

Le clignement attentionnel : une revue de la
littérature comportementale

Vincent Berthet

Plan

| | |
|---|----|
| 1. Le clignement attentionnel : généralités | 2 |
| 1.1 Les résultats précurseurs du CA..... | 2 |
| 1.2 L'étude principes de Raymond, Shapiro et Arnell (1992) | 5 |
| 1.3 Les paramètres du CA..... | 7 |
| 2. Les modèles théoriques du CA | 10 |
| 2.1 Le modèle de l'inhibition | 10 |
| 2.2 Le modèle de l'interférence..... | 11 |
| 2.3 Le modèle dwell-time..... | 14 |
| 2.4 Le modèle des deux étapes..... | 17 |
| 2.5 Le modèle PRP..... | 19 |
| 2.6 Le modèle de la perte temporaire de contrôle | 24 |
| 2.7 Les relations entre les modèles du CA | 26 |
| 3. Les facteurs clés du CA | 28 |
| 3.1 Les facteurs déterminants du CA | 28 |
| 3.1.1 Le Lag | 29 |
| 3.1.2 La double tâche | 33 |
| 3.1.3 Le masquage des cibles | 34 |
| 3.2 Les facteurs modérateurs du CA | 40 |
| 3.2.1 Le degré de similarité entre les cibles et les distracteurs | 40 |
| 3.2.2 Le switch entre T1 et T2 | 46 |
| 4. Le locus du CA | 48 |
| 4.1 Existence d'un délai dans le traitement de T2 quand T2 apparaît pendant la période de CA | 48 |
| 4.1.1 Données comportementales..... | 48 |
| 4.1.2 Données d'imagerie..... | 51 |
| 4.2 Locus du délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée durant la période de CA | 51 |
| Conclusion | 54 |
| Références | 55 |

1. Le clignement attentionnel : généralités

Chaque individu reçoit constamment un ensemble considérable d'informations visuelles en provenance de son environnement. Chaque flot d'informations visuelles se caractérise à la fois par une organisation spatiale et une organisation temporelle spécifiques. L'attention visuelle a pour fonction de sélectionner les informations pertinentes dans ce flot spatio-temporel d'informations (Luck & Vecera, 2002). Cette fonction cognitive fondamentale révèle cependant certaines limites dans la sélection spatiale et la sélection temporelle des stimuli visuels (Marois & Ivanoff, 2005). Les études sur l'attention visuelle peuvent ainsi se répartir approximativement en deux catégories : celles relatives à la résolution spatiale de l'attention visuelle et celles relatives à sa résolution temporelle. Le phénomène de clignement attentionnel (noté CA dans la suite du texte) (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992 ; Shapiro, Arnell & Raymond, 1997) a été mis en évidence dans des tâches utilisant une procédure typique pour l'étude du comportement temporel de l'attention visuelle, la procédure RSVP (*Rapid Serial Visual Presentation* ; Potter & Levy, 1969). C'est à l'aide de cette procédure qu'ont été mises en évidence les premières observations annonciatrices du phénomène de CA.

1.1 Les résultats précurseurs du CA

La procédure RSVP permet d'étudier la résolution temporelle de l'attention plutôt que sa résolution spatiale (Raymond et al., 1992). Le principe de cette procédure consiste à présenter brièvement plusieurs stimuli visuels (e.g., lettres, chiffres, mots, images) en succession rapide, les stimuli apparaissant toujours à la même position spatiale. On parlera ainsi de « séquences RSVP », un item donné d'une tâche reposant sur la procédure RSVP correspondant à une séquence RSVP donnée. Dans cet ensemble de stimuli présentés de façon sérielle, un ou plusieurs d'entre eux correspondent à des cibles tandis que les stimuli restants correspondent à des distracteurs. A la fin de chaque séquence RSVP, la tâche du sujet est typiquement de rapporter l'identité de la (ou des) cible(s) présente(s) dans la séquence (i.e., tâche d'identification), la variable dépendante considérée étant la précision (*accuracy*). Dans une telle tâche, chaque cible est définie par une caractéristique spécifique (i.e., la cible est le seul stimuli dans la séquence à posséder cette caractéristique) et une caractéristique à rapporter (i.e., la caractéristique à rapporter). Par exemple, dans une séquence RSVP dans

laquelle les stimuli sont des lettres de couleurs différentes, on peut demander au sujet de rapporter l'identité de la lettre rouge. Dans ce cas, la caractéristique spécifique est la couleur rouge et la caractéristique à rapporter est le nom de la lettre en rouge. La procédure RSVP donne lieu à deux classes de tâches : les tâches dans lesquelles une seule cible est présente dans les séquences RSVP et les tâches dans lesquelles plusieurs cibles sont présentes dans les séquences. Chacun de ces deux types de tâches permet d'étudier des mécanismes cognitifs spécifiques. Les tâches RSVP à une cible permettent d'étudier les caractéristiques temporelles des mécanismes impliqués dans l'identification d'un stimulus cible. Les études relatives à ces tâches ont abouti aux trois conclusions suivantes (Broadbent & Broadbent, 1987) : (1) l'identification d'une cible se fonde à la fois sur la caractéristique spécifique et la caractéristique à rapporter, (2) la durée du mécanisme d'identification d'une cible visuelle est d'environ 100 ms, (3) le déroulement de ce mécanisme mobilise les ressources attentionnelles. Dans les tâches RSVP à une cible, les erreurs typiquement observées correspondent à des erreurs d'intrusion : lorsqu'ils commettent une erreur, les sujets rapportent en général soit l'identité du stimulus précédant la cible, soit celle du stimulus la succédant directement. Afin de rendre compte des observations relatives aux tâches RSVP à une cible, Broadbent et Broadbent (1987) ont proposé le modèle de détection-identification postulant l'existence de deux étapes fonctionnellement distinctes dans le traitement des cibles : dans la première étape, un ensemble de mécanismes précoces permettent la détection de la caractéristique spécifique de la cible ; dans la seconde étape, un ensemble de mécanismes tardifs permettent l'identification de la caractéristique à rapporter à partir de l'ensemble des stimuli stockés dans le magasin sensoriel (*sensorial store*). Les erreurs d'intrusion se produisent lorsque le stimulus sélectionné dans le magasin sensoriel ne correspond pas à la cible. Broadbent et Broadbent (1987) postulent que l'étape d'identification de la cible mobilise les ressources attentionnelles et continue de se dérouler après la disparition de celle-ci dans la séquence RSVP. Les tâches RSVP à plusieurs cibles permettent quant à elles d'étudier les interférences dans les traitements respectifs de plusieurs cibles en fonction de l'intervalle de temps qui les sépare. L'étude de ces tâches a permis de mettre en évidence une inter-dépendance temporelle entre ces traitements. Plusieurs études princeps ont particulièrement mis en évidence ce phénomène. Sa première illustration est due à Broadbent et Broadbent (1987). Ils ont utilisé une tâche RSVP dans laquelle deux cibles à identifier correspondent à des mots en majuscules et les distracteurs à des mots en minuscule.

En manipulant systématiquement le SOA (*Stimulus Onset Asynchrony*)¹ entre les deux cibles, Broadbent et Broadbent (1987) montrent que la probabilité d'identifier correctement la deuxième cible (sachant que la première cible a été correctement identifiée, ce qui assure que cette cible a bien été traitée) demeure aux alentours de 0,1 jusqu'à un SOA de 400 ms, puis augmente progressivement pour atteindre une valeur asymptotique à partir d'un SOA de 720 ms (déficit post cible). La deuxième illustration du phénomène d'inter-dépendance temporelle entre les traitements respectifs de différents stimuli visuels-cibles correspond au phénomène de *repetition blindness*, mis en évidence par Kanwisher (Kanwisher, 1987 ; Kanwisher & Potter, 1989). Kanwisher et Potter (1989) ont utilisé une tâche RSVP dans laquelle l'ensemble des stimuli de chaque séquence constitue une unité sémantique (dans le cas où les stimuli sont des lettres, la séquence RSVP entière définit un mot et dans le cas où les stimuli sont des mots, la séquence entière définit une phrase). La tâche des sujets est de restituer la phrase ou le mot définie par chaque séquence RSVP. Dans la moitié des items, un stimulus de la séquence est présenté deux fois. Kanwisher et Potter (1989) ont observé une tendance des sujets à omettre la deuxième occurrence du stimulus répété. En outre, Kanwisher (1987) a montré que dans des tâches RSVP dans laquelle des stimuli sont des mots et utilisant une vitesse de présentation des stimuli comprise entre 5,4 et 8,5 mots/seconde, la probabilité de rapporter correctement la deuxième occurrence d'un mot répété est plus faible lorsque le SOA entre les deux occurrences du mot est compris entre 185 et 741 ms (i.e., respectivement un ou quatre mots entre les deux occurrences) que lorsque ce SOA est supérieur à 741 ms. Enfin, une troisième illustration du phénomène d'inter-dépendance temporelle entre des traitements visuels temporellement proches est fournie par Weichselgartner et Sperling (1987). Dans leurs expériences, ils utilisent une tâche RSVP dans laquelle les stimuli (cible et distracteurs) sont des chiffres. La cible, notée T, est présentée de façon à la rendre perceptuellement différente des distracteurs. La tâche des sujets est de rapporter l'identité de la cible ainsi que celle des trois distracteurs suivants dans la séquence, notés T+1, T+2 et T+3. Weichselgartner et Sperling (1987) ont constaté que les sujets sont généralement capables de rapporter correctement la cible, le distracteur suivant directement la cible et les distracteurs caractérisés par des SOA de 300 et de 400 ms. Les distracteurs caractérisés par un SOA compris entre 100 et 300 ms sont rarement correctement rapportés. Cependant, il est difficile de savoir dans ce cas si le déficit de rappels corrects des distracteurs apparaissant durant cet intervalle de temps

¹ Le SOA (*Stimulus Onset Asynchrony*) entre deux stimuli S1 et S2 correspond à l'intervalle de temps entre le début de présentation de S1 et le début de présentation de S2.

est dû à une interférence au niveau du traitement *on line* de ces stimuli ou à une interférence au niveau de leur rappel.

Considérés ensemble, ces résultats suggèrent que dans une situation de tâche RSVP, l'allocation des ressources attentionnelles à un stimulus visuel s'ensuit d'une suppression du traitement visuel pendant un intervalle de temps donné relativement long (plusieurs centaines de millisecondes). La question est alors de savoir à quel type de facteurs (attentionnels, sensoriels) attribuer cette suppression temporaire du traitement visuel. C'est à cette question que l'étude princeps de Raymond et al. (1992) va apporter une réponse.

1.2 L'étude princeps de Raymond, Shapiro et Arnell (1992)

Raymond et al. (1992) ont réalisé quatre expériences mettant en évidence de façon rigoureuse le phénomène de CA et ont utilisé pour la première fois l'expression « clignement attentionnel » (*attentional blink*). Dans leur première expérience, Raymond et al. (1992) tentent de répliquer le résultat de Weichselgartner et Sperling (1987) en utilisant des stimuli différents de ceux utilisés par ces derniers (lettres au lieu de chiffres) avec une vitesse de présentation des stimuli plus rapide (11 stimuli/s au lieu de 10 stimuli/s). La cible, notée T, est une lettre blanche alors que les distracteurs sont des lettres noires. La durée de présentation des stimuli est de 15 ms et l'ISI (*Inter Stimulus Interval*)² est de 75 ms (soit un SOA de 90 ms), ce qui permet d'obtenir un taux de présentation de 11,11 stimuli/s. Le nombre de distracteurs précédant la cible varie aléatoirement entre 7 et 15, et 8 distracteurs suivent systématiquement la cible. La tâche du sujet est de rapporter après chaque séquence l'identité de la cible et des trois distracteurs qui l'ont directement suivi, notés T+1, T+2 et T+3. Raymond et al. (1992) constatent que (a) la lettre-cible et le dernier distracteur de la séquence sont les deux stimuli ayant la plus forte probabilité d'être correctement rappelés ; (b) la probabilité de rappel correct des distracteurs T+2 et T+3 (aux alentours de 0,1) est significativement inférieure aux probabilités respectives de rappel correct des distracteurs T+1, T+5, T+6 et T+7 (toutes comprises entre 0,35 et 0,40). Ces résultats répliquent ceux de Weichselgartner et Sperling (1987) et confirment bien que le déficit de rappels corrects est maximal pour des SOA allant de 180 (SOA T-T+2) à 270 ms (SOA T-T+3). En outre, Raymond et al. (1992) observent de façon intéressante que la cible est le premier stimulus à

² L'ISI entre deux stimuli S1 et S2 (S1 précédant S2) correspond à l'intervalle de temps entre la fin de présentation de S1 et le début de présentation de S2. Le SOA entre S1 et S2 est donc égal à la durée de présentation de S1 plus l'ISI entre S1 et S2.

être rapporté dans 77% des items de la tâche et que le distracteur T+1 est le premier stimulus rapporté dans 16% des items. Dans leur seconde expérience, Raymond et al. (1992) cherchent à déterminer d'une part si le déficit post cible mis en évidence dans la première expérience émerge même lorsque le sujet doit rapporter un seul autre stimulus (et non trois comme dans les expériences de Weichselgartner et Sperling (1987)) arrivant après la cible, et d'autre part, si ce déficit relève de facteurs sensoriels ou plutôt de facteurs attentionnels. En effet, il se pourrait que le déficit post cible observé dans les expériences antérieures résulte d'une influence négative des caractéristiques sensorielles de la cible sur les stimuli qui lui succèdent dans les séquences RSVP. Pour ce faire, Raymond et al. (1992) utilisent une tâche RSVP dont les paramètres sont similaires à ceux utilisés dans leur première expérience et distinguent en outre deux conditions. Dans une condition expérimentale, chaque séquence comporte deux cibles : la première – temporellement parlant – notée T1, correspond à une lettre blanche et la seconde, notée T2, correspond à la lettre « X ». T2 est présente dans la moitié des items de cette condition et absente dans l'autre moitié ; le SOA T1-T2 varie systématiquement dans les items où T2 est présente. Dans cette condition, la tâche du sujet est de rapporter l'identité de T1 (i.e., tâche d'identification) et de dire si T2 était présente ou absente dans la séquence (i.e., tâche de détection). Dans une condition contrôle, les items sont strictement les mêmes mais le sujet reçoit pour consigne d'ignorer la lettre blanche (i.e., T1). La tâche du sujet dans cette condition est de dire si T2 était présente ou absente dans la séquence. La comparaison des résultats dans ces deux conditions permet bien de déterminer si le déficit post T1 est dû à des facteurs sensoriels ou attentionnels. Puisque, toutes choses égales par ailleurs, le seul élément qui différencie les deux conditions est le degré d'attention alloué à T1, dans le cas où l'on observerait la présence de ce déficit dans la condition expérimentale et non dans la condition contrôle, on serait logiquement amené à conclure que le déficit post T1 est dû à des facteurs d'ordre attentionnel et non d'ordre sensoriel. Raymond et al. (1992) montrent (a) un effet significatif de la condition (expérimentale vs. contrôle) sur le taux de rappels corrects de $T2|T1^3$ (ce taux est plus grand dans la condition contrôle que dans la condition expérimentale) ; (b) un effet significatif du SOA T1-T2 sur le taux de rappels corrects de $T2|T1$ (ce taux est plus grand pour des SOA T1-T2 longs que pour des SOA T1-T2 courts) et (c) une interaction significative entre la condition et le SOA T1-T2 : l'effet de la condition est significatif pour des valeurs du SOA T1-T2 allant de 180 à 450 ms (le taux de rappels corrects

³ Dans les expériences de CA, les items conventionnellement pris en compte dans le calcul de la performance sur T2 sont ceux dans lesquels T1 a été correctement identifiée (ou plus généralement, ceux dans lesquels le sujet a fourni la réponse correcte dans la tâche sur T1), d'où la notation $T2|T1$.

de T2/T1 dans la condition expérimentale est significativement inférieur au taux de rappels corrects de T2/T1 dans la condition contrôle pour des SOA allant de 180 à 450 ms). Ces résultats démontrent que le déficit post T1 est d'ordre attentionnel, ce qui amène Raymond et al. (1992) à qualifier ce déficit de « clignement attentionnel » : lorsque T2 suit rapidement T1, le sujet semble ne pas voir T2 en raison d'un déficit attentionnel de la même façon qu'il ne l'aurait pas vue s'il avait cligné des yeux au moment où T2 apparaissait dans la séquence. Dans une troisième expérience, Raymond et al. (1992) cherchent à déterminer si le déficit post T1 dépend du temps ou de la nature de la stimulation post T1. Ils reprennent la tâche utilisée dans la deuxième expérience en ajoutant un écran blanc d'une durée variable (0, 90, 180 et 270 ms) entre la fin de l'ISI suivant la présentation de la première cible et le début de présentation du stimulus T1+1. Raymond et al. (1992) montrent notamment que pour les items dans lesquels la durée de présentation de l'écran blanc est de 90 ms, aucun déficit post T1 n'apparaît et que la différence entre le taux de rappels corrects de T2/T1 dans la condition contrôle et le taux de rappels corrects de T2/T1 dans la condition expérimentale pour un SOA T1-T2 de 360 ms n'est significative que pour les items dans lesquels la durée de l'écran blanc est de 0 ms. Ces résultats suggèrent que le déficit post T1 se produit uniquement lorsque la stimulation post T1 interfère avec l'identification de T1. Enfin, dans une quatrième expérience, Raymond et al. (1992) répliquent l'expérience 3 en introduisant cette fois l'écran blanc entre la fin de l'ISI suivant la présentation du stimulus T1+1 et le début de présentation du stimulus T1+2. Si le déficit post T1 se produit uniquement lorsque la stimulation post T1 interfère avec l'identification de T1, alors la présence d'un distracteur après T1 devrait déclencher l'apparition du déficit post T1. C'est effectivement ce qu'observent Raymond et al. (1992).

Les expériences de Raymond et al. (1992) montrent que l'identification d'une cible dans une séquence RSVP est suivie d'une période caractéristique relativement longue (plusieurs centaines de millisecondes) pendant laquelle le traitement visuel est déficitaire. Ces derniers suggèrent que ce caractère déficitaire du traitement visuel durant cette période est dû à un déficit attentionnel, d'où l'expression de « clignement attentionnel ».

1.3 Les paramètres du CA

L'étude princeps de Raymond et al. (1992) permet de définir les caractéristiques opérationnelles du CA. Le CA se définit comme un déficit significatif de la performance à la

tâche sur T2 pour un intervalle caractéristique de SOA T1-T2 (approximativement 200-500 ms). La mise en évidence d'un CA requiert l'utilisation d'une condition contrôle dans laquelle le sujet reçoit la consigne d'ignorer T1 (ou dans laquelle T1 est absente dans les séquences RSVP⁴). On dit qu'il y a CA si l'interaction entre la condition (expérimentale *vs.* contrôle) et le SOA T1-T2 est significative (l'effet de la condition sur la performance sur T2 est significatif pour certaines valeurs du SOA T1-T2). Le CA se caractérise alors par une amplitude (i.e., la taille d'effet de la condition) et une durée (i.e., l'intervalle de temps pour lequel l'effet de la condition est significatif). En outre, toute tâche standard de CA se caractérise par au moins trois paramètres : (1) les stimuli utilisés (stimuli utilisés pour T1, stimuli utilisés pour T2, stimuli utilisés comme distracteurs et éventuellement stimuli utilisés comme masques) ; (2) les tâches sur les cibles et (3) le SOA entre les stimuli (ou ce qui revient au même, la vitesse de présentation des stimuli). La figure 1 ci-dessous illustre un item d'une tâche standard de CA :

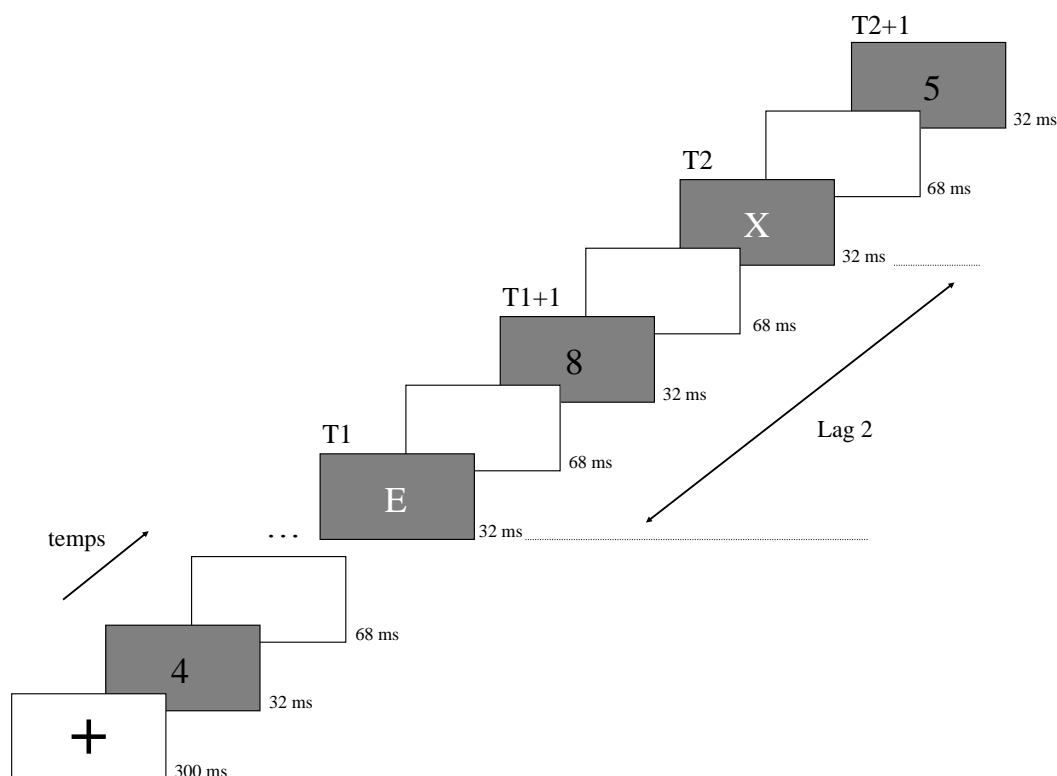


Figure 1. Exemple d'item d'une tâche standard de clignement attentionnel.

⁴ Dans ce cas, le stimulus dans la condition contrôle pris en compte pour définir le SOA T1-T2 est celui situé à la même position dans les séquences RSVP que T1 dans la condition expérimentale.

Dans cette tâche prototypique de CA, les distracteurs sont des chiffres en noir et les cibles (T1 et T2) sont des lettres en blanc. En général, les tâches sur les cibles sont reportées, c'est-à-dire que le sujet les réalise à la fin de chaque séquence RSVP et non au moment où les cibles apparaissent. Le distracteur T1+1 correspond au masque de T1 et le distracteur T2+1 correspond au masque de T2. La durée de présentation des distracteurs est ici de 32 ms et l'ISI de 68 ms, soit un SOA de 100 ms et une vitesse de présentation des stimuli de 10 stimuli/s. La séquence RSVP débute avec la présentation d'une croix pendant 300 ms permettant de fixer l'attention du sujet à l'endroit où vont apparaître les stimuli dans la séquence. Le nombre de distracteurs précédant T1 est variable (en règle générale, ce nombre varie aléatoirement autour de 10 entre les items de la tâche). Le Lag correspond au nombre de distracteurs intervenant entre les deux cibles : un item en Lag n est un item dans lequel T2 est le $n^{\text{ième}}$ stimulus à partir de T1⁵. L'item représenté dans la figure 1 se caractérise par un Lag 2. La figure 2 ci-dessous représente les résultats prototypiques obtenus par Raymond et al. (1992) :

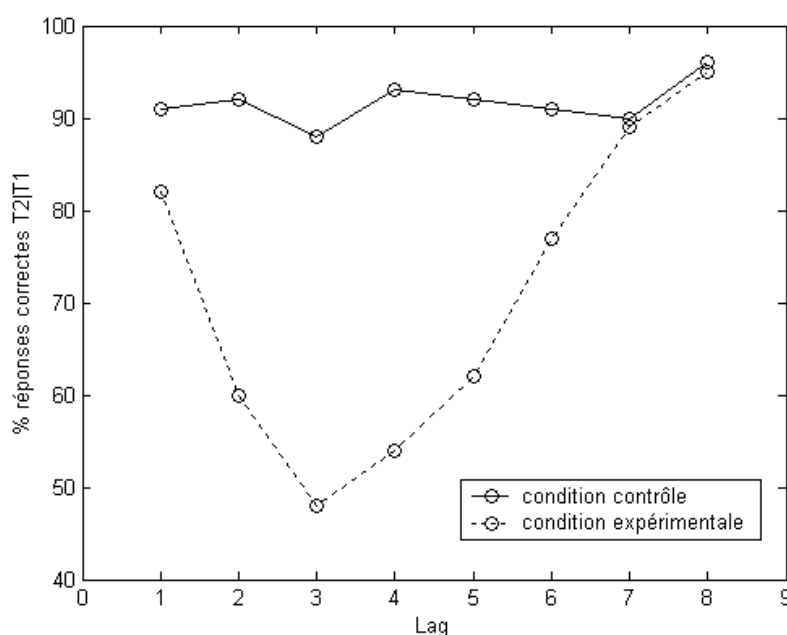


Figure 2. Résultats typiques d'une tâche de CA (d'après Raymond et al., 1992).

Notionnellement, le CA correspond donc à une diminution de la « visibilité » de T2 lorsque T1 suit rapidement T1. Cette diminution de la visibilité de T2 pour des SOA T1-T2 courts se manifeste par un déficit de la performance sur T2 pour ces valeurs du SOA T1-T2.

⁵ Nous préférons le SOA T1-T2 plutôt que le Lag comme indicateur de la position de T2 relativement à T1 puisque le SOA fournit une information temporelle, cruciale dans l'étude du CA.

2. Les modèles théoriques du CA

Le phénomène de CA a donné lieu à plusieurs modèles théoriques que nous décrivons et commentons dans cette deuxième partie.

2.1 Le modèle de l'inhibition

Ayant créé et analysé les résultats produits dans la première tâche de CA, Raymond et al. (1992) se sont appuyés sur le modèle détection-identification de Broadbent et Broadbent (1987) pour proposer leur modèle propre du CA, qualifié de modèle de l'inhibition. Le modèle de l'inhibition repose sur les deux hypothèses suivantes :

- i) L'identification d'une cible T dans une tâche RSVP requiert deux étapes. Dans une première étape, T est détectée sur la base d'un ou de plusieurs indices perceptuels qui la distinguent des distracteurs. Cette représentation perceptuelle de T est stockée dans un magasin sensoriel aux côtés d'autres représentations perceptuelles correspondant aux autres stimuli de la séquence temporellement proches de T. Dans une seconde étape l'attention est dirigée vers la représentation perceptuelle dont les caractéristiques sont les plus proches des indices perceptuels de la cible et débute alors un processus d'identification de ce stimulus.
- ii) Afin de protéger l'étape d'identification de T (notamment de l'influence exercée par le stimulus T+1), le traitement visuel des stimuli autres que T est temporairement inhibé pendant une période d'environ 300 ms.

Sur la base de ces deux hypothèses, le modèle de l'inhibition rend compte du CA de la façon suivante. Lors de l'étape d'identification de la représentation perceptuelle du stimulus T1, la représentation perceptuelle du stimulus T1+1 est susceptible de créer une interférence et d'exercer une influence négative sur ce traitement en créant une situation de compétition. Les ressources attentionnelles sont alors mobilisées pour inhiber le traitement visuel des stimuli autres que T1. La durée de cette inhibition étant de 300 ms, si le SOA T1-T2 est inférieur à 300 ms, alors T2 ne reçoit aucun traitement visuel, d'où un CA. Le modèle de l'inhibition fait face à un certain nombre de résultats empiriques qui remettent en cause sa deuxième hypothèse. En effet, dans le cadre de ce modèle, les stimuli présentés durant la période de CA sont supposés ne recevoir aucun traitement puisque pendant cet intervalle de temps, le traitement visuel des stimuli autres que T1 est temporairement inhibé. Or un nombre substantiel de résultats indiquent la présence d'un traitement relativement élevé des stimuli apparaissant durant la période de CA (e.g., Luck, Shapiro & Vogel, 1996 ; Shapiro, Driver,

Ward & Sorensen, 1997 ; Vogel, Luck & Shapiro, 1998 ; Visser, Merikle & Di Lollo, 2005). Le modèle de l'inhibition est donc tombé en désuétude, ce qui se manifeste dans la littérature par le très faible de références à ce modèle.

2.2 Le modèle de l'interférence

Ce deuxième modèle du CA, proposé par Shapiro, Raymond et Arnell (1994) s'inspire du modèle de l'exploration visuelle de Duncan et Humphreys (1989) et se caractérise par les hypothèses suivantes :

- i) Dans une tâche RSVP, chaque cible est associée au niveau cognitif à une représentation spécifiée (*template*) qui définit la caractéristique à rapporter relativement à celle-ci. Les représentations spécifiées dépendent des instructions.
- ii) Le traitement des stimuli dans une tâche RSVP fait intervenir deux étapes. Dans une première étape, les caractéristiques perceptuelles et catégorielles de chaque stimulus sont traitées et la représentation perceptivo-catégorielle résultante est stockée dans un magasin sensoriel. Dans une deuxième étape, chaque représentation perceptivo-catégorielle dans le magasin sensoriel est comparée à chaque représentation spécifiée.
- iii) Un premier processus de compétition pour l'entrée en mémoire visuelle à court terme (MVCT) se produit entre les représentations perceptivo-catégorielles des stimuli. Les représentations perceptivo-catégorielles des stimuli reçoivent des poids en fonction de leur degré de similarité avec les représentations spécifiées. Celles ayant reçu les poids les plus élevés entrent en MVCT. En outre, le caractère limité de la MVCT est implémenté par le fait que la somme totale des pondérations est fixe, ce qui implique qu'un faible nombre de représentations perceptivo-catégorielles accèdent à la MVCT.
- iv) Un deuxième processus de compétition pour la récupération en MVCT se produit entre toutes les représentations des stimuli qui y ont accédé. Un mécanisme de pondération de ces représentations permet de sélectionner parmi elles celle qui sera récupérée et rapportée. Chaque représentation en MVCT reçoit une pondération en fonction de son degré de correspondance avec les représentations spécifiées et en fonction de son ordre d'arrivée en MVCT : le stimulus ayant accédé en premier à la MVCT est susceptible de recevoir le poids le plus élevé.

Sur la base de ces hypothèses, le modèle de l'interférence en MVCT explique le CA de la façon suivante. Lorsque le SOA T1-T2 est inférieur à 500 ms, les représentations perceptivo-

catégorielles respectives des stimuli T1, T2, T1+1 et T2+1 entrent en MVCT en raison de leur haut degré de correspondance avec les représentations spécifiées et se retrouvent alors en compétition pour la récupération en MVCT (les quatre stimuli T1, T2, T1+1 et T2+1 sont qualifiés de « stimuli critiques » par Shapiro et al. (1994)). Les stimuli T1 et T2 reçoivent des poids élevés en raison de leur degré de correspondance élevé avec leurs représentations spécifiées respectives. Les stimuli T1+1 et T2+1 reçoivent également des poids substantiels en raison de leur proximité temporelle avec T1 et T2. Lorsque le SOA T1-T2 est court, la représentation de T1 gagne la compétition au détriment de celle de T2 en raison de son ordre d'arrivée en MVCT, ce qui se manifeste par un déficit de performance sur T2 pour ce type de SOA T1-T2. Selon Shapiro et al. (1994), la présence des masques T1+1 et T2+1 aurait pour effet d'accentuer la compétition en MVCT, ce qui joue en défaveur de T2 (i.e., la probabilité de T2 de gagner la compétition en MVCT est plus faible lorsque le nombre de compétiteurs est élevé).

Alors que le modèle de Raymond et al. (1992) stipule que l'interférence met en jeu T1 et T1+1, le modèle de Shapiro et al. (1994) stipule que l'interférence met en jeu T1, T2, T1+1 et T2+1. Shapiro et al. (1994) ont réalisé une série d'expériences dont les résultats ont remis en cause le modèle de l'inhibition de Raymond et al. (1992) et appuyé leur propre modèle. Dans leur deuxième expérience, Shapiro et al. (1994) font réaliser aux sujets une tâche de détection plutôt qu'une tâche d'identification sur T1. Le but de cette expérience est de déterminer si le modèle de Raymond et al. (1992), selon lequel le CA résulterait d'une tentative du système attentionnel de réduire la confusion lors de l'étape d'identification de T1 due à la présence du stimulus T1+1, est correct. Ce modèle prédit que si la tâche sur T1 est une tâche de détection (i.e., le traitement de T1 ne requiert pas l'étape d'identification), alors le CA ne devrait pas se produire. T1 est absente (condition T1 absente) dans la moitié des items de la tâche et présente dans l'autre moitié des items (condition T1 présente). Les sujets reçoivent un ensemble d'instructions insistant sur le fait que l'identification de T1 n'était pas nécessaire. Shapiro et al. (1994) montrent : (a) un effet significatif de la condition sur le taux de rappels corrects de T2/T1 ; (b) un effet significatif du SOA T1-T2 sur le taux de rappels corrects de T2/T1 ; (c) une interaction significative entre la condition et le SOA T1-T2 : l'effet de la condition est significatif pour des valeurs du SOA T1-T2 allant de 90 à 360 ms (le taux de rappels corrects de T2/T1 dans la condition expérimentale est significativement inférieur au taux de rappels corrects de T2/T1 dans la condition contrôle pour des SOA allant de 90 à 360 ms : clignement attentionnel). Ces résultats suggèrent que l'explication du CA par Raymond et al. (1992) est incorrecte. Cependant, Shapiro et al. (1994) font valoir que malgré les

instructions qu'ils ont reçues dans cette expérience, les sujets ont quand même pu identifier les stimuli correspondant à T1 de façon involontaire, ce qui expliquerait pourquoi un CA a été observé dans cette expérience. Pour y remédier, Shapiro et al. (1994) utilisent dans une troisième expérience (A) une tâche de détection sur T1 mais en utilisant cette fois toujours la même lettre comme stimulus pour T1, cette manipulation ayant pour effet de rendre inutile l'étape d'identification de cette cible. Shapiro et al. (1994) obtiennent les mêmes résultats que ceux obtenus dans leur deuxième expérience. En outre, ces derniers obtiennent un CA d'amplitude similaire en augmentant la difficulté de la tâche sur T1 (tâche d'identification sans indice perceptuel) (Expérience 3B). Enfin, dans une quatrième expérience, Shapiro et al. (1994) utilisent une rangée de points (disposés à l'endroit où apparaissent les autres stimuli dans les séquences) comme stimuli pour T1 et montrent qu'un CA se produit lorsque les sujets effectuent une tâche de détection sur T1. Pris ensemble, ces résultats suggèrent fortement que lorsque la tâche sur T1 est une tâche de détection, l'étape d'identification de T1 n'est pas nécessaire à la production d'un CA, contrairement à ce que postule le modèle de l'inhibition.

Isaak, Shapiro et Martin (1999) ont réalisé 3 expériences dans l'optique de mettre à l'épreuve de modèle de l'interférence. Ce modèle attribuant le CA à une compétition entre les stimuli critiques T1, T2, T1+1 et T2+1 en MVCT, ils ont analysé le pattern des erreurs relatives à T2 afin d'examiner quels étaient les stimuli qui étaient rapportés à la place de T2 lorsque T2 perdait la compétition. Dans leur première expérience, Isaak et al. (1999) utilisent la tâche RSVP squelette utilisée par Ward, Duncan et Shapiro (1997) dans laquelle 4 stimuli (2 cibles et leurs masques respectifs) apparaissent à la même position spatiale dans les séquences RSVP, sans autre distracteur. Les stimuli sont des lettres : chacun des 4 stimuli est associé à un ensemble de 4 lettres pouvant jouer le rôle du stimulus en question. T1 est une lettre blanche dans la moitié des items et T2 est une lettre dont la taille est systématiquement plus petite que celle des autres stimuli. La durée de présentation des stimuli est de 30 ms, et l'ISI est de 90 ms. La tâche sur T1 est une tâche de détection (les sujets doivent dire si une lettre blanche est apparue dans la séquence), la tâche sur T2 est une tâche d'identification (les sujets doivent rapporter l'identité de la lettre la plus petite). Dans une condition expérimentale, les sujets réalisent les deux tâches ; dans une condition contrôle, les sujets ne réalisent que la tâche sur T2 (ils reçoivent pour consigne d'ignorer la lettre blanche). Isaak et al. (1999) mettent en évidence : (a) un CA significatif (i.e., interaction significative entre la condition et le SOA T1-T2) allant d'un SOA T1-T2 = 180 ms jusqu'à un SOA T1-T2 = 720 ms ; (b) une proportion de rappels de T1 et de T2+1 à la place de T2 dans l'ensemble des

rappels erronés de T2 significativement au-dessus de celle que produirait le hasard pendant toute la durée du CA ; (c) une proportion de rappels de T1+1 à la place de T2 dans l'ensemble des rappels erronés de T2 significativement au-dessus de celle que produirait le hasard pendant la première moitié du CA (i.e., jusqu'à un SOA T1-T2 = 360 ms). Ces erreurs systématiques dans le rappel de T2 suggèrent bien l'existence d'une compétition entre T1, T2, T1+1 et T2+1 : quand T2 n'est pas correctement rapportée, ce sont les stimuli en compétition avec T2 qui sont rapportés à sa place. En ce sens, ces résultats corroborent le modèle de l'interférence.

2.3 Le modèle dwell-time

Le modèle dwell-time (Duncan, Ward & Shapiro, 1994 ; Ward, Duncan & Shapiro, 1996 ; Ward, Duncan & Shapiro, 1997) est un modèle général décrivant le comportement temporel (*time course*) de l'attention visuelle. Ce modèle n'a pas été élaboré spécifiquement pour le paradigme de CA, mais pour le paradigme des deux cibles (Duncan et al., 1994) censé permettre la mesure du temps d'arrêt (*dwell-time*) de l'attention visuelle.

L'une des situations les plus couramment utilisées dans l'étude de l'attention visuelle est la situation de recherche visuelle, dans laquelle le sujet doit identifier un ou plusieurs stimuli-cibles parmi un ensemble de stimuli présentés simultanément ou sériellement. Une notion centrale décrivant le comportement de l'attention visuelle dans ce contexte de recherche visuelle est la notion de temps d'arrêt de l'attention visuelle. Ce temps d'arrêt correspond à la durée caractéristique pendant laquelle un stimulus visuel devant être identifié (i.e., stimulus-cible) mobilise les ressources attentionnelles (« ... how long an object that must be identified continues to occupy attentional capacity », Duncan et al., 1994, p.313). Les modèles sériels classiques de l'attention visuelle stipulent que le temps d'arrêt de celle-ci est bref (quelques dizaines de millisecondes). Le temps d'arrêt de l'attention visuelle peut également être conceptualisé comme la durée requise par l'attention pour switcher d'un stimulus-cible à un autre stimulus (switch attentionnel). Duncan et al. (1994) ont mis au point un paradigme permettant une mesure du temps d'arrêt de l'attention visuelle, appelé paradigme des deux cibles (*two-target paradigm*). Chaque tâche de ce paradigme repose sur la procédure RSVP, chaque item étant composé de 4 stimuli (2 cibles et 2 masques). Les masques utilisés correspondent à des backward masques par pattern (*cf.* partie 3.1.2). Les deux cibles sont présentées à des positions spatiales différentes et les masques apparaissent à

la même position que leurs cibles respectives. Les paramètres de la tâche utilisée par Duncan et al. (1994) sont les suivants. L'une des deux cibles correspond à un chiffre vert (« 2 » ou « 5 ») apparaissant à droite ou à gauche sur l'écran, l'autre cible correspond à une lettre rouge (« L » ou « T ») apparaissant en haut ou en bas sur l'écran. L'ordre de présentation des cibles est aléatoire. La durée de présentation des cibles est comprise entre 45 et 60 ms, la durée de présentation des masques est de 250 ms et le SOA entre les deux cibles varie entre 0 et 900 ms. Dans une première condition, les sujets doivent rapporter l'identité du chiffre vert et ignorer la lettre rouge ; dans une deuxième condition, ils doivent rapporter l'identité de la lettre rouge et ignorer le chiffre vert et dans une troisième condition, ils doivent rapporter l'identité des deux cibles. Duncan et al. (1994) montrent que (a) la performance sur la première cible est élevée dans les trois conditions (lorsque la cible devant être identifiée apparaît en première position dans les deux conditions où une seule cible doit être identifiée), (b) dans la condition où les deux cibles doivent être identifiées, la performance sur la deuxième cible pour des SOA allant de 0 à 450 ms est significativement inférieure à la performance pour des SOA supérieurs à 450 ms. Ces résultats suggèrent que la durée du temps d'arrêt de l'attention visuelle est de plusieurs centaines de millisecondes, contrairement à ce qu'affirment les modèles sériels classiques de l'attention visuelle.

Le modèle dwell-time se caractérise par les hypothèses suivantes :

- i) Lorsque plusieurs stimuli visuels sont présentés en succession rapide (i.e., RSVP, le sujet devant alors détecter dans la séquence une ou plusieurs cibles définies), ces stimuli entrent en compétition pour accéder (et bénéficier) aux ressources limitées du traitement visuel. Le stimulus vainqueur de cette compétition reçoit un traitement approfondi impliquant la mobilisation des ressources attentionnelles, au détriment des stimuli perdants.
- ii) La compétition entre différents stimuli visuels et le traitement approfondi du stimulus vainqueur se déroulent pendant une durée relativement longue (plusieurs centaines de millisecondes). Lors de cet intervalle de temps, l'attention est fixée et marque un temps d'arrêt. La valeur importante de ce temps d'arrêt de l'attention visuelle rend l'évolution temporelle de celle-ci relativement lente (Ward, Duncan & Shapiro, 1996).
- iii) La sélection des stimuli visuels présentés dans le dispositif s'effectue suivant un mécanisme de pondération : chacun des stimuli visuel se voit attribuer un poids en fonction de 1) son degré de similarité avec les représentations spécifiées (*template*) des cibles (i.e., les représentations que le sujet élabore des cibles lorsque l'expérimentateur les lui décrit), et 2) son ordre d'arrivée dans la séquence. Soit un stimulus visuel i donné présenté dans le

dispositif, le modèle dwell-time postule une relation positive entre la valeur du poids w_i attribué à ce stimulus et son degré de similarité avec les représentations spécifiées des cibles, et une relation négative entre w_i et l'ordre d'arrivée du stimulus i dans la séquence. Soit N le nombre total de stimuli présentés dans la séquence, alors le rapport $\frac{w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$ définit la probabilité $P(i)$ que le stimulus i gagne la compétition et mobilise les ressources du traitement visuel.

iv) Le traitement dont bénéficie le stimulus vainqueur de la compétition débouche sur l'activation d'une représentation stable de ce stimulus permettant la production d'une réponse. Lorsqu'une représentation stable d'un stimulus visuel a été activée, toutes les propriétés de ce stimulus sont activées et ce, indépendamment de la propriété suivant laquelle ce stimulus a été sélectionné (e.g., un stimulus visuel ayant été sélectionné suivant sa couleur et ayant reçu un traitement visuel complet pourra générer une réponse suivant sa forme).

Les mécanismes cognitifs et computationnels postulés par le modèle dwell-time sont fortement inspirés de ceux déjà décrits par des modèles de l'attention visuelle plus anciens (Duncan, 1980 ; Bundesen, 1990 ; Rumelhart, 1970). Sur la base de ces hypothèses, le modèle dwell-time rend compte du CA de la façon suivante. Lorsque le SOA T1-T2 est court, T1 et T2 se retrouvent en compétition pour l'accès aux ressources de traitement. Bien que les poids respectifs de T1 et de T2 soient élevés en raison de leur degré de similarité élevé avec leurs représentations spécifiées respectives, le poids alloué à T1 est plus élevé que celui alloué à T2 en raison de son ordre d'arrivée. C'est donc T1 qui gagne la compétition au détriment de T2, d'où un déficit de la performance sur T2 pour des SOA T1-T2 courts.

Le modèle dwell-time et le modèle de l'interférence postulent tous les deux un mécanisme de pondération des stimuli en compétition basé sur leur degré de similarité avec les représentations spécifiées des cibles. On remarquera que ce mécanisme n'est pas explicitement détaillé dans la littérature et implique des hypothèses implicites. En effet, les tâches de CA mettent en jeu deux cibles T1 et T2 ; chaque cible étant associée à une représentation spécifiée, les tâches de CA mettent en jeu deux représentations spécifiées, l'une associée à T1, l'autre à T2. Lorsque T1 est présentée, T1 est comparée à la représentation spécifiée associée à T1 d'une part et à la représentation spécifiée associée à T2 d'autre part. La comparaison de T1 aux deux représentations spécifiées donne donc lieu à deux outputs. Admettons que la valeur de l'output issu d'une comparaison d'un stimulus avec

une représentation spécifiée donnée soit positivement liée au degré de correspondance entre celui-ci et celle-là. Le modèle dwell-time et le modèle de l'interférence supposent implicitement que c'est l'output le plus élevé (celui issu de la comparaison de T1 avec sa propre représentation spécifiée) qui est pris en compte dans le calcul du poids alloué à T1.

2.4 Le modèle des deux étapes

Le modèle des deux étapes est dû à Chun et Potter (1995). Ce modèle repose sur les hypothèses suivantes :

i) Il existe deux étapes fonctionnellement distinctes dans le traitement d'une cible visuelle : une étape 1 dans laquelle les propriétés perceptuelles et conceptuelles du stimulus sont traitées, et une étape 2 à capacité limitée dans laquelle la représentation du stimulus issue de l'étape 1 est encodée sous une forme stable en mémoire visuelle à court terme. Le déroulement de l'étape 2 mobilise les ressources attentionnelles.

ii) L'étape 1 peut se dérouler en parallèle avec n'importe qu'elle autre étape mais deux étapes 2 ne peuvent se dérouler en parallèle.

iii) Pendant une phase de latence dans le traitement d'une cible visuelle T durant laquelle le traitement de cette cible reste bloqué à l'entrée de l'étape 2, la représentation de cette cible est susceptible de dépérir passivement ou d'être remplacée par la représentation du stimulus T+1. Dans une tâche de CA, la probabilité que la représentation de T2 soit remplacée par la représentation de T2+1 est positivement liée à la durée du délai dans le traitement de T2.

Le modèle des deux étapes rend compte du CA de la façon suivante. L'apparition de T1 dans une séquence RVSP déclenche l'étape 1 du traitement de T1. Comme T1 est la première cible de la séquence, aucune étape 2 ne se déroule quand l'étape 1 du traitement de T1 est terminée. Par conséquent, l'étape 2 du traitement de T1 débute dès la fin de l'étape 1. Si T2 apparaît rapidement après T1 dans la séquence RSVP (i.e., SOA T1-T2 court), l'étape 1 du traitement de T2 se produit mais l'étape 2 ne peut commencer car celle-ci est occupée avec T1. Le traitement de T2 est donc en attente quand l'étape 1 est terminée et doit attendre la fin de l'étape 2 du traitement de T1 pour reprendre. Pendant cette phase de latence (i.e., délai), la représentation de T2 est vulnérable : elle peut dépérir passivement ou être remplacée par la représentation du stimulus T2+1. Pour des SOA T1-T2 courts, le modèle des deux étapes postule ainsi l'existence d'un délai dans le traitement de T2, délai pendant lequel la représentation de T2 disparaît, d'où un déficit de la performance sur T2 pour ces SOA T1-T2.

Zuvic, Visser et Di Lollo (2000) ont procédé à une mise à l'épreuve du modèle des deux étapes. Dans une première expérience, Zuvic et al. (2000) utilisent le paradigme des deux cibles de Duncan et al. (1994) : T1 est un chiffre et T2 est une lettre, la tâche sur T1 est une tâche d'identification reportée et la tâche sur T2 est une tâche de discrimination chronométrée (i.e., le sujet doit discriminer T2 (consonne *vs.* voyelle) le plus rapidement possible au moment où T2 apparaît)⁶. Les cibles apparaissent à des positions spatiales différentes et T2 n'est pas masquée. Zuvic et al. (2000) montrent un effet significatif du SOA T1-T2 sur le temps de réponse à la tâche sur T2 : ce temps de réponse décroît à mesure que le SOA T1-T2 augmente. Ce résultat corrobore l'hypothèse du modèle des deux étapes selon laquelle il existe un délai dans le traitement de T2 lorsque le SOA T1-T2 est court, la présence de ce délai ayant pour effet d'augmenter la durée totale du traitement de T2 et donc le temps de réponse à la tâche sur T2. Dans une seconde expérience, Zuvic et al. (2000) fixent la durée du SOA T1-T2 à 200 ms et font varier le SOA T2-T2+1. La tâche sur T2 est une tâche de discrimination reportée. Zuvic et al. (2000) montrent un effet significatif du SOA T2-T2+1 sur la proportion de réponses correctes dans la tâche sur T2 : cette proportion augmente à mesure que le SOA T2-T2+1 augmente. Ce deuxième résultat corrobore l'hypothèse du modèle des deux étapes selon laquelle durant la phase de délai dans le traitement de T2, la représentation de T2 est susceptible d'être remplacée par la représentation de T2+1. Dans une troisième expérience, Zuvic et al. (2000) utilisent la même tâche que celle utilisée dans la première expérience en comparant deux conditions : une condition dans laquelle T1 est masquée et une condition dans laquelle T1 n'est pas masquée. Ils montrent que le temps de réponse à la tâche sur T2 décroît avec le SOA T1-T2 uniquement dans la condition où T1 est masquée. Ce résultat corrobore le modèle des deux étapes en admettant l'hypothèse que la présence du masque sur T1 a pour effet d'augmenter la durée du traitement de T1 (*cf.* partie 4.1.1). Dans ce cadre, même pour des SOA T1-T2 courts, si T1 n'est pas masquée, alors la durée du traitement de T1 est relativement brève et l'étape 2 du traitement de T1 se termine avant l'étape 1 du traitement de T2. Dans ce cas, aucun délai n'apparaît dans le traitement de T2 puisque l'étape 2 du traitement de T2 peut commencer dès la fin de l'étape 1. Ceci expliquerait pourquoi, pour des SOA T1-T2 courts, le temps de réponse à la tâche sur T2 est nettement plus faible quand T1 n'est pas masquée que quand T1 l'est.

⁶ Dans une tâche de CA, lorsque l'une des deux tâches est chronométrée, on parle parfois de clignement attentionnel chronométré (*speeded attentional blink*).

2.5 Le modèle PRP

Le modèle PRP a été proposé par Jolicoeur et Dell'Acqua (1998). Ce modèle repose sur l'hypothèse générale selon laquelle le phénomène de CA se caractérise par le même comportement que le phénomène de période psychologique réfractaire (*Psychological Refractory Period*, PRP). Ce phénomène a été mis en évidence dans l'étude des interférences observées dans le paradigme de double tâche (*cf.* Pashler, 1994, pour une revue). Une tâche standard de ce paradigme se présente de la façon suivante. Deux stimuli apparaissent successivement, par exemple, un chiffre puis une lettre. Le sujet doit effectuer une tâche chronométrée sur chaque stimulus, dans notre exemple, disons que le sujet doit effectuer une tâche de discrimination sur le chiffre (pair *vs.* impair) et une autre sur la lettre (consonne *vs.* voyelle). Le point d'intérêt consiste à faire varier le SOA entre les deux stimuli et à observer l'évolution du temps de réponse à chaque stimulus en fonction de ce SOA. L'étude du paradigme de double tâche a mis en évidence une observation robuste : le temps de réponse à la tâche sur le premier stimulus est constant pour toutes les valeurs du SOA alors que le temps de réponse à la tâche sur le deuxième stimulus dépend dramatiquement du SOA : ce temps de réponse décroît à mesure que le SOA entre les deux cibles augmente jusqu'à atteindre une valeur asymptotique (*cf.* Figure 3). Le modèle classique de ce phénomène d'interférence est le modèle *bottleneck* (Marois & Ivanoff, 2005). Ce modèle se caractérise par les deux hypothèses suivantes :

- i) Le traitement d'un stimulus relativement auquel le sujet doit effectuer une tâche donnée est décomposable en trois phases séquentielles : une phase de traitement perceptif, une phase de traitement central (également appelée phase de sélection de la réponse) et une phase d'exécution de la réponse.
- ii) Soient deux stimuli S1 et S2 présentés de façon séquentielle (S1 précède S2). La phase de traitement perceptif du stimulus S1 peut se dérouler en parallèle avec n'importe laquelle des phases de traitement du stimulus S2. De même, la phase d'exécution de la réponse du stimulus S1 peut se dérouler en parallèle avec n'importe quelle autre phase de traitement du stimulus S2. La phase de traitement central du stimulus S1 peut se dérouler en parallèle avec les phases de traitement perceptif et d'exécution de la réponse du stimulus S2, mais pas avec la phase de traitement central de ce stimulus. Autrement dit, la phase de traitement central est sérielle (*i.e.*, un *bottleneck* se situe à l'entrée de cette phase).

Le modèle *bottleneck* rend compte de l'interférence caractéristique du paradigme de double tâche de la façon suivante. L'apparition du premier stimulus S1 déclenche le traitement de

celui-ci (les trois phases de traitement décrites ci-dessus se déroulent séquentiellement). Si le deuxième stimulus S2 apparaît rapidement après S1 (i.e., SOA S1-S2 court), alors la phase de traitement perceptif de S2 a lieu mais pas la phase de traitement centrale qui est occupée par S1. Le traitement de S2 est donc suspendu à la sortie de la phase de traitement perceptif et doit attendre la fin de la phase de traitement central de S1 pour reprendre. Ce délai dans le traitement de S2 pour des SOA S1-S2 courts est appelé « période psychologique réfractaire » et sa durée est négativement liée à la valeur du SOA S1-S2. L'existence d'un délai dans le traitement de S2 pour des SOA S1-S2 courts se manifeste par des temps de réponse relativement longs à la tâche sur S2. En revanche, lorsque le SOA S1-S2 est long, la phase de traitement central de S1 finit avant la phase de traitement perceptif de S2, d'où l'absence d'un délai dans le traitement de T2 et des temps de réponse plus faibles pour ces SOA. La figure 3 ci-dessous illustre le phénomène de PRP.

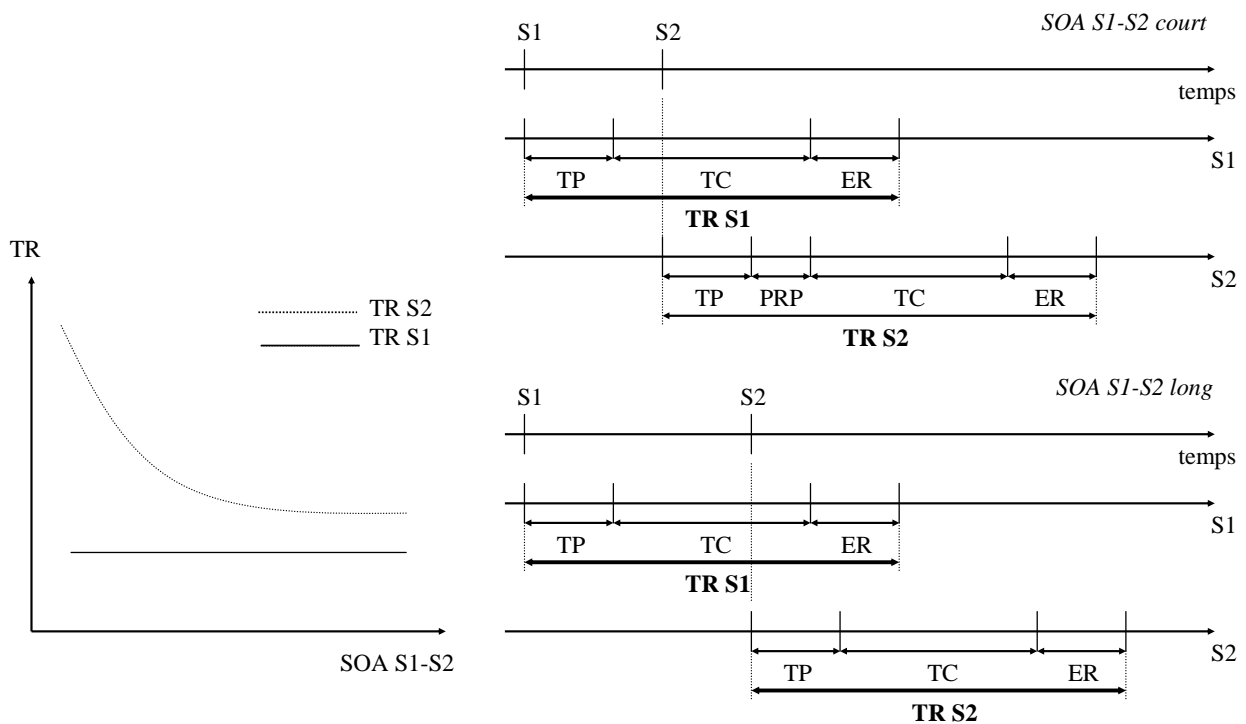


Figure 3. Le phénomène de période psychologique réfractaire. TR : temps de réponse ; S1 : stimulus 1 ; S2 : stimulus 2 ; TP : traitement périphérique ; TC : traitement central ; ER : exécution de la réponse ; PRP : période psychologique réfractaire.

Jolicoeur a approfondi l'étude des liens entre le paradigme de CA et le paradigme PRP. La logique sous-jacente à ses travaux est la suivante. Sachant que le modèle bottleneck est le modèle classique du paradigme PRP en particulier et des interférences dual-task en général (Pashler, 1994) et que ce modèle se caractérise par un ensemble de quatre prédictions

caractéristiques, si le phénomène de CA est lui aussi sous-tendu par un bottleneck, alors les prédictions du modèle bottleneck devraient être vérifiées pour le paradigme de CA. La première prédiction caractéristique de ce modèle est la prédiction *carry-over*. Cette prédiction stipule que pour des SOA S1-S2 courts, une augmentation de la durée de l'étape de traitement centrale de S1 devrait entraîner une augmentation du temps de réponse à S2 (i.e., la durée totale du traitement de S2). Dans le cadre du paradigme de CA, la dérivation de cette prédiction donne lieu à une nouvelle prédiction selon laquelle pour des SOA T1-T2 courts, une augmentation de la durée de l'étape de traitement centrale de T1 devrait entraîner une diminution de la performance sur T2, c'est-à-dire une augmentation de l'amplitude du CA. En effet, pour des SOA T1-T2 courts, une augmentation de la durée de l'étape de traitement centrale de T1 entraîne une augmentation de la durée du délai dans le traitement de T2, or la durée du délai dans le traitement de T2 est positivement liée à la probabilité que la représentation de T2 soit dégradée par son masque. Par conséquent, une augmentation de la durée de l'étape de traitement centrale de T1 devrait bien entraîner une diminution de la performance sur T2. Crebolder et Jolicoeur (1999) ont testé cette prédiction en utilisant une tâche standard de CA dans laquelle T1 correspond à l'une des lettres « H », « O » ou « S » en rouge, et T2 correspond à l'une des deux lettres « X » ou « Y » en blanc. Les distracteurs correspondent à des lettres en blanc. La tâche sur chacune des cibles est une tâche d'identification (i.e., rapporter l'identité des cibles). T1 est présentée dans la moitié des items (les items dans lesquels T1 est absente définissent la condition contrôle). Dans cet ensemble d'items, Crebolder et Jolicoeur (1999) font varier la fréquence des stimuli correspondant à T1 : une des trois lettres est associée à une probabilité de 0,68, la deuxième lettre est associée à une probabilité de 0,24 et la troisième lettre à une probabilité de 0,08. En manipulant la fréquence des stimuli correspondant à T1, Crebolder et Jolicoeur (1999) s'appuient sur une hypothèse de Kornblum (1968) selon laquelle la durée de traitement d'un stimulus et la fréquence d'apparition de ce stimulus sont négativement liées. Cette expérience a été réalisée une première fois en chronométrant la tâche sur T1 (i.e., les sujets doivent répondre le plus vite possible dans cette tâche) et une deuxième fois en reportant la réponse relative à la tâche sur T1. Dans les deux cas, la tâche sur T2 était reportée. Crebolder et Jolicoeur (1999) mettent en évidence un pattern de CA typique pour chaque probabilité associée à T1, l'amplitude du CA étant inversement liée avec la probabilité associée au stimulus correspondant à T1, et ce, que la tâche sur T1 soit chronométrée ou reportée. Dans l'expérience où la tâche sur T1 était chronométrée, la probabilité de T1 avait bien un effet significatif sur les temps de réponse, conformément à l'hypothèse de Kornblum (1968). Jolicoeur et Dell'Acqua (1998) ont

également vérifié l'hypothèse *carry-over* pour le CA en utilisant une tâche RSVP dans laquelle T1 correspond soit à une lettre soit à un ensemble de 3 lettres et T2 correspond à un son. La tâche sur T1 est une tâche d'identification et la tâche sur T2 est une tâche de discrimination chronométrée (les sujets doivent discriminer la hauteur du son). Jolicoeur et Dell'Acqua (1998) montrent que (a) lorsque T1 correspond à une seule lettre, le temps de réponse moyen à la tâche sur T2 est significativement plus long quand le SOA T1-T2 est inférieur à 500 ms que quand ce SOA est supérieur à 500 ms, (b) lorsque T1 correspond à un ensemble de 3 lettres, le temps de réponse moyen à la tâche sur T2 est significativement plus long quand le SOA T1-T2 est inférieur à 500 ms que quand ce SOA est supérieur à 800 ms.

La deuxième prédiction caractéristique du modèle bottleneck est la prédiction de corrélation. Cette prédiction est conceptuellement identique à la prédiction *carry-over* et stipule plus précisément l'existence, pour des SOA S1-S2 courts, d'une corrélation positive entre le temps de réponse à la tâche sur S1 et le temps de réponse à la tâche sur S2 (en supposant que la majeure partie de la variance des temps de réponse à la tâche sur T1 soit due à la variance de la durée du traitement central de S1, Pashler, 1994). Pour des SOA courts, étant donné que la durée du traitement central de S1 (approximativement opérationnalisée par le temps de réponse à la tâche sur S1) et la durée du délai dans le traitement de S2 sont positivement liées, cette variable étant elle-même négativement liée à la performance sur S2 (puisque la durée du délai dans le traitement de S2 est positivement liée à la probabilité d'un processus de substitution), la dérivation de la prédiction de corrélation pour paradigme de CA donne lieu à la nouvelle prédiction selon laquelle le temps de réponse à la tâche sur T1 devrait être négativement lié à la performance sur T2 (pour des SOA T1-T2 courts). Jolicoeur (1998) a testé cette prédiction pour le paradigme de CA. Il utilise une tâche de CA dans laquelle la tâche sur T1 est une tâche de discrimination chronométrée. La tâche sur T2 est une tâche de détection reportée. Jolicoeur (1998) montre que pour des SOA T1-T2 courts, la performance sur T2 est la plus élevée pour les items appartenant au premier quartile du temps de réponse à la tâche sur T1, alors que la performance sur T2 est la plus faible pour les items appartenant au quatrième quartile. Pour des SOA longs, cette relation entre le temps de réponse à la tâche sur T1 et la performance sur T2 ne s'observe plus. Ce résultat a été plusieurs fois répliqué (Jolicoeur, 1999a ; Jolicoeur, 1999c).

La troisième prédiction caractéristique du modèle bottleneck est la prédiction d'absorption. Cette prédiction spectaculaire stipule que l'effet d'un facteur X influençant les phases précoces (i.e., pré-bottleneck) du traitement de S2 sur le temps de réponse à la tâche sur S2 devrait être plus important pour des SOA longs que pour des SOA courts. Dans le cas

de SOA S1-S2 courts, la quantité temporelle de traitement supplémentaire au niveau des phases précoces du traitement de S2 est « absorbée » dans le délai dû au bottleneck. Autrement dit, la prédiction d'absorption stipule une interaction sous-additive entre un tel facteur X et le SOA S1-S2 (cette prédiction a été vérifiée à plusieurs reprises pour le paradigme PRP, Pashler, 1994). Jolicoeur (1999d) a testé cette prédiction dans le cadre du paradigme de CA en utilisant une tâche standard de CA dans laquelle la tâche sur T1 est une tâche d'identification reportée et la tâche sur T2 est une tâche de discrimination chronométrée. Jolicoeur (1999d) fait varier le contraste des stimuli correspondant à T2 (contraste normal vs. contraste faible), facteur connu pour influencer la durée des phases précoces dans le traitement d'un stimulus visuel. Jolicoeur (1999d) met en évidence une interaction significative entre le degré de contraste de T2 et le SOA T1-T2 : le contraste de T2 a un effet significatif pour des SOA T1-T2 longs (le temps de réponse à la tâche sur T2 est plus long lorsque le contraste de T2 est faible que lorsque ce contraste est normal) mais pas pour des SOA T1-T2 courts. Pour ces SOA, l'augmentation de la durée des phases précoces du traitement de T2 due au faible contraste de ce stimulus est absorbée dans le délai induit par le bottleneck. Ruthruff et Pashler (2001) ont réalisé une expérience similaire à celle de Jolicoeur (1999d) en utilisant la forme des lettres utilisées en T2 comme facteur influençant la durée des phases de traitement précoces. Leurs résultats corroborent également la prédiction d'absorption. Wong (2002) (Expérience 4) a réalisé le même type d'expérience que Jolicoeur (1999d) en faisant varier l'intensité lumineuse de T2 (intensité normale vs. intensité faible) pour influencer la durée des phases perceptives du traitement de T2. Wong (2002) met en évidence une interaction significative entre le degré d'intensité lumineuse de T2 et le SOA T1-T2 : l'effet du degré d'intensité lumineuse de T2 ne devient significatif que pour des SOA T1-T2 longs.

La quatrième prédiction caractéristique du modèle bottleneck est la prédiction d'additivité. Cette dernière prédiction stipule que l'effet d'un facteur Y influençant les phases centrales du traitement de S2 sur le temps de réponse à la tâche sur S2 devrait être identique quelle que soit la valeur du SOA S1-S2. Autrement dit, cette prédiction stipule une absence d'interaction entre un tel facteur Y et le SOA S1-S2 (i.e., les effets respectifs des deux variables sont additifs). Jolicoeur (1999d) a testé cette prédiction en utilisant une tâche standard de CA dans laquelle la tâche sur T1 est une tâche d'identification reportée et la tâche sur T2 est une tâche de discrimination chronométrée. Les deux stimuli possibles en T2 sont les lettres « L » et « R ». Jolicoeur (1999d) utilise la compatibilité stimulus-réponse au niveau de la tâche sur T2 comme facteur influençant la durée des phases centrales du traitement de

T2. Les sujets reçoivent la consigne d'associer la lettre « L » au concept « Left » et la lettre « R » au concept « Right ». Dans une première condition, les sujets devaient appuyer sur une touche située sur la gauche d'un clavier de réponse lorsque T2 était la lettre « L » et appuyer sur une touche située sur la droite du clavier lorsque T2 était la lettre « R » (condition compatible). Dans une deuxième condition, le mapping des réponses était inversé (condition incompatible). Jolicoeur (1999d) met en évidence un effet significatif de la compatibilité stimulus-réponse sur le temps de réponse à la tâche sur T2 (le temps de réponse moyen dans la condition incompatible est supérieur au temps de réponse moyen dans la condition compatible), cet effet n'étant pas significativement différent entre des SOA T1-T2 courts et des SOA T1-T2 longs (i.e., pas d'interaction entre la compatibilité stimulus-réponse et le SOA T1-T2).

Considérés ensemble, ces résultats suggèrent que le paradigme de CA et le paradigme PRP sont tous les deux sous-tendus par un phénomène de bottleneck (Marois & Ivanoff, 2005).

2.6 Le modèle de la perte temporaire de contrôle

Le modèle dwell-time, le modèle des deux étapes, le modèle PRP et le modèle de l'interférence reposent tous sur l'hypothèse générale explicative selon laquelle le CA est dû au caractère limité d'une ressource cognitive donnée, étant allouée à T1 au détriment de T2 lorsque le SOA T1-T2 est court. Di Lollo, Kawahara, Ghorashi et Enns (2005) qualifient cette hypothèse « d'hypothèse de l'épuisement de la ressource » (*resource depletion*). Sur la base de cette hypothèse, le déficit induit par le traitement de T1 dans le traitement de T2 doit être important pour des SOA T1-T2 courts, mais pas pour des SOA T1-T2 longs puisque dans ce cas, entre la fin du traitement de T1 et le début de celui de T2, il y a eu régénérescence de la ressource en question. Pour des SOA T1-T2 courts, dans le modèle dwell-time, T1 reçoit les ressources attentionnelles au détriment de T2 ; dans le modèle des étapes et le modèle PRP, T1 bénéficie de la phase de consolidation en mémoire à court terme au détriment de T2 ; dans le modèle de l'interférence, T1 bénéficie de la phase de récupération en MVCT au détriment de T2. Les modèles fondés sur l'hypothèse de l'épuisement de la ressource prédisent donc une relation monotone croissante entre la performance $T2|T1$ et le SOA T1-T2⁷. Visser et al.

⁷ Certains de ces modèles permettent néanmoins de rendre compte, de façon plus ou moins *ad hoc*, du phénomène de Lag 1 sparing (*cf.* partie 5). Ceci dit, nous partageons avec Di Lollo et al. (2005) l'idée selon

(1999) ont cependant montré que cette relation monotone n'avait été observée que dans 50% des expériences des études dans la littérature. Sur la base de ces considérations, Di Lollo et al. (2005) ont récemment proposé un nouveau modèle théorique du CA non fondé sur l'hypothèse de l'épuisement de la ressource : le modèle de la perte temporaire de contrôle (*temporary loss of control*, TLC). Ce modèle se caractérise par quatre hypothèses :

- i) Pour réaliser une tâche RSVP, le système exécutif central du sujet met en place un filtre cognitif agissant au niveau des inputs. Les stimuli passant ce filtre sont traités à un haut niveau (e.g., consolidation en mémoire à court terme).
- ii) Au début d'une séquence RSVP d'une tâche de CA, le filtre d'entrée est configuré pour laisser entrer T1.
- iii) L'entretien d'une configuration du filtre d'entrée requiert des signaux endogènes envoyés en continu par le système exécutif central.
- iv) Tant que le système exécutif central envoie des signaux endogènes au filtre d'entrée, la configuration de celui-ci demeure consistante. En revanche, lorsque le filtre d'entrée ne reçoit aucun signal endogène, sa configuration n'est plus maintenue et est susceptible de subir des influences exogènes.

Sur la base de ces hypothèses, le modèle de la perte temporaire de contrôle rend compte du CA de la façon suivante. Jusqu'à l'arrivée de T1 dans une séquence RSVP, le système exécutif central envoie des signaux endogènes au filtre d'entrée dont la configuration est optimisée pour laisser entrer T1. Lorsque T1 arrive, le système exécutif central doit déclencher et planifier le traitement de T1. Or les ressources du système exécutif central sont limitées et celui-ci ne peut réaliser les deux tâches consistant d'une part à envoyer des signaux au filtre d'entrée et d'autre part à gérer le traitement de T1. Dès l'arrivée de T1 dans la séquence RSVP, le système exécutif central cesse donc d'envoyer des signaux au filtre d'entrée. Pendant cette période, le filtre d'entrée subit l'influence exogène des distracteurs suivants T1 et sa configuration est ainsi défaite. Pour des SOA T1-T2 courts, lorsque T2 arrive, T2 ne peut passer le filtre d'entrée. Le modèle TLC impute donc le CA à une limite au niveau exécutif. Ce modèle a été proposé sur la base de résultats obtenus par Di Lollo et al. (2005). Dans une première expérience, Di Lollo et al. (2005) utilisent une tâche RSVP dans laquelle les cibles sont des lettres et les distracteurs sont des chiffres. Deux conditions sont utilisées : une condition dans laquelle trois cibles apparaissent consécutivement (condition uniforme) et une condition dans laquelle la deuxième cible de la condition uniforme est

laquelle ces modèles prédisent naturellement une relation monotone croissante entre la performance T2/T1 et le SOA T1-T2.

remplacée par un distracteur (condition variée). Dans la condition uniforme, la tâche des sujets est de rapporter l'identité des 3 lettres de la séquence, dans la condition variée, la tâche des sujets est de rapporter l'identité des 2 lettres de la séquence et d'ignorer le chiffre les séparant. Di Lollo et al. (2005) montrent une interaction significative entre la condition et la position de la cible : alors que la performance décroît linéairement en fonction de la position de la cible dans la condition variée, la performance reste stable autour de 72% quelle que soit la position de la cible dans la condition uniforme. Autrement dit, Di Lollo et al. (2005) montrent que la performance sur une cible apparaissant en Lag 2 est significativement meilleure lorsque cette cible est précédée d'une autre cible que lorsqu'elle est précédée d'un distracteur. Di Lollo et al. (2005) montrent en outre que les résultats de la condition variée sont les mêmes (a) que les sujets doivent rapporter ou non l'identité du chiffre séparant les deux lettres dans chaque séquence ; (b) que le stimulus apparaissant entre les deux lettres appartienne ou non à la même catégorie que les autres distracteurs de la séquence.

2.7 Les relations entre les modèles du CA

Comme le soulignent Shapiro, Arnell et Raymond (1997), les différents modèles du CA entretiennent des relations, parfois superficielles, parfois fondamentales⁸. Premièrement, le modèle de l'interférence, le modèle des deux étapes et le modèle PRP possèdent comme caractéristique commune le rôle prépondérant accordé à la mémoire visuelle à court terme (MVCT) dans l'explication du phénomène de CA. Cependant, le modèle de l'interférence d'une part et le modèle des deux étapes et le modèle PRP d'autre part diffèrent sur deux points relatifs à la MVCT. Le premier situe l'origine du CA à l'*intérieur* de la MVCT (lors de la récupération), alors que les deux derniers situent l'origine du CA à l'*entrée* de la MVCT. De plus, alors que le modèle des deux étapes et le modèle PRP sont tous deux des modèles sériels stipulant qu'un traitement conceptuel approfondi ne peut opérer que sur un seul stimulus à la fois, le modèle de l'interférence stipule au contraire que ce type de traitement peut opérer sur plusieurs stimuli à la fois. On notera que deux résultats empiriques indiquent qu'un traitement conceptuel approfondi peut opérer sur plusieurs stimuli à la fois présentés en situation de RSVP. Le premier a été obtenu par Isaak et al. (1999), qui montrent que l'amplitude du CA est positivement liée au nombre de stimuli conceptuellement similaires

⁸ Dans cette perspective comparative des modèles du CA, nous ne prenons pas en compte le modèle de l'inhibition (Raymond et al., 1992) qui est tombé en désuétude.

dans les séquences RSVP. Le second résultat a été obtenu par Di Lollo et al. (2005), qui montrent que les sujets sont capables de rapporter avec un faible taux d'erreurs 3 cibles présentées consécutivement dans une séquence RSVP. Ce dernier résultat pointe vers une limite importante du modèle des deux étapes et du modèle PRP : la non prise en compte de la capacité de la MVCT. Deuxièmement, le modèle dwell-time, le modèle de l'interférence, le modèle des deux étapes et le modèle PRP postulent tous l'existence de deux étapes dans le traitement T1 et T2 – lorsque T2 est présenté en dehors de la période de CA. En outre, comme le soulignent Isaak et al. (1999), tous fournissent la même description de l'étape 1. Celle-ci est conçue comme une étape de traitement dans laquelle les caractéristiques perceptuelles et conceptuelles du stimulus sont encodées. En outre, les représentations spécifiées dans le modèle de l'interférence et le modèle dwell-time et le filtre d'entrée dans le modèle des deux étapes réalisent la même fonction : les réglages du filtre d'entrée correspondent aux spécifications des représentations spécifiées et leur rôle est de sélectionner les cibles potentielles parmi l'ensemble des représentations perceptivo-catégorielles des stimuli. Troisièmement, le modèle dwell-time et le modèle de l'interférence postulent tous les deux un mécanisme de compétition entre plusieurs stimuli visuels. Le modèle de l'interférence postule deux compétitions, l'une à l'entrée de la MVCT et l'autre à la sortie de la MVCT ; le modèle dwell-time postule une compétition entre les stimuli pour accéder aux ressources limitées du traitement visuel. La première compétition décrite par le modèle de l'interférence et la compétition décrite par le modèle dwell-time correspondent en fait à la même compétition située à la sortie du traitement perceptivo-catégoriel des stimuli et fondée sur la notion de représentations spécifiées des cibles (*templates*).

Les différents modèles du CA se rejoignent à un niveau fondamental par le fait que tous imputent le CA au caractère limité d'une capacité cognitive donnée. Selon le modèle de l'interférence, c'est le caractère limité de la récupération en MVCT qui induit la compétition entre T1 et T2 pour des SOA T1-T2 courts ; selon le modèle dwell-time, c'est la limite de la résolution temporelle de l'attention visuelle qui est à l'origine du CA ; selon le modèle des deux étapes et le modèle PRP, c'est le caractère limité du traitement correspondant à l'encodage en mémoire à court terme – qui se manifeste par le caractère sériel de ce traitement – qui induit le délai dans le traitement de T2 pour des SOA T1-T2 courts et par là même, le phénomène de CA ; et selon le modèle de la perte temporaire de contrôle, c'est le caractère limité des capacités du système exécutif central qui est à l'origine de ce phénomène. Si les modèles du CA imputent tous ce phénomène au caractère limité d'une capacité cognitive donnée, certains situent cette limite au niveau d'une capacité de traitement alors que

d'autres situent cette limite au niveau des ressources attentionnelles (Marois & Ivanoff, 2005). Le modèle dwell-time est le seul modèle du CA à explicitement imputer ce phénomène à une limite – d'ordre temporel – des ressources attentionnelles. Le modèle des deux étapes et le modèle PRP imputent tous les deux le CA à un bottleneck à l'entrée de la phase de consolidation en mémoire à court terme, la présence de ce bottleneck étant dû au caractère limité de la capacité de traitement en MVCT. Le modèle des deux étapes stipule en outre que le déroulement de l'étape 2 (que l'on peut assimiler à la phase d'encodage en MVCT) requiert les ressources attentionnelles. Dès lors, ce modèle autorise deux interprétations du CA : soit ce phénomène est dû au caractère limité de la capacité de traitement en MVCT, soit ce phénomène est dû au caractère limité des ressources attentionnelles, lui-même à l'origine du caractère limité de la capacité de traitement en MVCT.

En conclusion, on peut dire que malgré l'expression de « clignement attentionnel », sur les cinq modèles (le modèle de l'inhibition étant mis à l'écart) que compte actuellement le CA, un seul explique de façon explicite ce phénomène en termes attentionnels, le modèle dwell-time. La lecture du phénomène de CA au travers de chacun de ces modèles donne lieu à une interprétation spécifique du phénomène. Et le corollaire est vrai : l'absence d'un modèle théorique intégré du CA empêche toute compréhension cohérente de ce phénomène (Shapiro, Arnell & Raymond, 1997).

3. Les facteurs clés du CA

Nous séparons les facteurs clés du CA en deux classes : les facteurs déterminants et les facteurs modérateurs du CA.

3.1 Les facteurs déterminants du CA

L'ensemble des études menées jusqu'à l'heure actuelle sur le CA permet de distinguer trois facteurs déterminants de ce phénomène : le Lag (ou le SOA T1-T2), la double tâche et le masquage des cibles. Chacun de ces trois facteurs déterminants est nécessaire mais non suffisant pour la production d'un CA ou, dit autrement, ces trois facteurs interagissent. La figure 4 ci-dessous illustre de façon schématique l'interaction entre les trois facteurs déterminants du CA.

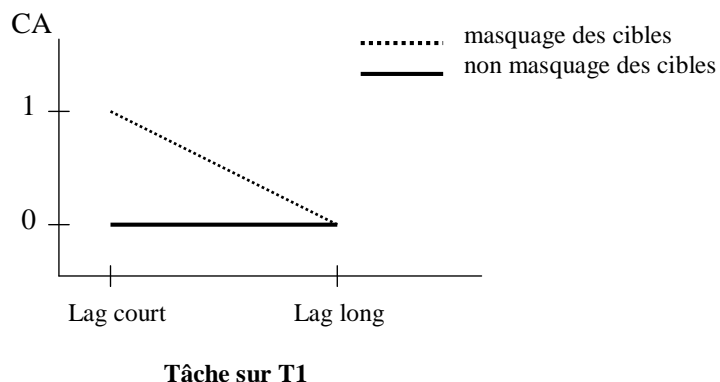


Figure 4. Interaction entre les facteurs déterminants du CA. 0 : absence de CA ; 1 : présence d'un CA.

Le caractère interactif des trois facteurs déterminants du CA repose sur les trois résultats empiriques robustes suivants, faisant l'objet d'un large consensus. Premièrement, le fait que le CA se produit uniquement pour un intervalle donné de valeurs du SOA T1-T2 (correspondant à des SOA courts). Ceci montre qu'un Lag court est un facteur nécessaire pour l'apparition du CA et que le masquage des cibles n'est pas un facteur suffisant pour l'apparition de ce phénomène (si le masquage des cibles était suffisant pour produire un CA, ce phénomène devrait s'observer pour toutes les valeurs du Lag). Deuxièmement, le fait que le CA ne se produit pas sans le masquage des cibles (e.g., Chun & Potter, 1995 ; Giesbrecht & Di Lollo, 1998 ; Brehaut, Enns & Di Lollo, 1999). Ceci montre que le masquage des cibles est un facteur nécessaire pour l'apparition du CA et qu'un Lag court n'en est pas un facteur suffisant. Troisièmement, le fait que le CA ne s'observe qu'en situation de double tâche montre que cette condition est nécessaire à l'apparition de ce phénomène (Raymond et al., 1992) mais le fait qu'un SOA T1-T2 court et que le masquage des cibles soient aussi des conditions nécessaires montrent que la condition de double tâche n'est pas suffisante.

3.1.1 Le Lag

Le CA est par définition un phénomène de nature temporelle. Le fait que ce phénomène ne s'observe que pour des Lags courts est une caractéristique définitoire du CA. Dans une grande majorité des études de CA, la fonction reliant le taux de performance T2/T1 au Lag a une forme en « U » ou en « J ». Ce taux est déficitaire du Lag 2 au Lag 5 et augmente à partir de façon monotone à partir du Lag 6. Un point de débat concerne la performance au Lag 1, et ce point a donné lieu à de nombreuses recherches.

3.1.1.1 Le phénomène Lag 1 sparing

Dès les premières mises en évidence du CA, un phénomène annexe remarquable relatif au CA a lui aussi été mis en évidence : il s'agit du fait qu'au Lag 1 (i.e., T2 suit directement T1 dans les séquences RSVP), la performance sur T2 est préservée. Ce phénomène a été appelé « Lag 1 sparing » par Potter, Chun, Banks et Muckenhoupt (1998). L'explication classique du phénomène de Lag 1 sparing est fournie par l'hypothèse de la porte attentionnelle (*attentional gate*, Raymond et al., 1992 ; Chun & Potter, 1995 ; Shapiro & Raymond, 1994). L'ouverture de cette porte, qui correspond à un pic attentionnel, est supposée rapide et se déclenche au moment où T1 apparaît, en revanche, la fermeture de cette porte est supposée plus lente de telle sorte que le stimulus suivant directement T1 dans la séquence RSVP est susceptible de passer lui aussi la porte attentionnelle. Dans ce cas, les deux stimuli (T1 et T1+1) accèdent tous les deux à un traitement approfondi. La notion de porte attentionnelle est directement liée aux notions d'épisode attentionnel discret et de fenêtre attentionnelle de Sperling et Weichselgartner (1995). La fenêtre et la porte attentionnelles sont supposées s'ouvrir au moment où T1 apparaît et se refermer 150-200 ms plus tard. En reprenant la terminologie de Sperling et Weichselgartner (1995), on dirait que le Lag 1 sparing se produit lorsque T1 et T2 intègrent le même épisode attentionnel. Cependant, comme le font remarquer Di Lollo et al. (2005), l'hypothèse de la fermeture lente de la porte attentionnelle est totalement ad hoc : “The concept of a sluggish attentional gate is clearly ad hoc, in that it lies outside the conceptual framework of the resource-depletion hypothesis.” (p.192). De plus, cette hypothèse est inconsistante en ce qu'elle ne permet pas d'expliquer pourquoi T2 en Lag 1 passe la porte la porte attentionnelle dans la moitié des expériences de CA mais pas dans l'autre moitié.

Visser, Bischof et Di Lollo (1999) ont réalisé une méta-analyse concernant le phénomène de Lag 1 sparing. Cette démarche a été motivée par le constat que ce phénomène n'est observé que dans 50% des études mettant en évidence un CA significatif. Si le Lag 1 sparing était dû à une caractéristique temporelle systématique de l'attention (la fermeture lente de la porte attentionnelle), alors ce phénomène devrait être robuste. Or force est de constater que ce n'est pas le cas. Visser et al. (1999) supposent donc que le Lag 1 sparing n'est pas un phénomène spécifique au CA et que son apparition est régie par un ensemble de facteurs. Le switch de T1 à T2 est le plus important d'entre eux. La présence du Lag 1 sparing suggère que le switch attentionnel est rapide et sans conséquence sur la performance sur T2. En revanche, l'absence de Lag 1 sparing suggère au contraire que le switch attentionnel est

lent et coûteux. L'étude des facteurs sous-jacents au phénomène de Lag 1 sparing fournit donc des informations concernant le comportement du switch attentionnel. Visser et al. (1999) montrent que (a) sur 46 expériences n'impliquant aucun switch entre T1 et T2, 44 ont révélé un Lag 1 sparing : ce phénomène apparaît quasi systématiquement lorsque T1 et T2 apparaissent à la même position spatiale, appartiennent à une même modalité sensorielle et à une même catégorie et requièrent des réponses de même type ; (b) sur 16 expériences impliquant un switch spatial entre T1 et T2, aucune n'a révélé un Lag 1 sparing, que ce switch entre T1 et T2 soit le seul ou accompagné d'autres switches ; (c) sur 12 expériences impliquant un seul switch (non spatial) entre les tâches respectives sur T1 et sur T2, 9 ont révélé un Lag 1 sparing ; (d) sur 5 expériences impliquant uniquement un switch catégoriel entre T1 et T2, 4 ont révélé un Lag 1 sparing, (e) lorsque T1 et T2 sont présentées dans des modalités sensorielles différentes, aucun CA n'est trouvé, (f) sur 32 expériences impliquant plusieurs switches entre T1 et T2 (i.e., switch multidimensionnel), 29 n'ont révélé aucun Lag 1 sparing. Pour résumer, le Lag 1 sparing émerge lorsque le switch entre T1 et T2 est unidimensionnel et que la dimension du switch est soit la tâche soit la catégorie, alors que ce phénomène n'apparaît pas lorsque le switch entre T1 et T2 est un switch spatial unidimensionnel ou lorsque le switch entre T1 et T2 est multidimensionnel. Cette revue de la littérature concernant le Lag 1 sparing permet à Visser et al. (1999) de remettre en cause le modèle de la porte attentionnelle. En effet, ce modèle postule que le passage de la porte attentionnelle repose sur un critère de contiguïté temporelle avec T1 : un stimulus *S* est supposé passer la porte attentionnelle ouverte par T1 si le SOA T1-*S* est inférieur à la durée d'ouverture de la porte (i.e., 150-200 ms). Si le critère de contiguïté temporelle avec T1 était le seul critère de passage de la porte attentionnelle, le Lag 1 sparing aurait dû être observé dans la quasi-totalité des études passées en revue, dans lesquelles le SOA entre les stimuli est généralement inférieur ou égal à 100 ms. Or Visser et al. (1999) ont clairement montré que ce n'est pas le cas et suggèrent qu'il doit exister d'autres critères de passage de la porte attentionnelle. Les résultats de Visser et al. (1999) suggèrent que le Lag 1 sparing apparaît systématiquement lorsque aucun switch quel qu'il soit n'est requis entre T1 et T2, c'est-à-dire que les traitements respectifs des deux cibles ne diffèrent pas sensiblement, et qu'au contraire ce phénomène n'apparaît pas lorsqu'un switch multidimensionnel est requis entre les deux cibles. Dans le modèle de la porte attentionnelle révisé qu'ils proposent, Visser et al. (1999) ajoutent un critère supplémentaire au passage de la porte attentionnelle : pour passer cette porte, T2 doit correspondre aux caractéristiques du filtre d'entrée, ce qui prévient tout switch important (e.g., T2 doit être caractérisée par la même position spatiale que celle du filtre

d'entrée). Le filtre d'entrée est une entité dont le rôle est de laisser passer les cibles et de rejeter les distracteurs. Il est conceptuellement identique aux mécanismes sélectifs de l'étape 1 dans le modèle de Chun et Potter (1995) et aux représentations spécifiées des cibles (*templates*) du modèle de Shapiro et al. (1994).

Le modèle de la porte attentionnelle révisé proposé par Visser et al. (1999) se fonde sur le modèle des deux étapes de Chun et Potter (1995). Le phénomène de Lag 1 sparing est alors expliqué de la façon suivante. Dans une tâche de CA, avant le début de chaque séquence RSVP, le filtre d'entrée est paramétré de façon à laisser entrer T1 et à rejeter les distracteurs. Si le SOA T1-T2 est inférieur à la durée d'ouverture de la porte attentionnelle – ce qui est typiquement le cas en Lag 1 – et si T2 est similaire à T1 (i.e., les caractéristiques de T2 correspondent aux spécifications du filtre d'entrée fixé pour T1), alors T1 et T2 requièrent des traitements similaires et le filtre d'entrée fixé pour T1 n'a pas besoin d'être reconfiguré, ou, ce qui revient au même, un switch attentionnel ne se produit pas. Dans ce cas, T2 accède à l'étape 2 et échappe ainsi à l'influence de son masque : le Lag 1 sparing se produit. En revanche, si les caractéristiques de T2 ne correspondent pas aux spécifications du filtre d'entrée fixé pour T1 (e.g., T2 n'est pas présentée à la même position spatiale que T1 ou T2 diffère de T1 sur plus d'une dimension) alors le filtre d'entrée doit être reconfiguré pour T2. Lorsque le filtre d'entrée est fixé pour T2, la porte attentionnelle s'est fermée et T2 est toujours à l'étape 1, vulnérable au masquage. Dans ce cas, le Lag 1 sparing ne se produit pas. On voit que dans cette explication du Lag 1 sparing, le point clé est la reconfiguration du filtre d'entrée fixé pour T1. Ce phénomène se produit lorsque T1 et T2 sont similaires parce que dans ce cas, les spécifications du filtre d'entrée sont valables pour les deux cibles et ce filtre n'a dès lors pas besoin d'être reconfiguré au moment où T2 apparaît, celle-ci pouvant passer la porte attentionnelle. En revanche, ce phénomène ne se produit pas lorsque T1 et T2 sont sensiblement différentes car dans ce cas, le filtre d'entrée comporte un ensemble de spécifications pour T1 et un ensemble de spécifications pour T2. Au moment où T2 apparaît, le filtre d'entrée doit switcher de l'ensemble de spécifications pour T1 à l'ensemble de spécifications pour T2, ce switch ayant un coût temporel. Ainsi, au moment où le filtre d'entrée est configuré pour T2, la porte attentionnelle est déjà fermée et T2 est bloquée à l'étape 1.

Potter, Staub et O'Connor (2002) ont également investi le phénomène de Lag 1 sparing. Ils montrent que pour des SOA T1-T2 très courts (inférieurs à 103 ms), le taux de rappels corrects de T2 est supérieur à celui de T1. Sur la base de ces résultats, Potter et al. (2002) proposent un nouveau modèle du Lag 1 sparing (*two-stage competition model of*

attention) en se basant sur le modèle de Chun et Potter (1995) : l'attention serait labile lors de l'étape 1 et fixe lors de l'étape 2. A l'étape 1, l'attention demeure labile jusqu'au moment où l'une des cibles a été identifiée. Alors que Chun et Potter (1995) expliquent le Lag 1 sparing sur la base de l'hypothèse de la porte attentionnelle (la lente fermeture de cette porte permet l'entrée de T1 et de T2 à l'étape 2), Potter et al. (2002) postulent une compétition pour les ressources attentionnelles entre T1 et T2 au niveau de l'étape 1, lorsque l'attention est labile. Lorsque T2 arrive très rapidement après T1, T2 détournerait les ressources attentionnelles initialement allouées à T1, ce qui aurait pour effet de ralentir le traitement de T1 et d'augmenter la probabilité que T2 soit la première à être identifiée (fin de l'étape 1) et consolidée en mémoire à court terme (fin de l'étape 2). Plus le SOA T1-T2 est court, plus les chances de T2 de gagner la compétition à l'étape 1 sont élevées. Ce modèle n'est cependant pas théoriquement satisfaisant, car s'il permet d'expliquer (de façon peu convaincante) pourquoi T2 est mieux rappelée que T1 pour des SOA T1-T2 très courts, il ne permet pas d'expliquer pourquoi le taux de rappels corrects de T2 *et* T1 est relativement élevé pour ces SOA T1-T2.

3.1.2 La double tâche

Le deuxième facteur déterminant du CA est la situation de double tâche, autrement dit, le fait que le sujet doit effectuer une tâche à la fois sur T1 et sur T2. Aucun CA n'est observé lorsque le sujet ne réalise pas de tâche sur T1 (Raymond et al., 1992). Le fait de faire réaliser une tâche sur T1 est un moyen de concentrer les ressources attentionnelles du sujet sur T1. Au contraire, le fait d'ignorer T1 est un moyen de ne pas dépenser les ressources attentionnelles sur ce stimulus. D'ailleurs, la mise en évidence princeps du phénomène de CA par Raymond et al. (1992) repose sur la comparaison de deux conditions, une condition contrôle dans laquelle les sujets doivent ignorer T1 et une condition expérimentale dans laquelle les sujets doivent réaliser une tâche d'identification sur T1 (dans les deux conditions, les sujets doivent réaliser une tâche de détection sur T2). En montrant une différence significative entre ces deux conditions – pour un intervalle donné de Lags – et en supposant que la réalisation d'une tâche d'identification met en jeu un traitement cognitif qui requière l'attention, Raymond et al. (1992) suggèrent que c'est la mobilisation des ressources attentionnelles à l'égard de T1 qui induit le phénomène de CA.

Comme nous l'avons explicité dans la partie 1.3 et comme nous venons de le rappeler, la mise en évidence d'un CA requiert la comparaison de deux conditions, une condition contrôle et une condition expérimentale. Dans une tâche de CA, il existe deux conditions contrôle possible : une dans laquelle T1 est présente dans les séquences RSVP, les sujets devant ignorer T1 (c'est la condition contrôle la plus fréquemment utilisée) et une autre dans laquelle T1 est remplacée par un distracteur. Spalek, Falcon et Di Lollo (2006) ont récemment suggéré que la condition contrôle dans laquelle les sujets doivent ignorer T1 est appropriée uniquement si T1 n'est pas similaire à T2. En effet, si T1 possède les caractéristiques de T2, alors T1 est susceptible de faire l'objet d'une capture attentionnelle en raison de sa ressemblance avec T2, et ce, en dépit de l'instruction d'ignorer T1. Spalek et al. (2006) font valoir que dans ce cas, le phénomène de CA se produit même dans la condition contrôle, ce qui rend inappropriée la comparaison des résultats obtenus dans cette condition avec ceux obtenus dans la condition expérimentale. Lorsque T1 et T2 sont similaires, la condition contrôle appropriée est celle dans laquelle T1 est remplacée par un distracteur.

3.1.3 Le masquage des cibles

Comme le montre la figure 1, les cibles T1 et T2 sont toujours masquées dans une tâche de CA (par les stimuli T1+1 et T2+1, respectivement). Le type de masquage utilisé dans le paradigme de CA correspond à type de masquage bien connu dans le domaine du masquage visuel. Le masquage visuel renvoie à l'étude de l'influence d'un stimulus appelé « masque » sur la visibilité d'un autre stimulus appelé « cible », lorsque le masque est spatio-temporellement proche de la cible (*cf.* Enns & Di Lollo, 2000, pour une revue). Le masquage des cibles dans le paradigme de CA est un masquage par pattern. Avec ce type de masquage, les contours du masque recouvrent les contours de la cible. Un paramètre clé est le SOA entre la cible et le masque : si le SOA est égal à 0 ms, alors les deux stimuli sont superposés ; si le SOA est supérieur à 0 ms, alors le masque apparaît à la même position spatiale que la cible et occupe l'espace que celle-ci occupait. Le masquage par pattern peut donner lieu à deux types de conflits spatio-temporels, chacun étant associé à un processus cognitif spécifique. Le premier type de conflit spatio-temporel entre la cible et le masque se produit lorsque les deux stimuli sont associés dans un même percept. Le masque correspond alors à un bruit visuel ajouté à un signal correspondant à la cible. Dans ce cas, le masque interfère avec la cible au niveau des phases précoces du traitement de celle-ci. Le processus cognitif sous-jacent à ce

type de conflit spatio-temporel entre la cible et son masque est le processus d'intégration et on parlera ainsi de masquage par intégration (l'efficacité de ce type de masquage est maximale pour un SOA entre la cible et le masque égal à 0 ms). Le deuxième type de conflit spatio-temporel entre la cible et le masque se produit lorsque le masque, présenté après la cible à la même position spatiale, vient interrompre le traitement de celle-ci. Dans ce cas, le masque interfère avec la cible au niveau des phases tardives du traitement de celle-ci (e.g., reconnaissance de l'objet). Le processus cognitif sous-jacent à ce type de conflit spatio-temporel entre la cible et son masque est le processus d'interruption et on parlera ainsi de masquage par interruption. Le rôle du masquage des cibles dans le paradigme du CA a fait l'objet de plusieurs études dont les résultats convergent. Il convient d'étudier séparément le rôle du masquage de T1 d'une part et le rôle du masquage de T2 d'autre part.

En ce qui concerne le masquage de T1, Seiffert et Di Lollo (1997), Giesbrecht et Di Lollo (1998), Brehaut, Enns et Di Lollo (1999), Grandison, Ghirardelli et Egeth (1997) ont montré d'une part, que le masquage de T1 est une condition nécessaire à l'apparition d'un CA et d'autre part, que le type de masquage de T1 n'importe pas (masquage par lumière, masquage par pattern, masquage metacontraste). En outre, l'augmentation de l'efficacité du masque sur T1 a pour effet de diminuer la performance sur T1 et d'augmenter l'amplitude du CA (Seiffert & Di Lollo, 1997) et, réciproquement, la suppression du masque sur T1 (distracteur T1+1 dans les séquences RSVP) entraîne une amélioration de la performance sur T1 ainsi qu'une diminution (Seiffert & Di Lollo, 1997) voire une disparition (Raymond et al., 1992) du CA. Enfin, Moore, Egeth, Berglan et Luck (1996) ont obtenu des résultats similaires avec le paradigme des deux cibles en montrant que la suppression ou le retardement du début de présentation du masque sur T1 entraîne une amélioration de la performance à la fois sur T1 et sur T2. Il pourrait paraître paradoxal au premier abord que le masquage de T1 dégrade moins la performance sur T1 que la performance sur T2. Seiffert et Di Lollo (1997) ainsi que Grandison et al. (1997) fournissent la même explication théorique de la nécessité de masquer T1 afin d'observer le CA. Cette explication théorique prend le modèle des deux étapes de Chun et Potter (1995) comme cadre de référence et stipule que la présence d'un masque sur T1 a pour effet d'augmenter la durée du traitement de ce stimulus, cette augmentation temporelle n'ayant pas (ou peu) d'influence sur la performance sur T1. L'augmentation de la durée du traitement de T1 entraîne inévitablement une augmentation du temps d'attente de la représentation visuelle précoce de T2 à l'entrée de l'étape 2, quand le SOA T1-T2 est court. Or ce temps d'attente est positivement lié à la probabilité de dégradation ou de substitution de la représentation visuelle du masque sur T2 à la représentation visuelle précoce de T2. Par

conséquent, en augmentant la durée du traitement de T1, la présence du masque sur T1 augmente le délai dans le traitement de T2 quand le SOA T1-T2 est court, la durée importante de ce délai laissant une large place au remplacement de la représentation de T2 par la représentation de T2+1.

En ce qui concerne le masquage de T2, Giesbrecht et Di Lollo (1998), Brehaut, Enns et Di Lollo (1999) ont montré que le CA n'apparaît pas lorsque T2 n'est pas masquée (i.e., T2 est le dernier stimulus de la séquence RSVP). Ce résultat a été répliqué dans plusieurs études (e.g., Vogel & Luck, 2002). De plus, Giesbrecht et Di Lollo (1998) montrent que bien que le type de masquage de T1 n'importe pas, T2 doit au contraire être masquée par interruption pour observer un CA. Utilisant une tâche standard de CA dans laquelle les cibles sont des lettres, Giesbrecht et Di Lollo (1998) comparent l'amplitude du CA lorsque T2 est masquée par un chiffre arrivant juste après elle (i.e., masquage par interruption) et lorsque T2 est masquée par un chiffre qui lui est spatialement superposé (i.e., masquage par intégration). Giesbrecht et Di Lollo (1998) montrent que lorsque T2 est masquée par interruption, un CA typique de produit pendant approximativement 200 ms, ce résultat étant cohérent avec les résultats antérieurs classiques (Chun & Potter, 1995 ; Raymond et al., 1992 ; Shapiro et al., 1994). En revanche, lorsque T2 est masquée par intégration, la performance sur T2|T1 est atténuée de façon égale suivant le SOA T1-T2 (aux alentours de 55% de réponses correctes relatives à T2|T1) : l'amplitude de ce déficit de performance n'est pas fonction du SOA T1-T2. Brehaut, Enns et Di Lollo (1999) ont obtenu des résultats similaires à ceux de Giesbrecht et Di Lollo (1998) en utilisant le paradigme des deux cibles. Les résultats de Giesbrecht et Di Lollo (1998) et Brehaut et al. (1999) suggèrent que le masquage des cibles dans le paradigme de CA n'a pas pour simple fonction de rendre les tâches sur les cibles plus difficiles, permettant ainsi de fournir des valeurs discriminables de la variable dépendante (i.e., la performance sur T2|T1). En effet, lorsque T2 n'est pas masquée, on observe typiquement que la performance T2|T1 avoisine les 100% pour toutes les valeurs du Lag, et l'on pourrait alors penser que cette absence de CA est due à un effet plafond (*ceiling effect*). Mais Giesbrecht et Di Lollo (1998) ont falsifié l'hypothèse selon laquelle l'absence de CA lorsque T2 n'est pas masquée ne serait due qu'à un effet plafond en montrant que le même pattern pouvait être obtenu quand les valeurs de la VD ne plafonnent pas. Les résultats de Giesbrecht et Di Lollo (1998) et Brehaut et al. (1999) suggèrent au contraire que le masque sur T1 et le masque sur T2 jouent chacun un rôle spécifique dans l'émergence du CA.

Sur la base du modèle des deux étapes de Chun et Potter (1995), Giesbrecht et Di Lollo (1998) ont avancé l'hypothèse selon laquelle le processus de remplacement de la

représentation de T2 par la représentation de T2+1 – pour des SOA T1-T2 courts – est directement lié au type de masquage de T2 (i.e., à la relation spatio-temporelle entre T2 et T2+1). Giesbrecht et Di Lollo (1998) nomment ce processus de substitution de la représentation du masque à la représentation de la cible « substitution de l'objet » et affirment que ce processus se produit lors d'un masquage par interruption. Dell'Acqua, Pascali, Jolicoeur et Sessa (2003) ont testé cette hypothèse selon laquelle le processus par lequel T2+1 influence T2 est la substitution de l'objet en utilisant un type de masquage particulier mis au point par Enns et Di Lollo (1997). Ces derniers ont créé une nouvelle technique de masquage qui consiste à masquer une cible visuelle en présentant un backward masque correspondant à quatre points entourant l'espace dans lequel la cible a été présentée. Cette forme de masquage a été appelée masquage par substitution de l'objet ou masquage « quatre points » (*four-dot masking*), car on suppose que l'influence de ce type de masquage se situe au niveau des phases tardives du traitement de la cible visuelle. Di Lollo et Enns (Enns & Di Lollo, 1997 ; Di Lollo, Enns & Rensink, 2000) ont montré que l'efficacité du masquage par quatre points est sensible aux manipulations de l'attention allouée à la cible : ce type de masquage est efficace uniquement lorsque la cible apparaît à un endroit vers lequel l'attention n'était pas dirigée. Autrement dit, le masquage par quatre points ne fonctionne qu'en situation de déficit attentionnel sur la cible. Le mécanisme cognitif sous-jacent au masquage par quatre points est le mécanisme de substitution de l'objet par lequel la représentation du masque se substitue à la représentation – en cours d'élaboration – de la cible avant que celle-ci ne soit identifiée (Enns & Di Lollo, 1997, 2000). L'influence du masquage par quatre points sur une cible visuelle se situe donc au niveau des phases tardives du traitement visuel de la cible, non au niveau des phases précoces de ce traitement. Dell'Acqua et al. (2003) ont donc examiné si l'utilisation d'un masquage par quatre points comme procédure de masquage de T2 permettait d'obtenir un CA. Cette expérience permet de tester l'hypothèse de Giesbrecht et Di Lollo (1998) selon laquelle le mécanisme sous-jacent au masquage de T2 dans le paradigme de CA est la substitution de l'objet. Dell'Acqua et al. (2003) ont montré qu'un masquage par quatre points de T2 permet d'obtenir un CA.

Tout comme l'explication du rôle du masquage de T1 dans le paradigme de CA, l'explication du rôle du masquage de T2 repose également sur le modèle des deux étapes. Suivant ce modèle, un délai apparaît dans le traitement de T2 à l'entrée de l'étape 2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA. Durant ce délai, deux mécanismes sont susceptibles d'expliquer le déficit de performance sur T2|T1. Premièrement, on peut supposer que la représentation de T2 se dégrade progressivement pendant le délai. Cependant, un des

résultats de Giesbrecht et Di Lollo (1998) suggère que ce mécanisme n'est pas valable. En effet, si tel était le cas, alors le déficit de performance sur T2 dans la condition où T2 était masquée par intégration aurait dû être conséquent uniquement pour des SOA T1-T2 courts (i.e., lorsqu'un délai se produit dans le traitement de T2). Or Giesbrecht et Di Lollo (1998) ont montré que dans cette condition, la performance sur T2|T1 est la même quel que soit le SOA T1-T2. Ceci suggère que la dégradation passive de la représentation de T2 à l'issue de l'étape 1 n'est pas la cause du déficit de performance dans la tâche sur T2 observé pour des SOA T1-T2 courts. Deuxièmement, étant donné que l'étape 1 du traitement du stimulus T2+1 se déroule pendant le délai dans le traitement de T2 (le modèle des deux étapes stipule que les étapes 1 peuvent se dérouler parallèlement avec d'autres étapes), on peut supposer que la représentation perceptuelle de T2 est remplacée par la représentation perceptuelle de T2+1 à l'entrée de l'étape 2 sérielle (i.e., substitution de l'objet). C'est alors la représentation perceptuelle du masque de T2 qui bénéficie des traitements caractéristiques de l'étape 2. L'influence du masque de T2 dans le phénomène de CA correspondrait donc au processus de substitution de l'objet, processus se produisant pour des SOA T1-T2 courts (lorsqu'un délai se produit dans le traitement de T2) et à l'origine du déficit de performance sur T2 pour ces SOA T1-T2. L'hypothèse d'une substitution de T2+1 à T2 est appuyée empiriquement par le fait que lorsque T2 n'est pas correctement rappelée, c'est souvent T2 +1 qui est rapporté au lieu de T2 (Chun, 1997 ; Maki, Couture, Frigen & Lien, 1997 ; Isaak, Shapiro & Martin, 1999). Par conséquent, comme le suggèrent Brehaut et al. (1999) et Enns et al. (2001), le masquage semble jouer deux rôles dans le paradigme de CA. Les explications théoriques les plus solides permettant de rendre compte du rôle des masques sur les cibles reposent le modèle des deux étapes.

Les résultats relatifs au rôle du masquage des cibles dans le paradigme de CA peuvent donner lieu à l'interprétation du CA selon laquelle ce phénomène confirme les propriétés du masquage par interruption. En effet, les recherches sur le masquage de stimuli visuels ont montré que le masquage par interruption est sensible aux manipulations de l'attention (Spencer & Shuntich, 1970 ; Enns & Di Lollo, 1997 ; Di Lollo, Enns & Rensink, 2000). Plus précisément, un masquage par interruption d'une cible visuelle donnée est efficace lorsque le focus attentionnel n'est pas dirigé vers la position spatiale de la cible au moment où celle-ci est présentée. Il existe plusieurs moyens de détourner le focus attentionnel de la position spatiale de la cible avant la présentation de celle-ci. Par exemple, une technique consiste à présenter un stimulus antérieur à la cible doté d'une position spatiale différente de celle-ci. On suppose alors qu'au moment où la cible apparaît, le focus attentionnel est dirigé vers la

position spatiale du stimulus présenté antérieurement. Une autre technique consiste à choisir un *set-size* élevé (le *set-size* désigne l'ensemble des cibles potentielles mais qui en réalité ne sont que des distracteurs) : on suppose que plus le *set-size* est élevé, moins la probabilité que le focus attentionnel soit dirigé vers la cible au moment où celle-ci apparaît est élevée. Les recherches sur le masquage de stimuli visuels suggèrent donc que le masquage par interruption d'une cible visuelle est efficace lorsque l'attention n'est pas dirigée vers la cible au moment où celle-ci apparaît, autrement dit, lorsque la cible visuelle ne reçoit pas d'attention. Or dans une tâche de CA, quand le SOA T1-T2 est court, on suppose que T2 est victime d'un déficit attentionnel induit par T1. Le détournement attentionnel et le déficit attentionnel correspondraient ainsi à deux situations cognitives empêchant une cible visuelle de recevoir de l'attention. Imaginez que vous éclairez un objet (la cible) avec un rayon lumineux (l'attention) issu d'une lampe torche (le système exécutif). Si vous voulez ne plus éclairer cet objet, deux moyens sont à votre disposition : vous pouvez détourner le rayon lumineux de l'objet ou vous pouvez, sans changer la direction du rayon lumineux, diminuer son intensité. Dans les deux cas, le résultat est le même, l'objet reçoit moins de lumière. Pour revenir au rôle de l'attention dans le masquage par interruption, on peut imaginer que le paradigme de CA offre une situation idéale permettant de vérifier l'efficacité de ce type de masquage en situation de déficit attentionnel (et non de détournement attentionnel). Pour des SOA T1-T2 courts, T2 serait plus vulnérable au masquage par interruption en raison de la présence d'un déficit attentionnel induit par T1. Ainsi, comme le soulignent Enns et al. (2001): "Namely, visual pattern perception is shown to be vulnerable to backward masking only when attention cannot be focused rapidly on a target stimulus. This means that in a typical attentional blink experiment, the second target is inherently more vulnerable to backward masking than the first." (p.66). Le masquage par intégration, au contraire du masquage par interruption, n'est pas sensible aux manipulations de l'attention. Or Giesbrecht et Di Lollo (1998), Brehaut, Enns et Di Lollo (1999) ont montré que dans une tâche de CA, lorsque T2 est masquée par intégration, la performance sur T2 est atténuée de façon égale quel que soit le Lag. En supposant que la quantité de ressources attentionnelles disponibles varie entre les Lag (ces ressources sont faibles pour des SOA courts puis redeviennent conséquentes à des SOA plus longs), on peut légitimement voir dans ce résultat une confirmation du fait le masquage par intégration est insensible aux variations de l'attention. En revanche, le fait que le masquage par interruption de T2 permette d'obtenir la courbe caractéristique du CA (taux de rappels corrects de T2/T1 en fonction du Lag) confirme le fait que ce type de masquage est sensible aux variations de l'attention : son efficacité est

maximale lorsque l'attention portée à la cible est faible (Lag courts), et minimale lorsque l'attention portée à la cible est élevée (Lag longs).

3.2 Les facteurs modérateurs du CA

L'autre classe de facteurs clés du CA correspond aux facteurs modérateurs de ce phénomène. Parmi eux, nous distinguons deux : le degré de similarité entre les cibles et les distracteurs et le switch entre T1 et T2.

3.2.1 Le degré de similarité entre les cibles et les distracteurs

Depuis l'article princeps de Raymond et al. (1992), ce facteur a fait l'objet de nombreuses études. Parmi l'ensemble des distracteurs d'une séquence RSVP, les masques sur les cibles (i.e., distracteurs T1+1 et T2+1) constituent des distracteurs particuliers. En tant que tels, l'étude de l'influence du degré de similarité entre les cibles et leurs masques respectifs sur le CA est d'un intérêt crucial. Ceci dit, les autres distracteurs d'une séquence RSVP ne sont pas en reste, et l'étude de l'influence du degré de similarité entre les cibles et ces distracteurs sur le CA est d'un intérêt tout aussi capital.

3.2.1.1 Le cas des masques

Dans une tâche de CA, le masque sur T1 et le masque sur T2 sont avant tout des distracteurs, notés T1+1 et T2+1 respectivement. Un type de similarité pertinent entre une cible et un masque est tel qu'une variation du degré de ce type de similarité entraîne une variation de l'efficacité du masque. On dit alors que la cible et son masque interfèrent au niveau de similarité en question. Dans le paradigme de CA, le niveau auquel les cibles et leurs masques interfèrent (i.e., le type de similarité pertinent entre les cibles et leurs masques) est toujours débattu à l'heure actuelle : certains résultats indiquent que les cibles et les masques interfèrent à un niveau perceptuel alors que d'autres résultats indiquent que ces stimuli interfèrent à un niveau conceptuel.

Raymond, Shapiro et Arnell (1995) ont examiné le niveau auquel T1 et son masque (i.e., distracteur T1+1) interfèrent. En utilisant des lettres comme stimuli pour T1 et T2, ils ont

fait varier le degré de similarité entre T1 et T1+1 à trois niveaux : catégoriel (ou conceptuel) (T1+1 est un chiffre), perceptuel (T1+1 est un ensemble de points répartis de façon aléatoire dans l'espace typiquement occupé par une lettre) et spatial (T1+1 est une lettre apparaissant à une position spatiale différente de celle de T1). Raymond et al. (1995) ont montré que l'amplitude du CA était réduite lorsque T1+1 était perceptuellement ou spatialement dissimilaire à T1 mais pas lorsque ces deux stimuli étaient catégoriellement dissimilaires. Ce résultat suggère que l'interférence entre T1 et son masque est une interférence de bas niveau et remet en cause par là même l'hypothèse du modèle de l'interférence selon laquelle la compétition entre T1, T2, T1+1 et T2+1 se situe à un niveau conceptuel. Chun et Potter (1995) ont appuyé l'hypothèse d'une interférence de bas niveau entre les cibles et leurs masques en montrant que le CA est plus faible lorsque T2 est une lettre et T2+1 est un symbole (e.g., « & », « # ») (i.e., faible similarité perceptuelle) que lorsque T2 est une lettre et T2+1 un chiffre (i.e., forte similarité perceptuelle). Ce résultat suggère que l'interférence entre T2 et son masque se joue au niveau perceptuel. Maki, Bussard, Lopez et Digby (2003) ont cependant suggéré que ce résultat de Chun et Potter (1995) (amplitude du CA plus faible quand T2 est une lettre et T2+1 un symbole que lorsque T2 est une lettre et T2+1 un chiffre) était peut être dû au fait que le degré de similarité conceptuelle entre une lettre et un symbole est moins élevé que celui entre une lettre et un chiffre. Maki et al. (2003) font donc valoir que dans ce résultat de Chun et Potter (1995), le degré de similarité conceptuelle entre T2 et T2+1 n'est pas contrôlé, il co-varie avec le degré de similarité au niveau perceptuel entre les deux stimuli (e.g., plus de différences conceptuelle et perceptuelle entre « B » et « = » qu'entre « B » et « 7 »). Dux et Coltheart (2005) ont relevé ce point : "A problem with previous studies investigating this question is that in none of them was conceptual similarity between targets and distractors manipulated while featural similarity was held constant." (p.776). Dux et Coltheart (2005) ont ainsi réalisé l'expérience suivante. Ils utilisent des lettres comme cibles et des stimuli ambigus parmi les stimuli distracteurs (les stimuli ambigus correspondent aux symboles « **S** » et « **O** », le premier pouvant s'interpréter soit comme la lettre « S » soit comme le chiffre « 5 », le second pouvant s'interpréter soit comme la lettre « O » soit comme le chiffre « 0 »). Dans une condition, les distracteurs sont des lettres (incluant les distracteurs ambigus) (condition « Lettres » : on suppose que le sujet perçoit les distracteurs ambigus comme des lettres) ; dans une autre condition, les distracteurs sont des chiffres (incluant également les distracteurs ambigus) (condition « Chiffres » : on suppose que le sujet perçoit les distracteurs ambigus comme des chiffres). Le point d'intérêt consiste à comparer la

condition « Ambiguïté – Lettres » avec la condition « Ambiguïté – Chiffres » car le degré de similarité au niveau perceptuel entre les cibles et les distracteurs est maintenu constant entre les deux conditions (les stimuli sont les mêmes). Le seul élément qui différencie les deux conditions est le degré de similarité conceptuelle entre les cibles et les distracteurs (ce degré de similarité est élevé dans la condition Ambiguïté – Lettres et faible dans la condition Ambiguïté – Chiffres). Dux et Coltheart (2005) observent que l'amplitude du CA est plus forte dans la condition « Ambiguïté – Lettres » que dans la condition « Ambiguïté – Chiffres »⁹. Ils en déduisent que l'interférence entre les cibles et les distracteurs a lieu (au moins) au niveau des phases conceptuelles dans le traitement de ces stimuli. De plus, Dux et Coltheart (2005) argumentent en faveur de l'idée selon laquelle l'interférence cibles – distracteurs a lieu à la fois au niveau perceptuel et au niveau conceptuel. En effet, cette interférence ne peut pas avoir uniquement lieu au niveau conceptuel puisque même lorsque la similarité conceptuelle entre les cibles et les distracteurs est relativement faible (e.g., chiffres vs. lettres), un CA est toujours observé, mais son amplitude est moindre que lorsque la similarité conceptuelle entre les cibles et les distracteurs est élevée. Drew et Shapiro (2006) ont également réalisé une expérience dont le résultat corrobore l'hypothèse de l'interférence de haut niveau entre les cibles et leurs masques dans le paradigme de CA. Ils utilisent le phénomène de *repetition blindness* (Kanwisher, 1987 ; Kanwisher & Potter, 1990) pour étudier le type d'influence qu'exercent les masques sur leurs cibles respectives dans le paradigme de CA. Drew et Shapiro (2006) se demandent s'il est possible que dans ce paradigme, l'influence des masques sur leurs cibles se joue au niveau conceptuel et pas uniquement au niveau perceptuel. Le raisonnement sous-jacent à leur expérience est le suivant. Dans le phénomène de *repetition blindness*, la visibilité de la deuxième occurrence d'un stimulus est affaiblie lorsque sa première occurrence a eu lieu quelques millisecondes auparavant, ce phénomène étant dû, selon le modèle de Kanwisher, à une défaillance au niveau conceptuel dans le traitement de la deuxième occurrence du stimulus (i.e., tokenisation) et non au niveau perceptuel. Or, dans le paradigme de CA, si les masques exercent une influence sur les cibles au niveau conceptuel, alors cette influence devrait être réduite en rendant les masques invisibles par le *repetition blindness*. Pour rendre un masque (celui sur T1 ou celui sur T2) invisible, Drew et Shapiro utilisent ce masque en distracteur T-1. Ils observent que l'amplitude du CA est effectivement plus faible lorsque les distracteurs T1-1 et T1+1 (expérience 1) d'une part et T2-1 et T2+1 (expérience 3) d'autre part sont

⁹ On notera toutefois que cette différence est statistiquement significative uniquement pour un SOA T1-T2 de 200 ms.

identiques que lorsque ces distracteurs sont différents. En outre, Drew et Shapiro (2006) (Expérience 2) montrent, dans une tâche où les sujets doivent restituer T1-1, T1 et T1+1 que le taux de rappels corrects du distracteur T1+1 est significativement plus faible lorsque T1-1 et T1+1 sont identiques que lorsque T1-1 et T1+1 sont différents (ce résultat suggère que le phénomène de *repetition blindness* a bien eu lieu dans les expériences 1 et 3). Les résultats de Drew et Shapiro (2006) suggèrent donc que dans le paradigme de CA, les masques exercent une influence sur le traitement des cibles au niveau conceptuel.

3.2.1.2 Le cas des distracteurs autres que les masques

Chun et Potter (1995) ont montré que, T1 et T2 étant des lettres, l'amplitude du CA est plus faible lorsque les distracteurs sont des symboles (e.g., « & », « # ») que lorsque les distracteurs sont des chiffres. Étant donné que le degré de similarité perceptuelle entre une lettre et un symbole est plus faible que le degré de similarité perceptuelle entre une lettre et un chiffre, ce résultat suggère que l'amplitude du CA est influencée par le degré de similarité perceptuelle entre les cibles et les distracteurs (relation positive entre les deux variables). Chun et Potter (1995) expliquent ce phénomène sur la base de leur modèle des deux étapes de la façon suivante. Lorsque le degré de similarité perceptuelle entre les cibles et les distracteurs soit faible, alors la sélection de la représentation perceptuelle de T1 parmi les représentations perceptuelles des distracteurs précédant T1 à la fin de l'étape 1 du traitement de T1 est aisée. Dans ce cas de figure, Chun et Potter (1995) supposent que le critère de détection de la représentation perceptuelle de T1 est moins exigeant, d'où une durée moins longue de l'étape 1 du traitement de T1. Ceci implique que le délai dans le traitement de T2 (lorsque le SOA T1-T2 est court) est moins long, et qu'ainsi la probabilité d'une substitution de T2+1 à T2 est plus faible. Par conséquent, l'amplitude du CA serait plus faible quand le degré de similarité perceptuelle entre les cibles et les distracteurs est faible que quand ce degré de similarité est élevé. Toutefois, Isaak et al. (1999), en réexaminant ce résultat de Chun et Potter (1995), font valoir que le degré de similarité conceptuelle entre une lettre et un symbole est également plus faible que le degré de similarité conceptuelle entre une lettre et un chiffre¹⁰. Dans leur troisième expérience, Isaak et al. (1999) utilisent une tâche RSVP squelette avec en plus un distracteur T1+2 entre T1+1 et T2. T1 et T2 sont des lettres données. Chacun des stimuli

¹⁰ Isaak et al. (1999) ainsi que Maki et al. (2003) ont adressé la même critique à l'égard des résultats de Chun et Potter (1995) concernant l'influence du degré de similarité entre les cibles et les distracteurs sur le CA.

correspondant à T1+1, T1+2 et T2+1 pouvait être soit une lettre donnée soit un pattern géométrique possédant le même nombre de segments que la lettre en question (i.e., la lettre et le pattern géométrique sont similaires au niveau perceptuel). Isaak et al. (1999) montrent : (a) un CA significatif allant d'un SOA T1-T2 = 270 ms jusqu'à un SOA T1-T2 = 540 ms ; (b) une relation linéaire positive entre le nombre de lettres dans les séquences et l'amplitude du CA. Ce résultat suggère que la compétition entre les stimuli en MVCT se déroule à un niveau conceptuel plutôt qu'à un niveau perceptuel, comme le postule le modèle de l'interférence. En effet, si cette compétition se déroulait à un niveau perceptuel, l'amplitude du CA devrait être la même que les stimuli correspondant à T1+1, T1+2 et T2+1 soient des lettres ou des patterns géométriques (puisque les patterns géométriques possèdent les mêmes propriétés perceptuelles que les lettres). Or Isaak et al. (1999) montrent que l'amplitude du CA est plus grande lorsque ces stimuli correspondent à des lettres (i.e., conceptuellement proches des cibles) que lorsque ces stimuli sont des patterns géométriques (i.e., conceptuellement différents des cibles). En outre, une analyse secondaire des résultats obtenus dans cette expérience révèle que le degré de similarité perceptuelle entre T1 et T1+1 n'influence pas l'amplitude du CA.

L'étude de l'influence du degré de similarité entre les cibles et les distracteurs sur le CA a renforcé la pertinence de l'idée de filtre d'entrée et de réglages du contrôle attentionnel. Les réglages du contrôle attentionnel d'un sujet *s* pour une tâche donnée faisant intervenir des stimuli visuels renvoient à la façon dont le système visuel de *s* est configuré pour traiter efficacement les stimuli pertinents pour la tâche. Ainsi, dans une tâche RSVP dans laquelle les cibles sont des lettres, des distracteurs tels que des nuages de points aléatoires seront efficacement filtrés par le système attentionnel alors que des distracteurs tels que des chiffres ou des pseudo-lettres seront susceptibles de passer le filtre attentionnel et d'interférer avec les cibles au niveau du processus d'identification. Une tâche RSVP standard et une tâche RSVP squelette diffèrent essentiellement au niveau des distracteurs précédant directement les cibles (ces distracteurs sont présents dans une tâche RSVP standard et absents dans une tâche RSVP squelette). Une première influence possible de ces distracteurs sur les cibles dans une tâche RSVP standard concerne le forward masking. Une seconde influence possible de ces distracteurs renvoie au mécanisme de capture attentionnelle contingente (Folk & Remington, 1998) par lequel un distracteur précédant une cible et partageant des caractéristiques communes avec celle-ci est susceptible d'attirer les ressources attentionnelles vers lui au détriment de la cible qui suit. Folk, Remington et Johnston (1992) ont par exemple montré dans une tâche RSVP que les temps de réponse à une cible de couleur rouge étaient plus longs

quand la cible était précédée par un distracteur de couleur rouge apparaissant à une position spatiale différente de celle de la cible que quand un distracteur de couleur rouge apparaissait au même endroit que la cible. Folk et al. (1992) expliquent ce résultat en postulant que dans cette tâche, un des réglages du système attentionnel concerne la couleur, ainsi tous les stimuli de couleur rouge attirent l'attention (i.e., ces stimuli font l'objet d'une capture attentionnelle). Lorsque le distracteur et la cible apparaissent à des positions spatiales différentes, le système attentionnel doit switcher entre deux positions spatiales (ce switch ayant un coût temporel), chose qu'il ne doit pas faire lorsque les deux stimuli apparaissent au même endroit. Ghorashi, Zuvic, Visser et Di Lollo (2003) ont affiné le résultat de Folk et al. (1992) en montrant que le temps de réponse à une cible dans une tâche RSVP est plus long lorsque les distracteurs précédant la cible partagent des propriétés communes avec celle-ci que dans le cas contraire, et ce, que les distracteurs et la cible apparaissent à des positions spatiales différentes ou identiques. Les distracteurs similaires à la cible ont donc fait l'objet d'une capture attentionnelle de type non spatial. Ce résultat suggère que le phénomène de capture attentionnelle d'un distracteur précédant une cible induit à lui seul une interférence – prenant la forme d'un délai – dans le traitement de la cible. Selon Ghorashi et al. (2003), la durée du délai dans le traitement de la cible correspond à la durée du traitement du distracteur similaire qui la précède. Selon Visser et al. (2004), la forme de capture attentionnelle non spatiale mise en évidence par Ghorashi et al. (2003) se retrouve dans les tâches standard de CA, mais pas dans les tâches du paradigme des deux cibles et du paradigme RSVP squelette. Afin d'étudier le rôle du mécanisme de capture attentionnelle dans les tâches de CA, Visser et al. (2004) utilisent une tâche hybride : il s'agit d'une tâche RSVP mais dans laquelle les deux cibles apparaissent à des positions spatiales différentes, les masques apparaissant au même endroit que leurs cibles respectives. Cette tâche hybride permet d'établir des comparaisons directes avec la tâche deux-cibles (le seul élément qui différencie ces deux tâches est la présence de distracteurs autres que les masques). Visser et al. (2004) montrent premièrement que l'amplitude du CA obtenu dans la tâche hybride est plus importante que celle du CA obtenu dans la tâche deux-cibles, et ce, que les distracteurs (chiffres) et les cibles (lettres) dans la tâche hybride apparaissent à des positions spatiales identiques ou différentes. Deuxièmement, ils montrent que l'amplitude du CA est positivement liée au degré de similarité entre les cibles et les distracteurs. Visser et al. (2004) montrent en effet, en utilisant des lettres comme cibles, que l'amplitude du CA lorsque les distracteurs sont des lettres est plus élevée que celle obtenue lorsque les distracteurs sont des pseudo-lettres, elle-même plus élevée que celle obtenue lorsque les distracteurs sont des chiffres, elle-même plus élevée que celle obtenue

lorsque les distracteurs sont des points aléatoires. Visser et al. (2004) montrent en outre que lorsque les distracteurs et les cibles appartiennent à la même catégorie (i.e., degré de similarité maximale), la performance sur T1 est aussi dégradée dans ce cas. Sur la base de ces résultats, Visser et al. (2004) mettent en avant la pertinence de la notion de filtre d'entrée et implémentent ce système au niveau de l'étape 1 du modèle des deux étapes : ils postulent que les stimuli passant le filtre d'entrée accèdent à l'étape 2. Le filtre d'entrée est supposé être lié aux objectifs de la tâche : "Programming the input filter is said to be part of a goal-directed process aimed at tuning the visual system to those attributes and characteristics of incoming stimuli that are likely to prove useful for performing the task at hand." Nieuwenstein (2006) a montré que le filtre d'entrée était clairement lié aux buts de la tâche sur T2. Cependant, on notera que si la mise en évidence d'un déficit de la performance sur T1 lorsque la similarité entre les distracteurs et les cibles est maximale corrobore les explications de Visser et al. (2004), celles-ci ne permettent pas toutefois de rendre compte de l'asymétrie du déficit de performance sur T1 et sur T2 dans une tâche de CA (ce déficit est plus élevé pour T2 que pour T1).

3.2.2 Le switch entre T1 et T2

D'une façon générale, le switch d'un stimulus A à un stimulus B (A précédant B) désigne l'opération de reconfiguration du système cognitif après avoir traité le stimulus A pour traiter de façon optimale le stimulus B. La nature d'un switch d'un stimulus A à un stimulus B correspond à la caractéristique – au sens large – relativement à laquelle le traitement du stimulus A diffère de celui du stimulus B. Par exemple, si le stimulus A apparaît à une position spatiale p et le stimulus B apparaît à une position spatiale p' différente de p , le traitement du stimulus A fait intervenir une information spatiale différente de celle qui intervient dans le traitement du stimulus B. Autrement dit, les traitements respectifs des stimuli A et B diffèrent relativement à une caractéristique spatiale, on parle alors de switch spatial entre A et B. Dans une tâche de CA, le sujet doit porter son attention successivement sur T1 puis sur T2, autrement dit, il doit réaliser un switch attentionnel de T1 à T2. Mais le fait de focaliser l'attention sur un stimulus donné n'est pas une fin en soi et constitue plutôt un pré-requis pour la réalisation d'un traitement cognitif approfondi de ce stimulus. Par conséquent le switch attentionnel s'accompagne toujours d'un ou de plusieurs autres switches dont les natures respectives correspondent aux caractéristiques différenciant T1 et T2. Visser,

Bischof et Di Lollo (1999) distinguent ainsi quatre types de switchs entre T1 et T2 pouvant avoir lieu dans le paradigme de CA : le switch spatial (i.e., T1 et T2 sont présentés à des positions spatiales différentes), le switch entre modalités (i.e., T1 et T2 sont présentés dans des modalités sensorielles différentes), le switch entre tâches (i.e., les tâches respectives sur T1 et sur T2 diffèrent) et le switch entre catégories (i.e., T1 et T2 appartiennent à des catégories différentes). Visser et al. (1999) ont suggéré que lorsque les tâches respectives sur T1 et sur T2 diffèrent très sensiblement, alors le task-switching est suffisant (i.e., sans masque sur T2) pour produire un CA. Potter, Chun, Banks et Muckenhoupt (1998) ont montré que l'amplitude du task-switching (i.e., changement de tâche entre T1 et T2) est positivement liée à l'amplitude du CA. Kawahara, Zuvic, Enns et Di Lollo (2003) ont testé l'hypothèse émise par Visser et al. (1999) selon laquelle le task-switching est capable à lui seul de produire un CA sans masque sur T2. Dans leur étude, T1 et T2 sont des stimuli très différents et les tâches respectives sur ces cibles diffèrent également. Kawahara et al. (2003) montrent qu'un task-switching suffisamment important peut effectivement produire un CA à lui seul (i.e., sans masque sur T2) mais à la condition que T2 n'appartienne pas à une catégorie de stimuli sur-appris (e.g., stimuli alphanumériques). Kawahara et al. (2003) montrent en outre que l'absence de CA quand T2 est un stimulus alphanumérique n'est pas dû au fait que T1 ne mobilise pas assez les ressources cognitives (ne générant alors pas de délai dans le traitement de T2), mais plutôt au fait que la représentation d'un stimulus sur-appris est capable de survivre au délai temporel – généré par le switch entre les tâches – dans le traitement de T2, tout en demeurant fragile au masquage. On remarquera que l'argumentation théorique de Kawahara et al. (2003) relative au fait que T2 ne doit pas être un stimulus sur-appris dans le cas d'un CA reposant sur le task-switching plutôt que sur le masquage des cibles repose implicitement sur l'hypothèse selon laquelle le moment où le switch entre les tâches se réalise est au moins postérieur aux phases précoces dans le traitement de T2. En effet, postuler que la représentation visuelle de T2 puisse survivre à un délai temporel dans le traitement de ce stimulus induit par une opération exécutive (le switch entre les tâches) implique de postuler que ce traitement est déjà bien entamé au moment où se produit l'opération exécutive. Concernant le switch spatial, Visser, Zuvic, Bischof et Di Lollo (1999) ont montré que lorsque T1 et T2 possèdent la même position spatiale (condition congruence spatiale), la courbe de la fonction reliant le Lag à la performance (taux de rappels corrects de T2/T1) est en forme de « U », alors que quand T1 et T2 possèdent des positions spatiales différentes (condition incongruence spatiale), la fonction reliant le lag à la performance est quasiment linéairement croissante. En comparant la condition congruence spatiale et la condition

incongruence spatiale, Visser et al. (1999) montrent que ces deux conditions ne diffèrent que pour le Lag 1 (i.e., interaction congruence spatiale \times Lag).

4. Le locus du CA

La question relative à la (aux) cause(s) du phénomène de CA est équivalente à la question relative au niveau, dans le traitement de T2, où se produit une défaillance lorsque T2 est présentée 200-500 ms après T1, c'est-à-dire pendant la période de CA (défaillance responsable de la chute de performance sur T2 pour cet intervalle de SOA T1-T2). Le *locus* du clignement attentionnel désigne ainsi le « lieu » où apparaît une défaillance dans le traitement de T2.

4.1 Existence d'un délai dans le traitement de T2 quand T2 apparaît pendant la période de CA

Le modèle des deux étapes (Chun & Potter, 1995) et le modèle PRP (Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998) supposent tous les deux l'existence d'un délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA. Un nombre substantiel de données comportementales et de données d'imagerie corrobore l'existence d'un tel délai.

4.1.1 Données comportementales

L'hypothèse caractéristique commune au modèle des deux étapes et au modèle PRP du CA étant l'existence d'un délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA, tous les résultats en faveur de ces deux modèles (e.g., Zuvic et al., 2000 ; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998) peuvent être considérés comme autant d'arguments en faveur de cette hypothèse commune. En outre, les résultats d'un ensemble d'études centrées sur la difficulté du traitement de T1 sont également favorables à l'hypothèse du délai. Ces études reposent sur le raisonnement suivant. En admettant que l'augmentation de la difficulté d'un traitement a pour effet d'augmenter la durée de ce traitement et que la probabilité d'une substitution de T2+1 à T2 est positivement liée à la durée du délai dans le traitement de T2,

alors la difficulté du traitement de T1 et l'amplitude du CA devraient être positivement liées¹¹. Or il existe deux moyens d'augmenter la difficulté associée à T1 : masquer T1 (les résultats convergent) ou augmenter la difficulté de la tâche sur T1 (les résultats sont partagés). Seiffert et Di Lollo (1997) ont calculé la corrélation entre la performance sur T1 et l'amplitude du CA en se basant sur données de 26 expériences de CA mettant en évidence un CA significatif (expériences réalisées par Raymond et al., 1992 ; Shapiro et al., 1994 ; Raymond et al., 1995 ; Chun & Potter, 1995). Cette démarche repose sur le postulat selon lequel la performance sur T1 est un indicateur de la difficulté de T1 (ces deux variables sont négativement liées). Si la difficulté de T1 est positivement liée à l'amplitude du CA, alors la performance sur T1 devrait être négativement liée à l'amplitude du CA. Seiffert et Di Lollo (1997) ont effectivement obtenu une corrélation négative substantielle ($r = -.73, p < .001$) entre la performance sur T1 et l'amplitude du CA. Comme le notent Ward et al. (1997), on pourra toutefois reprocher à cette étude de Seiffert et Di Lollo (1997) le fait d'être basée sur des données obtenues dans des études ayant manipulé la difficulté de T1 uniquement à travers le masquage de T1. Par conséquent, la difficulté de T1 à laquelle fait référence la corrélation qu'ils ont obtenue est uniquement relative au masquage de T1. La manipulation de la difficulté de T1 à travers le type de tâche à effectuer sur T1 a généré des résultats contradictoires. Ward et al. (1996) ont montré que dans le paradigme des deux cibles, l'amplitude et la durée du CA sont les mêmes que la tâche sur T1 soit une tâche d'identification, une tâche de jugement, ou à la fois une tâche d'identification et de jugement (i.e., quel que soit le degré de difficulté de la tâche sur T1). En outre, dans leur deuxième expérience, Ward et al. (1997) utilisent une tâche standard de CA dans laquelle T2 est toujours la lettre « X » en noir, la tâche sur T2 étant de déterminer si T2 était présente ou absente dans la séquence (T2 est présente dans la moitié des items de la tâche) ; T1 est soit la lettre « X », soit la lettre « S », soit un carré, le stimulus correspondant à T1 apparaissant toujours en blanc. Ces trois types de stimuli possibles pour T1 déterminent les trois modalités de la variable « similarité T1-T2 » (forte, moyenne et faible, respectivement). La tâche sur T1 est de rapporter la taille du stimulus correspondant à T1, cette variable possédant trois modalités : petite, moyenne ou grande taille. Les distracteurs sont des lettres noires. La tâche globale est divisée en blocs, et la variable « difficulté de la tâche sur T1 » est définie non pas au niveau de l'item mais au niveau du bloc : dans les blocs où la tâche sur T1 est difficile, les stimuli correspondant à T1 sont soit de petite taille soit de taille moyenne, et

¹¹ En fait, cette relation est celle qui est précisément postulée par l'adaptation de la prédiction *carry-over* au paradigme de CA, cette prédiction étant l'une des quatre prédictions caractéristiques du modèle bottleneck des interférences dans le paradigme de double tâche (Jolicoeur et al., 2001).

dans les blocs où la tâche sur T1 est facile, les stimuli correspondant à T1 sont soit de petite taille soit de grande taille (à l'intérieur de chaque bloc, les modalités de la variable « taille de T1 » sont randomisées). Ward et al. (1997) n'obtiennent aucun effet de la difficulté de la tâche sur T1 sur la performance sur T2, quelle que soit la valeur du SOA T1-T2. Ward et al. (1997) en concluent que la seule manipulation de la difficulté de T1 permettant de moduler l'amplitude du CA est le masquage de T1, et suggèrent que les conclusions de Seiffert et Di Lollo (1997) (en particulier la corrélation qu'ils ont calculée) doivent être considérées comme étant spécifiques au masquage de T1. Cependant, concernant l'influence de la difficulté de T1 sur l'amplitude du CA en manipulant la difficulté de T1 à travers le type de tâche à effectuer sur T1, Akyürek, Hommel et Jolicoeur (in press) ont obtenu des résultats opposés à ceux de Ward et al. (1997). Akyürek et al. (in press) utilisent une tâche de memory-scanning sur T1 : dans leur tâche, T1 est une lettre et T2 un chiffre ; avant chaque item (i.e., séquence RSVP), le sujet doit encoder un ensemble de stimuli correspondant à des lettres (*memory set*) dont la capacité varie de 1 à 4 stimuli (cette capacité du memory set est appelée *set size*) ; la tâche sur T1 est d'indiquer si T1 fait ou non partie du memory set. Dans une première expérience, la tâche sur T1 est chronométrée et Akyürek et al. montrent premièrement un effet significatif du set size sur la précision relative à T1 (relation négative) d'une part, et sur le temps de réponse à la tâche sur T1 (relation positive) d'autre part (ces deux effets étant indépendant du Lag), et deuxièmement, que l'amplitude du CA est positivement liée au set size (i.e., le set size est négativement liée à la performance sur T2|T1), cette relation ne s'observant qu'au Lag 3. Dans une seconde expérience, Akyürek et al. montrent que le même pattern de résultats est obtenu lorsque la tâche sur T1 est reportée. Selon Akyürek et al., ces résultats suggèrent que les traitements relatifs à l'étape 2 du modèle de Chun et Potter (1995) se caractérisent par une limite au niveau de la capacité de traitement (i.e., limite fonctionnelle) plutôt que par une limite au niveau de la capacité de stockage (i.e., limite structurale). Avec ce résultat, Akyürek et al. montrent en outre que l'augmentation de l'efficacité du masque sur T1 n'est pas la seule façon d'augmenter la difficulté de T1.

Les résultats des études relatives à la l'influence de la difficulté de T1 sur l'amplitude du CA restent trop contrastés pour considérer qu'ils corroborent l'hypothèse d'un délai dans le traitement de T2 quand T2 apparaît pendant la période de CA.

4.1.2 Données d'imagerie

Les études d'imagerie suggérant l'existence d'un délai dans le traitement de T2 quand T2 est présentée pendant la période de CA ont été réalisées par Vogel (Vogel, Luck & Shapiro, 1998 ; Vogel & Luck, 2002 ; Luck & Vogel, 2001) et correspondent à des études en ERP (*Event Related Potentials*). Dans leur expérience 3, Vogel et al. (1998) montrent que lorsque T2 est masquée (par interruption), la P3 n'apparaît pas dans le traitement de T2 quand T2 est présentée durant la période de CA (Lag 3) alors que cette onde apparaît quand T2 est présentée après la période de CA (Lag 7). Or, la présence de cette onde cérébrale relativement à un stimulus donné est associée au niveau cognitif à la formation d'une représentation stable de ce stimulus en mémoire de travail (Donchin & Coles, 1988). Ce résultat suggère donc que la phase de consolidation en mémoire à court terme ne se produit pas dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA. Vogel et Luck (2002) ont affiné ces observations en montrant que (a) lorsque T2 n'est pas masquée (i.e., T2 est le dernier stimulus de la séquence RSVP), l'amplitude de la P3 relative au traitement de T2 au Lag 3 ne diffère pas significativement de l'amplitude de la P3 relative au traitement de T2 au Lag 7 ; (b) lorsque T2 est présentée durant la période de CA (Lag 3) de façon non masquée (T2 est alors vue), alors la P3 apparaît mais de façon retardée (de 104 ms par rapport à la P3 relative au traitement de T2 non masquée au Lag 7). Ces deux observations relatives au timing de la P3 dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée durant la période de CA (i.e., le fait que la P3 n'apparaisse pas lorsque T2 est présentée de façon masquée et le fait que la P3 apparaisse de façon retardée lorsque T2 est présentée de façon non masquée au Lag 3) suggèrent deux conclusions : d'une part qu'il existe un délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA, et d'autre part que le rôle du masque sur T2 est d'empêcher l'encodage de T2 en mémoire à court terme.

4.2 Locus du délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée durant la période de CA

Comme nous venons de le voir, un nombre conséquent de résultats convergent vers l'existence d'un délai dans le traitement de T2 quand T2 est présentée pendant la période de CA. La question est alors de savoir à quel niveau, dans le traitement de T2, se produit ce délai. Le locus du CA correspond au locus de ce délai. Un nombre substantiel de résultats indique que des traitements centraux de T2 ont eu lieu au moment où le délai apparaît, ce qui

suggère que le locus du délai dans le traitement de T2 in CA¹² est post perceptuel. De plus, l'hypothèse selon laquelle le délai dans le traitement de T2 in CA se produit à l'entrée des phases de traitement central est théoriquement insuffisante, voire erronée. En effet, dans le modèle des deux étapes de Chun et Potter (1995), le délai dans le traitement de T2 in CA se produit à l'entrée de l'étape 2. Ces derniers précisent bien que les phases de traitement qui constituent l'étape 1 ne sont pas dénuées de tout caractère central et de traitement de haut niveau : "... at presentation rates of 10 per second, the categorical identity of most of the items, and probably their specific identity, is briefly available and may serve as the basis of selection into subsequent stages." (p.122). Par conséquent, la distinction étape 1/étape 2 dans le modèle de Chun et Potter (1995) ne recouvre pas la distinction entre traitement périphérique et traitement central.

Les résultats que nous allons rapporter suggèrent qu'au moment où se produit le délai dans le traitement de T2 in CA, les caractéristiques sémantiques de T2 ont déjà été traitées. Ici encore, ces résultats correspondent à des données comportementales et des données d'imagerie obtenues en ERP. Un premier résultat frappant a été obtenu par Luck, Shapiro et Vogel (1996). Dans leur expérience, ils présentent au début de chaque séquence RSVP un mot pendant une durée d'une seconde (ce mot a pour fonction de créer un contexte sémantique). Les stimuli suivants (cibles et distracteurs) sont présentés pendant 83 ms (sans ISI) et comportent tous 7 caractères. Les distracteurs correspondent à des non mots de 7 lettres, T1 correspond à un chiffre répété 7 fois (e.g., « 8888888 ») et T2 correspond à un mot, entouré de X lorsqu'il comporte moins de 7 lettres (e.g., « XSHAVEX »). Les distracteurs et T1 apparaissent en rouge, T2 apparaît en bleu. La tâche sur T1 consiste à indiquer si T1 correspond à un chiffre pair ou impair et la tâche sur T2 consiste à dire si le mot correspondant à T2 est sémantiquement lié ou non au mot-contexte. Luck et al. (1996) utilisent une condition contrôle dans laquelle les sujets doivent ignorer T1 et obtiennent un effet significatif de la condition ainsi qu'une interaction significative de la condition avec le Lag. L'objectif de Luck et al. (1996) est d'observer si le traitement de T2 fait apparaître ou non une N400 lorsque T2 est présentée durant la période de CA (Lag 3) (dans le cas où le mot correspondant à T2 et le mot-contexte sont sémantiquement incongruents). Si tel est le cas, cela implique que T2 est traitée au moins jusqu'à un niveau sémantique même lorsque T2 est n'est pas vue. Luck et al. (1996) montrent effectivement l'absence d'effet significatif du Lag sur l'amplitude de la N400 aussi bien en condition contrôle qu'en condition expérimentale.

¹² L'expression « T2 in CA » renvoie au cas où T2 est présentée pendant la période de CA.

Sachant que la performance sur T2 chute fortement au Lag 3 de la condition expérimentale, ce résultat suggère que le contenu sémantique de T2 est traité même lorsque T2 est victime du CA. Les résultats en ERP de Vogel (Vogel, Luck & Shapiro, 1998 ; Vogel & Luck, 2002) montrant que la P3 n'apparaît pas lorsque T2 est victime du CA suggèrent en outre que le délai dans le traitement de T2 in CA se produit à l'entrée de la phase de consolidation en mémoire de travail. Un second résultat spectaculaire a été obtenu par Shapiro, Driver, Ward et Sorensen (1997). Ces derniers ont réalisé deux expériences combinant clignement attentionnel et amorçage sémantique. L'enjeu de ces expériences était de déterminer si le traitement des T2 non vues s'arrête à un niveau relativement bas ou si au contraire, ce traitement atteint des phases centrales (e.g., phases de traitement sémantique). Dans leurs deux expériences, Shapiro et al. (1997) utilisent des séquences RSVP comportant trois cibles, T1, T2 et T3 (T3 est le dernier stimulus des séquences). Chaque stimulus est présenté pendant 15 ms avec un ISI de 75 ms, d'où un SOA de 90 ms. Le nombre de distracteurs précédant T1 varie entre les séquences (entre 7 et 15), cependant, les positions respectives de T2 et de T3 sont fixes : le SOA T1-T2 est de 270 ms (Lag 3) et le SOA T2-T3 est également de 270 ms (Lag 3) (le SOA T1-T3 étant de $270 \times 2 = 540$ ms, Lag 6). La valeur du SOA T1-T2 est choisie de façon à ce que T2 apparaisse lorsque le CA est le plus important (Shapiro & Raymond, 1994), et la valeur du SOA T2-T3 est telle qu'au cas où T2 exercerait un effet sur T3, cet effet puisse être mesurable. Dans la première expérience, les distracteurs sont des chiffres noirs, T1 est également un chiffre mais de couleur blanche, T2 est une lettre en majuscule et T3 est une lettre en minuscule. Dans la moitié des items, T2 et T3 partagent le même *type* mais correspondent à différents *tokens* de ce type (e.g., T2 = E et T3 = e, condition correspondance), dans l'autre moitié des items, T2 et T3 appartiennent à des types différents (e.g., T2 = E et T3 = n, condition non correspondance). La tâche des sujets consiste à restituer verbalement l'identité de chacune des trois cibles. Shapiro et al. (1997) examinent l'effet de la relation entre T2 et T3 (correspondance vs. non correspondance) sur la performance sur T3 (proportion de rappels corrects de T3) séparément pour les items dans lesquels T2 a été correctement restituée (67,1% des items analysés) et pour les items dans lesquels T2 n'a pas été correctement restituée (i.e., T2 a été victime du CA) (32,9% des items analysés). Pour le premier type d'items, T3 est significativement mieux restituée lorsqu'il y a non correspondance entre T2 et T3 que lorsqu'il y a correspondance entre ces deux cibles. Shapiro et al. (1997) interprètent cette différence comme un effet de *repetition blindness*. En revanche, pour le second type d'items, T3 est significativement mieux restituée lorsqu'il y a correspondance entre T2 et T3 que lorsqu'il y a non correspondance entre ces deux cibles.

Shapiro et al. (1997) interprètent cette différence comme un effet d'amorçage de répétition. Dans la deuxième expérience, Shapiro et al. (1997) utilisent cette fois-ci des mots comme stimuli (cibles et distracteurs, chaque cible étant présentée dans une couleur spécifique qui diffère de la couleur des distracteurs) et associent une liste de treize mots à chacune des trois cibles. Après chaque item, les trois listes sont présentées au sujet et celui-ci doit sélectionner dans chaque liste le mot correspondant à la cible telle qu'elle est apparue dans l'item. Dans la moitié des items, T2 et T3 correspondent à deux mots sémantiquement liés (e.g., T2 = *doctor* et T3 = *nurse*, condition congruence sémantique), dans l'autre moitié des items, T2 et T3 correspondent à deux mots non sémantiquement liés (e.g., T2 = *doctor* et T3 = *cup*, condition incongruence sémantique). Ici encore, Shapiro et al. (1997) examinent l'effet de la relation entre T2 et T3 (congruence sémantique vs. incongruence sémantique) sur la performance sur T3 séparément pour les items dans lesquels T2 a été correctement restituée (46,3% des items analysés) et pour les items dans lesquels T2 n'a pas été correctement restituée (i.e., T2 a été victime du CA) (53,7% des items analysés). Shapiro et al. (1997) observent que pour les deux types d'items, T3 est significativement mieux rappelée lorsque T2 et T3 sont sémantiquement congruentes que lorsque T2 et T3 sont sémantiquement incongruentes (i.e., effet d'amorçage sémantique). Autrement dit, T2 est capable d'induire un effet d'amorçage sémantique même lorsqu'elle a été victime du CA. Maki, Frigen et Paulson (1997) ainsi que Visser, Merikle et Di Lollo (2005) ont répliqué au niveau comportemental le résultat de Shapiro et al. (1997) en montrant que les T2 victimes du CA sont capables d'induire un effet d'amorçage sémantique, tandis que Rolke, Heil, Streb et Hennighausen (2001) ont mis en évidence cet effet en ERP.

Considérés ensemble, ces résultats suggèrent que le locus du délai dans le traitement de T2 lorsque T2 est présentée pendant la période de CA se situe après les phases de traitement sémantique, mais avant la phase de consolidation en mémoire à court terme. Le fait qu'une représentation stable de T2 ne soit pas élaborée en mémoire à court terme – du fait du processus de substitution de l'objet – expliquerait le déficit de performance sur T2 observé pour des SOA T1-T2 courts (Marois, 2005).

Conclusion

Faisant l'objet d'un intérêt important depuis sa mise évidence par Raymond et al. (1992), le clignement attentionnel reste à l'heure actuelle un phénomène relativement peu compris. En témoigne la faible cohérence de la littérature théorique dans ce domaine, en

manque crucial d'un modèle intégré. Même si quelques tentatives d'intégration théorique ont été proposées (Shapiro, Arnell & Raymond, 1997 ; Bowman & Wyble, in press), aucun modèle théorique actuel du CA n'en permet une lecture cohérente. La mise au point d'un tel modèle est à n'en pas douter rendue difficile par le nombre important et l'incohérence parfois des données empiriques du domaine. Mais une faille réside peut être également dans la démarche de théorisation elle-même dans le domaine du CA. En effet, tous les modèles théoriques du CA restent des modèles flous et sans assise computationnelle. Si le phénomène en question reste peu compris, c'est peut être parce que ses modèles actuels n'en donnent qu'une vision partielle et dégradée. Dans le domaine du CA, l'heure est sans doute venue à la mise au point de modèles théoriques plus précis et plus complexes que les modèles déjà existants.

Références

- Akyürek, E. G., Hommel, B., & Jolicoeur, P. (in press). Direct evidence for a role of working memory in the attentional blink. *Memory & Cognition*.
- Bachmann, T., & Hommuk, K. (2005). How backward masking becomes attentional blink. *Psychological Science*, *16*, 740-742.
- Bowman, H., & Wyble, B. (in press). The Simultaneous Type, Serial Token Model of Temporal Attention and Working Memory. *Psychological Review*
- Brehaut, J. C., Enns, J. T., & Di Lollo, V. (1999). Visual masking plays two roles in the attentional blink. *Perception & Psychophysics*, *61*, 1436-1448.
- Broadbent, D. E. & M. H. Broadbent (1987). From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, *42*(2), 105-113.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, *97*, 523-547.
- Crebolder, J.M., & Jolicoeur, P. (1999). Constraints on the locus/loci of the attentional blink phenomenon. Unpublished manuscript, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple detection in RSVP. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 109-127.
- Chun, M. M. (1997). Temporal binding errors are redistributed in the attentional blink. *Perception & Psychophysics*, *59*, 1191-1199.
- Dell'Acqua, R., Pascali, A., Jolicoeur, P., & Sessa, P. (2003). Four-dot masking produces the attentional blink, *Vision Research*, *43*, 1907-1913.

- Di Lollo, V., Enns, J.T., & Rensink, R.A. (2000). Competition for consciousness among visual events: the psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 481-507.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., Ghorashi, S. M. S., & Enns, J. T. (2005). The attentional blink: Resource limitation or temporary loss of control? *Psychological Research*, *69*, 191–200.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral & Brain Sciences*, *11*, 357- 374.
- Drew, T., & Shapiro, K. (2006). Representational masking and the attentional blink. *Visual Cognition*, *13*, 513-528
- Duncan, J., R. Ward, R., & Shapiro, K. (1994). Direct measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature*, *369*, 313-315.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433-458.
- Duncan, J. (1980). The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*, *87*, 272-300.
- Dux, P. E., Coltheart, V., & Harris. I. M. (2006). On the fate of distractor stimuli in rapid serial visual presentation. *Cognition*, *99*, 355-382.
- Dux, P. E., & Coltheart, V. (2005). The meaning of the mask matters: Evidence of conceptual interference in the attentional blink. *Psychological Science*, *16*, 775-779.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Science*, *4*, 345–352.
- Enns, J.T., & Di Lollo, V. (1997) Object substitution: a new form of masking in unattended visual locations. *Psychological Science*, *8*, 135–139.
- Enns, J.T., Visser, T.A.W., Kawahara, J., & Di Lollo, V. (2001). Visual masking and task switching in the attentional blink. In *The Limits of Attention: Temporal Constraints on Human Information Processing* (Shapiro, K., ed.), Oxford University Press.
- Folk, C. L., & Remington, R. W. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 847-858.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1030-1044.
- Giesbrecht, B., & Di Lollo, V. (1998). Beyond the attentional blink: Visual masking by object substitution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1454–1466.

- Giesbrecht, B., Bischof, W. F., & Kingstone, A. (2003). Visual masking during the attentional blink: tests of the object substitution hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 238–258.
- Ghorashi, S. M. S., Zuvic, S. M., Visser, T. A. W., & Di Lollo, V. (2003). Focal distraction: Spatial shifts of attention are not required for contingent capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 78-91.
- Grandison, T.D., Ghirardelli, T.G., & Egeth, H.E. (1997). Beyond similarity: Masking of the target is sufficient to cause the attentional blink. *Perception & Psychophysics*, *59*, 266–274.
- Isaak, M. I., Shapiro, K. L., & Martin, J. (1999). The attentional blink reflects retrieval competition among multiple rapid serial visual presentation items: Tests of the interference model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *25*, 1774-1792.
- Jolicoeur, P. (1998). Modulation of the attentional blink by on-line response selection: Evidence from speeded and unspeeded Task1 decisions. *Memory and Cognition*, *26*, 1014-1032.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, *36*, 138–202.
- Jolicoeur, P. (1999a). Restricted attentionnal capacity between sensory modalities. *Psychonomic Bulletin & Review*, *6*, 87-92.
- Jolicoeur, P. (1999b). Dual-task interference and visual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 596–616.
- Jolicoeur, P. (1999c). Concurrent response selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 1097–1113.
- Jolicoeur, P. (1999d). A processing bottleneck causes the attentional blink. Unpublished manuscript, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Crebolder, J. (2001) The attentional blink bottleneck. In *The Limits of Attention: Temporal Constraints in Human Information Processing* (Shapiro, K., ed.), pp. 82–99, Oxford University Press.
- Kanwisher, N. G. (1987). Repetition blindness: Type recognition without token individuation. *Cognition*, *27*, 117-143.
- Kanwisher, N. G., & Potter, M. C. (1989). Repetition blindness: the effects of stimulus modality and spatial displacement. *Memory & Cognition*, *17*, 117-124.
- Kawahara, J., Enns, J.T., & Di Lollo, V. (2005). The attentional blink is not a unitary phenomenon. *Psychological Research*,
- Kawahara, J., Kumada, T., & Di Lollo, V. (in press). The attentional blink is governed by a temporary loss of control. *Psychonomic Bulltenin & Review*

- Kawahara, J., Zuvic, S.M., Enns, J.T., & Di Lollo, V. (2003). Task switching mediates the attentional blink even without backward masking. *Perception & Psychophysics*, *65*, 339–351.
- Kornblum, S. (1968). Serial-choice reaction times: Inadequacies of the information hypothesis. *Science*, *159*, 432-434.
- Luck, S.J., & Vogel, E.K. (2001). Multiple sources of interference in dual-task performance: the cases of the attentional blink and the psychological refractory period. In *The Limits of Attention: Temporal Constraints in Human Information Processing* (Shapiro, K., ed.), pp. 124–140, Oxford University Press.
- Luck, S. J. & Vecera, S. P. (2002). Attention. In H. Pashler (Series Ed.) & S. Yantis (Volume Ed.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology: Vol. 1. Sensation and Perception* (3rd ed., pp. 235-286). New York: Wiley.
- Luck, S.J., Shapiro, K.L., & Vogel, E.K. (1996). Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature* *383*, 616–618.
- Maki, W. S., Couture, T., Frigen, K., & Lien, D. (1997). Sources of the attentional blink during rapid serial visual presentation: Perceptual interference and retrieval competition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *23*, 1393-1411.
- Maki, W. S., Frigen, K., & Paulson, K. (1997). Associative priming by targets and distractors during rapid serial visual presentation: Does word meaning survive the attentional blink ? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *23*, 1014-1034.
- Maki, W.S., Bussard, G., Lopez, K., & Digby, B. (2003). Sources of interference in the attentional blink: Target-distractor similarity revisited. *Perception & Psychophysics*, *65*, 188–201.
- Marois, R., & Ivanoff, J. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in Cognitive Science*, *9*, 296–305.
- Marois, R. (2005). Two-timing attention. *Nature Neuroscience*, *8*, 1285-1286.
- Moore, C.M., Egeth, H., Berglan, L.R., & Luck, S.J. (1996). Are attentional dwell times inconsistent with serial visual search? *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*, 360-365.
- Nieuwenstein, M.R., & Potter, M.C. (2006). Temporal limits of selection and memory encoding. *Psychological Science*, *17*, 471–475.
- Nieuwenstein, M.R. (2006). Top-down controlled, delayed selection in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 973–985.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*, 220–244.

- Potter, M. C., Staub, A., & O'Connor, D. H. (2002). The time course of competition for attention: Attention is initially labile. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*, 1149-1162.
- Potter, M. C., Chun, M. M., Banks, B. S., & Muckenhoupt, M. (1998). Two attentional deficits in serial target search: The visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *24*, 979-992.
- Potter, M.C., & Levy, E.I. (1969). Recognition memory for a rapid sequence of pictures. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 10-15.
- Raymond, J.E., Shapiro, K.L., & Arnell, K.M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 849-860.
- Rolke, B., Heil, M., Streb, J., & Hennighausen, E. (2001). Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect. *Psychophysiology*, *38*, 165-74.
- Rumelhart, D. E. (1970). A multicomponent theory of the perception of briefly exposed visual displays. *Journal of Mathematical Psychology*, *7*, 191-218.
- Ruthruff, E., & Pashler, H. (2001) Perceptual and central interference in dual-task performance. In *The Limits of Attention: Temporal Constraints in Human Information Processing* (Shapiro, K., ed.), pp. 100-123, Oxford University Press.
- Seiffert, A. E., & Di Lollo, V. (1997). Low-level masking in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 1061-1073.
- Shapiro, K. L., Arnell, K. M., & Raymond, J. E. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*, 291-296.
- Shapiro, K., Driver, J., Ward, R., & Sorensen, R. E. (1997). Priming from the attentional blink: A failure to extract visual tokens but not visual types. *Psychological Science*, *8*, 95-100.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 357-371.
- Shapiro, K. L., & Raymond, J. E. (1994). Temporal allocation of visual attention: Inhibition or interference? In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory mechanisms in attention, memory and language* (pp. 151-187). San Diego, CA: Academic Press.
- Spalek, T.M., Falcon, L.J., & Di Lollo, V. (2006). Attentional blink and attentional capture: Endogenous versus exogenous control over paying attention to two important events in close succession. *Perception & Psychophysics*, *68*, 674-684.
- Spencer, T.J., & Shuntich, R. (1970) Evidence for an interruption theory of backward masking. *Journal of Experimental Psychology*, *85*, 198-203.

- Visser, T. A. W., Bischof, W. E., & Di Lollo, V. (2004). Rapid serial visual distraction: Task irrelevant items can produce an attentional blink. *Perception & Psychophysics*, *66*, 1418–1432.
- Visser, T. A. W., Bischof, W. F., & Di Lollo, V. (1999). Attentional switching in spatial and non-spatial domains: Evidence from the attentional blink. *Psychological Bulletin*, *125*, 458–469.
- Visser, T. A.W., Zuvic, S. M., Bischof, W. F., & Di Lollo, V. (1999). The attentional blink with targets in different spatial locations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *6*, 432–436.
- Visser, T. A. W., Merikle, P., & Di Lollo, V. (2005). Priming in the attentional blink: perception without awareness? *Visual Cognition*, *12*, 1362-1372.
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology*, *24*, 1656–1674.
- Vogel, E.K., & Luck, S.J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*, 739–743.
- Ward, R., Duncan, J., & Shapiro, K. (1997). Effects of similarity, difficulty, and nontarget presentation on the time course of visual attention. *Perception & Psychophysics*, *59*, 593-600
- Ward, R., Duncan, J., & Shapiro, K. L. (1996). The slow time-course of visual attention. *Cognitive Psychology*, *30*, 79-109.
- Weichselgartner, E. & G. Sperling (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science*, *238*, 778-80.
- Wong, K.F.E. (2002). The relationship between attentional blink and psychological refractory period. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*, 54-71.
- Zuvic, S. M., Visser, T. A. W., & Di Lollo, V. (2000). Direct estimates of processing delays in the attentional blink. *Psychological Research*, *63*, 192–198.