche 1”,
10 permet de “forcer” l’interférence au niveau de la tâche 2 (Maquestiaux, Lagüe-Beauvais,
11 Ruthruff, Hartley, & Bherer, 2010).

12 Plusieurs centaines d’expériences ont respecté ces prescriptions pour montrer la robustesse de
13 la présence de l’effet PRP, qui se matérialise sous la forme d’un TR à la tâche 2 (TR2) plus
14 long en condition SOA court qu’en condition SOA long, comme cela est représenté sur la figure
15 4. La robustesse de l’effet est indépendante des modalités sensorielles des stimuli et des
16 réponses et a été également constatée après un entraînement intensif de plusieurs milliers de
17 répétitions sur une tâche auditivo-vocale (tâche 1 : stimulus sonore, réponse vocale) et une tâche
18 visuo-motrice (tâche 2 : stimulus visuel, réponse motrice) (Van Selst, Ruthruff, & Johnston,
19 1999).



20

21 Figure 4. Exemple d’effet PRP, adapté de Strobach et al. (2015). Le temps mis pour répondre à la tâche 2 (T2) est plus long si
22 le temps qui sépare la présentation de la tâche 1 et de la tâche 2 (SOA) est plus court.

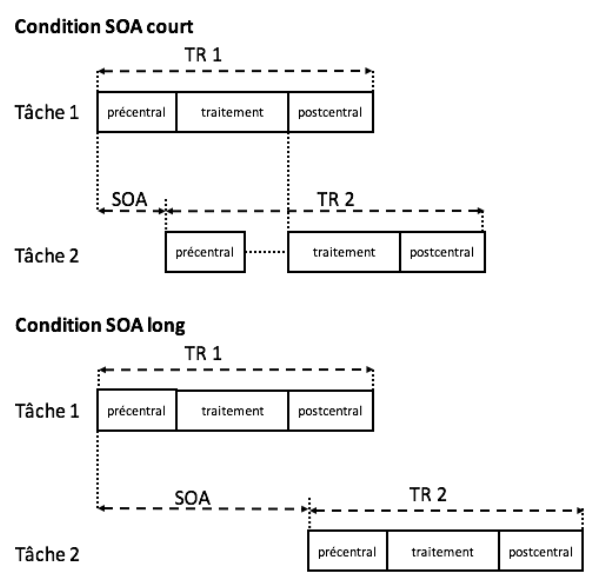
23

1 Lors de la réalisation de tâches discrètes, des processus discrets à capacité limitée (i.e. un
 2 processus par tâche) sont à l'œuvre. Ces processus respectent le modèle du goulet
 3 d'étranglement central développé notamment par Welford (1952) selon lequel la simultanéité
 4 de traitements centraux est impossible. Ainsi, comme idéalement schématisé sur la figure 5,
 5 nous voyons que, dans une condition de SOA court, la réalisation du traitement central de la
 6 tâche 2 commence uniquement après le traitement central de la tâche 1. Dans cette condition de
 7 SOA court, la réalisation de la tâche 2, le TR2 est donc plus long que dans la condition de SOA
 8 long où le stimulus S2 intervient après la fin du traitement central de la tâche 1 entraînant une
 9 absence d'interférence.

10 En respectant ce modèle, il est possible de mettre en équation l'effet PRP, qui n'existe que dans
 11 le cas du SOA court, selon la formule suivante (Maquestiaux, 2012 ; Ruthruff, Johnston, & Van
 12 Selst, 2001) :

13
$$\text{Effet PRP} = \text{précentral T1} + \text{traitement T1} - \text{précentral T2} - \text{SOAcourt}$$

14 Cette équation montre donc, en condition SOA court, que plus les stades précentral et central
 15 de la tâche 1 seront longs (et donc plus le TR1 sera long), plus l'effet PRP sera grand.



17 Figure 5. Modèle du goulet d'étranglement central. La réalisation de chaque tâche est décomposée en trois étapes successives
 18 depuis le stimulus jusqu'à la réponse. Un stade précentral, un stade de traitement et un stade post central. Le modèle propose
 19 que deux stades de traitements de deux tâches discrètes soient impossibles à réaliser simultanément, alors que toute autre
 20 combinaison de stades le soit. Dans la condition SOA long, le stimulus de tâche 2 arrive après le stade de traitement de la
 21 tâche 1, ce qui permet aux trois stades de la tâche 2 de se dérouler sans interruption, contrairement au déroulement des stades

1 de la tâche 2 dans la condition SOA court. Cette absence d'effet PRP en condition SOA long est aussi appelée goulet
2 d'étranglement central latent.
3

4 Nous allons maintenant détailler les hypothèses théoriques qui permettraient de comprendre
5 d'une part l'effet PRP mais également pourquoi il y aurait un avantage à suivre un entraînement
6 en condition de double tâche (c'est-à-dire avec SOA suffisamment court) comparativement à
7 un entraînement en condition tâche par tâche.

8 **5.2. Hypothèse structurale et hypothèse stratégique**

9 Actuellement, il existe deux hypothèses principales permettant d'expliquer l'effet PRP. Celles-
10 ci sont notamment présentées dans la revue de question concernant la simultanéité des actes
11 psychiques (Maquestiaux, 2012) et dans celle sur l'avantage à la pratique en situation double
12 tâches (Strobach, 2020). Une de ces hypothèses est *structurale (ou intégrative)* et spécifique aux
13 tâches entraînées, tandis que l'autre repose sur un mécanisme cognitif *stratégique*, une habileté,
14 de nature générique. Dans l'une comme dans l'autre hypothèse, l'intégrative ou la stratégique,
15 les modèles mettent en avant la nécessité de planifier et d'allouer des ressources cognitives
16 comme prérequis à la réalisation des tâches (Szameitat, Lepsien, von Cramon, Sterr, &
17 Schubert, 2006).

18

19 ***L'hypothèse structurale***

20 Les tenants de l'hypothèse structurale (i.e. d'un unique goulet d'étranglement central)
21 proposent que l'amélioration des performances en situation de double tâche repose sur
22 l'hypothèse intégrative. Il s'agit de l'hypothèse selon laquelle un entraînement en condition de
23 double tâche permettrait une intégration efficace des deux tâches entraînées en les combinant
24 ensemble jusqu'à ce qu'elles deviennent une seule *supertâche* (e.g. Hazeltine et al., 2007 ;
25 Hazeltine et al. 2002 ; Oberauer & Kliegl, 2004 ; Rogers & Monsell, 1995 ; Ruthruff et al.
26 2006). Ainsi, lorsque chaque tâche est réalisée au début de l'entraînement avec des processus

1 discrets à capacité limitée, à la fin de l'entraînement la résolution des deux tâches se ferait au
2 moyen de processus à capacité limitée combinant les caractéristiques de résolution des deux
3 tâches.

4 Cette hypothèse intégrative qui repose sur le modèle du goulet d'étranglement central propose
5 donc une amélioration spécifique aux tâches entraînées, proche de ce que nous avons abordé
6 précédemment en développant le concept d'automatisation par instances (Logan, 1988) et de
7 *template* (Gobet & Simon, 1996).

8

9 ***L'hypothèse stratégique***

10 Une autre hypothèse, celle de la planification et de l'allocation de ressources ("*allocation and*
11 *scheduling hypothesis*") propose que l'entraînement en conditions "double tâche" permettrait
12 de développer une habileté de planification et d'allocation des ressources cognitives en situation
13 de double tâche. Cette théorie, développée par Meyer et Kieras (1997) dans leur modèle
14 adaptatif du contrôle exécutif, propose que les étapes de réalisation de deux tâches puissent être
15 réalisées soit de manière séquentielle, soit de manière parallèle lorsque des *strategic bottlenecks*
16 sont activés. Cette hypothèse est en opposition avec les modèles structuraux du goulet
17 d'étranglement central qui indiquent l'impossibilité d'un traitement central simultané de tâches
18 discrètes, mais posent clairement l'idée d'une compétence générique, d'une habileté à
19 manipuler plusieurs tâches simultanément, qui se renforcerait avec l'entraînement.

20 L'amélioration de la performance lors de situations en double tâche est abordée soit sous un
21 angle spécifique à la situation entraînée, par automatisation des tâches mais aussi par la création
22 d'une *supertâche* ou d'un *template*, soit sous un angle d'amélioration des performances
23 génériques via le développement de l'habileté de permutation.

24 **5.3. Situation de double tâche : les effets de l'automatisation d'une seule des deux tâches**

1 Afin de pouvoir tester l'hypothèse de l'élimination du goulet d'étranglement central, c'est-à-
2 dire la possibilité de traitement en parallèle de tâches discrètes, Maquestiaux, Lagüe-Beauvais,
3 Ruthruff et Bherer (2008) se sont inspirés du protocole de Ruthruff et al. (2006). L'idée
4 principale est que l'automatisation, par l'exposition à des épisodes répétés, permet le traitement
5 en parallèle des tâches automatisées, c'est-à-dire qu'il ne serait plus observé d'effet PRP dans
6 les situations de double tâche impliquant au moins une tâche automatisée. Au cours de leur
7 expérience, les participants ont suivi un entraînement intensif uniquement de la tâche auditivo-
8 verbale (AV) (5040 essais). Ensuite, les participants découvraient en situation de double tâche,
9 la deuxième tâche qui était visuo-motrice (VM). Les tâches AV et VM sont des "*single-step*
10 *task*" (Monsell, 1996). L'effet PRP moyen observé sur la tâche AV est considéré par les auteurs
11 comme supportant l'hypothèse d'un goulet d'étranglement central éliminé. Les auteurs
12 concluent que la pratique intensive conduirait à l'automatisation du traitement central, ce qui
13 permet le traitement parallèle avec le traitement d'une autre tâche nouvelle. Cette expérience
14 favorise plus l'hypothèse stratégique que structurale/intégrative car on observe un traitement
15 parallèle alors qu'aucune intégration de deux tâches n'a pu être faite. En d'autres termes, l'effet
16 de traitement en parallèle de deux tâches est observé alors que la construction d'une *supertâche*
17 est évitée.

18 Toutefois, ce résultat de la disparition du goulet d'étranglement n'est observé que dans le cas
19 particulier de modalités sensori-motrices compatibles avec la réalisation de doubles tâches,
20 c'est-à-dire à la fois en minimisant les interférences sensorielles de perception et de réponse,
21 mais également sur des associations sensorielles stimulus-réponses particulièrement favorables
22 (Maquestiaux, Ruthruff, Defer, & Ibrahime, 2018 ; Ruthruff, Hazeltine, & Remington, 2006 ;
23 Stelzel, Schumacher, Schubert, & Mark, 2006). Ainsi, Maquestiaux et al. (2018) montrent la
24 possibilité de réalisation en parallèle des traitements d'une tâche visuo-motrice et d'une tâche
25 auditivo-verbale, tandis que les tâches visuo-vocale et auditivo-motrice sont incompatibles.

1 C'est pourquoi les auteurs modèrent la portée de l'hypothèse stratégique puisque les résultats
2 ne sont observés que dans des cas très particuliers.

3 En résumé, la diminution de l'effet PRP peut être obtenue par l'automatisation de l'une des
4 deux tâches à effectuer ensemble, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'un processus spécifique.
5 L'intervention de processus génériques comme ceux qui seraient à l'œuvre dans l'hypothèse
6 stratégique n'est pas ici clairement démontrée. C'est pourquoi dans la prochaine section seront
7 présentées des études montrant une diminution de l'effet PRP reposant sur des processus
8 génériques.

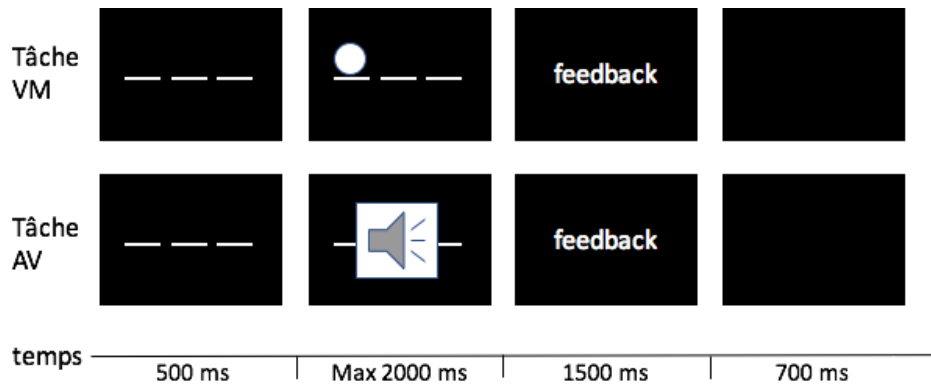
9 **5.4.L'automatisation tâche par tâche *versus* l'entraînement en double tâche**

10 Si dans les expériences précédentes, les protocoles expérimentaux consistaient en
11 l'automatisation d'une seule des deux tâches, les protocoles présentés ici étudient différents
12 types d'entraînement conduisant à l'automatisation de chacune des deux tâches : les tâches sont
13 entraînées soit de manière distincte (c'est-à-dire en s'entraînant d'abord à l'une des tâches, puis
14 à l'autre), soit en situation de double tâche.

15 Dans ce cadre, Liepelt et al. (2011) comparent un groupe ayant bénéficié d'un entraînement en
16 double tâche à un autre ayant suivi un entraînement en simple tâche. Ces deux groupes
17 effectuent plusieurs sessions d'entraînement sur plusieurs jours. Lors de la dernière session, les
18 deux groupes réalisent les tâches une par une et en double tâche. Deux tâches étaient à réaliser,
19 une visuo-motrice (VM) et une auditivo-verbale (AV). La tâche VM avait pour stimulus
20 l'apparition d'un disque sur une des trois positions possibles sur l'écran (gauche, milieu, ou
21 droite) auquel les participants devaient répondre manuellement avec le doigt correspondant
22 (index, majeur ou annulaire) de la main droite. Pour la tâche AV, les participants répondaient
23 verbalement à trois sons possibles entendus dans un casque, selon la règle "UN" pour le son

1 grave (350 Hz), “DEUX” pour le son medium (900 Hz) et “TROIS” pour le son aigu (1650
2 Hz). L’intégralité de la séquence est décrite dans la figure 6.

3



4

5 Figure 6. Stimuli présentés pour chaque essai au cours de l’expérience. La tâche visuelle est en haut, la tâche auditive en bas.
6 Les essais commencent par un écran préparatoire sur lequel sont présentés trois traits pendant 500 ms. Ensuite, un cercle
7 apparaît sur l’un des trois traits et reste visible jusqu’à ce que le participant appuie sur la touche correspondante ou, en cas
8 d’absence de réponse, pendant 2000 ms. La tâche auditive, lorsqu’elle est effectuée seule, comporte le même écran préparatoire
9 pendant 500 ms, suivi du son présenté pendant 40 ms. Les traits disparaissent lorsque la réponse est donnée ou après 2000 ms
10 sans réponse. Les temps de réaction sont présentés pendant 1500 ms au cours de la séquence Feedback qui est suivie d’un écran
11 vide pendant 700 ms avant que ne recommence un nouvel essai.

12

13 Puisque l’effet PRP s’observe préférentiellement sur la tâche 2 (ici, la tâche AV), les résultats
14 sur la tâche AV sont ceux qui indiquent une amélioration de la réalisation de doubles tâches.

15 Le groupe entraîné aux doubles tâches réduit significativement son temps de réponse à la tâche
16 AV, ce qui reflète une diminution de l’effet PRP en situation de double tâche. Le deuxième
17 résultat est que le groupe entraîné en situation de simple tâche répond plus vite à la tâche AV,
18 en situation de double tâche, après entraînement que le groupe double tâche avant entraînement.

19 Ce résultat est attribué à l’automatisation des tâches. Cependant, toujours en situation de double
20 tâche et après entraînement, le groupe entraîné en double tâche est plus rapide que le groupe
21 entraîné en simple tâche. L’entraînement aux situations de double tâche présente un avantage
22 cumulatif de l’automatisation et d’une amélioration des processus de permutation inter tâche.

23 Cette amélioration des processus de permutation inter-tâche est-elle de nature générique ou
24 spécifique ? En effet, si seuls des processus spécifiques sont à l’œuvre, comme proposé par
25 l’hypothèse intégrative, alors des participants entraînés à une situation de double tâche ne

1 présenteraient pas de diminution de l'effet PRP dans une nouvelle situation de double tâche
2 comprenant des tâches exclusivement nouvelles (cette partie est développée dans le 4.5).
3 Toutefois, si des processus génériques étaient renforcés, une telle diminution serait observée
4 dans une situation nouvelle (cette partie est développée dans le 4.6).

5 **5.5. Structuration de la *supertâche***

6 Dans les protocoles vus précédemment, l'objet d'étude était principalement l'automatisation
7 des tâches et le développement d'une habileté de permutation transférable à des situations
8 nouvelles. Le développement éventuel de la *supertâche*, bien que théorisé, ne pouvait pas être
9 observé dans un protocole qui confond l'effet de l'automatisation et de l'habileté de
10 permutation. Le protocole de Orscheshek, Strobach, Schubert et Rickard (2019) est plus à
11 même de montrer un effet unique de création de *supertâche* en développant un entraînement de
12 double tâche qui évite de stimuler l'habileté de permutation. Au cours de l'expérience
13 d'Orscheshek et al. (2019), les participants devaient associer un ensemble de "mots stimuli" à
14 des réponses vocales (mots) et motrices (touche clavier). La moitié des mots stimuli donnait
15 lieu à un entraînement en condition de double tâche, c'est-à-dire que la réponse des participants
16 exigée comportait à la fois la réponse vocale (mot associé) et l'appui sur la touche
17 correspondante. L'autre moitié des mots stimuli donnait lieu à un entraînement en condition de
18 tâche simple, c'est-à-dire que la réponse des participants demandée après la présentation du mot
19 stimulus était soit vocale (mot associé), soit consistait en l'appui sur la touche correspondante.
20 Après plusieurs sessions d'entraînement, lorsque la tâche nécessitait de donner à la fois une
21 réponse verbale et motrice (double tâche), les participants répondaient en parallèle si les stimuli
22 étaient ceux entraînés alors que si les stimuli avaient donné lieu à un entraînement en simple
23 tâche (soit réponse verbale, soit réponse motrice), les participants répondaient en séquence.
24 Lorsque les stimuli étaient nouveaux, les participants répondaient en séquence également.

1 Ainsi, pris ensemble, ces résultats montrent que les participants qui s'entraînent dans ces
2 conditions de double tâche ne développent pas d'habileté générique et associent les règles de
3 réponse (ici, verbale et motrice). Tout se passe comme si, après une exposition répétée aux
4 situations de double tâche, se construisait une structure accessible combinant des informations
5 de l'une et de l'autre tâche, appelée *chunk* par les auteurs (Nino & Rickard, 2003 ; Orscheck
6 et al. 2019, Strobach, Schubert, Pashler & Rickard, 2014). Cette expérience soutient donc
7 l'hypothèse intégrative et la théorie de la *supertâche* (Strobach, 2020).

8 Ce mécanisme de *chunking* est ici montré au cours d'un apprentissage. Au-delà de la proximité
9 lexicale, ce mécanisme est comparable au *chunking* mentionné dans le cadre de l'expertise
10 acquise (e.g. Gobet & Simon, 1996). En effet, une des propriétés fondamentales du *chunk* est
11 son caractère spécifique.

12 Après avoir constaté la validité de l'hypothèse intégrative, nous allons voir dans quelle mesure
13 l'hypothèse stratégique l'est également. En d'autres termes nous allons étudier les capacités de
14 transfert après un entraînement en double tâche.

15 **5.6. Effets de transfert après un entraînement en double tâche**

16 L'entraînement en situation de double tâche articule les bénéfices de l'automatisation et du
17 renforcement de la capacité de permutation. L'hypothèse intégrative (création d'une
18 *supertâche*) et le renforcement de l'habileté de permutation jusqu'au développement d'une
19 capacité à traiter en parallèle deux tâches (e.g. hypothèse stratégique) constituent les pistes
20 explorées ici. La première expérience de Liepelt et al. (2011) ne permet pas de distinguer, dans
21 l'amélioration des performances lors de la réalisation de doubles tâches, ce qui relève des
22 processus spécifiques et ce qui relève des processus génériques. Dans une autre expérience, les
23 auteurs apportent des éléments d'information à ce sujet. En effet, ils ont repris le protocole
24 expérimental vu précédemment pour tester la transférabilité de l'habileté de permutation à des

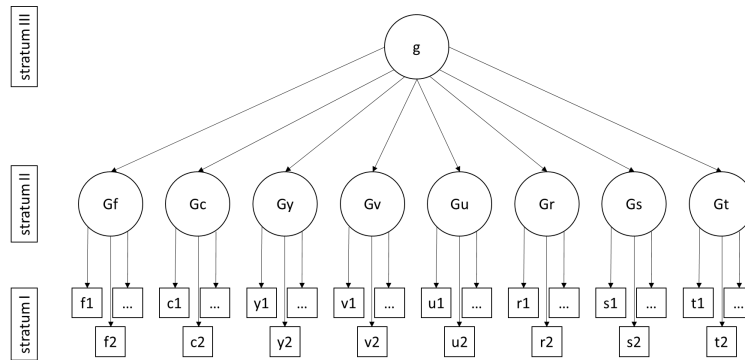
1 tâches nouvelles. Ils y ont ainsi ajouté une session de transfert à la fin de l'expérience. Dans la
2 session de transfert, soit la tâche VM est modifiée, soit la tâche AV est modifiée. La tâche VM
3 est modifiée en présentant des triangles petit, moyen ou gros en lieu et place des disques qui
4 pouvaient apparaître à gauche, au milieu ou à droite. Les règles de réponses de la tâche AV ont
5 été changées afin de répondre "DEUX" pour le son grave, "UN" pour le médium et "TROIS"
6 pour le son aigu. Cette modification implique donc un changement à la fois des règles de
7 réponses mais aussi des stimuli. Les résultats montrent que le groupe entraîné en condition de
8 double tâche présente une diminution de l'effet PRP significative, ce qui n'est pas le cas du
9 groupe entraîné en condition de simple tâche lors de la réalisation de la tâche AV. En d'autres
10 termes, le groupe entraîné en situation de double tâche, c'est-à-dire le groupe ayant eu
11 l'opportunité de renforcer sa capacité de permutation, est meilleur dans des situations de
12 doubles tâches nouvelles. Cet effet de transfert observé est en faveur du renforcement de
13 processus génériques de l'habileté de permutation.

14 D'autres études montrent également cet effet de transfert de l'habileté de permutation. Par
15 exemple, la pratique régulière de certains types de jeux vidéo de nature à favoriser la
16 sollicitation du processus de permutation depuis et vers de nombreuses tâches (e.g. jeux de
17 combats où l'on voit la scène au travers les yeux du personnage contrôlé) a pour conséquence
18 le renforcement d'une habileté de permutation (Strobach, Frensch, & Schubert, 2012). Au cours
19 de cette étude, les auteurs ont entraîné (pendant environ 10h) un groupe à faire une activité qui
20 ne sollicite pas l'habileté de permutation (Tetris ®) et un autre groupe à faire une activité qui
21 sollicite l'habileté de permutation (jeu de tir à la première personne : Medal of Honor®). Ces
22 deux groupes ont ensuite réalisé une double tâche similaire à celle de Liepelt et al. (2011). Le
23 groupe ayant été entraîné avec le jeu vidéo sollicitant l'habileté de permutation (i.e. Medal of
24 Honor ®) présente une diminution significative de l'effet PRP par rapport au groupe ayant eu
25 le jeu vidéo Tetris ®. Ces résultats montrent un effet de transfert. Ces résultats sont également

1 observés chez les interprètes simultanés (Strobach et al., 2015), qui, comparativement aux
2 interprètes non simultanés, montrent un effet PRP significativement réduit dans des tâches
3 proches de celles décrites précédemment (Liepelt et al., 2011).

4 Ces résultats se retrouvent dans d'autres études (e.g., Green & Bavelier, 2003). Pour autant,
5 certains auteurs en critiquent la portée. En effet, comme le soulignent Sala et Gobet (2019), un
6 résultat bien connu de la psychologie est que tous les tests qui mesurent les habiletés mentales
7 sont corrélés positivement les uns avec les autres, ce qui a conduit les chercheurs à proposer
8 l'existence d'un facteur latent appelé l'habileté cognitive générale (GCA ou intelligence). Selon
9 le modèle Cattell-Horn-Carroll (voir figure 7), il existerait des habiletés cognitives intermédiaires
10 entre les tests cognitifs et l'habileté cognitive générale. Ce modèle se décline ainsi en trois
11 niveaux (appelés *stratum*) partant de l'évaluation de processus spécifiques (tests cognitifs ou
12 *stratum 1*) vers l'évaluation de l'habileté générale (*stratum 3*). Le *stratum* intermédiaire
13 comprend des habiletés telles que la capacité à gérer de nouvelles situations (ou fluidité), qui
14 repose sur l'habileté de permutation et qui est donc sollicitée dans les expériences que nous
15 avons précédemment décrites. La capacité de transfert peut être considérée comme lointaine
16 dès lors qu'une amélioration significative sur un *stratum 1* s'observe aussi sur un *stratum*
17 supérieur. Or, pour Sala et Gobet (2019), les expériences de Green et Bavelier (2003) ou de
18 Strobach et al. (2015) rendent compte de transfert intra-*stratum* qui ne peut donc pas être
19 considéré comme transfert lointain. Ces éléments conduisent Sala et Gobet à conclure qu'il
20 faudrait éviter un entraînement cognitif de type générique au profit d'un entraînement de type
21 spécifique, plus à même d'améliorer les performances des individus. Or nous avons vu que la
22 capacité de permutation pouvait être significativement renforcée au cours de certaines activités
23 (e.g. interprètes simultanés). Il reste à observer dans quelle mesure le renforcement de l'habileté
24 de permutation affecte le *stratum 2* (e.g. la fluidité, mémoire de travail, etc).

25



1

2 Figure 7. Modèle Cattell-Horn-Carroll (CHC) : l'habileté générale ou intelligence (stratum III) repose sur des habiletés
 3 intermédiaires, telles que la fluidité ou Gf (Stratum II). Les habiletés intermédiaires se mesurent au moyen de plusieurs tests
 4 évaluant des processus spécifiques (stratum I). Par exemple, la fluidité ou Gf serait calculée en fonction des résultats à
 5 l'ensemble des tests de type f (f1, f2, etc.)

6 En d'autres termes, la capacité de transfert de l'habileté de permutation est-elle ou non de nature

7 lointaine ? Il est ici important de revenir sur les différences entre le concept de processus

8 générique et le concept de transfert lointain. En effet, un processus générique est un processus

9 qui est non dépendant du contexte (Sala & Gobet, 2019) et qui s'observe dans toute situation

10 suffisamment nouvelle qui nécessite le processus en question. Par exemple, le processus

11 générique de permutation est mobilisé à la fois pour réaliser une interprétation simultanée de

12 langues étrangères (Strobach et al., 2012), jouer à un jeu vidéo en vue à la première personne

13 (Strobach et al., 2015), ou encore réaliser une double tâche (e.g. Liepelt et al., 2011). Le concept

14 de transfert lointain désigne la possibilité que des capacités acquises dans un domaine soient

15 utilisables dans un autre domaine (Gobet & Sala, 2022). Par exemple, ce serait le cas si étudier

16 l'algèbre augmentait les capacités en chinois. En d'autres termes, le transfert lointain reviendrait

17 à ce qu'une amélioration des connaissances spécifiques à un domaine améliore les

18 connaissances spécifiques à un autre domaine. De nombreux auteurs (voir Strobach & Karbach,

19 2021 pour une revue complète) cherchent à observer si l'entraînement de processus génériques,

20 comme la permutation, présente des effets dans un domaine différent de cet entraînement. Par

21 exemple Strobach et al. (2014) montrent que s'entraîner à certains jeux vidéo produit une

22 amélioration de la permutation dans des tâches la mesurant.

1 De manière contradictoire, les travaux de Gobet et Sala (2022), Sala et al (2019), Sala et Gobet
2 (2019), sur la base de méta-analyses portant sur les effets de l'entraînement cognitif, supportent
3 clairement l'hypothèse d'une absence de transfert lointain de ce type d'entraînement. De plus,
4 ces auteurs pointent de nombreuses lacunes méthodologiques dans ces mêmes études réduisant
5 *per se* la possibilité d'observer le transfert lointain. Qu'en est-il des résultats après correction
6 de ces biais ? L'effet de transfert lointain est souvent associé à une évolution du stratum 3.
7 Cependant, Friedman, et al. (2007), Friedman, Miyake, Robinson et Hewitt (2011), Friedman
8 et Miyake (2016) montrent que les tests classiques mesurant le stratum 3 n'entretiennent aucune
9 corrélation avec le modèle commun des fonctions exécutives. Friedman et Miyake (2016)
10 écrivent que le modèle commun des fonctions exécutives permet de mesurer *quelque chose*
11 (selon leur propre terminologie) au-delà du *g* de Spearman. Ainsi, tous les processus génériques
12 ne seraient pas identifiés au sein des modèles de type CHC classiquement utilisés pour observer
13 le transfert lointain. En effet, les fonctions exécutives n'étant pas corrélées aux observables du
14 modèle CHC, la variation due à entraînement cognitif d'une fonction exécutive ne peut être
15 observée par cet outil.

16 En résumé, malgré le poids des arguments plaidant en défaveur de l'existence de transfert
17 lointain après un entraînement cognitif, il reste envisageable de supposer la possibilité du
18 renforcement de processus génériques.

19 **6. Pourquoi l'expertise ne rend pas plus intelligent**

20 Les théories sur les mécanismes cognitifs sous-jacents qui expliquent les changements
21 liés à la pratique font largement défaut et sont sous-représentées dans la littérature (Strobach
22 2020 ; Strobach & Karbach, 2021 ; Taatgen, 2013). L'approche originale qui est ici abordée est
23 celle de l'articulation des processus spécifiques et génériques au cours du développement de
24 l'expertise. En effet, les théories sur l'expertise acquise mettent principalement en avant la
25 structuration de processus spécifiques et la grande difficulté de montrer des composantes

1 génériques chez l'expert. De plus, la littérature sur le renforcement cognitif peine aussi à
2 montrer des effets de transfert, ce qui a même conduit certains auteurs (e.g., Green & Bavelier,
3 2012) à parler de “malédiction de la spécificité” dans l'apprentissage. Néanmoins, les idées
4 fondatrices des approches spécifiques et génériques sont présentes dès la fin des années 1980
5 chez Logan. En effet, dans sa théorie de l'automatisation, qui peut être comprise comme
6 concourant au développement de l'expertise, il présente la compétition de processus
7 algorithmiques et de mémorisation ou connaissance. Le processus algorithmique, en tant
8 qu'adapté à la réalisation de toute tâche nouvelle, est par essence générique. Le processus de
9 récupération en mémoire est, quant à lui, par essence spécifique. Logan présente d'ailleurs cette
10 compétition entre les processus génériques et spécifiques comme une course de chevaux
11 impliquant le cheval algorithmique et le cheval mémorisation, qui, au fur et à mesure des
12 expositions, renforce le cheval mémorisation jusqu'à le faire gagner systématiquement s'il y a
13 eu un nombre suffisant d'expositions. Pour poursuivre la métaphore de la course hippique,
14 l'intérêt théorique du travail présenté ici revient à poser la question suivante : le cheval
15 algorithmique se renforce-t-il avant de perdre systématiquement contre le cheval
16 mémorisation ? De manière moins métaphorique, les processus génériques se renforcent-ils
17 pendant le renforcement des processus spécifiques ? Dans la vie de tous les jours, les tâches
18 nouvelles pour un individu sont des tâches complexes, i.e., des tâches à plusieurs étapes (comme
19 c'est le cas pour apprendre à conduire). Ainsi, il faut de nombreuses expositions pour obtenir
20 la construction de *chunks* relatifs à l'ensemble des étapes puis à l'ensemble des tâches. Tant
21 que ces *chunks* ne sont pas développés, l'individu doit mettre en œuvre le processus
22 algorithmique, lequel est constitué de processus impliqués dans les fonctions exécutives, dont
23 la permutation.

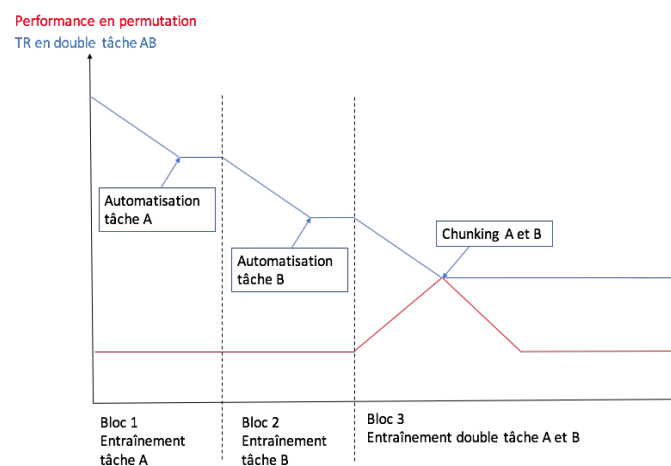
24 Le processus de permutation, qui est générique, se renforce au cours des sollicitations de
25 certaines situations de la vie de tous les jours, comme cela a été montré dans l'expérience

1 comparant les performances en permutation des interprètes simultanés et des interprètes non
2 simultanés (Strobach et al., 2015). Cette expérience permet d'analyser les performances en
3 permutation d'individus qui pratiquent une activité favorisant le mécanisme de permutation et
4 qui n'ont pas atteint le stade d'expert. En effet, leur activité est d'environ 150 heures par an
5 pendant 5 ans alors que, selon Ericsson, Krampe, et Tesch-Römer (1993), des performances
6 d'expert requièrent une pratique intensive, délibérée, et prolongée pendant au moins 10 ans. Les
7 interprètes simultanés peuvent être ainsi considérés comme se trouvant en cours de
8 renforcement de processus de permutation puisqu'ils n'ont pas acquis le niveau d'expertise
9 cognitif de leur activité (en d'autres termes, ils n'ont pas automatisé et "*chunké*" l'ensemble des
10 tâches constitutives de leur activité). Les résultats observés sur le test classique de permutation
11 montrent une performance significativement meilleure des interprètes simultanés
12 comparativement aux interprètes non simultanés, ce qui va dans le sens de l'hypothèse d'un
13 renforcement de l'habileté de permutation avec la pratique d'une activité de nature à favoriser
14 la permutation et avant l'acquisition d'expertise.

15 Chez l'expert, c'est-à-dire lorsque les individus ont "*chunké*" l'ensemble des tâches requises
16 lors de leur activité, le processus de permutation ne devrait plus être sollicité. En effet, la
17 répétition intensive d'expositions à des épisodes de permutation entre deux tâches A et B
18 conduit à la création d'une *supertâche*. Cette *supertâche* (ou *chunk* ou encore *template*)
19 combine des informations relatives aux tâches A et B et est spécifique aux tâches A et B. Une
20 fois cette *supertâche* créée, l'habileté de permutation ne devrait plus être sollicitée (voir figure
21 8) puisqu'il n'est plus nécessaire de changer de la configuration cognitive à la tâche A vers la
22 configuration cognitive à la tâche B, au bénéfice d'une répétition de la configuration cognitive
23 à la *supertâche*. Cette absence de sollicitation devrait être de nature à annuler peu à peu le
24 renforcement du processus de permutation accumulé au cours de la phase d'acquisition
25 d'expertise. En d'autres termes, la mise en œuvre de processus spécifiques serait suivie par la

1 décroissance du processus générique. La mise à l'épreuve d'une telle hypothèse reste à
 2 conduire. Il faudrait faire croître, dans un premier temps, le processus de permutation par une
 3 exposition à des situations sollicitant intensément ce processus (e.g., activités professionnelles
 4 d'interprète simultané ou de pratiques de certains jeux vidéo, Strobach et al., 2014 ; Strobach
 5 et al., 2015, entraînement cognitif, Strobach & Karbach, 2021) et observer cette hypothétique
 6 décroissance après la création de la *supertâche*.

7

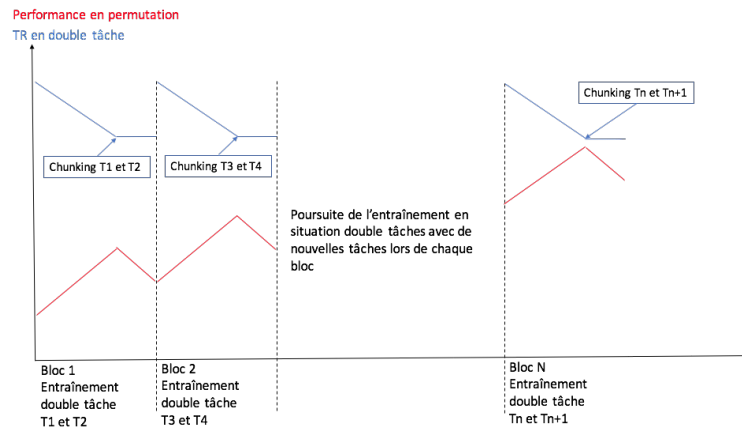


8

9 Figure 8. Modèle idéalisé d'évolution de l'habileté de permutation en fonction de l'exposition répétée à des épisodes simple
 10 tâche (bloc 1 et 2) et double tâche (bloc 3). Dans le bloc 1, est représenté un TR lors de double tâche A et B alors que seule la
 11 tâche A est entraînée. Dans le bloc 2, est représenté un TR lors de double tâche A et B alors que seule la tâche B est entraînée
 12 après automatisation de la tâche A. Dans le bloc 3, est représenté un TR lors de double tâche A et B. Après un nombre suffisant
 13 d'expositions aux situations double tâche, les tâches A et B deviennent une *supertâche* grâce au mécanisme de *chunking*.
 14 L'habileté de permutation nécessaire pour passer d'une tâche à l'autre n'est renforcée que lorsqu'elle est sollicitée, c'est-à-dire
 15 en entraînement double tâche. Une fois la *supertâche* créée, le mécanisme de permutation n'est plus sollicité et la performance
 16 en permutation reviendrait peu à peu à son niveau initial.

17 Le modèle présenté propose, d'une part, le renforcement du processus de permutation
 18 au cours de la réalisation de l'activité en situations multitâches et, d'autre part, la décroissance
 19 de ce renforcement successivement au mécanisme de *chunking* des tâches répétées ensemble,
 20 c'est-à-dire lorsque les tâches répétées ensemble deviennent une *supertâche*. Si l'on poursuit le
 21 raisonnement d'un renforcement du mécanisme de permutation grâce à des expositions répétées
 22 à des doubles tâches nouvelles, du moins suffisamment nouvelles pour que le mécanisme de
 23 *chunking* n'ait pas eu lieu, il est alors concevable de renforcer "indéfiniment" ce mécanisme de
 24 permutation (voir figure 9). En effet, les expériences sur le renforcement du mécanisme de

1 permutation exposent les participants à des doubles tâches identiques pendant une dizaine
 2 d'heures. Ainsi, dans ces études, les participants sont en cours d'automatisation. Que se
 3 passerait-il si les participants étaient exposés à des tâches nouvelles régulièrement afin de
 4 solliciter davantage le mécanisme de permutation ? Quelle est l'ampleur possible du
 5 renforcement du mécanisme de permutation ?



6
 7 Figure 9. Modèle idéalisé d'évolution de l'habileté de permutation en fonction de l'exposition répétée à des épisodes double
 8 tâche. Chaque nouveau bloc comporte une tâche nouvelle, inconnue, obligeant le participant à solliciter l'habileté de
 9 permutation.

10

11 L'amélioration de l'habileté de permutation permettrait, en situation de double tâche, de
 12 mieux gérer les tâches nouvelles ou inconnues. Cette habileté correspondrait à un processus
 13 agissant au cœur de la mémoire de travail dans les situations de doubles tâches nouvelles (i.e.
 14 suffisamment nouvelles pour que les individus n'aient pas "*chunké*" les deux tâches en une
 15 *supertâche*). L'objectif de la section suivante est de présenter l'articulation de ce mécanisme au
 16 sein de la mémoire de travail en vue de proposer des applications concrètes de ce renforcement
 17 dans la vie de tous les jours.

18 7. Discussion

19 L'individu, dans son activité quotidienne peut-être confronté à des situations
 20 comprenant plusieurs tâches à réaliser dans un même espace temporel contraint. Par exemple,
 21 la conduite automobile en milieu urbain nécessite la réalisation de plusieurs tâches telles que

1 respecter les règles du code de la route, détecter les véhicules et piétons ayant des trajectoires
2 conflictuelles, choisir son chemin, écouter la radio, discuter avec un passager, etc. Devenir
3 expert de l'activité de conduite automobile en milieu urbain nécessite une pratique intensive et
4 délibérée. À l'état d'expert, l'individu réalise l'ensemble de ces tâches en ayant réduit
5 considérablement leur coût cognitif et les erreurs. Par ailleurs, certaines activités
6 professionnelles ne permettent pas de réaliser une pratique suffisamment intensive, i.e.
7 suffisamment de répétitions des situations, pour atteindre l'état expert. C'est le cas par exemple
8 des spationautes ou encore des ministres. Pour autant, il est empiriquement constaté que
9 l'individu, même non expert, parvient à gérer, avec une performance variable, des situations
10 multitâches de différents domaines. Le concept d'expertise acquise est donc insuffisant pour
11 permettre une compréhension des mécanismes cognitifs à l'œuvre dans de telles situations. Le
12 cadre théorique des fonctions exécutives, permet d'éclairer certains processus génériques à
13 l'œuvre dans la gestion de situations multitâches. L'automatisation permet enfin de comprendre
14 la transition à l'œuvre, depuis la découverte d'une tâche au cours de laquelle sont sollicités des
15 processus génériques vers la réalisation experte de la même tâche au cours de laquelle sont
16 sollicités des processus spécifiques. C'est pourquoi l'articulation de ces différents cadres
17 théoriques classiquement étudiés discrètement (acquisition de l'expertise, Logan, 1988 ;
18 expertise acquise, Gobet & Simon, 1996 ; situations doubles tâches, Pashler, 1994 et fonctions
19 exécutives, Miyake et al., 2000) permet d'appréhender la dynamique de certains des processus
20 à l'œuvre dans la gestion de tâches multiples synchrones par des individus n'ayant pas atteint
21 le stade expert. Ce travail propose ainsi un modèle de cette évolution qui repose sur la
22 dynamique de renforcement de certains processus génériques et spécifiques au cours de
23 l'acquisition d'expertise.

24 Dans une situation de tâche nouvelle, lors des premiers essais, les individus déploient
25 un mécanisme algorithmique pour réaliser la tâche. Le mécanisme algorithmique est adapté à

1 des tâches inconnues ce qui lui confère le statut de processus générique (i.e., indépendant du
2 contexte). La répétition de la tâche permet la mise en mémoire à long terme des solutions pour
3 réaliser cette même tâche. La connaissance des solutions de réalisation d'une tâche n'est valable
4 que pour cette tâche et pas pour d'autres. La réalisation d'une tâche par l'utilisation de
5 connaissances est un processus spécifique. Logan (1988), Sweller (1994), Eriksson (2014),
6 Gobet et Simon (1996), Pashler (1994), Strobach et Karbach (2021) montrent que l'acquisition
7 d'expertise se réalise de manière progressive. Comme évoqué précédemment, Logan (1988) a
8 proposé la métaphore de la course, comme une course hippique où les processus algorithmiques
9 (i.e. génériques), et de récupération en mémoire (i.e. spécifique) représenteraient chacun un
10 cheval qui participerait à une même course, qui se déroulerait au cours des expositions à une
11 même tâche. L'analyse de cette course permet de penser l'acquisition d'expertise en trois
12 étapes : 1) la découverte de la tâche reposant exclusivement sur des processus génériques, en
13 d'autres termes le top départ du cheval "processus générique" ; 2.a) la répétition de la tâche, le
14 cheval "processus spécifique" entre dans la course derrière le cheval générique ; 2.b) au fur et
15 à mesure des répétitions le cheval spécifique rattrape et dépasse le cheval générique ; 3) la
16 répétition intensive et délibérée conduit à la victoire du cheval spécifique et à l'abandon du
17 cheval générique.

18 L'automatisation, souvent sollicitée en situation simple tâche, permet également de décrire les
19 situations multitâches. En effet, les situations de simple tâche considérées par Logan dans sa
20 théorie de l'automatisation sont des tâches constituées de plusieurs étapes (Monsell, 1996). La
21 répétition des expositions aux situations de tâches à plusieurs étapes, qui correspond à la
22 répétition d'expositions à des situations multitâches, conduit au processus intégratif qui a pour
23 fonction de combiner dans une seule et même structure des informations de chacune des étapes
24 ou chacune des tâches. D'ailleurs, des terminologies alternatives (Sweller, 1994) sont utilisées
25 dans la littérature pour décrire ce type de structure cognitive : *chunk* (Miller, 1956), *template*

1 (Gobet & Simon, 1996) ou *supertâche* (Rogers & Monsell, 1995). Pour reprendre l'exemple de
2 la conduite automobile, cette activité est constituée de tâches (conduire, regarder dehors, choisir
3 son chemin, etc.) qui sont intégrées ensemble dans la tâche "conduite automobile".
4 L'automatisation est un processus générique d'acquisition de l'expertise, quelles que soient les
5 tâches qui constituent le domaine considéré. L'aboutissement de ce processus, i.e. l'expertise,
6 est spécifique. C'est pourquoi être expert en conduite automobile ne permet ni de piloter un
7 avion, ni de parler de chinois.

8 Actuellement, la question de l'entraînement cognitif est un débat scientifique aux répercussions
9 sociétales importantes (e.g., entraînements cognitifs commerciaux, lutte contre le vieillissement
10 cognitif, etc.). La capacité à gérer des situations nouvelles, ou plus prosaïquement l'intelligence
11 et les fonctions exécutives, est ainsi peu à peu abandonnée au profit de solutions de résolutions
12 apprises au cours des expositions à ces mêmes situations. Ainsi, pour Logan (1988), ce qui
13 différencie les individus dans un contexte donné n'est pas l'intelligence, mais les connaissances
14 spécifiques qu'ils ont automatisées. Sala et Gobet (2022) montrent, dans la même veine, que
15 les entraînements cognitifs visant à renforcer les processus génériques sont actuellement
16 inefficaces et recommandent vivement un entraînement cognitif basé sur les connaissances
17 spécifiques. Néanmoins, comme le stipulent Sala et Gobet, l'absence de preuve du
18 renforcement des processus génériques est certainement la conséquence des méthodes
19 actuellement déployées. C'est pourquoi, la correction des biais méthodologiques pourrait
20 éventuellement conduire à une observation de renforcement des processus génériques.
21 Néanmoins, l'efficacité des entraînements cognitifs basés sur les processus spécifiques reste
22 incontestée.

23

24 **8. Bibliographie**

- 1 Allport, A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Attention and performance XV.
- 2 Allport, A. (1989). Visual attention.
- 3 Bender, A. D., Filmer, H. L., Naughtin, C. K., & Dux, P. E. (2017). Dynamic, continuous
- 4 multitasking training leads to task-specific improvements but does not transfer across
- 5 action selection tasks. *npj Science of Learning*, 2(1), 1-10.
- 6 Bouquet, C. A., Bonnin, C., & Gaonac'h, D. (2013). Approche intégrative du contrôle exécutif
- 7 dans le paradigme de permutation de tâche. *L'année psychologique*, 113(1), 123-155.
- 8 Brooks, L. R. (1968). Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of*
- 9 *Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 22(5), 349.
- 10 Duncan, J. (1977). Response selection rules in spatial choice reaction tasks. *Attention and*
- 11 *performance VI*, 49-61.
- 12 Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in
- 13 the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), 363.
- 14 Ericsson, K. A. (2014). *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the*
- 15 *arts and sciences, sports, and games*. Psychology Press.
- 16 Friedman, N. P., Haberstick, B. C., Willcutt, E. G., Miyake, A., Young, S. E., Corley, R. P., &
- 17 Hewitt, J. K. (2007). Greater attention problems during childhood predict poorer
- 18 executive functioning in late adolescence. *Psychological science*, 18(10), 893-900.
- 19 Friedman, N. P., & Miyake, A. (2016). Unity and diversity of executive functions: Individual
- 20 differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186-204.
- 21 Friedman, N. P., Miyake, A., Altamirano, L. J., Corley, R. P., Young, S. E., Rhea, S. A., &
- 22 Hewitt, J. K. (2016). Stability and change in executive function abilities from late
- 23 adolescence to early adulthood: A longitudinal twin study. *Developmental*
- 24 *psychology*, 52(2), 326.
- 25 Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2011). Developmental
- 26 trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive
- 27 functions 14 years later: a behavioral genetic analysis. *Developmental psychology*,
- 28 47(5), 1410.
- 29 Gobet, F. (2013). *Chunks and templates* in semantic long-term memory: The importance of
- 30 specialization. In J. Staszewski (Ed.), *Expertise and skill acquisition: The impact of*
- 31 *William G. Chase*. New York, NY: Psychology Press
- 32 Gobet F, Sala G. Cognitive training: A Field in Search of a Phenomenon. PsyArXiv; 2020.
- 33 DOI: 10.31234/osf.io/vxqz9.
- 34 Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). *Templates* in chess memory: A mechanism for recalling
- 35 several boards. *Cognitive psychology*, 31(1), 1-40.
- 36 Gobet, F., Lloyd-Kelly, M., & Lane, P. C. (2016). What's in a name? The multiple meanings of
- 37 "Chunk" and "Chunking". *Frontiers in psychology*, 7, 102.
- 38 Green, C.S. and Bavelier, D. (2003) Action video game modifies visual selective attention.
- 39 *Nature* 423, 534
- 40 Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games.
- 41 *Current biology: CB*, 22(6), R197–R206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>
- 42 Guida, A., Gobet, F., Tardieu H., & Nicolas, S. (2012). How *chunks*, retrieval structures and
- 43 *templates* offer a cognitive explanation for neuroimaging data on expertise acquisition:
- 44 A two-stage framework. *Brain and Cognition*, 79, 221-244.
- 45 Hazeltine, E., Aparicio, P., Weinstein, A., & Ivry, R. B. (2007). Configural response learning:
- 46 The acquisition of a nonpredictive motor skill. *Journal of Experimental Psychology:*
- 47 *Human Perception and Performance*, 33(6), 1451.
- 48 Hazeltine, E., Ruthruff, E., & Remington, R. W. (2006). The role of input and output modality
- 49 pairings in dual-task performance: Evidence for content-dependent central
- 50 interference. *Cognitive Psychology*, 52(4), 291-345.

- 1 Hazeltine, E., Teague, D., & Ivry, R. B. (2002). Simultaneous dual-task performance reveals
2 parallel response selection after practice. *Journal of Experimental Psychology: Human*
3 *Perception and Performance*, 28(3), 527.
- 4 Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of psychology*.
- 5 Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in
6 near and far transfer of task - switching training. *Developmental science*, 12(6), 978-
7 990.
- 8 Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., & Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination
9 after extensive dual-task practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*,
10 64(7), 1251-1272.
- 11 Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological review*,
12 95(4), 492.
- 13 Longman, C. S., Lavric, A., & Monsell, S. (2013). More attention to attention? An eye-tracking
14 investigation of selection of perceptual attributes during a task switch. *Journal of*
15 *Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(4), 1142.
- 16 Longman, C. S., Lavric, A., & Monsell, S. (2016). The coupling between spatial attention and
17 other components of task-set: A task-switching investigation. *The Quarterly Journal of*
18 *Experimental Psychology*, 69(11), 2248-2275.
- 19 Maquestiaux, F. (2012). La simultanéité des actes psychiques : apports du protocole PRP.
20 *L'Année psychologique*, 112(4), 631-662.
- 21 Maquestiaux, F., Laguë-Beauvais, M., Bherer, L., & Ruthruff, E. (2008). Bypassing the central
22 bottleneck after single-task practice in the psychological refractory period paradigm:
23 Evidence for task automatization and greedy resource recruitment. *Memory &*
24 *Cognition*, 36(7), 1262-1282.
- 25 Maquestiaux, F., Laguë-Beauvais, M., Ruthruff, E., Hartley, A., & Bherer, L. (2010). Learning
26 to bypass the central bottleneck: Declining automaticity with advancing age.
27 *Psychology and Aging*, 25(1), 177.
- 28 Maquestiaux, F., Ruthruff, E., Defer, A., & Ibrahim, S. (2018). Dual-task automatization: The
29 key role of sensory-motor modality compatibility. *Attention, Perception, &*
30 *Psychophysics*, 80(3), 752-772.
- 31 Marey, E. J. (1876). *Physiologie expérimentale (Vol. 1)*. G. Masson.
- 32 Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits
33 on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63,
34 81-97.
- 35 Meiran, N. (2010). Task switching: Mechanisms underlying rigid vs. flexible self-control. In
36 R. R. Hassin, K. N. Ochsner, & Y. Trope (Eds.), *Self control in society, mind, and*
37 *brain* (pp. 202-220). Oxford University Press.
38 <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195391381.003.0011>
- 39 Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes
40 and multiple-task performance: Part I. Basic mechanisms. *Psychological review*,
41 104(1), 3.
- 42 Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences
43 in executive functions: Four general conclusions. *Current directions in psychological*
44 *science*, 21(1), 8-14.
- 45 Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D.
46 (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to
47 complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1),
48 49-100.
- 49 Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the*
50 *mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Erlbaum (Uk) Taylor & Francis, Publ.

- 1 Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in cognitive sciences*, 7(3), 134-140.
- 2 Monsell, S. (2015). *Task-set control and task switching*. The handbook of attention, 139-172.
- 3 Nino, R. S., & Rickard, T. C. (2003). Practice effects on two memory retrievals from a single
4 cue. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(3),
5 373.
- 6 Oberauer, K., & Kliegl, R. (2004). Simultaneous cognitive operations in working memory after
7 dual-task practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*
8 *Performance*, 30(4), 689.
- 9 Orscheschek, F., Strobach, T., Schubert, T., & Rickard, T. (2019). Two retrievals from a single
10 cue: A bottleneck persists across episodic and semantic memory. *Quarterly Journal of*
11 *Experimental Psychology*, 72(5), 1005-1028.
- 12 Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological*
13 *bulletin*, 116(2), 220.
- 14 Paulhan, F. (1887). La simultanéité des actes psychiques. *Revue Scientifique*, 39, 684-689.
- 15 Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European journal of cognitive psychology*,
16 9(2), 129-154.
- 17 Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive
18 tasks. *Journal of experimental psychology: General*, 124(2), 207.
- 19 Ruge, H., Jamadar, S., Zimmermann, U., & Karayanidis, F. (2013). The many faces of
20 preparatory control in task switching: reviewing a decade of fMRI research. *Human*
21 *brain mapping*, 34(1), 12-35.
- 22 Ruthruff, E., Hazeltine, E., & Remington, R. W. (2006). What causes residual dual-task
23 interference after practice?. *Psychological Research*, 70(6), 494-503.
- 24 Ruthruff, E., Johnston, J. C., & Van Selst, M. (2001). Why practice reduces dual-task
25 interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*
26 *Performance*, 27(1), 3.
- 27 Ruthruff, E., Van Selst, M., Johnston, J. C., & Remington, R. (2006). How does practice reduce
28 dual-task interference: Integration, automatization, or just stage-shortening?.
29 *Psychological research*, 70(2), 125-142.
- 30 Sala, G., & Gobet, F. (2017). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and
31 working memory training. *Current directions in psychological science*, 26(6), 515-520.
- 32 Sala, G., & Gobet, F. (2019). Cognitive training does not enhance general cognition. *Trends in*
33 *cognitive sciences*, 23(1), 9-20.
- 34 Sala, G., Aksayli, N. D., Tatlidil, K. S., Tatsumi, T., Gondo, Y., & Gobet, F. (2019). Near and
35 far transfer in cognitive training: A second-order meta-analysis. *Collabra:*
36 *Psychology*, 5(1).
- 37 Schank, R. C., & Abelson, R. P. *Scripts, goals, plans. and understanding*. Hillsdale. N.J.:
38 Lawrence Erlbaum, Associates. 1977.
- 39 Shiffrin, R. M., & Dumais, S. T. (1981). The Development of Automatism. *Cognitive skills and*
40 *their acquisition*, 111.
- 41 Silsupadol P, Siu K-C, Shumway-Cook A, Woollacott MH. Training of balance under single-
42 and dual-task conditions in older adults with balance impairment. *Phys Therapy*.
43 2006;86(2):269–281.
- 44 Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *The American*
45 *Journal of Psychology*, 669-679.
- 46 Stelzel, C., Schumacher, E. H., Schubert, T., & D'Esposito, M. (2006). The neural effect of
47 stimulus-response modality compatibility on dual-task performance: an fMRI study.
48 *Psychological research*, 70(6), 514-525
- 49 Strobach, T. (2020). The dual-task practice advantage: Empirical evidence and cognitive
50 mechanisms. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(1), 3-14.

- 1 Strobach, T., Becker, M., Schubert, T., & Kühn, S. (2015). Better dual-task processing in
2 simultaneous interpreters. *Frontiers in psychology*, *6*, 1590.
- 3 Strobach, T., Frensch, P. A., Soutschek, A., & Schubert, T. (2012). Investigation on the
4 improvement and transfer of dual-task coordination skills. *Psychological research*,
5 *76*(6), 794-811.
- 6 Strobach, T., Frensch, P. A., & Schubert, T. (2012). Video game practice optimizes executive
7 control skills in dual-task and task switching situations. *Acta psychologica*, *140*(1), 13-
8 24.
- 9 Strobach, T., Karbach, J. (2021). *Cognitive training*. New York, NY: Springer.
- 10 Strobach, T., Schubert, T., Pashler, H., & Rickard, T. (2014). The specificity of learned
11 parallelism in dual-memory retrieval. *Memory & cognition*, *42*(4), 552-569.
- 12 Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning
13 and instruction*, *4*(4), 295-312.
- 14 Szameitat, A. J., Lepsien, J., Von Cramon, D. Y., Sterr, A., & Schubert, T. (2006). Task-order
15 coordination in dual-task performance and the lateral prefrontal cortex: an event-
16 related fMRI study. *Psychological research*, *70*(6), 541-552.
- 17 Taatgen, N. A. (2013). The nature and transfer of cognitive skills. *Psychological review*, *120*(3),
18 439.
- 19 Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of
20 Experimental Psychology*, *14*(1), 1.
- 21 Van Selst, M., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (1999). Can practice eliminate the psychological
22 refractory period effect?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and
23 Performance*, *25*(5), 1268.
- 24 Vince, M. A. (1948). The intermittency of control movements and the psychological refractory
25 period. *British Journal of Psychology*, *38*(3), 149.
- 26 Von Kries, J. (1895). *Über die Natur gewisser mit den psychischen Vorgängen verknüpfter
27 Gehirnzustände*. Leopold.
- 28 Welford, A. T. (1952). The psychological refractory period and the timing of high-speed
29 performance-a review and a theory. *British Journal of Psychology*, *43*(1), 2.
- 30 Wickens, C. D. (2004). Multiple resource time sharing models. In *Handbook of human factors
31 and ergonomics methods* (pp. 427-434). CRC Press.
- 32 Yeung, N., & Monsell, S. (2003). Switching between tasks of unequal familiarity: The role of
33 stimulus-attribute and response-set selection. *Journal of Experimental Psychology:
34 Human Perception and Performance*, *29*(2), 455.