



HAL
open science

Apprentissage de régularités spatiales différées dans le temps avec le paradigme du contextual cueing

Stanislas Mathey

► **To cite this version:**

Stanislas Mathey. Apprentissage de régularités spatiales différées dans le temps avec le paradigme du contextual cueing. Psychologie. Université Bourgogne Franche-Comté, 2024. Français. NNT : 2024UBFCC004 . tel-04629916

HAL Id: tel-04629916

<https://theses.hal.science/tel-04629916>

Submitted on 1 Jul 2024

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

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

**THESE DE DOCTORAT DE L'ETABLISSEMENT UNIVERSITE BOURGOGNE
FRANCHE-COMTE**

Préparée à l'UFR Sciences du Langage, de l'Homme et de la Société

Ecole doctorale n°594 SEPT – Sociétés, Espaces, Pratiques, Temps

Doctorat de Psychologie

Réalisé par

Stanislas MATHEY

**APPRENTISSAGE DE REGULARITES SPATIALES DIFFEREES DANS LE TEMPS AVEC LE
PARADIGME DU *CONTEXTUAL CUEING***

Thèse présentée et soutenue à Besançon le **mercredi 27 mars 2024**

Composition du Jury :

Madame Bénédicte POULIN-CHARRONNAT, Directrice de recherche CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, *Examinatrice, Présidente du Jury*

Monsieur Cédric BOUQUET, Professeur de psychologie, Université Clermont – Auvergne, *Rapporteur*

Monsieur Arnaud REY, Chargé de recherche CNRS, HDR, Aix-Marseille Université, *Rapporteur*

Madame Virginie LECLERCQ, Maître de conférences, Université Paul – Valéry Montpellier 3, *Examinatrice*

Monsieur André DIDIERJEAN, Professeur de psychologie, Université de Franche-Comté, *Directeur de thèse*

Madame Annabelle GOUJON, Maîtresse de conférences, Université de Franche-Comté, *Codirectrice de thèse*

Titre : Apprentissage de régularités spatiales différées dans le temps avec le paradigme du *contextual cueing*

Mots clés : recherche visuelle, indiçage contextuel, apprentissage statistique, amorçage, images

Résumé : Le *contextual cueing* (Chun & Jiang 1998) fait référence à un mécanisme de facilitation de la recherche visuelle d'une cible, dû à l'apprentissage de régularités contextuelles et statistiques prédisant la caractéristique d'une cible. À travers cinq expériences, nous avons étudié les effets de *statistical learning* spatio-temporel à partir d'images. En utilisant une procédure de *contextual cueing*, nous avons d'abord examiné la robustesse de l'apprentissage sur plusieurs semaines lorsqu'une image en arrière-plan prédisait l'emplacement d'un T à détecter parmi des L (Expérience 1). Les résultats montrent que le bénéfice dans la recherche visuelle est intact même après une période de 10 à 12 semaines lorsque les images et les lettres sont présentées dans le même affichage (procédure dite intra-affichage). Nous avons ensuite testé la possibilité qu'une image puisse agir comme une amorce prédisant l'emplacement de la lettre cible dans un affichage ultérieur. Dans les Expériences 2 à 4, une image était proposée pendant 2 secondes avant la présentation des lettres.

La procédure d'amorçage (c'est-à-dire la procédure inter-affichages) a été mise en œuvre après une procédure intra-affichage (Expérience 2), au début de la tâche (Expérience 3), ou avant une procédure intra-affichage (Expérience 4). L'Expérience 5 était basée sur une procédure inter-essais, c'est-à-dire qu'une image en arrière-plan de la configuration de lettres à l'essai N-1 prédisait l'emplacement de la cible à l'essai N. Aucune de ces quatre expériences n'a permis de mettre en évidence d'effets de *contextual cueing* à partir d'images amorces, et ce même après une phase d'apprentissage. Dans leur ensemble, nos résultats mettent en évidence des effets robustes de *contextual cueing*, même après plusieurs semaines, lorsque des contingences sont présentées au sein d'un même affichage. Cependant, cet apprentissage associatif se trouve perturbé dès lors que l'image prédictive amorce la position de la cible au sein d'un environnement de recherche ultérieur, c'est-à-dire lorsque les contingences ne sont pas présentées dans la même fenêtre temporelle. Dans leur ensemble, les résultats mettent en évidence d'importantes limites dans le phénomène du *statistical learning* temporel au sein d'images complexes.

Title: Learning temporally delayed spatial regularities with the contextual cueing paradigm

Keywords: visual search, contextual cueing, statistical learning, priming, images

Abstract: Contextual cueing (Chun & Jiang, 1998) refers to a facilitation in a visual search task due to learning contextual and statistical regularities that predict a target characteristic. Through five experiments, we investigated spatio-temporal statistical learning from visually complex images. Using a procedure of contextual cueing, we first examined the robustness of learning over weeks when an image in the background predicted the location of a T-shaped target placed amongst L-shaped distractors (Experiment 1). The results show that contextual cueing was intact over 10-12 weeks when the images and the letters appeared within the same display (intra-display procedure). We then tested whether a visually complex image could act as a prime predicting the target location in a subsequent display. In Experiments 2-4, an image was presented during 2s prior to the search display (i.e., an array of letters).

The procedure of priming (i.e., inter-display procedure) was implemented after an intra-display procedure (Experiment 2), at the beginning of the task (Experiment 3) or before an intra-display procedure (Experiment 4). Experiment 5 was based on an inter-trial procedure, i.e., the image on trial N-1 predicted the target location on trial N. None of those four experiments succeeded in providing evidence of contextual cueing from prime images, even from pre-existing learning. Our findings demonstrate a robust contextual cueing effect over weeks when contingencies are presented within the same display. However, this associative learning was disrupted when the predictive image primes the search display, i.e., when the contingencies were not presented within the same temporal window. This highlights firm limits in temporal visual statistical learning within complex images

Remerciements

Avec la conclusion de cette thèse, se ferme un chapitre riche d'une aventure débutée il y a une décennie, lorsque mon dossier a été accepté pour intégrer la troisième année de Licence de psychologie. S'il y a eu des moments de doute, d'angoisse, d'échec, ces années auront surtout été marquées par des rencontres enrichissantes, de nouvelles amitiés, des expériences professionnelles nouvelles comme l'enseignement universitaire, de belles réussites académiques.

Une aventure aussi longue est forcément jalonnée d'événements marquants sur le plan personnel. Il y a eu des deuils douloureux de personnes très proches, des bonheurs immenses avec la naissance de nos enfants, Noé et Louise, et puis des retrouvailles inespérées avec Laure, ma sœur.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué à cette aventure. Chaque étape franchie, chaque succès, chaque épreuve surmontée a été rendue possible grâce au soutien, aux encouragements, et à l'écoute des personnes qui m'ont côtoyé et accompagné même brièvement

En premier lieu, mes remerciements vont à André Didierjean et Annabelle Goujon, qui ont guidé mes travaux de recherche depuis ma première année de Master et ont par la suite accepté de diriger mes travaux de thèse. Leur confiance et leur soutien ont été des piliers essentiels. Je leur suis également extrêmement reconnaissant pour leur compréhension et leur flexibilité, particulièrement lorsque des événements personnels ont pu impacter mon engagement dans mon travail.

Mes remerciements s'adressent également à Cédric Bouquet, Stéphanie Chambaron, Virginie Leclercq, Bénédicte Poulin-Charronnat, ainsi qu'à Arnaud Rey, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant d'être membres du jury.

Je tiens à remercier chaleureusement tous mes enseignants, ATER, chargés de TD et titulaires, pour tout ce qu'ils m'ont apporté au cours de mes années de Licence et de Master. Le chemin parcouru depuis cette réunion de pré-rentree de L3 en amphi N1, où je me demandais ce que je faisais là, et combien de temps je tiendrais ce projet fou de reprise d'études, semble aujourd'hui

incroyable. C'est aussi grâce à vous, à ce que vous m'avez transmis, au temps que vous avez pris pour répondre à mes questions, que j'ai réussi à avancer jusqu'ici.

Merci également à mes amis. A toi Aurélie, pour m'avoir encouragé à remplir ce dossier d'inscription en L3. A Antonin, Julie, Cédric, Clémentine, Stéphanie, Morgan, Morgane, Coralie, Marie-Laure, Romane, et aussi tous les autres avec qui j'ai partagé tant de beaux moments au cours de cette seconde vie étudiante. Merci également à tous les doctorantes et doctorants, anciens et nouveaux, pour tous les moments partagés, les fous-rires, les discussions politiques et philosophiques, vos conseils, les mètres de pavés arpentés en manif, les attentions du quotidien. Il y a forcément un remerciement tout particulier pour toi Sarah, ma grande sœur CC depuis que tu as co-encadré mon mémoire de M1. Merci pour ton écoute, tes conseils, pour nos délires quotidiens notamment quand nous partageons le même bureau.

Merci à toi Bernard Khiwy pour tout le temps précieux consacré à la programmation de mon interface de génération de stimuli sous Matlab.

J'adresse également mes remerciements aux étudiantes et étudiants de Licence et de Master qui ont contribué à mes travaux de recherche pour leur implication, leur rigueur dans les passations et le traitement des données, ainsi que leur réflexion autour des résultats.

Merci à toutes les étudiantes et tous les étudiants qui ont accepté de participer à nos expériences.

Merci également à Hidetaka Miyazaki et à toute la team From Software pour m'avoir appris à être plus obstiné, à me dépasser.

Enfin, je voudrais terminer en exprimant toute ma reconnaissance à ma compagne Marie. Depuis que l'idée de changer de voie professionnelle a germé dans mon esprit à l'issue de ma première expérience en séjour adapté, tu m'as apporté soutien et encouragements, peu importe les sacrifices. Tu as été à mes côtés chaque jour, dans les réussites et les moments de découragement. Tu as accepté de donner l'énergie que tu n'avais parfois plus. Tu t'es occupée de tout ce que je ne pouvais gérer au cours de mes phases d'écriture intensive. Absolument rien de ce que j'ai pu accomplir n'aurait été envisageable sans toi. Merci du fond de mon cœur.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| REMERCIEMENTS..... | 5 |
| TABLE DES MATIÈRES..... | 7 |
| LISTE DES ABREVIATIONS..... | 11 |
| INDEX DES FIGURES | 12 |
| PARTIE THEORIQUE ET REVUE DE LA LITTERATURE..... | 17 |
| INTRODUCTION..... | 19 |
| CHAPITRE I LE <i>STATISTICAL LEARNING</i> : QUELQUES INTERROGATIONS GÉNÉRALES EN SUSPENS | 23 |
| I. <i>Recherches pionnières sur le SL</i> | 24 |
| II. <i>Le statistical learning est-il un apprentissage implicite ?</i> | 26 |
| III. <i>Le statistical learning est-il un processus unitaire, ou est-il sous-tendu par l'action conjointe de plusieurs fonctions cognitives ?</i> | 27 |
| IV. <i>Le statistical learning temporel</i> | 29 |
| V. <i>Quelle est la portée écologique du statistical learning ?</i> | 31 |
| VI. <i>Conclusions et perspectives</i> | 32 |
| CHAPITRE II AUX ORIGINES DU <i>CONTEXTUAL CUEING</i> | 33 |
| I. <i>Ancrage théorique du contextual cueing</i> | 34 |
| 1.1. La sélection attentionnelle : influence des facteurs <i>top-down</i> vs. <i>bottom-up</i> | 34 |
| 1.2. Les schémas perceptifs et schémas de scènes | 36 |
| II. <i>Le contextual cueing : un paradigme pour étudier les mécanismes de SL</i> | 37 |
| 2.1. L'expérience originale du paradigme (Expérience 1)..... | 37 |
| 2.2. <i>Contextual cueing</i> et automatisation basée sur la mémoire | 40 |
| 2.3 <i>Contextual cueing</i> et apprentissage associatif | 41 |
| 2.4. <i>Contextual cueing</i> et attention visuelle | 41 |
| 2.5 Vitesse de déploiement du <i>contextual cueing</i> | 42 |
| 2.6 <i>Contextual cueing</i> et apprentissage implicite..... | 42 |
| 2.7. Quelle robustesse pour le <i>contextual cueing</i> ?..... | 43 |
| III. <i>Conclusions et perspectives</i> | 44 |
| CHAPITRE III. DES DÉBATS MAJEURS SUR LE <i>CONTEXTUAL CUEING</i> SPATIAL DANS DES CONTEXTES ARTIFICIELS | 47 |
| I. <i>Qu'est ce qui est appris dans le contextual cueing ?</i> | 48 |
| 1.1 Qu'est-ce qui est appris : le contexte local ou global de la cible ? | 48 |
| 1.2 Qu'est-ce qui est appris : la position de chaque distracteur ou la configuration globale ? | 52 |
| II. <i>Comment le contexte facilite-t-il la recherche visuelle ?</i> | 53 |
| III. <i>Interférence proactive dans le contextual cueing</i> | 57 |
| IV. <i>Le contextual cueing est-il implicite ?</i> | 60 |
| 3.1 Éléments en faveur de la nature implicite du <i>contextual cueing</i> | 61 |
| 3.2 Quelle conscience associée aux connaissances dans le <i>contextual cueing</i> ?..... | 62 |
| V. <i>Conclusions et perspectives</i> | 63 |
| CHAPITRE IV LE <i>CONTEXTUAL CUEING</i> , UN PHÉNOMÈNE UNIVERSEL ?..... | 65 |
| I. <i>Le contextual cueing de l'enfance à la sénescence</i> | 65 |
| 1.1 <i>Contextual cueing</i> chez les enfants | 65 |
| 1.2 <i>Contextual cueing</i> dans le vieillissement non pathologique | 67 |
| II. <i>Le contextual cueing face aux pathologies neurologiques et psychiques</i> | 69 |
| 2.1 Le <i>contextual cueing</i> dans les troubles mnésiques..... | 69 |

| | |
|---|------------|
| 2.2 Le <i>contextual cueing</i> face aux pathologies neurodégénératives et aux troubles psychiques | 70 |
| 2.3 <i>Contextual cueing</i> et troubles neurodéveloppementaux | 71 |
| III. Des différences intra et inter-individuelles dans le <i>contextual cueing</i> ? | 72 |
| IV. <i>Contextual cueing</i> chez l'animal ? | 73 |
| V. <i>Conclusions et perspectives</i> | 75 |
| CHAPITRE V. LES PRINCIPALES EXTENSIONS DU PARADIGME DU <i>CONTEXTUAL CUEING</i> | 77 |
| I. Le <i>contextual cueing</i> dans des affichages arbitraires | 77 |
| 1.1 <i>Contextual cueing</i> basé sur l'identité des objets (<i>object cueing</i>) et sur des événements dynamiques (<i>dynamic event cueing</i>) | 77 |
| 1.2 <i>Contextual cueing</i> basé sur l'identité des distracteurs et les caractéristiques sémantiques du contexte | 80 |
| II. <i>Contextual cueing</i> dans des environnements complexes et au sein de scènes naturelles | 82 |
| 2.1 Quelles spécificités pour le <i>contextual cueing</i> dans les photographies ? | 83 |
| 2.2 Mécanismes du <i>contextual cueing</i> dans les photographies | 85 |
| 2.3 Le <i>contextual cueing</i> dans des images abstraites | 87 |
| 2.4 <i>Contextual cueing</i> au sein de scènes naturelles vs. <i>contextual cueing</i> au sein de d'environnements artificiels | 89 |
| III. <i>Conclusions et perspectives</i> | 92 |
| CHAPITRE VI. LE <i>CONTEXTUAL CUEING</i> DANS SES DIMENSIONS TEMPORELLES | 93 |
| I. <i>Contextual cueing</i> et temporalité | 93 |
| 1.1 Précocité des effets de <i>contextual cueing</i> au cours de la recherche visuelle | 94 |
| 1.2. Interaction entre mémoire à long terme et mémoire iconique | 94 |
| 1.3 <i>Contextual cueing</i> et robustesse face au temps | 95 |
| II. Le <i>contextual cueing</i> temporel | 97 |
| 2.1 <i>Contextual cueing</i> au sein de séquences temporelles invariantes | 97 |
| 2.2 Le <i>contextual cueing</i> inter-essais | 99 |
| III. <i>Conclusions et perspectives</i> | 104 |
| PROBLÉMATIQUE ET PLAN DES EXPÉRIENCES | 105 |
| PARTIE EXPERIMENTALE | 109 |
| EXPÉRIENCE 1 PROCÉDURE INTRA-AFFICHAGE | 111 |
| <i>Méthode</i> | 112 |
| Participants | 112 |
| Apparatus et stimuli | 113 |
| Procédure | 114 |
| <i>Résultats</i> | 115 |
| Session 1 | 115 |
| Session 2 | 117 |
| <i>Discussion</i> | 119 |
| EXPÉRIENCE 2 PROCÉDURE INTRA-AFFICHAGE PUIS INTER-AFFICHAGES | 121 |
| <i>Méthode</i> | 122 |
| Participants | 122 |
| Apparatus et stimuli | 122 |
| Procédure | 122 |
| <i>Résultats</i> | 123 |
| <i>Discussion</i> | 125 |
| EXPÉRIENCE 3 PROCÉDURE INTER-AFFICHAGES | 127 |
| <i>Méthode</i> | 128 |
| Participants | 128 |
| Apparatus et stimuli | 128 |
| Procédure | 128 |
| <i>Résultats</i> | 130 |
| <i>Discussion</i> | 131 |

| | |
|--|------------|
| EXPÉRIENCE 4 PROCÉDURE INTER-AFFICHAGES PUIS INTRA-AFFICHAGE | 133 |
| <i>Méthode</i> | 134 |
| Participants | 134 |
| Apparatus et stimuli | 134 |
| Procédure..... | 134 |
| <i>Résultats</i> | 135 |
| <i>Discussion</i> | 137 |
| EXPÉRIENCE 5 PROCÉDURE INTER-ESSAIS..... | 139 |
| <i>Méthode</i> | 141 |
| Participants | 141 |
| Apparatus et stimuli | 141 |
| Procédure..... | 141 |
| <i>Résultats</i> | 142 |
| <i>Discussion</i> | 144 |
| DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES..... | 145 |
| SYNTHÈSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX | 149 |
| <i>Robustesse dans le temps du contextual cueing intra-affichage pour des images</i> | 149 |
| <i>Absence de preuve de contextual cueing inter-affichages à partir d'images prédictives</i> | 150 |
| <i>Nature implicite vs. explicite de l'apprentissage</i> | 153 |
| PORTÉE DE NOS TRAVAUX DANS LE CHAMP DU STATISTICAL LEARNING VISUEL | 155 |
| <i>Limites du contextual cueing temporel</i> | 155 |
| <i>Contraintes dans le statistical learning visuel spatio-temporel</i> | 157 |
| LIMITES DE NOS TRAVAUX ET PERSPECTIVES POUR DE FUTURES RECHERCHES..... | 161 |
| CONCLUSION | 163 |
| ANNEXES | 165 |
| ANNEXE 1 : EXPÉRIENCE 3 BIS (ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE) | 166 |
| <i>Méthode</i> | 166 |
| <i>Résultats et discussion</i> | 166 |
| ANNEXE 2 : SET D'IMAGES UTILISÉ DANS LES EXPÉRIENCES 1 À 5 | 167 |
| ANNEXE 3 : ILLUSTRATIONS D'ESSAIS DE GÉNÉRATION..... | 171 |
| <i>Tâche de génération en présentation intra-affichage (Expériences 1, 2, 4)</i> | 171 |
| <i>Tâche de génération en présentation inter-affichages (Expérience 3)</i> | 172 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 173 |

Liste des abréviations

Dans leur ordre d'apparition dans le manuscrit :

SL = *statistical learning* / apprentissage statistique

CC = *contextual cueing* / indiçage contextuel

AI = apprentissage implicite

IRMf = imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

LTM = lobe temporal médian

MdT = mémoire de travail

BE = *boudaries extension* / extension du champ

TR = temps de réaction/temps de réponse

MLT = mémoire à long terme

MCI = *mild cognitive impairment* / trouble cognitif léger

TSA = troubles du spectre autistique

TDAH = trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

DMLA = dégénérescence maculaire liée à l'âge

MVLT = mémoire visuelle à long terme

MVCT = mémoire visuelle à court terme

Index des figures

Figure 1 : représentation schématique de l'expérience de Saffran et al. (1996) (tiré de Arciuly & Conway, 2018)

Figure 2 : comparaison des performances entre la patiente et les sujets contrôles à des tâches de SL (dans Schapiro et al., 2014)

Figure 3 : illustration de l'expérience princeps de *contextual cueing* extraite de Chun & Jiang (1998)

Figure 4 : présentation du *design* expérimental des travaux d'Olson et Chun (2002)

Figure 5 : résultats des travaux de Bergman et Schubö (2021)

Figure 6 : représentation schématique du matériel de l'Expérience 2 tirée de Jiang et Wagner (2004)

Figure 7 : représentation des mécanismes candidat à la facilitation dans le *contextual cueing* (extrait de Sisk et al., 2019)

Figure 8 : configurations avec contraste faible et élevé utilisées dans Zhao et Ren (2020)

Figure 9 : description de la procédure ABA utilisée par Yang et al. (2021)

Figure 10 : représentation de l'allocation de ressources attentionnelles au contexte visuel en fonction de la difficulté de discrimination inter-item (dans Darby et al., 2014)

Figure 11 : TR moyens obtenus par des babouins en condition prédictive et non prédictive (extrait de Goujon & Fagot, 2013)

Figure 12 : illustration des procédures utilisées par Chun et Jiang (1999)

Figure 13 : exemple d'essai prédictif utilisé dans Goujon et al. (2009)

Figure 14 : résultats des participants à l'Expérience 2 dans Goujon et al. (2014)

Figure 15 : exemples de photographies en présentation originale et après inversion en miroir dans Brockmole et Henderson (2006b)

Figure 16 : illustration de la procédure expérimentale utilisée par Brooks et al. (2010) dans leur première expérience

Figure 17 : exemple de stimuli dans Rosenbaum et Jiang (2013)

Figure 18 : représentation graphique des TR des essais prédictifs et non prédictifs lors des sessions 1 et 2 dans Chun et Jiang (2003)

Figure 19 : illustration des procédures des Expériences 1 et 3 dans Olson et Chun (2001)

Figure 20 : représentation schématique des expériences proposées par Ono et al. (2005)

Figure 21 : représentation schématique des expériences proposées par Thomas et al. (2018)

Figure 22 : illustration d'un essai prédictif dans chacune des expériences présentées dans le manuscrit

Figure 23 : exemples de scènes utilisées dans les Expériences 1 à 5

Figure 24 : TR moyen par époque pour les conditions prédictive et non prédictive de la session 1 de l'Expérience 1

Figure 25 : illustration graphique de l'évolution des TR au cours des sessions 1 et 2 des participants ayant participé aux deux sessions de l'Expérience 1

Figure 26 : TR moyen par époque au cours de l'apprentissage et du transfert dans les conditions prédictive et non prédictive de l'Expérience 2

Figure 27 : TR moyen par époque en condition prédictive et non prédictive dans l'Expérience 3

Figure 28 : illustration de la procédure expérimentale, et résultats obtenus dans les différentes conditions par Jiang et Leung (2005)

Figure 29 : évolution des TR pendant les phases d'apprentissage et de transfert de l'Expérience 4

Figure 30 : résultats obtenus par Ono et al. (2005) dans l'Expérience 1 (procédure inter-essais)

Figure 31 : illustration graphique de l'évolution des TR en phase d'apprentissage et au cours du transfert pour les deux groupes (transfert cohérent et transfert incohérent) dans l'Expérience

5

A ma Maman

Partie théorique et revue de la littérature

Introduction

Notre environnement perceptif est riche et complexe. Il offre, à chaque instant, un nombre extrêmement important de stimulations qui sont en compétition pour notre attention. Pourtant, depuis plusieurs décennies maintenant, de nombreuses recherches dans le champ de la cognition humaine ont montré les limites de nos capacités cognitives à traiter la richesse de notre environnement. Les travaux sur la cécité attentionnelle (e.g. Mack & Rock, 1998) ou la cécité au changement (e.g., Levin & Simons, 1997) révèlent en effet que nos représentations du monde sont parcellaires, et que les souvenirs que nous avons stockés en mémoire sont loin d'être des photographies précises des événements que nous avons vécus, mais en sont une reconstruction. Celles-ci reposent la fois sur des influences ascendantes, i.e., basées sur des caractéristiques de l'environnement (facteurs *bottom-up*), ou sur des influences descendantes, i.e., basées sur nos connaissances, nos buts, nos intentions, nos attentes ou encore nos états internes (facteurs descendants ou *top-down*).

Malgré le contraste entre la grande richesse du monde qui nous entoure et la faible quantité d'informations que nous pouvons traiter à la fois, nous parvenons néanmoins à interagir avec notre environnement de manière adaptée. En effet, en dépit de sa complexité, l'environnement n'en demeure pas moins structuré. Les objets n'apparaissent pas de manière isolée, aléatoire, mais, au contraire, il existe une grande prédictibilité dans leur disposition spatiale, leur co-occurrence. Ainsi, si nous sommes amenés à chercher une télécommande dans un salon, il y a une grande probabilité que celle-ci soit présente sur une table basse positionnée entre la télévision et le canapé. Pourtant, nous ne sommes pas venus au monde en sachant à quel endroit trouver cette télécommande. L'acquisition de cette connaissance et son utilisation efficiente dans notre comportement de recherche résultent de mécanismes cognitivo-perceptifs extrêmement performants comme le *statistical learning* (désormais noté SL).

Depuis les travaux pionniers de Saffran et al. (1996) que nous décrivons au Chapitre 1, trois décennies de recherches sur le SL ont apporté de précieux éclairages sur la sensibilité des individus aux régularités spatio-temporelles présentes dans l'environnement. Les connaissances formées en s'appuyant sur ces régularités, de manière consciente ou non, permettent de faciliter grandement la compréhension de l'environnement et la navigation en son sein, et ce, dès les balbutiements de la vie. Néanmoins, certaines limites et zones d'ombres entourent le SL. Certaines interrogations sont propres au phénomène, d'autres plus en lien avec

les méthodes d'investigation utilisées en laboratoire. Une question cruciale reste notamment celle de la transposition des phénomènes observés avec le matériel couramment utilisé dans la majorité des recherches à ce qui se produit dans un contexte de vie quotidienne, question longuement adressée par Frost et al. (2019) dans une revue de la littérature sur le SL.

C'est autour de ces questions que nous avons voulu ancrer notre démarche de recherche. En effet, en nous appuyant sur le paradigme du *contextual cueing* (désormais noté CC) initialement proposé par Chun et Jiang en 1998, et qui constitue une approche élégante du *statistical learning* (voir Goujon et al., 2015), nous nous sommes attachés à étudier l'apprentissage des contingences spatio-temporelles à partir d'images complexes, que celles-ci soient sémantiquement riches ou abstraites. La majorité des observations sur le CC ayant été réalisées au sein de contextes artificiels composés d'ensembles de lettres, nous avons souhaité apporter des éclairages sur ce mécanisme de SL dans des contextes de recherche plus "écologiques" en ce sens qu'ils semblent plus à même de capturer une partie de la richesse perceptive de l'environnement. Nous avons, en outre, tenté de rendre compte du caractère dynamique du monde réel en proposant des environnements où les éléments constituant la régularité statistique ne sont pas présentés dans la même fenêtre temporelle. Plus concrètement, nous avons souhaité rendre compte de la possibilité que des scènes visuelles puissent amorcer la détection d'une cible présentée dans un environnement de recherche disponible ultérieurement.

Avant de présenter les travaux expérimentaux menés dans le cadre de notre thèse, les résultats obtenus et leur portée dans le champ de la recherche sur le CC et plus globalement sur le SL, nous proposerons une revue de la littérature sur ces mécanismes d'apprentissage. Nous présenterons les recherches pionnières, ainsi que les grands débats et questionnements autour de la portée et des limites de ces phénomènes, lesquels nourrissent encore aujourd'hui la recherche sur la cognition. Dans un premier chapitre, nous présenterons assez succinctement le SL, pour nous pencher plus spécifiquement, dans un second chapitre, sur le paradigme du CC. Nous y présenterons les bases théoriques, notamment dans le domaine de la perception visuelle, dans lesquelles s'est ancrée l'étude princeps de Chun et Jiang (1998), étude dont nous présenterons les résultats les plus importants. Le troisième chapitre sera centré sur les principaux débats autour du phénomène du CC, à savoir ce qui est réellement appris par les observateurs lors d'une recherche visuelle, les mécanismes sous-tendant les effets de CC ainsi que la nature implicite, ou non, de l'apprentissage. Dans un quatrième chapitre, nous aborderons les interrogations autour de la dimension universelle du CC. Un cinquième chapitre

sera consacré à la présentation des extensions du CC à d'autres formes de contingences que les régularités spatiales, ainsi qu'à d'autres types de contextes comme les scènes du monde réel. Cette dernière section sera d'intérêt dans le cadre de nos travaux puisque nous avons utilisé des contextes basés sur des images dans nos manipulations expérimentales. Enfin, notre sixième et dernier chapitre portera sur les aspects temporels dans le CC, encore peu explorés mais essentiels si l'on souhaite appréhender le phénomène de manière écologique, et qui seront au cœur de nos travaux de thèse.

Chapitre I

Le *statistical learning* : quelques interrogations générales en suspens

Le *statistical learning* réfère à un ensemble de mécanismes permettant aux individus d'extraire et d'utiliser des régularités, ou contingences statistiques, dans l'environnement (pour des revues, voir Armstrong et al., 2017 ; Frost et al., 2019 ; Thiessen, 2017). L'extraction de ces régularités contribuerait notamment à la construction de représentations stables et cohérentes du monde. Ainsi, grâce au SL, nous sommes capables depuis notre plus jeune âge de détecter des structures redondantes, de faire des inférences et *in fine* de nous adapter aux changements, et à notre environnement. Cette capacité est présente très tôt dans le développement ontogénétique chez l'Homme, mais a également été observée chez d'autres espèces animales comme les volatiles (e.g., Fehér et al., 2017), ou encore les primates non-humains (e.g., Goujon & Fagot, 2013 ; Minier et al., 2016), soulignant son importance dans une perspective évolutionniste. Si le SL occupe une place de premier plan en psychologie cognitive, cela vient de son implication majeure dans l'acquisition de nombreuses compétences chez les jeunes enfants, telles que le langage. Bien qu'ils aient d'abord été introduits dans la littérature pour rendre compte du développement du langage, les processus de SL sont au cœur de nombreux apprentissages. En comprendre les mécanismes est donc un enjeu capital lorsque l'on s'intéresse à la cognition humaine. Avant de présenter certains débats qui animent encore aujourd'hui ce champ, revenons sur la première recherche ayant proposé le concept de *statistical learning*.

I. Recherches pionnières sur le SL

La première mise en évidence du phénomène du SL remonte à l'étude de Saffran et al. (1996) intitulée *Statistical learning of 8-month-old infants*¹. Les auteurs se sont intéressés aux capacités d'apprentissage de probabilités transitionnelles entre des triplets de syllabes chez des très jeunes enfants (âgés de 8 mois) via une procédure d'écoute préférentielle. Au cours de celle-ci, les enfants sont exposés, dans un premier temps, à plusieurs flux de parole continu durant deux minutes. Chacun de ces flux contient 12 syllabes, associées en quatre triplets formant ainsi quatre pseudo-mots (e.g., Pa-bi-ku) répétés aléatoirement. Aucun autre marqueur que la probabilité transitionnelle entre les syllabes n'est disponible. Au sein d'un pseudo-mot, cette probabilité est de 1, quand elle n'est que d'un tiers entre les autres syllabes² (Figure 1). Dans une seconde phase, la sensibilité aux régularités des participants est testée avec un flux de syllabes contenant des pseudo-mots tirés de la phase de familiarisation, ainsi que des pseudo-mots nouveaux composés de syllabes proches de celles contenues dans la première phase. Les auteurs, via l'étude des temps de fixation, ont constaté que les jeunes enfants réagissent moins aux stimuli entendus lors de la première exposition qu'à ceux nouvellement introduits. Selon le principe de réaction à la nouveauté, Saffran et son équipe en ont tout d'abord conclu que les bébés ont réussi à détecter et apprendre les régularités statistiques présentes dans le flux de parole, mais également que de telles capacités sont certainement en jeu dans l'acquisition du langage, notamment au niveau de la segmentation des mots.

¹ Les premières descriptions de phénomènes d'apprentissage assimilables à du SL ont en réalité été proposées il y a quasiment un siècle (pour une description, voir Christiansen, 2019)

² Dans l'expérience de Saffran et al. (1996), les pseudo-mots ne pouvaient pas se répéter directement, et chaque syllabe ne pouvait être utilisée que dans un seul pseudo-mot.

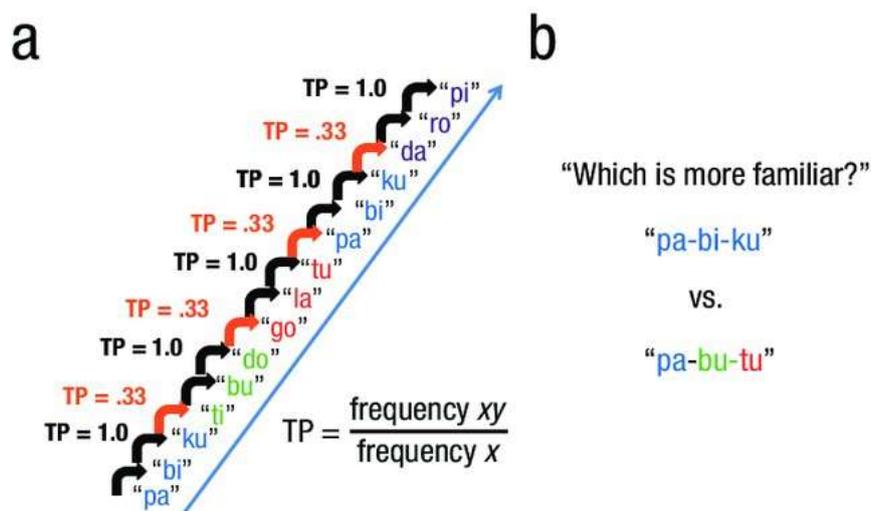


Figure 1 : a) Représentation schématique des probabilités transitionnelles entre les syllabes d'un pseudo-mot, et entre la dernière syllabe d'un pseudo-mot et la première du suivant. b) Test de familiarité proposé dans des adaptations de la tâche de Saffran et al. (1996) pour les enfants d'âge scolaire et les adultes (extrait d'Arciuli & Conway, 2018).

La possible application du SL dans l'acquisition du langage a sans doute constitué un facteur clé du succès de ce phénomène, comme en témoignent le nombre de travaux qui lui sont consacrés depuis bientôt 30 ans (pour des revues, voir Frost et al., 2019 ; Goujon et al., 2015 ; Sherman et al., 2020 ; Thiessen, 2017). Ceux-ci ont tout d'abord permis d'approfondir les résultats de Saffran et al. (1996) chez les jeunes enfants (e.g., Aslin et al., 1998 ; Saffran et al., 1999), mais également de montrer que les mécanismes de SL sont également très actifs chez l'adulte. Ces recherches ont enfin contribué à mettre en évidence la sensibilité des sujets à d'autres types de régularités auditives que le langage comme des tonalités, que celles-ci soient temporellement adjacentes (Saffran et al., 1999) ou non (e.g., Creel et al., 2004). Les recherches sur le SL ont de plus montré que celui-ci ne se limite pas à la modalité auditive. En effet, des capacités d'apprentissage statistique de régularités ont été mises en évidence au regard des relations entre des éléments visuels dans l'espace (e.g., Chun & Jiang, 1998) et dans le temps (e.g., Kirkham et al., 2002³; Turk-Browne et al., 2009)⁴.

³ Avec un paradigme de réaction à la nouveauté, les auteurs ont mis en évidence une sensibilité aux probabilités transitionnelles chez les enfants dès l'âge de deux mois en modalité visuelle.

⁴ Turk-Browne et al. (2009) ont par ailleurs montré, pour le SL visuel, une certaine flexibilité des représentations résultant de l'apprentissage de régularités spatiales (disposition de paires de formes abstraites dans l'espace), celles-ci facilitant la reconnaissance ultérieure des paires de formes présentées de manière séquentielle (Expérience 5).

À la suite de ces travaux pionniers sur le SL, la majorité des recherches de ce champ ont tenté d'appréhender les contours et limites du phénomène. Compte-tenu de l'étendue de la littérature sur le SL, nous nous limiterons à la présentation de quelques travaux ayant spécifiquement adressé les grandes questions relatives à notre travail de thèse, à savoir : **Quels sont les mécanismes qui sous-tendent le SL et quelles sont leurs caractéristiques ? Le SL est-il une forme d'apprentissage implicite ? Peut-on considérer le SL comme résultant d'un processus unitaire ou est-il sous-tendu par l'action conjointe de plusieurs fonctions cognitives ? Quelle est la portée écologique de ce phénomène? Quelles sont les limites du SL temporel dans la modalité visuelle ?**

II. Le *statistical learning* est-il un apprentissage implicite ?

Les premiers résultats sur le SL, tant dans la modalité auditive que visuelle, semblent s'accorder sur un point : le caractère incident, voire implicite du phénomène. Un premier argument tient au fait qu'il a initialement été observé chez des enfants en très bas âge dont les compétences cognitives et interactionnelles sont encore balbutiantes. Un deuxième argument tient au mode d'apprentissage, les connaissances sur les régularités environnementales se formant, à priori, sans instructions explicites, et sans que les participants n'aient l'intention d'apprendre les redondances. Les mécanismes d'apprentissage statistique sont ainsi généralement considérés comme opérant de manière incidente, automatique, et sans prise de conscience de la part des participants (pour une revue de questions sur le caractère implicite/explicite du SL, voir Batterink et al., 2015 ; 2019). Par conséquent le SL est souvent assimilé à un phénomène d'apprentissage implicite (AI). Perruchet et Pacton (2006) furent probablement les premiers à proposer l'hypothèse selon laquelle il s'agit d'un même phénomène. Il faudra néanmoins attendre quelques années après la recherche de Saffran et al. (1996) pour que le caractère implicite du SL soit questionné. Le sujet reste encore une source de débats à l'heure actuelle. Il est en effet apparu que le SL peut conduire à une prise de conscience des régularités apprises (e.g., Bertels et al. 2012). De tels résultats ne signifient pas pour autant que l'apprentissage est explicite. En ce sens, des travaux suggèrent la nécessité de prendre en compte des mesures composites, objectives et subjectives, lorsque l'on souhaite évaluer les contenus de conscience à l'issue d'un apprentissage (e.g., Bertels et al., 2015 ; Gaillard et al., 2014). Selon Batterink et al. (2019), une des clés de l'appréhension de la

contribution respective de processus mnésiques explicites et implicites viendra de la compréhension de l'implication de l'hippocampe dans le *statistical learning*.

III. Le *statistical learning* est-il un processus unitaire, ou est-il sous-tendu par l'action conjointe de plusieurs fonctions cognitives ?

Une autre question qui anime aujourd'hui le champ du SL est de savoir s'il est un mécanisme dit "*domain-general*" ou "*domain-specific*". Les travaux pionniers dans le champ ont amené une première conception unitaire des mécanismes sous-tendant le SL. Un argument fort en ce sens provient de la sensibilité aux probabilités transitionnelles rapportée tant chez l'adulte que l'enfant en modalité auditive et visuelle, et pour chacune d'elles, avec du matériel extrêmement varié (Frost et al., 2019). Par la suite, la multiplication des travaux sur le SL, notamment auprès de personnes présentant des troubles neurodéveloppementaux, ou encore dans une perspective centrée sur les changements liés au vieillissement cognitif, et la variabilité des résultats qui en ont découlé, ont amené la communauté scientifique à repenser la vision du SL comme ne reposant que sur un mécanisme général d'apprentissage. Dans ce sens, Siegelman et collaborateurs (2017) ont plutôt proposé d'appréhender le SL comme une compétence composite. En fonction du contexte, il y aurait une implication coordonnée de plusieurs mécanismes cognitifs spécifiques comme la mémoire et l'attention. Les différences interindividuelles, notamment en termes de maturation ou d'intégrité de ces fonctions, constitueraient alors un facteur explicatif de la variabilité de performances dans des tâches de SL. Par ailleurs, la manière dont les redondances statistiques sont disponibles dans l'environnement semble impacter les performances de SL. En effet, lorsque l'on compare les performances à une tâche similaire selon les modalités sensorielles (auditive et verbale) et le mode de présentation (séquentiel versus spatial), il ressort des bénéfices comportementaux plus importants pour une présentation spatiale des régularités en modalité visuelle (Conway & Christiansen, 2009) et, inversement, des bénéfices plus importants pour une présentation séquentielle des régularités en modalité auditive. Il existe ainsi un certain nombre de paramètres intrinsèques et extrinsèques susceptibles de moduler les capacités de SL dans une tâche donnée (pour une revue de ces facteurs, voir Batterink et al., 2015).

Les données issues de la neuroimagerie permettent, quant à elles, d’apporter une réponse plus nuancée qu’une simple dichotomie entre processus unitaire et une implication de plusieurs processus dans le SL (pour une revue de questions, voir Batterink et al., 2019). Certains substrats corticaux semblent en effet être impliqués quelle que soit la modalité sensorielle sollicitée par la tâche, comme le striatum, tandis que d’autres ne seront sollicités que si la situation expérimentale le requiert (par exemple les aires du cortex visuel primaire pour une tâche de SL visuelle). Il reste toutefois des structures dont le rôle fait encore débat. Des recherches basées sur l’utilisation de l’imagerie fonctionnelle (IRMf) ont mis en évidence, pour une variété de tâches de SL, des activations dans le lobe temporal médian (LTM) et plus particulièrement au niveau des structures hippocampiques (Schapiro et al., 2012 ; Turk-Browne et al., 2009), ce qui pourrait sembler de prime abord surprenant compte-tenu de la conception classique du rôle de LTM⁵. Schapiro et al. (2014) ont comparé, aux cours de trois expériences, les résultats d’une patiente ayant subi des lésions bilatérales de ces structures après avoir contracté le virus de l’encéphalite herpétique à l’âge de 57 ans, à ceux d’un groupe contrôle (Figure 2).

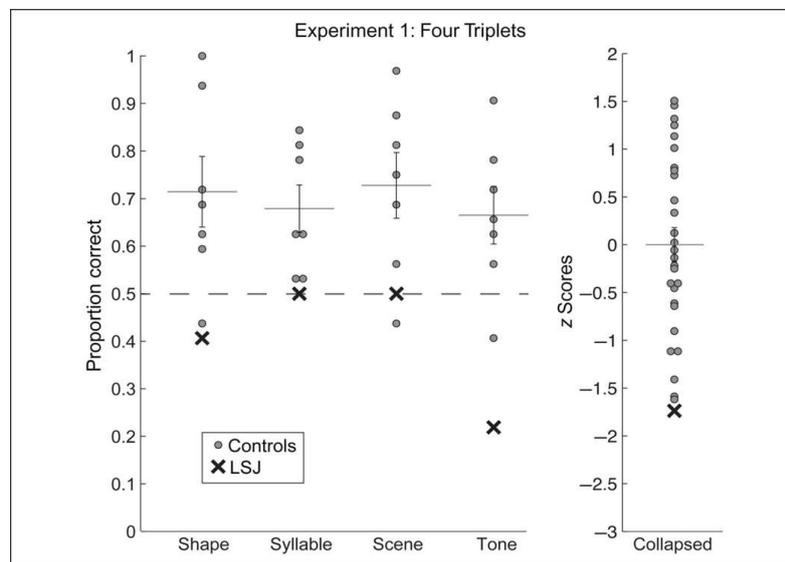


Figure 2 : Comparaison des performances de triplets (formes, syllabes, scènes et tonalités) correctement rapportés par la patiente et par les sujets contrôle dans l’Expérience 1 (dans Schapiro et al., 2014).

⁵ La conception classique du LTM et de l’hippocampe associe généralement ces structures aux registres déclaratifs de la mémoire, notamment la mémoire épisodique. Des travaux, sur lesquels nous reviendrons dans le quatrième chapitre de ce manuscrit, montrent néanmoins que les structures du LTM sont également impliquées dans les mécanismes d’apprentissage associatif spatial (e.g., Chun & Phelps, 1999).

Quelle que soit la modalité de présentation des stimuli, la patiente présente une altération globale de ses capacités à produire du SL, confirmant le rôle primordial des structures du LTM dans le SL auditif et visuel. Toutefois, ces résultats ont été nuancés par une recherche récente au cours de laquelle des participants présentant des atteintes au niveau du lobe temporal médian produisaient du SL, même si leurs performances étaient moindres comparées à celles obtenues par des sujets non-lésés (Covington et al., 2018).

Dans leur ensemble, les données de la littérature apportent des éléments en faveur d'une approche mixte des processus engagés dans le SL, à savoir qu'il peut y avoir une mise en jeu systématique de certains processus cognitifs et réseaux corticaux quelle que soit la tâche, mais également que des fonctions n'interviennent, elles, que dans certaines situations d'apprentissage, notamment en fonction de la modalité sensorielle qui est sollicitée (voir notamment Batterink et al., 2019).

IV. Le statistical learning temporel

Lorsque l'on veut appréhender la manière dont nous percevons des stimuli dans notre environnement, il se pose inévitablement la question du temps. En effet, nous vivons dans un monde dynamique au sein duquel nous sommes, nous-mêmes, presque toujours en mouvement. Les régularités de l'environnement ne sont, en ce sens, pas toujours disponibles simultanément, dans la même fenêtre temporelle/attentionnelle.

Le *statistical learning* temporel a été exploré et mis en évidence dans de nombreuses recherches, essentiellement dans le domaine auditif, dès l'étude pionnière de Saffran et al. (1996). En effet, puisque la modalité auditive implique une présentation séquentielle des stimuli, ceux-ci ne peuvent rester disponible pour traitement par les systèmes perceptifs comme cela est le cas pour les stimuli visuels.

Les premiers travaux sur le SL visuel se sont également penchés sur la sensibilité à des régularités ayant une dimension temporelle (e.g., Fiser & Aslin, 2002 ; Turk-Browne et al., 2009). Ces études proposent un mode de présentation séquentiel des stimuli constitutif de la redondance statistique (par exemple, des triplets de syllabes en auditif et de formes en visuel).

Finalement, assez peu de travaux se sont intéressés à l'apprentissage de contingences spatio-temporelles en modalité visuelle, notamment lorsqu'un événement va venir prédire la localisation spatiale d'un objet d'intérêt qui ne sera disponible qu'ultérieurement⁶ (voir toutefois Ono et al., 2005 ; Thomas et al., 2018). Pourtant, compte-tenu du nombre d'informations disponibles à chaque instant dans l'environnement et de leur enchaînement dans des séquences temporelles, il est probable que notre système cognitif exploite ces contingences afin que, lorsqu'un événement se produit, nous puissions orienter notre focus attentionnel vers un événement ultérieur d'importance.

⁶ Nous reviendrons longuement sur ces recherches dans le chapitre 6 dédié au *contextual cueing* temporel.

V. Quelle est la portée écologique du *statistical learning* ?

Un point qui a alimenté les débats dans le champ du SL concerne la portée écologique de ce phénomène. Si l'on s'intéresse au SL auditif et plus spécifiquement à sa contribution réelle à l'acquisition du langage, peut-on considérer que la sensibilité des enfants de huit mois à des probabilités conditionnelles spécifiées en laboratoire traduit le contexte linguistique dans l'environnement réel ? De plus, il peut sembler hâtif de généraliser les observations faites sur la base d'une langue artificielle à une langue réelle, qu'elle soit maternelle ou non. Enfin, et de manière plus générale, il est légitime de questionner les implications en situation réelle des résultats rapportés sur le SL en laboratoire au regard de la complexité du monde extérieur, dans lequel les sujets sont "bombardés" de stimulations sensorielles, le plus souvent de manière multimodale. Lors de la mise en évidence du SL en modalité auditive, Saffran et al. (1996) ont seulement suggéré que la sensibilité aux probabilités transitionnelles peut faciliter le processus de segmentation de mots, étape cruciale dans le langage. Des travaux comme ceux de Graf Estes et al. (2007) ou de Hay et al. (2011) ont confirmé cette hypothèse initiale en mettant en évidence des effets d'apprentissage statistique cette fois-ci à partir d'un flux de langage utilisant la langue maternelle des enfants.

Au regard de la présence de sources d'interférence dans l'environnement réel comparativement à une situation plus passive en laboratoire, Saffran et Kirkham (2018) ont rapporté, dans une revue de questions sur le SL chez l'enfant, que la magnitude de l'apprentissage peut varier en fonction de nombreux paramètres tels que la saillance des stimuli dans l'environnement mais également, de manière moins intuitive, la crédibilité de la source⁷. Comme le soulignent Frost et al. (2019), de nombreuses explorations restent toutefois à mener afin de mieux traduire ce qui aujourd'hui est connu du SL en laboratoire à des environnements plus naturels dans lesquels les stimuli peuvent être multiples et se croiser dans un même flux, dans le cas du bilinguisme par exemple.

Lorsque l'on étudie un phénomène comme le SL en laboratoire, il est parfois compliqué de proposer des tâches capturant la complexité et la richesse sensorielle et sémantique du monde réel. Plusieurs possibilités s'offrent aux expérimentateurs pour proposer des conditions se

⁷ Tummeltshammer et al. (2014) ont familiarisé des enfants de 8 mois à des indices fiables ou non quant au contenu d'une boîte. Les enfants se fient ensuite plus particulièrement aux sources fiables que non fiable pour effectuer leur recherche

rapprochant des caractéristiques de l'environnement. Utiliser un langage naturel plutôt qu'artificiel (e.g., Pelucchi et al., 2009) en est un bon exemple pour le SL auditif. Les travaux sur l'apprentissage en modalité visuelle, notamment dans des tâches de recherche, ne s'appuient que rarement sur des photographies du monde réel ou même simplement sur des environnements abstraits, mais visuellement riches et complexes (comme des images fractales par exemple). Beaucoup de protocoles visant à observer la sensibilité des participants aux probabilités transitionnelles ont ainsi utilisé des formes simples. Lorsque des scènes du monde réel et des fractales sont employées, comme c'est le cas dans une étude récente proposée par Rogers et collaborateurs (2021), la procédure utilisée pour appréhender les mécanismes d'apprentissage des régularités reste relativement éloignée des tâches courantes dans la vie quotidienne, comme chercher un objet important dans un environnement familier.

VI. Conclusions et perspectives

Depuis les travaux pionniers de Saffran et al. (1996), trois décennies de recherches sur le SL ont apporté des éclairages précieux sur la sensibilité des individus à de nombreuses régularités spatio-temporelles présentes dans l'environnement. Les connaissances ainsi formées, de manière consciente ou non, permettent de faciliter grandement la compréhension de l'environnement et la navigation en son sein, et ce dès les balbutiements de la vie. Néanmoins, des limites et zones d'ombres entourent le SL. Certaines propres au phénomène, d'autres plus en lien avec les méthodes d'investigation utilisées en laboratoire et notamment, comme nous l'avons relevé précédemment, la question cruciale de la transposition entre les phénomènes observés avec le matériel couramment utilisé dans la majorité des recherches et ce qui se produit dans un contexte de vie quotidienne, question longuement adressée par Frost et al. (2019) dans une revue de la littérature. C'est autour de ces questions que nous avons voulu ancrer notre démarche de recherche. Dans cette optique nous nous sommes appuyés sur le paradigme du *contextual cueing* initialement proposé par Chun et Jiang en 1998 et qui constitue une approche élégante pour étudier, en modalité visuelle, les phénomènes de *statistical learning* (voir Goujon et al., 2015),

Chapitre II

Aux origines du *contextual cueing*

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction du présent manuscrit, si notre environnement est riche et complexe, il n'en demeure pas moins structuré, comportant de nombreuses régularités. Nos systèmes perceptifs s'appuient beaucoup sur ces régularités. Ainsi, dans notre champ visuel, les objets dans un contexte donné n'apparaissent pas de manière isolée, incohérente, mais il existe au contraire une grande prédictibilité dans leur présentation, tant spatiale que temporelle. De la même manière que des observateurs peuvent être sensibles à la répétition d'une séquence de formes, la littérature dans le champ du SL visuel a apporté des arguments en faveur d'une sensibilité spécifique à des régularités spatio-temporelles présentes dans l'environnement. Cette forme particulière de SL a été étudiée dans un domaine de recherche appelé "*contextual cueing*", ou indiçage contextuel, au cœur de notre travail de thèse. Le terme *contextual cueing* désigne à la fois un paradigme expérimental et un effet de facilitation dans une tâche de recherche visuelle de cible. Le paradigme du *contextual cueing* a été développé par Chun et Jiang en 1998.

Ce paradigme trouve, à l'origine, son inscription théorique dans les champs de la perception de scènes visuelles, de la sélection attentionnelle, de la construction des schémas perceptifs et schémas de scènes. Avant d'exposer le paradigme, nous présenterons succinctement le cadre théorique dans lequel il s'inscrit.

I. Ancrage théorique du *contextual cueing*

La littérature sur la perception de scènes naturelles met en exergue la nécessité de pouvoir rapidement prioriser le déploiement de notre attention vers les informations pertinentes présentes dans notre environnement afin de pouvoir y naviguer de manière adaptée. Effectivement, l'environnement visuel est extrêmement riche tant en termes de nombre d'objets présents simultanément à nos yeux, qu'au regard des multiples propriétés qui les composent (couleur, taille...). Cependant, nous ne pouvons maintenir qu'un nombre limité d'éléments en mémoire de travail (MdT) (e.g., Luck & Vogel, 1997). Les travaux sur la cécité d'inattention ont également montré qu'il est possible de ne pas percevoir un événement se produisant pourtant sous nos yeux dès lors que nous sommes focalisés sur une tâche requérant notre attention⁸(e.g., Mack & Rock, 1998 ; Simons & Chabris, 1999). Un travail de sélection attentionnelle semble nécessaire pour traiter consciemment un objet. Mais sur quels critères sera déterminée l'allocation la plus efficace de nos ressources attentionnelles ? Quels facteurs seront les plus à même de guider notre attention efficacement ? Ces questions sont à l'origine du paradigme du *contextual cueing* développé par Chun et Jiang (1998).

1.1. La sélection attentionnelle : influence des facteurs *top-down* vs. *bottom-up*

La question du guidage attentionnel au sein de scènes visuelles a longtemps été abordée en étudiant l'influence respective de facteurs ascendants vs. descendants (pour revue voir Theeuwes, 2010 ; Theeuwes et al., 2022). Certains objets possèdent une caractéristique suffisamment saillante pour capturer directement notre attention, facilitant leur détection. Cette capture résulte de facteurs dits *bottom-up*, ou ascendants. Des travaux portant sur ce mode de capture attentionnelle ont mis en évidence que la performance de détection n'était pas fonction du nombre de distracteurs présents dans la zone de recherche. Comme le développent Chun (2000), il n'existe pas ou peu d'objets de ce type dans notre environnement visuel quotidien, à même de capter automatiquement notre attention sur la base d'une seule caractéristique extrêmement saillante. A l'inverse, dans notre environnement, de très nombreux objets

⁸ Ce phénomène est d'autant plus intéressant qu'il semble résister aux effets de l'expertise (e.g. Drew et al., 2013).

présentant des caractéristiques singulières sont disponibles de manière simultanée, ne permettant donc pas, sur cette seule base, un guidage attentionnel efficient.

Nous avons vu que les facteurs ascendants peuvent être un élément de capture attentionnelle. Il existe également des facteurs dits *top-down*, ou descendants, qui sont, eux, basés sur les intentions et les connaissances dont nous disposons en mémoire. Si les traits visuels des éléments de la scène (formes, couleurs, contrastes...) sont des facteurs importants de la perception visuelle, nos connaissances et nos attentes vont aussi jouer un rôle. Par exemple, si nous observons une forme géométrique quelconque, il suffira que des dégradés de gris y soient appliqués pour que nos connaissances sur des propriétés physiques comme la réfraction de la lumière, et nos attentes les concernant, nous amènent à voir des volumes. Des travaux en laboratoire ont illustré ce phénomène en proposant des tâches de recherche de cible au cours desquelles des items distracteurs possédant des caractéristiques communes avec la cible sont présentés aux participants. Les résultats montrent que ces distracteurs reçoivent une allocation attentionnelle comparable à celle déployée sur la cible à détecter (e.g., Arexis et al., 2017 ; Weichselbaum & Ansorge, 2018). L'allocation d'attention peut également être influencée par des effets d'attente, par exemple vers une zone susceptible de contenir la cible à trouver (voir Yu et al., 2023 pour revue).

Le phénomène de l'extension des limites, ou *boundaries extension* (BE) (Intraub & Richardson, 1989, voir Ménétrier et al., 2011 pour une revue de question), constitue également un excellent exemple des facteurs descendants. Ces travaux montrent que si l'on nous présente à deux reprises une même photographie, nous percevons la photographie comme étant en plan plus serré lors de sa seconde présentation. Ce phénomène tient à ce que nous enrichissons avec nos connaissances ce que nos yeux perçoivent, au point de trouver "plus pauvre" la photographie lors de sa seconde visualisation.

Ces facteurs *top-down* vont non seulement moduler ce que nous percevons de notre environnement, mais également ce que nous allons en percevoir.

1.2. Les schémas perceptifs et schémas de scènes

Il est largement démontré que les connaissances en mémoire à long terme (MLT) et les attentes relatives à la scène en cours jouent un rôle déterminant dans le guidage de l'attention. Les attentes que l'observateur peut avoir sur une scène reposent sur l'existence de régularités dans l'environnement. Ces connaissances sur les régularités de l'environnement seraient inscrites en mémoire sous forme de schémas de scène. Ceux-ci décrivent l'ensemble des objets et des événements susceptibles d'apparaître dans une scène, ainsi que leurs positions relatives les uns par rapport aux autres (Mandler & Parker, 1976 ; Mandler & Ritchey, 1977). Ces schémas de scène incluent des connaissances génériques sur le monde, des connaissances fonctionnelles, ainsi que des savoirs sur les principales propriétés physiques de l'environnement (une chaise ne flotte pas dans les airs). Il est également possible d'étendre cette définition en proposant que les schémas de scène comprennent aussi des connaissances sur des covariations purement visuelles. Propriété importante d'un point de vue adaptatif, ces schémas sont activés très rapidement face à une scène visuelle. Potter (1976) a ainsi montré qu'il suffit de quelques centaines de millisecondes pour extraire le *gist*, que l'on pourrait traduire par l'essence de celle-ci, peu importe la quantité de détails la composant, d'une scène⁹. La possibilité d'extraire rapidement le *gist* va servir le déploiement attentionnel et permettre la détection rapide d'objets dans des scènes visuelles (e.g., Oliva & Torralba, 2006 ; Oliva et al., 2003 ; Sampanes et al., 2008).

Dans ces conditions, les informations fournies par le contexte vont jouer un rôle clé dans la construction de nos représentations de scène ou dans la recherche d'objets. Palmer (1975) a également montré l'influence de la présentation de scènes visuelles sur l'identification ultérieure d'objets présentés dans des peintures, les objets cohérents avec la scène étant identifiés plus rapidement que ceux qui ne le sont pas. D'autres éléments du contexte, comme la vraisemblance des associations entre objets, conditionnent également la vitesse de détection d'un objet au sein d'une scène visuelle (e.g., Biederman et al., 1982).

⁹ Un même *gist* "gare ferroviaire" pourra être extrait d'une image, peu importe que celle-ci dépeigne un bâtiment moderne avec de nombreux quais et passagers, ou bien une gare de campagne avec une seule plateforme d'embarquement (Oliva, 2005).

S'il existe de nombreuses régularités visuelles dans notre environnement et que nous sommes à la fois sensibles à ces redondances, et performants pour les exploiter (voir le Chapitre I), il reste néanmoins à comprendre de quelle manière se forment en mémoire les connaissances tirées des régularités contextuelles visuelles, et à décrire les mécanismes cognitifs permettant d'exploiter le fruit de ces apprentissages dans une recherche visuelle vers, in-fine, une amélioration du comportement exploratoire. Le paradigme du *contextual cueing* a été développé dans le but d'étudier ces mécanismes (Chun & Jiang, 1998).

II. Le *contextual cueing* : un paradigme pour étudier les mécanismes de SL

Le paradigme du *contextual cueing*, développé par Chun et Jiang (1998), permet d'explorer le développement d'une sensibilité à des régularités contextuelles lors de l'analyse de scènes visuelles. Ce paradigme met classiquement en œuvre une tâche de recherche visuelle de cible, au cours de laquelle les participants sont invités à détecter le plus rapidement et correctement possible la cible présente.

Il nous a semblé crucial de débiter notre revue de la littérature sur ce paradigme en présentant de manière détaillée l'étude princeps réalisée par Chun et Jiang (1998), laquelle a posé un cadre théorique riche concernant les mécanismes qui sous-tendent le phénomène de *contextual cueing*.

2.1. L'expérience originale du paradigme (Expérience 1)

Dans l'expérience pionnière, Chun et Jiang (1998, Expérience 1), ont proposé une tâche, devenue classique, de recherche sérielle au cours de laquelle des participants étaient invités à rechercher le plus rapidement possible une lettre cible, un T majuscule orienté vers la droite ou la gauche, disposée parmi des distracteurs qui étaient eux des lettres L majuscule (voir Figure 3).

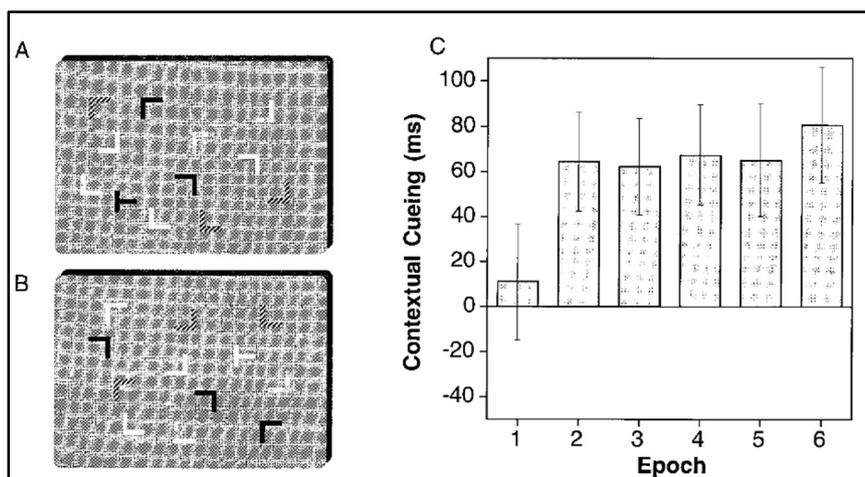


Figure 3 : A et B : Configurations présentées aux participants lors de l'Expérience 1. C : Effets de CC définis par la différence, à chaque époque, entre les TR des essais de la condition non prédictive et les essais de la condition prédictive (extrait de Chun et Jiang, 1998).

Les distracteurs étaient orientés en ayant subi aléatoirement une des quatre rotations suivantes : 0° , 90° , 180° ou 270° . La disposition spatiale des distracteurs à chaque essai définissait le contexte visuel. Les lettres, de couleur jaune, rouge, verte ou bleue, étaient disposées sur une grille invisible 8×6 . Pour réaliser la tâche, les participants devaient appuyer, à chaque essai, le plus rapidement possible sur la touche correspondant à l'orientation de la cible telle que présentée à l'écran. Les variables dépendantes étaient le taux de bonnes réponses ainsi que le temps de réponse moyen. L'expérience était divisée en 30 blocs de 24 essais. L'originalité de cette expérience reposait sur le fait qu'à l'insu des participants, chaque bloc comportait une moitié d'essais répétés de blocs en blocs (essais "prédictifs") et une moitié d'essais aléatoires (essais "non prédictifs"). Chaque essai de la condition prédictive correspondait à un arrangement spécifique dans la disposition des distracteurs, et une position de cible fixe et différente d'un essai à l'autre. Pour la condition non prédictive, chaque essai était présenté une seule et unique fois au cours de l'expérience et proposait une disposition spatiale aléatoire des distracteurs. Afin d'éviter tout effet indésirable de la position de la cible sur les valeurs des variables dépendantes, les cibles des configurations non prédictives apparaissaient nécessairement à l'une des 12 positions possibles définies pour la condition prédictive.

Si les résultats de la tâche de recherche visuelle ont montré très peu d'erreurs dans les réponses des participants et une baisse des TR pour chaque condition, le bénéfice dans les TR est plus important, à partir de quelques blocs, pour la condition prédictive que pour la condition non prédictive. C'est ce bénéfice dans le temps de recherche, résultat d'un apprentissage décrit comme incident de régularités visuelles dans les contextes répétés, que Chun et Jiang (1998) ont baptisé *contextual cueing*. Nous parlons ici d'apprentissage incident car se rapportant à l'absence de consignes explicites relatives à la présence de régularités spatiales dans l'expérience.

Le phénomène démontré, les auteurs ont proposé une série d'expériences afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu et les caractéristiques du phénomène.

2.2. *Contextual cueing* et automatisation basée sur la mémoire

A l'issue de cette première expérience, Chun et Jiang (1998) se sont questionnés quant aux processus ayant bénéficié des répétitions. De fait, les effets peuvent résulter d'un apprentissage des régularités contextuelles, mais également être la conséquence d'une sensibilité accrue des observateurs aux caractéristiques perceptives des stimuli visuels (i.e., une facilitation perceptive). Afin de tester ces deux hypothèses, les auteurs ont proposé un *design* expérimental proche de celui de l'Expérience 1 à quelques exceptions près, la plus notable étant le remplacement complet du set de distracteurs pour la seconde moitié de l'expérience¹⁰. Bien qu'ayant une identité visuelle différente, ce nouveau set de distracteurs conserve néanmoins la même disposition spatiale dans la condition prédictive. Les résultats obtenus vont dans le sens de la première hypothèse, soit un apprentissage des régularités visuelles. Les auteurs observent un transfert de l'apprentissage à des affichages d'objets dont l'identité n'est pas préservée mais conservant les relations spatiales entre eux.

Afin de rendre compte de cette amélioration dans une tâche de recherche visuelle, Chun et Jiang se réfèrent au modèle de l'automatisation proposé par Logan (1988), à savoir l'*Instance Theory*. Les résultats de l'Expérience 2 sont, en effet, en accord avec les prédictions du modèle, à savoir que l'amélioration de la performance de recherche repose sur la formation de traces mnésiques récupérées de manière automatique, et renforcées à chaque répétition du contexte. Selon la théorie de Logan (1988), si l'amélioration reposait sur une amélioration des processus qualifiés d'algorithmiques (amenant à une recherche item par item), il n'y aurait plus de bénéfice en termes de TR dans la condition prédictive lors d'un changement d'identité des distracteurs en cours de tâche. Or, ce changement n'a ici pas impacté la performance de recherche, ce qui est en accord avec l'idée d'une automatisation de la recherche visuelle basée sur la récupération en mémoire des configurations spatiales plutôt qu'une amélioration de stratégies de recherche basées sur des algorithmes. Les représentations formées, dans ce cadre, ne contiendraient en mémoire que les éléments pertinents pour la tâche, à savoir ici, les relations spatiales entre les stimuli visuels.

¹⁰Par rapport à l'Expérience 1, les distracteurs n'étaient plus des T mais des formes ressemblant au nombre 10, orientés à 90° vers la gauche ou la droite. Après 12 blocs, celles-ci étaient remplacées par des formes s'apparentant au nombre 5, également orientées vers la droite ou la gauche.

2.3 *Contextual cueing* et apprentissage associatif

Afin d'étayer l'hypothèse selon laquelle le CC résulterait bien d'un apprentissage associatif contextuel, et non d'un effet d'amorçage perceptif de bas niveau, Chun et Jiang (1998) ont proposé une expérience dans laquelle la position de la cible varie au sein de configurations répétées de distracteurs (Expérience 3). Les résultats montrent qu'ici les participants ne tirent aucun avantage en termes de TR de la répétition des seuls contextes visuels, suggérant donc que les effets de CC sont bien imputables à l'apprentissage associatif entre le contexte visuel et la position de la cible dans les configurations prédictives.

2.4. *Contextual cueing* et attention visuelle

Dans une quatrième expérience, les auteurs ont souhaité valider empiriquement l'hypothèse selon laquelle le bénéfice observé dans les TR est la conséquence d'une amélioration des mécanismes de guidage attentionnel dans la recherche de la cible, et non d'une facilitation des processus précoces (sélection de la réponse) ou tardifs (exécution motrice de la réponse). Une des propriétés des tâches de recherche sérielle est que le temps de détection de la cible croît de manière proportionnelle au nombre d'objets présentés, contrairement aux recherches qui reposent sur un traitement parallèle des items, pour lesquelles le TR ne sera pas affecté par le nombre d'objets présents. Les mesures des processus précoces et tardifs se font, elles, sur la base des intersections entre la courbe de la fonction "*TRxTaille du set d'items*", et l'axe des ordonnées (voir Schneider & Shiffrin, 1977). Les auteurs ont ainsi mesuré les TR pour des sets comprenant 8, 12 et 16 items visuels. Leurs résultats montrent un accroissement plus faible de la pente de recherche en condition prédictive qu'en condition non prédictive. A l'inverse, aucune différence significative n'est observée entre les deux conditions en ce qui concerne les intersections. L'intersection reflète le temps de sélection et d'exécution de la réponse motrice. Ces résultats appuient de manière forte l'hypothèse selon laquelle les effets de CC proviennent d'un guidage attentionnel plus efficace vers la cible en condition répétée plutôt que d'une accélération des autres processus de recherche. **Comme nous le verrons ultérieurement, ce résultat n'a cependant pas toujours été reproduit, et les mécanismes qui sous-tendent le CC dans la tâche typique restent toujours controversés.**

2.5 Vitesse de déploiement du *contextual cueing*

La cinquième expérience proposée par Chun et Jiang a, quant à elle, pour objectif de montrer que les bénéfices dans la recherche visuelle peuvent être associés aux stades précoces du traitement visuel des configurations, en accord avec les propositions de Biederman et ses collaborateurs (1982). Les résultats obtenus dans les expériences précédentes semblent déjà aller en ce sens puisque les effets de CC y sont démontrés pour des temps de recherche relativement brefs, de l'ordre de la seconde. Pour pouvoir en rendre compte, les auteurs ont répliqué l'Expérience 1 mais avec une présentation en flash de 200 ms des configurations de lettres. Les résultats soulignent un effet de facilitation contextuelle, même avec une présentation très brève des configurations. De plus, un effet de CC associé aux stades précoces de la recherche permet d'infirmer l'hypothèse d'une meilleure performance de détection via l'amélioration d'une compétence motrice comme le déploiement des saccades oculaires. Ces résultats renforcent l'hypothèse du guidage attentionnel comme mécanisme principal du CC.

2.6 *Contextual cueing* et apprentissage implicite

Dans le but de mieux rendre compte de la nature explicite ou implicite des processus mnésiques en jeu dans le CC, l'Expérience 2 incluait une tâche de mémoire explicite. A l'issue de la tâche de recherche visuelle, les participants se sont vu administrer une tâche de reconnaissance comportant des questions destinées à appréhender le caractère implicite ou explicite de l'apprentissage au cours de la tâche de recherche ("Avez-vous remarqué la répétition, ou non, de certaines configurations au cours de l'expérience ?"; si oui : "A partir de quel bloc d'essais pensez-vous avoir remarqué les répétitions ?"...). Dans leur ensemble, les réponses des participants suggèrent que ceux-ci n'ont pas pris conscience des régularités et n'ont pas essayé de les apprendre. A l'issue de cette série de questions, une tâche de reconnaissance composée d'un unique bloc de 12 essais est proposée à tous les participants afin d'évaluer dans quelle mesure ils peuvent accéder consciemment à leurs connaissances sur les contextes répétés. Elle contient six configurations prédictives issues de la tâche de recherche et six configurations nouvelles complètement aléatoires. Chun et Jiang (1998) observent que les performances de reconnaissance ne diffèrent pas significativement du hasard. Les participants vont plus vite pour détecter la cible dans les essais prédictifs (qu'ils ont rencontrés 24 fois dans l'expérience) que dans les essais non prédictifs (qu'ils rencontrent une seule fois),

mais ils ne reconnaissent pas mieux les premiers dans la tâche de reconnaissance. Ce résultat très important amène Chun et Jiang à conclure que les processus mnésiques en jeu dans le *contextual cueing* sont implicites. Ici encore, la conclusion initiale des auteurs a été largement débattue dans la littérature. **Nous reviendrons, dans une section dédiée du chapitre 3 de ce manuscrit, sur le caractère implicite du CC, qui lui aussi est largement discuté dans la littérature.**

2.7. Quelle robustesse pour le *contextual cueing* ?

Afin de mieux rendre compte des caractéristiques du CC et de l'utilité que peut revêtir ce mécanisme au-delà des résultats obtenus en laboratoire avec des contextes artificiels, restait pour les auteurs à tester la robustesse du CC. Les résultats des Expériences 2, 4 et 5 vont certes déjà dans le sens d'une certaine généralisation du phénomène (changement d'identité des éléments visuels, présentation brève, nombre variable d'objets visuels), mais ne rendent pas suffisamment compte des perturbations et variations caractéristiques d'un environnement naturel. L'Expérience 6 de la recherche de Chun et Jiang (1998) propose ainsi une première phase, dite d'apprentissage, pour laquelle les configurations de la condition prédictive ont deux localisations de cibles possibles¹¹ De plus, les items visuels de cette condition peuvent se déplacer légèrement d'un bloc à l'autre par rapport à leur position initiale. Enfin, dans une phase de transfert subséquente, la cible, dans les essais prédictifs, peut occuper aléatoirement la position de l'un des distracteurs. La prédiction est alors que les TR seront équivalents, ou plus lents, en condition prédictive qu'en condition non prédictive puisqu'aucun traitement prioritaire n'aura pu être alloué aux positions des distracteurs au cours de la phase d'apprentissage. Les résultats obtenus au cours de cette sixième expérience ont révélé des effets de CC spatial pouvant se généraliser à la présence de deux localisations de cibles, et qui résistent à de légères modifications de la position des objets dans les ensembles visuels.

¹¹ La phase d'apprentissage est composée de 20 blocs au total. Chacune des deux positions de cible est attribuée à la moitié des blocs, soit 10 blocs pour chaque position.

III. Conclusions et perspectives

Les résultats des expériences proposées dans cet article princeps ont permis de dessiner les premiers contours du CC, ce phénomène apparaissant alors comme un mécanisme d'apprentissage incident des régularités contextuelles spatiales permettant une amélioration du guidage attentionnel vers la ou les zones pertinentes pour la recherche, via le contexte global. D'après Chun et Jiang (1998), l'expérience visuelle conduirait à la formation en mémoire de cartes contextuelles, remodelées au fil de notre vie perceptive, et contenant les éléments pertinents structurant les scènes visuelles. Lors d'une recherche visuelle, il se produirait une récupération involontaire de ces cartes contextuelles venant ainsi contraindre la recherche et les enrichir à chaque nouvelle rencontre avec un contexte similaire. Ces mécanismes amèneraient progressivement à une plus grande facilitation de la détection de la cible par l'apprentissage incident des associations entre le contexte global (pouvant se définir comme la disposition relative des objets visuels composant la scène) et la localisation de la cible.

Par ailleurs, les auteurs proposent l'idée selon laquelle le CC revêt une forte dimension écologique. En effet, le phénomène de CC montre qu'au-delà de l'existence de facteurs *bottom-up* et *top-down*, le contexte visuel joue également un rôle important dans le guidage de notre attention. Comme le soulignent Chun et Jiang (1998), dans le monde réel, les objets n'apparaissent pas de manière isolée mais font partie d'un contexte contenant de nombreux autres objets. Le paradigme du *contextual cueing* montre bien à quel point de tels mécanismes de guidage de l'attention sont sans doute primordiaux dans tout comportement de recherche visuelle dans des environnements riches et complexes. Les travaux de Chun et Jiang ouvrent également la voie à tout un domaine visant à étudier comment notre système cognitif apprend à exploiter ces régularités.

Un autre résultat capital pouvant expliquer le succès du paradigme du *contextual cueing* est la dimension implicite, tant de l'apprentissage, que de la nature de la trace mnésique formée ainsi que de sa récupération. Selon Chun et Jiang (1998), le système visuel va pouvoir encoder, sans effort explicite, des informations pertinentes issues de scènes pouvant être très complexes. La connaissance formée va ensuite pouvoir guider l'attention de l'observateur et ce, toujours à son insu. D'après les auteurs, cela comporte plusieurs intérêts au regard de l'état des connaissances sur l'apprentissage au moment de la publication de l'étude. Tout d'abord, un traitement implicite permettrait la mise en mémoire d'un nombre plus grand d'informations que les

systèmes conscients ne le permettraient (Lewicky et al., 1988), et ce sans effort. De plus, les mécanismes d'apprentissage implicites étant plus anciens dans le développement ontogénétique et phylogénétique, ils sont décrits comme plus robustes que ceux supportant l'apprentissage conscient, volontaire (Reber, 1989).

Ce travail pionnier sur le CC a été à l'origine de très nombreuses recherches, notamment sur les extensions possibles de ce phénomène, au regard principalement de la nature des régularités susceptibles de mener à un tel apprentissage contextuel. Toutefois, les postulats initialement émis par Chun et Jiang en 1998 ont, par la suite, été grandement remis en question. Aujourd'hui encore, les mécanismes en jeu dans le *contextual cueing*, ainsi que la nature de la connaissance acquise font l'objet de nombreux débats.

Chapitre III.

Des débats majeurs sur le *contextual cueing* spatial dans des contextes artificiels

Le paradigme du CC a connu un important succès dans le champ de la psychologie cognitive depuis son introduction dans la littérature (Chun & Jiang, 1998). Le nombre important de publications en résultant a apporté des éléments convergents dans la compréhension du phénomène. Pourtant, après un quart de siècle de recherche, il subsiste toujours de vifs débats sur des mécanismes clés du CC. Relativement à la connaissance sous-jacente à l'apprentissage contextuel tout d'abord, des recherches proposent que celle-ci résulte préférentiellement de l'apprentissage du contexte local de la cible, alors que d'autres défendent l'idée qu'elle repose sur l'apprentissage du contexte global. Ces deux hypothèses impliquent des processus d'apprentissage spécifiques, et des niveaux de traitement et de représentation différents.

De leur côté, les questionnements à propos des mécanismes sous-tendant la facilitation de la recherche visuelle dans le CC n'ont pas permis d'aboutir à un consensus clairement établi.

Enfin, le CC, comme le SL en général, a longtemps été assimilé à un phénomène d'apprentissage implicite (AI). Si les arguments permettant d'étayer cette hypothèse ne manquent pas, nous verrons que cette question est plus complexe qu'il n'y paraît, notamment au regard de la manière d'appréhender la nature de la connaissance résultant de l'apprentissage contextuel.

I. Qu'est ce qui est appris dans le *contextual cueing* ?

1.1 Qu'est-ce qui est appris : le contexte local ou global de la cible ?

Arguments en faveur du contexte local

Dès leur première recherche sur le CC, Chun et Jiang (1998) ont posé la question de la partie du contexte permettant de guider le déploiement de l'attention vers la cible à détecter. Plusieurs hypothèses ont ensuite été testées. S'agit-il de la disposition relative de l'ensemble des éléments visuels, du contexte global, ou bien l'apprentissage n'est-il permis que grâce à quelques distracteurs situés au voisinage direct de la cible, à savoir le contexte local de la cible ?

Olson et Chun (2002) proposent une recherche visant spécifiquement à tester ces deux hypothèses, i.e., locale vs. globale. Les auteurs ont proposé une tâche de recherche impliquant trois types de contextes prédictifs. Soit le contexte entier est répété, soit les éléments éloignés de la cible (contexte distant) sont répétés, soit se sont uniquement les distracteurs à proximité directe (contexte proche) qui le sont. Les premiers résultats obtenus indiquent que lorsque le set de distracteurs prédictifs est éloigné de la cible à détecter, aucun apprentissage n'est observé. Un effet de CC est en revanche observé dans les conditions de répétitions du contexte local uniquement, ou du contexte global (Expérience 1) (voir Figure 4). Olson et Chun montrent ainsi que l'apprentissage contextuel peut avoir lieu, à la condition que la cible soit positionnée au cœur d'un ensemble de distracteurs constituant un groupement perceptif.

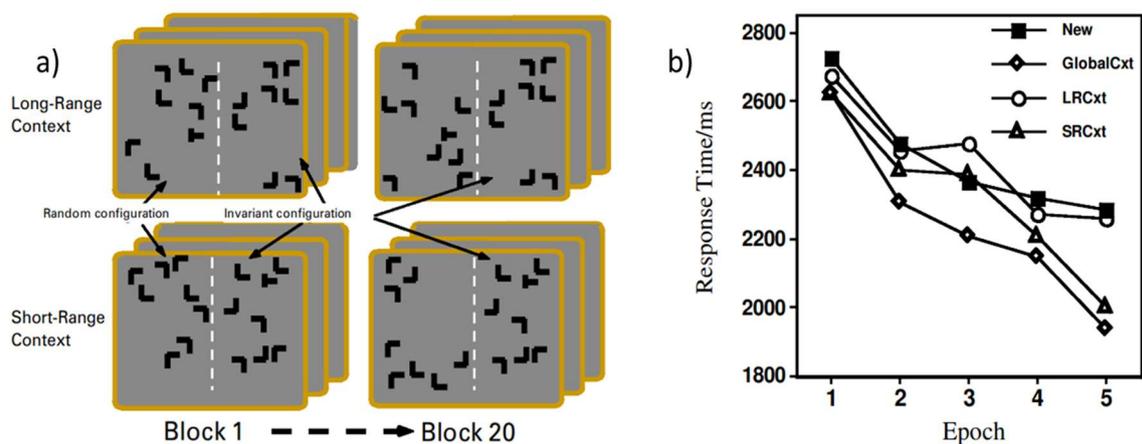


Figure 4 : a) Représentation de la condition “contexte”. En haut, les distracteurs répétés sont éloignés de la cible tandis qu’en bas, ce sont les éléments à proximité de celle-ci qui sont répétés. b) Résultats de l’Expérience 1 montrant un effet de CC lorsqu’il y a répétition du contexte global ou du contexte local (d’après Olson & Chun, 2002).

Les auteurs émettent l’hypothèse que la présence de “bruit” entre la cible et les distracteurs, c’est-à-dire de distracteurs non prédictifs, préviendrait toute possibilité d’apprentissage perceptif spatial. Ainsi, lorsque le bruit est aboli, c’est-à-dire quand aucun élément visuel n’est présent entre la cible et les distracteurs, des effets de CC peuvent être observés dans la condition “contexte distant”. Dans cette condition expérimentale, seuls les distracteurs les plus éloignés de la cible sont répétés (Expérience 3). Ces résultats dans leur ensemble permettent d’étayer l’hypothèse selon laquelle le CC reposerait principalement sur un phénomène de *chunking*, ou groupement perceptif (pour une discussion, voir Goujon et al., 2015). Quelques années plus tard Brady et Chun (2007) ont proposé une modélisation informatique, reposant sur une architecture connexionniste¹², des procédures utilisées dans plusieurs recherches sur le CC afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu dans l’apprentissage contextuel¹³. Les prédictions du modèle ont fait ressortir des résultats équivalents en termes de CC dans les conditions de répétition du contexte local seul et du contexte global. Les auteurs concluent que seule la répétition des éléments à proximité immédiate de la cible est nécessaire pour observer des effets de CC, la répétition pouvant se limiter à deux ou trois distracteurs.

¹² L’approche connexionniste propose que les probabilités de relation entre les objets constituent le contenu de la connaissance en mémoire.

¹³ Ils ont modélisé les premières expériences de Chun & Jiang (1998) et Olson et Chun (2002).

Néanmoins, même si d'autres recherches ont appuyé l'hypothèse d'un effet facilitateur induit par le contexte local de la cible (e.g., Song et Jiang, 2005 ; Zang et al., 2015), Goujon et al. (2015) rappellent qu'il serait réducteur d'appréhender le CC comme résultant uniquement d'un phénomène de *chunking* d'unités perceptives à proximité de la cible, ce qui ne rendrait pas compte de mécanismes associatifs plus complexes. Par ailleurs, Brady et Chun (2007) ont montré que des manipulations basiques, telles que la permutation du cadran contenant le contexte local au sein de configurations prédictives, suffit à abolir les effets de CC auparavant observés. Il semble donc nécessaire que le contexte local soit intégré dans le contexte global pour servir efficacement le guidage de l'attention (voir Olson & Chun 2002).

Arguments en faveur du contexte global

Si une littérature importante atteste du rôle du contexte local dans les effets de CC, il semble que le contexte global puisse également jouer un rôle important. Par exemple, Kunar et ses collaborateurs (2006) ont observé des effets de CC en associant la couleur de fond des environnements de recherche (fournissant alors un élément de contexte global) à la localisation spatiale des cibles. Les études sur le CC portant sur les effets de préexposition de contextes ont, elles aussi, fourni de solides arguments en faveur de l'hypothèse du "contexte global". Ainsi, les observateurs se montrent plus performants lors de la détection de la cible au sein de configurations prédictives ayant été prévisualisées, comparativement à des configurations prédictives pour lesquelles ils n'ont pas bénéficié de pré-exposition (Beesley et al., 2015, Expérience 3)¹⁴. Enfin, il semble qu'une préexposition à l'agencement spatial d'items dans des configurations visuelles favorise les effets de CC (e.g. Geyer et al., 2010). Néanmoins, le contexte global semble ne pas être suffisant pour permettre au CC d'émerger lorsque la fréquence de répétition des contextes prédictifs est faible (e.g., Zang & al., 2018).

Au-delà d'une vision sans doute réductrice consistant à appréhender le CC comme résultant de l'apprentissage préférentiel de l'un ou de l'autre des contextes, il pourrait être plus pertinent de se questionner quant à la contribution respective des contextes globaux et locaux. Dans une

¹⁴ Les configurations pré-exposées n'étaient pourtant prédictives de la position de la cible que dans les derniers blocs d'essais, appuyant l'idée que le CC ne repose pas seulement sur les associations entre la position de la cible et les distracteurs, mais également sur les associations entre les distracteurs entre eux.

recherche récente, Bergman et Schubö (2021) ont proposé une tâche classique de CC contenant trois types d'essais à chaque bloc : avec répétition du contexte global, du contexte local, et des essais nouveaux. La procédure est basée sur un système de récompenses pouvant être élevées ou faibles. Contrairement aux attentes initiales des chercheurs, des magnitudes de CC comparables ont été observées dans les conditions de répétition du contexte local ou global et, ce, quel que soit le niveau de récompense proposé (voir Figure 5). Ces résultats suggèrent que les observateurs peuvent s'appuyer efficacement sur l'un ou l'autre des types de contexte afin d'améliorer leur comportement de recherche visuelle.

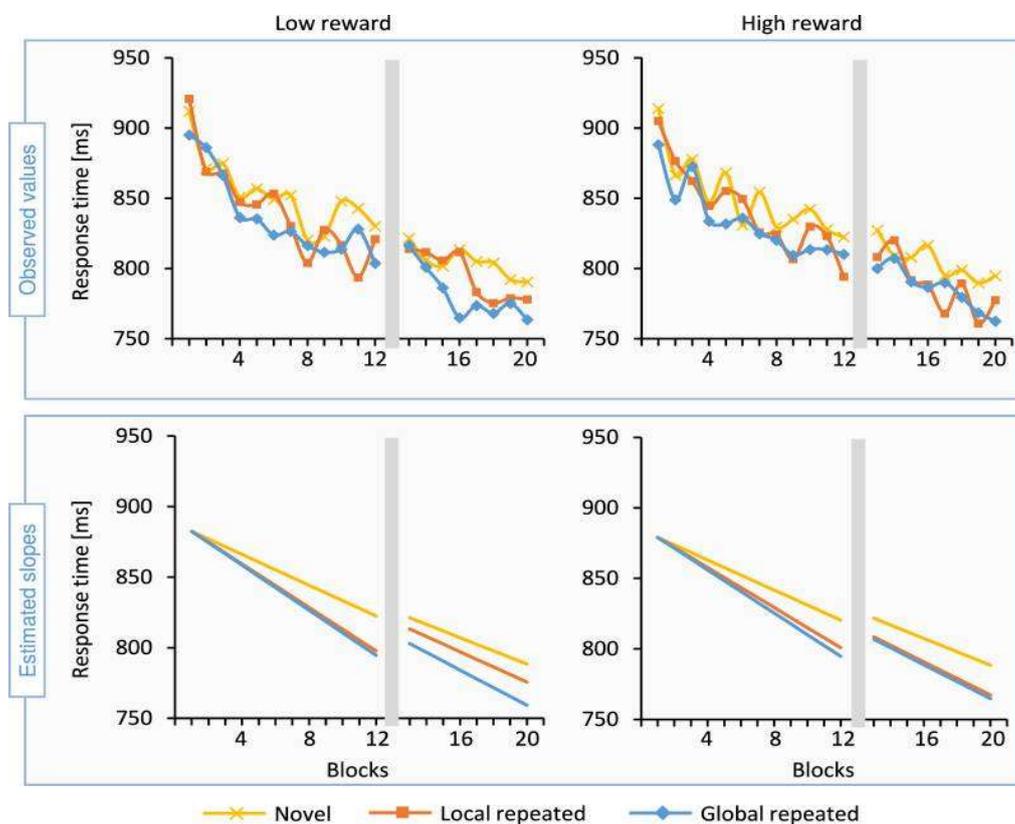


Figure 5 : Évolution des TR à chaque époque dans les conditions de faible rétribution (colonne de gauche) et de forte rétribution (colonne de droite) pour chaque réussite. Les valeurs sont représentées en haut tandis que la ligne du bas présente les pentes de recherches (extrait de Bergman & Schubö, 2021).

1.2 Qu'est-ce qui est appris : la position de chaque distracteur ou la configuration globale ?

Dans la section précédente, nous nous sommes penchés sur les arguments en faveur de l'apprentissage préférentiel des associations entre un ensemble réduit de distracteurs situés à proximité de la cible et la position de cette dernière, ou de la relation entre l'ensemble des distracteurs et la localisation de la cible. Est-il cependant possible que le CC s'appuie sur l'apprentissage de l'association particulière entre la position de la cible et celle de chacun des distracteurs au sein de la configuration ? Jiang et Wagner (2004) ont testé cette hypothèse dans une recherche où ces auteurs associent une position de cible à deux sets de distracteurs distincts dans une phase d'entraînement. Dans une seconde phase, les essais prédictifs correspondent à des recombinaisons de la moitié de chacune des deux configurations de distracteurs associées à une position de cible donnée (Expérience 1). Les résultats de Jiang et Wagner (2004) montrent des effets de transfert du CC observé dans la phase d'entraînement à la session de transfert. Ces résultats appuient l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage des relations entre chaque distracteur et la position de la cible est suffisant pour produire des effets de CC¹⁵.

Néanmoins, lorsque la position absolue des distracteurs est légèrement modifiée au cours du transfert de manière à ce que seule la position relative des distracteurs entre eux soit maintenue, les effets de CC sont également préservés d'une phase à l'autre (Expérience 2) (Figure 6). En outre, au-delà du questionnement initial, les résultats de Jiang et Wagner offrent des éléments intéressants dans la compréhension des propriétés et limites du CC en illustrant la tolérance du phénomène à certaines modifications légères, notamment dans la structure spatiale du contexte visuel d'apprentissage. Ils constituent un exemple de la capacité du CC à résister à de légères modifications dans la disposition des éléments visuels. Plusieurs études rapportent des résultats similaires lorsque les distracteurs sont déplacés à proximité de leur emplacement initial pendant la tâche (e.g., Conci et al., 2012) traduisant ainsi une certaine flexibilité des représentations dans le CC.

¹⁵ Ogawa et Kumada (2008) retrouvent un résultat similaire, avec néanmoins des conditions spécifiques pour que le CC puisse se transférer après recombinaison, notamment via un temps d'exposition prolongée aux configurations pendant la phase d'apprentissage.

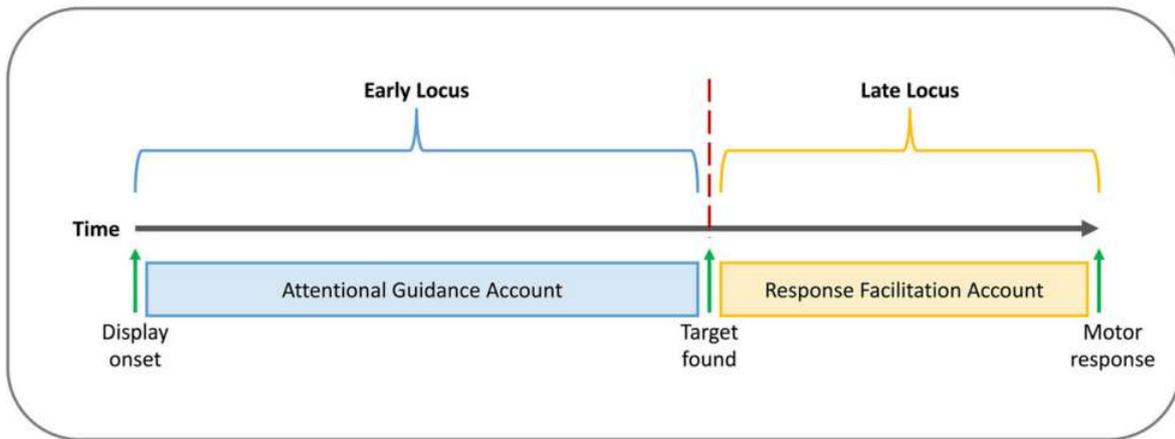


Figure 7 : Représentation schématique des hypothèses de facilitation du guidage attentionnel (locus précoce), et de facilitation de la réponse (locus tardif) (tiré de Sisk et al., 2019).

La toute première proposition en faveur d’une amélioration du guidage attentionnel comme mécanisme sous-jacent au CC a été proposée par Chun et Jiang (1998, Expérience 4). Comme nous l’évoquons dans le second chapitre, ces auteurs manipulaient la taille des sets d’items, qui pouvait être constituée de 8, 12, ou 16 éléments. Ils observaient une réduction des pentes de recherche plus importante pour les contextes prédictifs que pour les contextes nouveaux. Chun et Jiang en ont conclu que le bénéfice observé dans les performances de recherche visuelle provient de l’amélioration du déploiement attentionnel vers les cibles dans les contextes répétés, et non des processus perceptifs précoces ou de sélection de la réponse¹⁶. Un bénéfice sur la pente de recherche dans la condition prédictive a été retrouvé dans plusieurs études, venant renforcer l’hypothèse attentionnelle (e.g., Zhao et al., 2012) considérée comme le mécanisme principal permettant de rendre compte du CC (e.g., Chun 2000).

Cependant, Kunar et ses collaborateurs (2007) ont apporté plusieurs arguments en contradiction avec cette hypothèse. Dans un premier temps, et contrairement à Chun et Jiang (1998), les auteurs n’ont relevé aucune amélioration de la pente de recherche dans la condition prédictive, notamment dans les premiers blocs d’essais. Selon eux, s’il y a une amélioration de la guidance, celle-ci est minime et n’apparaît pas de manière précoce au cours de la tâche.

¹⁶ Comme le rappellent Harris et Remington (2017), une modification dans les processus précoces de sélection et/ou tardifs d’exécution de la réponse se traduirait au niveau de l’intersection entre la courbe de la fonction de recherche “ $TR \times$ Taille du set d’items” et l’axe des ordonnées, mais n’influencerait pas la pente de la fonction de recherche.

En revanche, contrairement à Chun et Jiang (1998), Kunar et al (2007), ont observé un effet de la condition sur les intersections, suggérant que les effets de CC reposent sur une amélioration de la sélection de la réponse (Expérience 1). De manière plus surprenante, les auteurs ont observé des effets de CC, certes réduits, en condition de recherche de type *pop-out*¹⁷, alors que le guidage attentionnel est supposé y être déjà optimal. Le bénéfice dans la recherche ne pourrait alors être attribué qu'à l'amélioration d'autres processus (comme la sélection ou l'exécution de la réponse, ou encore le traitement perceptif de la cible elle-même) (Expérience 2a) (voir aussi Schankin & Schubö, 2010, pour des résultats similaires en condition de guidage optimal). Enfin, lorsque les mécanismes en lien avec la sélection de la réponse étaient "parasités" par l'utilisation de distracteurs conçus dans le but de gêner ce mécanisme, aucun effet de CC n'était observé (Expérience 3).

L'étude des mouvements oculaires a néanmoins apporté des données complémentaires à la compréhension des mécanismes sous-tendant le CC en appuyant l'hypothèse du guidage attentionnel. Les recherches sur le CC utilisant des mesures des mouvements oculaires ont, dans leur ensemble, mis en évidence une diminution du nombre de fixation oculaires nécessaires à la détection de la cible dans les contextes prédictifs comparativement aux contextes aléatoires, tant dans des ensembles artificiels composés de lettres (e.g., Harris & Remington, 2017 ; Manginelli & Pollmann, 2009 ; Peterson & Kramer, 2001a ; Tseng & Li, 2004 ; Zhao et al., 2012) que dans des scènes du monde réel (e.g., Brockmole & Henderson, 2006a), cet effet étant considéré comme traduisant l'amélioration du guidage de l'attention lors de la recherche. Peterson & Kramer (2001a) ont également observé, en parallèle d'effets de CC mesurés avec des TR, un autre phénomène en faveur du guidage attentionnel. Lorsqu'au début des essais les stimuli (L et T) sont remplacés, en amont de leur présentation, un bref moment par des carrés, les mesures des mouvements oculaires révèlent une proportion plus importante de premières saccades oculaires orientées directement vers la cible dans la condition prédictive par rapport à la condition non prédictive.

¹⁷ Les effets de CC en condition *pop-out* sont en général complètement masqués par des facteurs ascendants, rapides, ou fortement réduits, le CC n'ayant pas le temps de se mettre en place (Geyer et al., 2010). Ainsi, les résultats de Kunar et al. (2008) vont dans le sens d'une amélioration du guidage attentionnel lorsque le nombre de répétitions est suffisant. Les participants vont restreindre leur déploiement attentionnel vers un sous-set d'items pertinents pour la recherche.

Certains résultats issus de la neuroimagerie et de la neurophysiologie apportent également des arguments en faveur de l'hypothèse du guidage attentionnel. En effet, des recherches ayant recours à l'IRMf montrent des activations préférentielles de zones corticales impliquées dans l'attention visuo-spatiale face à des contextes répétés (e.g. Greene et al., 2007 ; Manginelli et al., 2009). Des observations concordantes ont été relevées en électrophysiologie, notamment au niveau de la composante N2pc, réputée refléter l'attention spatiale (e.g., Kiss et al, 2008).

Au regard des résultats parfois divergents dans la littérature, Harris et Remington (2017) ont conduit une étude très complète s'appuyant à la fois sur la mesure de données comportementales, sur les TR, mais aussi sur les mouvements oculaires et notamment les deux indicateurs clés que sont le nombre de fixations nécessaires pour détecter la cible, et le délai entre la fixation de la cible et la réponse motrice¹⁸. Leurs résultats montrent de manière claire que les effets de CC mesurés via la réduction des TR sont systématiquement positivement corrélés au nombre de fixations oculaires nécessaires pour trouver la cible. Cependant les TR ne sont jamais corrélés au délai entre la fixation de la cible et la réponse motrice, même dans une situation expérimentale faisant plutôt appel à des facteurs ascendant où le guidage attentionnel peut être considéré comme optimal¹⁹.

Les données de la littérature semblent, en l'état actuel, favoriser l'hypothèse du guidage attentionnel comme mécanisme préférentiel lorsqu'il s'agit de rendre compte des effets de CC. Toutefois, si l'on met réellement en perspective les nombreux éléments susceptibles de venir capturer l'attention des observateurs lors de la recherche visuelle, il est possible que d'autres facteurs que ceux développés au cours de l'apprentissage puissent parfois remporter "la compétition" pour notre attention (Goujon et al., 2015). En ce sens, Sisk et al. (2019) décrivent deux mécanismes, sous-tendus par des substrats corticaux spécifiques, susceptibles d'influencer la recherche visuelle, à savoir des effets d'habituation induits par les recherches passées effectuées par les observateurs, et la carte des priorités attentionnelles, plus directement en lien avec les buts des observateurs. Les auteurs soulignent l'importance d'une meilleure appréhension du rôle des mécanismes attentionnels dans le CC en vue de mieux apprécier leur contribution dans la recherche visuelle en fonction du contexte de recherche.

¹⁸ Une amélioration des processus liés à la réponse se traduirait par la diminution du temps mis pour donner une réponse motrice après fixation de la cible par l'observateur.

¹⁹ Le terme quasi-optimal est néanmoins préféré par les auteurs en référence à l'assertion de Chun et Jiang (1998) selon laquelle le guidage ne peut jamais être parfait.

Une modulation des processus facilités pourrait également intervenir sous l'influence des caractéristiques perceptives de l'environnement. Par exemple, dans des conditions expérimentales où les éléments sont présentés avec un contraste visuel faible, le CC semble plutôt être influencé par des processus perceptifs très précoces, au contraire de situations de contraste élevé pour lesquelles le guidage attentionnel semble être le mécanisme principal sous-tendant le CC (Zhao & Ren, 2020) (voir figure 8).

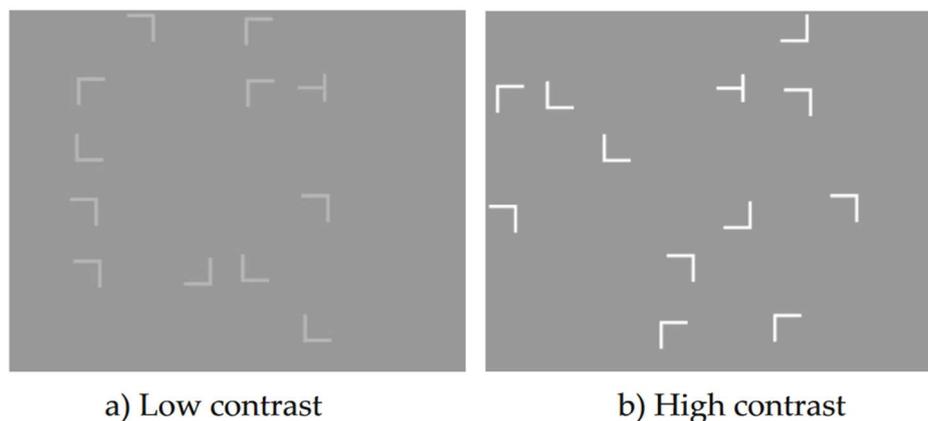


Figure 8 : Exemples de configuration avec contraste faible (a) et contraste élevé (b) (extrait de Zhao & Ren, 2020).

III. Interférence proactive dans le *contextual cueing*

Comme nous l'avons illustré dans la section 1.3 du présent chapitre, des travaux comme ceux de Jiang et Wagner (2004) ont mis en lumière une certaine flexibilité des représentations en mémoire dans le CC. D'autres travaux se sont intéressés à la capacité des observateurs à réapprendre une nouvelle position de la cible, dans des contextes invariants, à la suite d'un premier apprentissage. Il semble ainsi que le CC puisse tolérer une relocalisation de la cible après un premier apprentissage (e.g., Makovski & Jiang, 2010 ; Preuschhof & al., 2019 ; Peterson et al., 2022 ; Zinchenko et al., 2020). Néanmoins, des facteurs sont susceptibles de modérer les effets de CC par suite d'une relocalisation. Ainsi, Makovski et Jiang (2010) relèvent que la magnitude du CC décroît avec l'augmentation de la distance entre la nouvelle position de la cible et la position initialement apprise (et donc attendue) par les participants.

Par ailleurs, d'autres études montrent des effets d'interférence proactive lorsque les participants doivent apprendre une nouvelle position de cible (e.g., Conci et al., 2011 ; Manginelli & Pollmann, 2009 ; Zinchenko et al., 2020). Manginelli et Pollmann (2009) observent ainsi qu'un déplacement de la cible au cours d'une phase de transfert conduit, dans un premier temps, à une abolition des effets de CC auparavant mis en évidence²⁰. De manière certes transitoire, les auteurs ont pu constater à la fois une augmentation du temps nécessaire à la détection de la cible dans les essais de la condition prédictive, ainsi qu'un accroissement du nombre de fixations oculaires nécessaires avant d'arriver à la position de la cible, comparativement aux essais aléatoires. Une mesure des mouvements oculaires montre, de plus, que les participants déplacent systématiquement leur attention vers l'ancienne position de la cible dans les premiers blocs de la phase de transfert.

Si certains travaux rapportent que cet effet d'interférence nécessite de nombreuses répétitions pour être surmonté (e.g., Zellin et al., 2014), des recherches récentes suggèrent, au contraire, une importante adaptabilité des représentations en mémoire face à une relocalisation de la cible (e.g., Peterson et al., 2022). Sans remettre complètement en question ces derniers résultats, Geyer et al. (2023) apportent des conclusions nuancées, à savoir qu'effectivement, le CC peut être flexible à la suite d'une relocalisation, les participants pouvant rapidement apprendre une nouvelle position de la cible dans des contextes prédictifs, mais à la condition que les localisations possibles des cibles dans l'expérience soient communes aux essais prédictifs et non prédictifs.

Il est également possible de rendre compte de la flexibilité du CC en s'intéressant aux perturbations dans le comportement de recherche visuelle face à l'introduction momentanée d'interférences dans le contexte, comme une relocalisation de cible, avant de revenir ensuite au matériel d'origine. Ce type de modifications est notamment connu sous la dénomination de procédures ABA. Celles-ci sont constituées d'une première phase d'apprentissage (phase A), généralement suivie d'une phase de transfert B avec des modifications du contexte, pour enfin revenir à une nouvelle phase A (voir Figure 9). L'intérêt de ce type de procédure est double dans le cas du CC. Il permet tout d'abord de rendre compte, en phase B, de potentiels transferts

²⁰ La phase d'apprentissage avait mené à des effets de CC robustes avec réduction des TR et du nombre de fixations nécessaires pour repérer la cible.

des connaissances acquises en A, et également d'observer le comportement de recherche lorsque les positions originales des éléments visuels sont retrouvées en A à la suite de B.

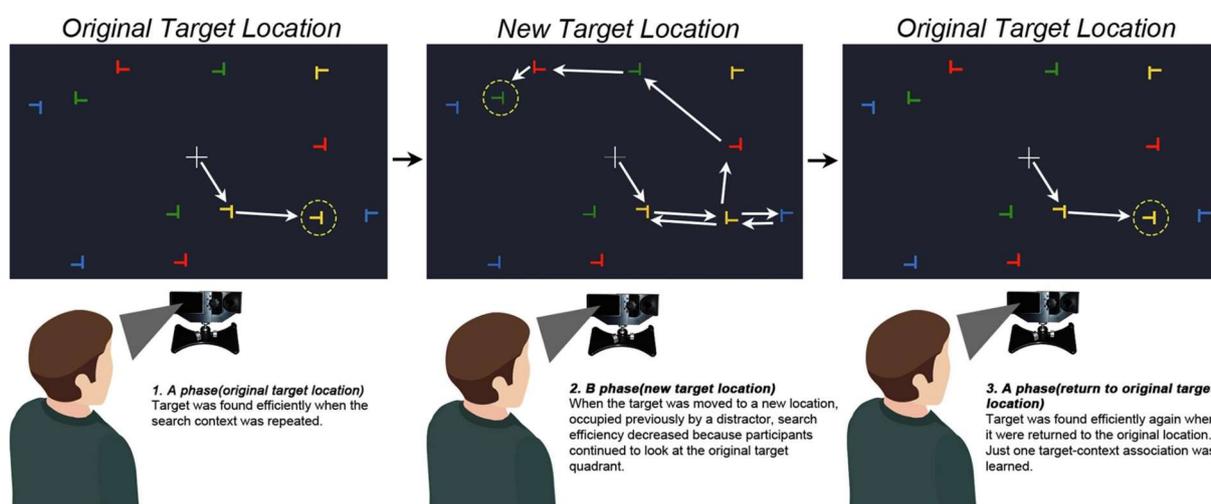


Figure 9 : Exemple d'une procédure ABA dans une tâche de recherche visuelle avec utilisation de l'*eye-tracking*. Ici, dans la phase B la cible occupait une nouvelle localisation avant de revenir à sa position originale (tiré de Yang et al., 2021).

Yang et al. (2021) ont, par exemple, non seulement observé un coût contextuel traduisant l'impossibilité de mettre à jour les représentations en mémoire lors du passage de A à B (des effets de CC robustes étaient installés en phase A où la cible et un distracteur voyaient leur position interchangée), mais également un retour de la facilitation dans la recherche visuelle mesuré par les TR, dès le retour à la phase A montrant une certaine robustesse de l'apprentissage initial.

Dans leur ensemble les résultats de la littérature suggèrent une flexibilité des représentations dans le CC, notamment lorsque le contexte connaît une légère transformation de la position des distracteurs. Le CC résiste également à de légères modifications de la position de la cible. Toutefois, alors même que la question est sujette à débats, il semble que lorsqu'une nouvelle localisation de la cible est proposée à la suite d'un premier apprentissage, des effets d'interférence proactive gênent ce nouvel apprentissage. **Cette sensibilité à l'interférence dans le CC est d'importance puisque c'est une caractéristique généralement associée à l'apprentissage implicite.**

IV. Le *contextual cueing* est-il implicite ?

Deux assomptions fortes ont été posées par Chun et Jiang en 1998. La première, que nous avons abordée dans la section précédente, proposait que la facilitation dans le comportement de recherche soit sous-tendue par une amélioration du guidage de l'attention vers la cible au cours de la tâche. La seconde concerne le niveau de conscience associé à l'apprentissage des régularités visuelles. Pour valider leur hypothèse d'un apprentissage implicite des régularités présentes dans l'environnement visuel, Chun et Jiang ont tout d'abord souligné qu'aucune consigne spécifique visant à l'apprentissage de régularités n'avait été donnée aux participants en amont de l'expérience.

Un deuxième argument est fourni par les résultats à un test de reconnaissance proposé aux participants à l'issue de la tâche de recherche visuelle. Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre consacré à leur recherche (Chapitre 2 section 2.2), Chun et Jiang (1998) montrent que les participants ont des performances équivalentes au hasard dans cette tâche. Les auteurs en concluent que les processus mnésiques impliqués dans le *contextual cueing* spatial sont implicites. Chun et Jiang (2003) vont conforter, quelques années plus tard, l'assertion selon laquelle le CC est implicite, en utilisant une tâche de génération de cible, jugée plus proche de la tâche de recherche visuelle. Les participants, après avoir effectué une tâche classique de détection de T parmi des L, sont exposés, à la fin de l'expérience, à un unique bloc de 12 essais, six essais prédictifs et six essais nouveaux, pour lesquels les cibles ont été remplacées par un distracteur. L'environnement de recherche est divisé en quatre cadrans et la tâche consiste à indiquer dans quel cadran la cible était présente lors des essais de la tâche de détection de cible qui précédait. Les auteurs montrent qu'alors que, pendant la tâche de recherche visuelle, les participants vont plus vite dans les essais prédictifs que dans les essais non prédictifs, ceux-ci sont incapables d'indiquer où se trouvaient les cibles dans la tâche de localisation qui lui succède.

Si ces résultats ont fourni des premiers arguments solides en faveur du caractère non conscient de la connaissance acquise, plusieurs arguments empiriques sont venus questionner, voire invalider cette hypothèse.

3.1 Éléments en faveur de la nature implicite du *contextual cueing*

Le premier argument en faveur d'un apprentissage implicite (pour des revues, voir Nicolas, 1994 ; Reber, 1989), comme nous l'avons vu, tient au caractère incident et non intentionnel de l'apprentissage mis en évidence au cours de la tâche de recherche visuelle dans le CC. Afin d'approfondir ce questionnement, des auteurs ont souhaité tester l'effet d'instructions explicites sur les performances de CC, mais aussi sur le degré de conscience associé à la connaissance formée. Les résultats de ces recherches soulignent l'absence de sensibilité des participants aux instructions (voir parfois même une diminution des effets de CC quand des informations explicites sont données en amont) (e.g., Chun & Jiang, 2003²¹; Lyon, et al., 2014). Contrairement aux scènes du monde réel (que nous aborderons spécifiquement au Chapitre 5), les configurations arbitraires de lettres constituent un matériel difficile à mémoriser explicitement ce qui pourrait expliquer que les participants ne tirent aucun bénéfice, voire se montrent gênés par des instructions explicites²².

Un autre argument en faveur du caractère implicite de l'apprentissage tient au faible coût attentionnel associé au CC. En effet, certains auteurs ont opposé les concepts de "processus automatiques" et de "processus contrôlés" pour rendre compte de la dissociation dans les processus mnésiques à l'œuvre lors de l'apprentissage (Hasher & Zacks 1979 ; Schneider & Schiffrin, 1977). Les premiers seraient principalement impliqués dans les traitements implicites et opéreraient avec un coût attentionnel extrêmement limité alors que les seconds seraient à l'œuvre dans des traitements explicites nécessitant un contrôle attentionnel. Ce sont essentiellement des procédures de double tâche qui ont été utilisées afin de rendre compte de l'automatisme, ou non, des processus attentionnels en jeu dans le CC. Vickery et al. (2010) ont ainsi montré qu'en condition de double tâche, la réalisation d'une tâche interférente n'entrave pas l'expression du *contextual cueing* comparativement à une situation de simple tâche. Néanmoins, les auteurs ont mesuré les effets de CC dans une phase de test ultérieure, et non au moment où la charge attentionnelle est la plus importante. Et, effectivement, quand le CC a été évalué directement en situation de double tâche avec un matériel similaire à celui utilisé par

²¹ Un autre résultat intéressant dans l'étude de 2003 de Chun et Jiang vient de l'absence de corrélation positive entre les effets de CC observés avec instructions explicites et la prise de conscience des répétitions de configurations dans la tâche de recherche.

²² Cet argument appuie le caractère implicite de la mémoire associée au CC selon la dichotomie de Graf et Schacter (1985). Ils proposent une distinction entre deux formes de mémoire. La mémoire explicite interviendrait dans des tâches exigeant un accès conscient à des événements préalables. L'autre forme, dite implicite, serait mise en évidence lors de la facilitation d'une performance à une tâche donnée, par l'influence d'un événement antérieur, sans que le sujet n'en soit conscient.

Vickery et collaborateurs, aucun effet de CC n'a émergé (e.g., Manginelli et al., 2012). Néanmoins, ce constat doit être nuancé. En effet, du CC en double tâche peut apparaître mais sous certaines conditions, à savoir qu'il est nécessaire que la tâche interférente proposée ne soit pas de nature visuo-spatiale. Si des éléments viennent modérer la dimension automatique du phénomène, reste que le CC en présente les caractéristiques principales (e.g., Amsalem et al., 2023).

3.2 Quelle conscience associée aux connaissances dans le *contextual cueing* ?

Pour appuyer le caractère implicite du CC, au-delà de son caractère incident et non intentionnel, de nombreux travaux ont testé le degré de conscience associé à la connaissance à l'issue de la tâche de CC. Le fait que les performances dans les tâches directes de mémoire, i.e., de reconnaissance, ou de génération de cible ne soient pas différentes du hasard (e.g., Chun & Jiang, 1998 ; 2003 ; Colagiuri & Livesey, 2016) est supposé traduire une absence d'accès conscient aux contenus de mémoire issus de l'apprentissage des régularités visuelles. Ce point a néanmoins été à l'origine de désaccords dans la littérature, notamment pour des raisons méthodologiques (Smyth & Shanks, 2008 ; Vadillo et al., 2016). L'idée principale de ces auteurs est que très souvent, la conscience est testée dans un unique bloc d'essai à l'issue de l'expérience, offrant alors une faible puissance statistique pour les tests utilisés. Ainsi, Vadillo et collaborateurs (2016) ont réalisé une méta-analyse portant sur 78 études (soit 181 analyses statistiques) rapportant initialement une absence de prise de conscience des régularités. Plus encore, les auteurs défendent l'idée que les résultats de ces méta-analyses conduisent à des conclusions opposées, c'est-à-dire un accès conscient aux régularités statistiques visuelles. L'argument relatif au manque de puissance statistique a toutefois été réfuté par les résultats de Colagiuri et Livesey (2016) qui observent une absence de corrélation entre la magnitude du CC et le niveau de conscience des régularités dans une étude menée sur plus de 700 participants.

Au-delà des dissensions portant sur les résultats de tâches directes de mémoire, il est sans doute nécessaire de se questionner sur la pertinence de telles mesures pour rendre précisément compte du degré de conscience associé à la connaissance dans le CC. La littérature a déjà souligné de possibles effets de contamination de la mémoire implicite par des éléments explicites (e.g., Goujon et al., 2015 ; Jacobi, 1991). Gaillard et collaborateurs (2014) pointent les manques de l'approche fonctionnaliste, souvent utilisée pour rendre compte du degré de

conscience dans les tâches d'apprentissage implicite²³, notamment en ce sens qu'elle ne capture pas suffisamment la dimension métacognitive de ce que génère chez l'individu le fait d'avoir des représentations conscientes. Dans une approche plus intégrative de la nature de la conscience associée aux représentations, l'utilisation complémentaire de mesures objectives et subjectives²⁴ de la conscience, issues de l'approche phénoménologique, permettrait selon ces auteurs d'obtenir des mesures plus fines du degré de conscience associé à une tâche de CC (e.g., Annac et al., 2019). L'utilisation d'une telle démarche a notamment permis d'appréhender une modification du niveau de conscience selon le moment de l'apprentissage (et de l'évaluation). En effet, dans une tâche de CC avec des scènes du monde réel (cette forme de CC et ses caractéristiques seront spécifiquement adressés dans le Chapitre 5), Goujon et al. (2014) ont montré que si les participants semblent avoir rapidement conscience des régularités durant la tâche, il en est autrement à la genèse de l'effet, i.e., dans les premiers blocs d'apprentissage où le CC est alors associé à une absence d'accès conscient aux régularités.

V. Conclusions et perspectives

A l'issue de plusieurs décennies de questions et débats autour du phénomène du CC spatial, il apparaît que celui-ci peut engager un ensemble de mécanismes susceptibles de varier selon les contraintes et spécificités des procédures expérimentales proposées. Ainsi, en fonction de la manière dont sont disposés les distracteurs au sein des configurations visuelles, les représentations pourront être construites sur la base des quelques objets à proximité de la cible ou bien, au contraire, à partir du contexte global. De même, si la littérature sur le CC semble privilégier l'hypothèse d'une amélioration du guidage attentionnel comme facteur principal sous-tendant la facilitation de la recherche visuelle, cela n'exclut pas *de facto* la facilitation des processus basés sur la réponse motrice, ces derniers pouvant être impliqués de manière préférentielle, ou, tout du moins, de manière concomitante au guidage.

²³ Cette approche postule un accès conscient aux connaissances s'il y a une possibilité d'accès verbal à la connaissance, récupération consciente des connaissances dans une phase de test utilisant un matériel similaire à l'apprentissage, et enfin un contrôle du sujet sur l'expression des connaissances.

²⁴ Les auteurs y proposent une dichotomie intéressante entre la connaissance sur la structure de l'environnement acquis au cours de l'apprentissage, et la connaissance de jugement qui elle s'applique lorsque l'on évalue l'apprentissage à posteriori. Des outils de mesure tels que les échelles de confiance mettent en jeu la connaissance de jugement.

Lorsque l'on questionne le caractère implicite du phénomène, le CC reste soumis aux mêmes débats que les autres tâches d'apprentissage implicite (par exemple, les grammaires artificielles, les tâches de recherche sérielle...) quant à la nature inconsciente des connaissances. Malgré tout, la littérature souligne assez clairement que le CC repose sur l'utilisation non intentionnelle et non consciente des informations en mémoire lors de la réalisation de tâches utilisant des contextes artificiels. Si le caractère conscient de la connaissance a parfois pu être mesuré par le biais de tâches directes de mémoire, il reste complexe de savoir dans quelle mesure cette connaissance peut réellement être qualifiée d'explicite. A cet égard, la littérature récente met en exergue l'importance d'une approche fine et intégrative des contenus de conscience, basée sur l'utilisation conjointe de mesures objectives et subjectives²⁵(e.g., Bertels et al., 2014 ; Sisk et al., 2019).

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les questionnements et discussions autour du caractère universel ou non du CC. La manifestation de cet effet d'apprentissage tout au long de la vie et sa résistance à un certain nombre de pathologies constituent des arguments forts tant en faveur du caractère adaptatif du CC, mais aussi de l'assimilation du phénomène à une forme d'apprentissage implicite.

²⁵ L'expérience consciente d'un souvenir ne pourrait, à elle seule, justifier de l'engagement de processus mnésiques explicites. En effet la littérature a déjà illustré le fait qu'une personne peut faire l'expérience d'un souvenir sans que cela ne fasse référence à un épisode antérieur (Loftus & Pickrell, 1995).

Chapitre IV

Le *contextual cueing*, un phénomène universel ?

Lorsque l'on interroge ce qui définit un apprentissage implicite, la littérature s'accorde sur certains principes fondamentaux (voir Goujon et al., 2015), notamment au regard de son caractère universel. En effet, les capacités d'AI sont reconnues comme stables au cours de la vie, plutôt résistantes aux pathologies neurologiques et troubles psychiatriques, indépendantes du niveau d'efficacité intellectuelle, et sont partagées avec d'autres espèces animales. Mais qu'en est-il du CC spatial ? Au cours de ce chapitre, nous présenterons les travaux et débats autour des effets de CC au cours du développement, dans le vieillissement non pathologique et également face aux désordres neurologiques et troubles psychiatriques. Enfin, nous verrons également que, comme pour d'autres modes d'apprentissage statistique, le CC n'est pas le propre de l'Homme.

I. Le *contextual cueing* de l'enfance à la sénescence

1.1 *Contextual cueing* chez les enfants

La littérature extrêmement abondante sur le *statistical learning* a montré que les très jeunes enfants, dont les capacités perceptives et cognitives sont encore en pleine maturation, peuvent faire face à la complexité de l'environnement en apprenant de manière incidente les régularités sonores et visuelles naturellement présentes dans le monde (Fiser & Aslin, 2001 ; Saffran et al., 1996 ; 1999 ; Saffran & Kirkham, 2018 ; voir Krogh et al., 2013 pour une revue de la littérature sur le SL au cours du développement). Si les enfants ont montré une grande sensibilité aux redondances structurelles de l'environnement, qu'en est-il de leur capacité à utiliser cette connaissance afin d'optimiser leur comportement de recherche visuelle ?

La littérature rapporte des données contrastées à cet égard, résultats peut-être à mettre en lien avec le fait que les systèmes mnésiques et attentionnels sont encore en pleine maturation au cours de l'enfance. Vaidya et al. (2007) ont par exemple comparé les performances de sujets

de différents groupes d'âge à une tâche de CC adaptée de Chun et Jiang (1998). Si les résultats du groupe de jeunes adultes (18-22 ans) montrent un effet de *contextual cueing* spatial, les plus jeunes participants (6-13 ans) n'ont pas bénéficié de la répétition des contextes. Cela ne veut pourtant pas forcément dire que le CC ne peut être présent chez les enfants d'âge scolaire. En effet, des données en faveur d'une facilitation des comportements de recherche visuelle ont été retrouvées dans plusieurs recherches proposant des tâches moins complexes, plus attractives visuellement, ou pour lesquelles la procédure de réponse était moins coûteuse (e.g., Dixon et al., 2010 ; Merrill et al., 2013). Dans cette dernière étude, les TR sont toutefois plus longs chez les enfants ($M = 6.3$ ans) comparativement à ceux produits par de jeunes adultes ($M = 19.80$ ans). Néanmoins, la magnitude des effets de CC est identique dans les deux groupes.

Darby et al. (2014) ont, de leur côté, souligné le rôle modulateur de la rapidité de la recherche visuelle, qui pourrait rendre compte du niveau plus ou moins important de difficulté associé à la tâche, sur l'expression du *contextual cueing*. Il apparaît nécessaire que la tâche de recherche visuelle ne soit ni trop complexe, ni trop simple, pour qu'un bénéfice dans la performance de recherche visuelle puisse émerger (voir Figure 10).

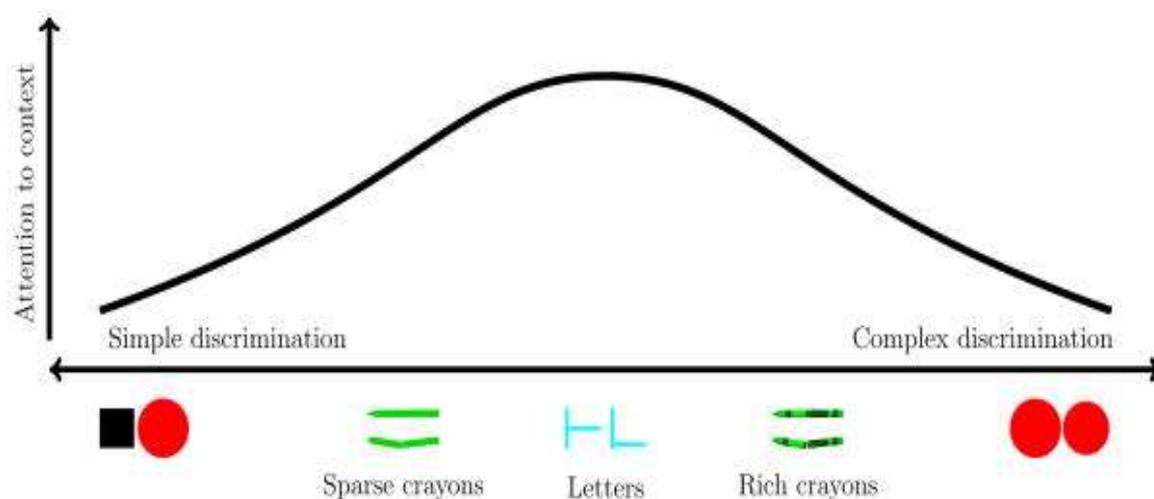


Figure 10 : Distribution de l'allocation attentionnelle au contexte visuel en fonction de la difficulté de la discrimination des éléments visuels. Une discrimination trop aisée ou trop difficile entrainera un moindre déploiement attentionnel sur le contexte de recherche (dans Darby et al., 2014).

Des effets assimilables à du CC ont également été observé chez des nourrissons âgés de 6 à 10 mois via des tâches adaptées à leurs capacités oculomotrices, utilisant les paradigmes de temps

de fixation (e.g., Bertels et al., 2017 ; Tummeltshammer & Amso, 2018). Les résultats montrent une certaine sensibilité chez les nourrissons aux associations entre la position d'une cible et la disposition spatiale de distracteurs.

1.2 Contextual cueing dans le vieillissement non pathologique

Le vieillissement peut être défini comme l'ensemble des processus d'altération des fonctions biologiques intervenant à partir de l'âge mûr²⁶. Nous retiendrons ici une dichotomie simple entre vieillissement pathologique et non pathologique. Le déclin biologique qui accompagne le vieillissement en général implique des modifications des structures corticales ainsi que des fonctions cognitives qu'elles sous-tendent, notamment au niveau mnésique. Le vieillissement non pathologique sera ainsi caractérisé par un déclin des fonctions cognitives (Salthouse, 1999), celui-ci étant néanmoins très hétérogène, notamment sur le plan mnésique. Ainsi, la mémoire épisodique, registre qui apparaît le plus tardivement au cours du développement ontogénétique d'après le modèle SPI (*Serial Parallel Independent*) de Tulving (1995), sera très vulnérable aux effets de l'âge avec toutefois des atteintes spécifiques de certains processus comme la récupération contrôlée, et une relative préservation d'autres processus, plutôt basés sur le sentiment de familiarité, comme la récupération automatique (Clarys, 2001). La littérature s'accorde néanmoins sur le déclin certain de la mémoire explicite avec l'avancée en âge (e.g. Fleischman et al., 2004 ; Mitchell, 1989).

Au contraire, les registres mnésiques non déclaratifs, ou implicites, seraient, eux, moins impactés au cours du vieillissement. De nombreux travaux rapportent notamment des effets de *priming* préservés, avec des performances parfois comparables chez des sujets âgés à celles obtenues par de jeunes adultes (e.g., Schacter et al., 1992 ; Spaan & Raaijmakers, 2011 ; cependant Ward et al., 2020 ; Ward & Shanks, 2018). Nous avons évoqué, dans la section 3 du précédent chapitre, les débats portant sur le caractère implicite ou non du CC. Au regard de registres de mémoire implicite plutôt préservés dans l'avancée en âge, il semble intéressant, en ce sens, d'explorer de potentiels effets de CC dans le vieillissement.

²⁶ L'OMS distingue 3 grands types de vieillissement traduisant chacun un niveau de déclin plus ou moins prononcé de ces fonctions, à savoir le vieillissement réussi, normal et pathologique.

L'hypothèse d'effets de *cueing* préservés avec l'âge est confirmée par la littérature, notamment dans des recherches incluant plusieurs groupes d'âge à des fins de comparaisons (e.g., Howard et al., 2004 ; Merrill et al. ; 2013; Negash et al., 2015, mais voir aussi Smyth & Shanks, 2011). Néanmoins, Howard et ses collaborateurs ont montré que les sujets âgés ont eu besoin de deux fois plus de répétitions que les jeunes adultes pour "produire" du CC spatial. Dans le même sens, Smyth et Shanks (2011) n'ont observé aucun bénéfice de la répétition du contexte spatial chez des sujets seniors dans une tâche courte (16 blocs de recherche)²⁷. Kojouharova et al. (2023) ont de leur côté rapporté des effets similaires en termes de magnitude et de délai d'apparition chez des jeunes adultes et des seniors dans une tâche de CC spatial, avec néanmoins des différences dans les mesures électrophysiologiques, notamment dans l'amplitude des composantes N2pc et P3²⁸.

Certaines recherches récentes mettent en évidence des résultats surprenants puisqu'un plus grand effet de CC a été observé chez des sujets âgés (68,8 ans en moyenne) dans une tâche de relocalisation de cible comparativement à des sujets âgés de moins de 25 ans en moyenne²⁹ (Preuschhof et al., 2019). Dans cette recherche, les participants réalisent tout d'abord une tâche de CC classique pendant six époques (soit 30 blocs d'essais), puis, au cours d'une seconde phase de six époques, la cible n'est plus présentée à la même place dans les configurations auparavant prédictives. Les résultats montrent des effets de CC lors de la première phase, ainsi que lors de la relocalisation, et ce, dans les deux groupes d'âge. Pourtant, la mémoire du contexte spatial est connue pour être résistante aux changements, notamment de la position de la cible dans un contexte répété (cf. section 1.3 du Chapitre 3). La littérature dans le champ a montré qu'un déplacement de la cible dans un contexte prédictif, après apprentissage, génère des effets d'interférence proactive (e.g., Geyer et al., 2021 ; Yang et al., 2021 ; cependant Geyer et al., 2023 ; Peterson et al., 2022) qui peuvent être surmontés à la condition d'un très grand nombre de répétitions des nouveaux contextes prédictifs (80 répétitions dans Zellin et al., 2014). Les fonctions exécutives étant altérées dans le vieillissement, notamment la flexibilité

²⁷ Les auteurs n'interprètent cependant pas leurs résultats comme preuve d'une absence d'effets de CC chez les âgés, mais plutôt comme un indicateur de la dégradation des processus qui sous-tendent cet effet dans le vieillissement non pathologique.

²⁸ La composante N2pc est connue comme un indicateur de l'attention spatiale (Luck & Hillyard, 1994), la composante P3 étant en général plutôt associée à la détection d'un stimulus pertinent (Johnson, 1986).

²⁹ Cette tâche était proposée le lendemain de la tâche de recherche visuelle dont les résultats confirment l'apparition beaucoup plus tardive du CC chez les seniors.

cognitive (e.g., Ferguson et al., 2021 ; Idowu & Szameitat, 2023), il est d'autant plus étonnant d'observer ce pattern de résultats.

II. Le contextual cueing face aux pathologies neurologiques et psychiques

2.1 Le *contextual cueing* dans les troubles mnésiques

L'un des mécanismes les plus communément avancé pour expliquer le CC met en jeu la mémoire à long terme. La question l'implication de l'hippocampe dans l'apprentissage est donc critique (e.g., Travis et al., 2013). Le rôle supposé de l'hippocampe et des structures du lobe temporal médian (LTM) est interrogé assez tôt dans la littérature (Chun 2000 ; Chun & Jiang, 2003), notamment après la mise en évidence par Chun et Phelps (1999) de troubles dans l'encodage d'informations contextuelles par des patients présentant des lésions sévères du système hippocampique. Pourtant, les structures du LTM ont longtemps été considérées comme étant impliquées dans la mémoire explicite. Chun et Jiang (2003) ont donc émis l'hypothèse que les structures hippocampiques interviendraient, au-delà de considérations entre la nature implicite ou explicite, dans l'apprentissage associatif, et dans l'encodage et la consolidation de configurations complexes et d'informations associatives. L'utilisation de l'imagerie cérébrale a plus récemment permis de mettre en évidence, au moyen de l'IRM fonctionnelle, une différence de niveau d'activation de l'hippocampe face à des configurations prédictives par rapport à des configurations nouvelles (Greene et al., 2007).

Ces observations amènent à faire l'hypothèse que des lésions spécifiques, ou une diminution importante du volume de ces structures, que l'on retrouve notamment dans la forme amnésique du MCI (*mild cognitive impairment* / trouble cognitif léger) et dans les démences de type Alzheimer, devraient conduire à une diminution de la capacité à produire du CC. C'est effectivement ce qui est observé dans un certain nombre de recherches. En ce sens, Negash et al., (2007b ; 2015) montrent un plus faible effet de CC chez des sujets présentant un MCI amnésique que chez des jeunes adultes sans trouble neurologique apparent. Chez les sujets avec MCI, les effets de CC sont corrélés aux volumes hippocampiques, notamment dans l'hémisphère droit. Ainsi, les seniors présentant les atteintes les plus importantes sont moins

capables d'apprendre les régularités visuelles. Sur la base de ces résultats, Negash et al. (2015) proposent que le CC spatial pourrait être un bon prédicteur de la sévérité des atteintes du LTM dans le vieillissement pathologique. De manière congruente, Park et al. (2004) n'ont pas retrouvé de CC chez des sujets ayant reçu une injection de midazolam, substance anesthésique provoquant une amnésie, comparativement aux participants du groupe contrôle qui avaient, eux, reçu une dose de solution saline.

Les résultats de la littérature sont néanmoins contrastés au regard de la capacité de participants présentant une amnésie à produire du CC. D'autres recherches mettent en effet en évidence des effets d'apprentissage des régularités spatiales chez des patients présentant une amnésie consécutive à des lésions hippocampiques (Manns & Squire, 2001). De même, Oudman et ses collaborateurs (2011) rapportent des capacités de CC spatial intactes chez des patients atteints d'un syndrome de Korsakoff. Toutefois, van Asselen et al. (2005) ont rapporté des résultats contraires. Dans leur étude, des patients et des sujets contrôles réalisaient une tâche de recherche visuelle (tâche de la boîte). Les sujets Korsakoff n'ont pas bénéficié de la présence d'indices visuels (couleurs) pour retrouver la position des boîtes contenant des cibles plus rapidement.

2.2 Le *contextual cueing* face aux pathologies neurodégénératives et aux troubles psychiques

Concernant les pathologies neurodégénératives touchant les ganglions de la base, les capacités de CC semblent abolies, comme l'attestent des travaux réalisés chez des patients atteints de la maladie de Parkinson (van Asselen et al., 2009), ainsi que des travaux réalisés auprès de sujets atteints de la chorée de Huntington³⁰(van Asselen et al., 2012).

Les atteintes mnésiques associées à la sclérose en plaques affectent généralement les capacités de *binding* entre cible et contexte. Toutefois, il semble que le CC puisse être préservé, notamment en renforçant les associations avec, par exemple, des procédures de préexposition aux régularités (e.g., Daguenaï et al., 2016 ; Thornton et al., 2002). Enfin, dans le cas du syndrome cortico-basal, la littérature rapporte des effets de CC comparables à ceux de sujets

³⁰ Pourtant les études portent sur les stades prodromaux et précoces de la maladie.

neurotypiques malgré des résultats dégradés dans des performances d'apprentissage séquentiel (Negash et al., 2007a).

Les troubles de l'humeur ont, quant à eux, des conséquences variables sur les capacités de *contextual cueing*. On retrouve des capacités de CC préservées dans la schizophrénie (Lamy & al., 2008 ; mais voir Choung et al., 2022³¹), mais pas dans la dépression (Lamy et al., 2008), même si des aides lors de l'encodage contextuel peuvent amener les sujets à produire du CC (Corrêa et al., 2012).

2.3 Contextual cueing et troubles neurodéveloppementaux

Le CC semble relativement résistant aux troubles neurodéveloppementaux. La littérature rapporte en effet des capacités d'apprentissage contextuel préservées chez des sujets avec un trouble du spectre autistique (TSA) (e.g., Barnes et al., 2008 ; Kourkoulou et al., 2011 ; Travers et al., 2013, cependant voir Arthur et al., 2022 pour des résultats contrastés avec des indices explicites, principalement en lien avec la manière dont des sujets adultes porteurs de TSA déploient leur attention vers les indices visuels).

Les résultats concernant le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), sont contrastés. Barnes et collaborateurs (2010) ont mis en évidence des effets de CC comparables entre des enfants avec TDAH et des enfants contrôles, contrairement aux résultats de Weigard et Huang-Pollock (2014). A ce jour, il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude portant sur spécifiquement sur le CC chez des adultes avec TDAH³². En ce qui concerne les troubles spécifiques des apprentissages, notamment dans le cas de la dyslexie, la littérature rapporte des effets de CC comparables à ceux de sujets neurotypiques (e.g., Bennett et al., 2008 ; Jimenez-Fernandez et al., 2011).

Dans leur ensemble, les résultats dans la littérature montrent que du CC peut être mis en évidence très tôt chez le jeune enfant et peut, dans certaines conditions, être relativement

³¹ Les auteurs soulignent la difficulté consistant à porter des conclusions étant donné l'hétérogénéité des profils de patients schizophrènes inclus dans les études sur la perception visuelle. La littérature rapporte des résultats extrêmement variables selon les études et les paradigmes utilisés.

³² Nous avons souhaité conduire une étude en ce sens mais nous n'avons malheureusement pas pu recruter un nombre suffisant de participants adultes porteurs de TDAH.

robuste au cours du vieillissement non pathologique. Il est relativement préservé dans un grand nombre de pathologies neurologiques et troubles psychopathologiques, notamment lorsque les observateurs bénéficient d'un support d'aide à l'apprentissage (pour revue, voir Jiang et al., 2019). Toutefois, un certain nombre de débats sont toujours en cours, notamment sur le rôle de l'hippocampe, structure généralement associée à l'apprentissage explicite, dans les mécanismes d'apprentissage associatifs implicites en jeu dans le CC spatial. Si des travaux ont montré une implication importante des structures du LTM dans le CC³³, avec des patterns d'activation spécifiques selon que les participants ont un accès conscient ou non aux régularités spatiales (Geyer et al., 2012), d'autres recherches ont montré que malgré un rôle contributif, les structures du LTM ne sont pas indispensables à l'apprentissage (Covington et al., 2018).

III. Des différences intra et inter-individuelles dans le *contextual cueing* ?

La littérature sur le *contextual cueing* rapporte des différences importantes entre les individus (e.g., Bennett et al., 2009 ; Smyth & Shanks, 2011). Il existe, tout d'abord, presque systématiquement une proportion de l'ordre d'un tiers des participants qui ne bénéficient pas des répétitions contextuelles dans leur performance de recherche (Goujon et al., 2015). Jiang et collaborateurs (2005) montrent, de plus, que des participants soumis à plusieurs sessions d'une tâche classique de CC ne manifestent pas la même magnitude d'indiçage contextuel, d'une session à l'autre d'une part, et d'autre part que ce ne sont pas systématiquement les mêmes participants qui présentent le bénéfice le plus important dans la recherche visuelle entre les différentes sessions de test.

Par ailleurs, plusieurs études ont cherché à mettre en évidence des corrélations entre la magnitude du *contextual cueing* obtenu au cours de tâches de recherche visuelle, et les capacités cognitives des observateurs, notamment pour les différents registres de mémoire. La mémoire de travail (MdT) a tout d'abord été montrée comme jouant un rôle prépondérant dans le *contextual cueing* (Travis et al., 2013). Ces auteurs observent, via l'utilisation d'une procédure de double tâche, que lorsque la MdT présente une moins grande disponibilité, alors

³³ Il s'agit, plus spécifiquement, de l'hippocampe gauche et du gyrus parahippocampique.

les participants présentent de moins bonnes performances de *contextual cueing*. A noter cependant que dans leurs travaux, Jiang et al. (2006) n'ont pas mis en évidence de corrélation entre la capacité de la MdT spatiale des participants et la magnitude du CC. En outre, pour Vickery et al. (2010), surcharger la MdT, hormis un ralentissement de la recherche dans toutes les conditions, n'affecte pas les performances de *cueing* des participants.

Manginelli et al. (2013) proposent de bien distinguer, pour étudier le CC, la MdT non-spatiale et la MdT spatiale. Pour la première, contrairement à la seconde, ni la capacité, ni la surcharge n'ont d'effet sur les performances de CC spatial (cependant, voir Vicente-Conesa et al., 2022). En ce qui concerne d'autres facteurs de différences interindividuelles, comme l'efficacité intellectuelle, les résultats connus à ce jour sont en faveur d'une absence de corrélation avec les effets de CC (e.g., Merrill et al., 2014).

IV. *Contextual cueing* chez l'animal ?

Comme pour d'autres formes de *statistical learning*, le *contextual cueing* ne semble pas être une spécificité humaine, et a pu être montré chez les animaux. Tout d'abord, même s'ils ne s'appuient pas directement sur le paradigme du *contextual cueing*, les travaux de Gerlai (1998) et de Curzon et al. (2011) montrent que des rongeurs peuvent réaliser un apprentissage contextuel à condition que leur complexe hippocampique soit intact. Ces résultats ont néanmoins été observés dans le cadre d'une procédure de conditionnement par la peur.

Des effets de CC ont surtout été rapportés chez les primates non-humains. Tout d'abord chez les macaques via une procédure utilisant des scènes du monde réel adaptée de Brockmole et Henderson (2006a) (Brooks et al., 2011), les auteurs ont montré une amélioration significative du temps de détection des cibles dans les images prédictives, ainsi qu'une réduction du nombre de saccades oculaires nécessaires pour déplacer l'attention vers l'endroit où la cible devait être placée³⁴.

³⁴ La procédure de Brockmole et Henderson (2006a) ne comporte qu'un seul élément visuel, à savoir la cible, incrustée dans chaque image. L'utilisation d'une procédure sans cible pour l'eye-tracking permet d'enlever l'effet d'une capture attentionnelle de l'élément visuel de la mesure du nombre de saccades oculaires nécessaires à la détection.

Des résultats similaires ont été observés chez des babouins via une procédure classique utilisant des contextes artificiels (Goujon & Fagot, 2013; Marzouki et al., 2014). (Figure 11).

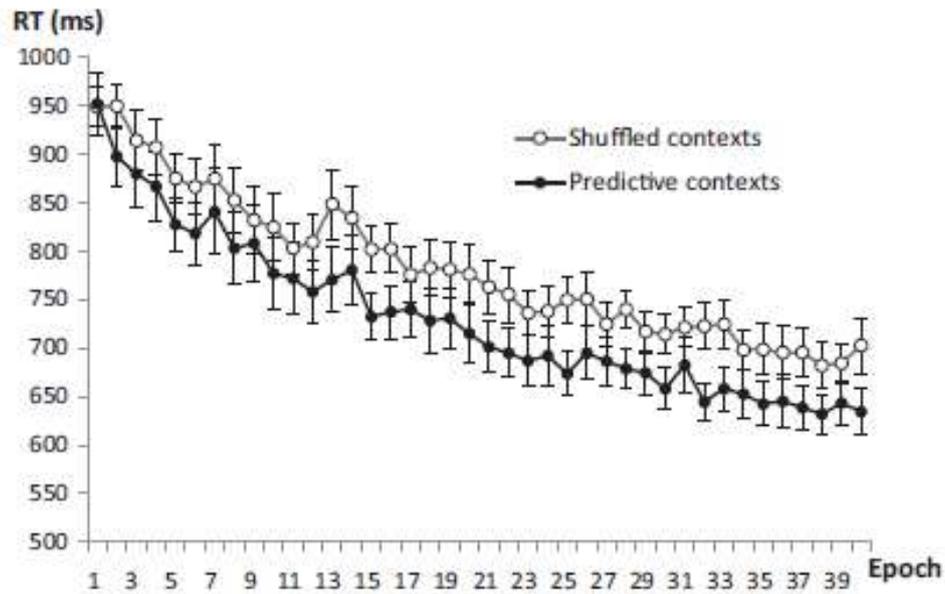


Figure 11: Temps de réponse des babouins dans les conditions prédictive et aléatoire dans une session de la phase de test Les époques regroupent chacune 5 blocs de 12 essais chacun (tiré de Goujon & Fagot, 2013).

Des effets de CC ont également été mis en évidence chez le pigeon, à la fois dans des contextes artificiels (Brooks et al., 2008 ; Gibson et al., 2015), ainsi que dans des images monochromes (Wasserman et al., 2014) ou encore dans des scènes du monde réel (Wasserman et al., 2014).

V. Conclusions et perspectives

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, au regard de son caractère incident, non intentionnel, et au moins partiellement automatique, le CC repose sur des mécanismes d'apprentissage implicite. Il en possède également d'autres caractéristiques, notamment une dimension universelle. En effet, comme l'AI, les capacités à produire du CC sont présentes dès la petite enfance, et semblent préservées dans la sénescence. Elles ne sont pas dépendantes de l'efficience intellectuelle et se trouvent relativement préservées dans de nombreux troubles neurologiques et psychiatriques³⁵. Enfin, elles sont présentes chez d'autres espèces que l'Homme. Dans leur ensemble, les arguments appuyant la relative universalité du *contextual cueing* mettent en évidence le caractère extrêmement robuste et adaptatif du phénomène. Toutefois, qu'en est-il des capacités de *cueing* lorsque l'on s'intéresse à des régularités de l'environnement reposant uniquement sur la disposition spatiale des objets dans l'environnement ? Cette question des extensions du CC à d'autres formes de régularités sera l'objet du chapitre suivant.

³⁵ Notons toutefois que sa magnitude est modulée par ces facteurs.

Chapitre V.

Les principales extensions du paradigme du *contextual cueing*

Les recherches et débats présentés jusqu'ici ont exclusivement porté sur l'apprentissage de régularités spatiales. Les travaux sur le CC ont néanmoins mis en évidence la sensibilité du système visuo-cognitif à d'autres formes de redondances présentes dans l'environnement visuel. Nous nous attacherons tout d'abord à présenter, dans des affichages artificiels et arbitraires, des travaux mettant en lumière la sensibilité des observateurs à des contingences portant sur l'identité des éléments visuels ainsi que sur les caractéristiques sémantiques du contexte visuel. Ensuite, nous nous attarderons sur l'étude des effets de CC lorsque le contexte prédictif est défini par des images visuellement complexes, que celles-ci soient des photographies, ou bien des images sans signification à priori. Nous discuterons de l'hypothèse selon laquelle ces deux formes de facilitation contextuelle relèvent d'un même phénomène.

I. Le *contextual cueing* dans des affichages arbitraires

1.1 *Contextual cueing* basé sur l'identité des objets (*object cueing*) et sur des événements dynamiques (*dynamic event cueing*)

Les premières extensions du phénomène de CC, après l'article princeps de 1998, ont été proposées par Chun et Jiang dans une nouvelle recherche publiée en 1999. Comme ils en font le constat, les régularités disponibles dans notre environnement ne sauraient se limiter à la seule manière dont les objets ont tendance à être disposés les uns par rapport aux autres. Selon Chun et Jiang (1999), il est probable que nous soyons également sensibles à d'autres sortes de régularités. Dans leur recherche, les auteurs testent la sensibilité des observateurs à deux types de régularités : la co-occurrence entre des objets présents dans l'environnement, et les *patterns* de déplacement d'objets visuels dans l'espace.

Object cueing : Lorsque nous naviguons dans un environnement spécifique, les objets y apparaissent rarement seuls, ou de manière aléatoire et chaotique. Ainsi, si nous sommes dans une cuisine, il est fort probable que nous y trouvions à la fois un réfrigérateur, des plaques de cuisson, ou encore des ustensiles de cuisine. La littérature dans le champ du *statistical learning* a, de plus, suggéré que les observateurs peuvent développer une sensibilité à la fréquence dans la co-occurrence d'objets (e.g., Turk-Browne et al., 2005). Dans une première expérience, Chun et Jiang (1999) ont souhaité savoir si un apprentissage entre les identités visuelles d'objets distrayeurs et celle de la cible pouvait émerger, et ainsi faciliter la détection de cette dernière au fil des répétitions.

Pour répondre à cette question, les auteurs proposent une procédure dans laquelle les participants doivent détecter une cible qui est le seul élément visuel symétrique selon un axe vertical (voir Figure 12A). A chaque essai la cible est associée à cinq types de distrayeurs pouvant être présentés en un, deux, ou trois exemplaires pour former au total un ensemble de dix distrayeurs. La régularité, en condition prédictive, provient de la répétition de l'association entre la forme de la cible et celle des distrayeurs. Pour une forme de cible donnée, quelle que soit sa position, il y a toujours les mêmes formes de distrayeurs qui occupent des positions aléatoires. En condition non prédictive, la cible est associée à des distrayeurs dont l'identité et l'emplacement sont aléatoires.

Les résultats de cette expérience montrent un bénéfice dans le temps de recherche dès la seconde époque (chaque époque est constituée de quatre blocs d'essais) quand les identités des cibles covarient avec celles des distrayeurs et ce, malgré la disposition spatiale aléatoire des éléments visuels à chaque répétition. Les résultats obtenus à une tâche de mémoire proposée à l'issue de la tâche de recherche soulignent le caractère implicite de l'apprentissage, et de la connaissance formée.

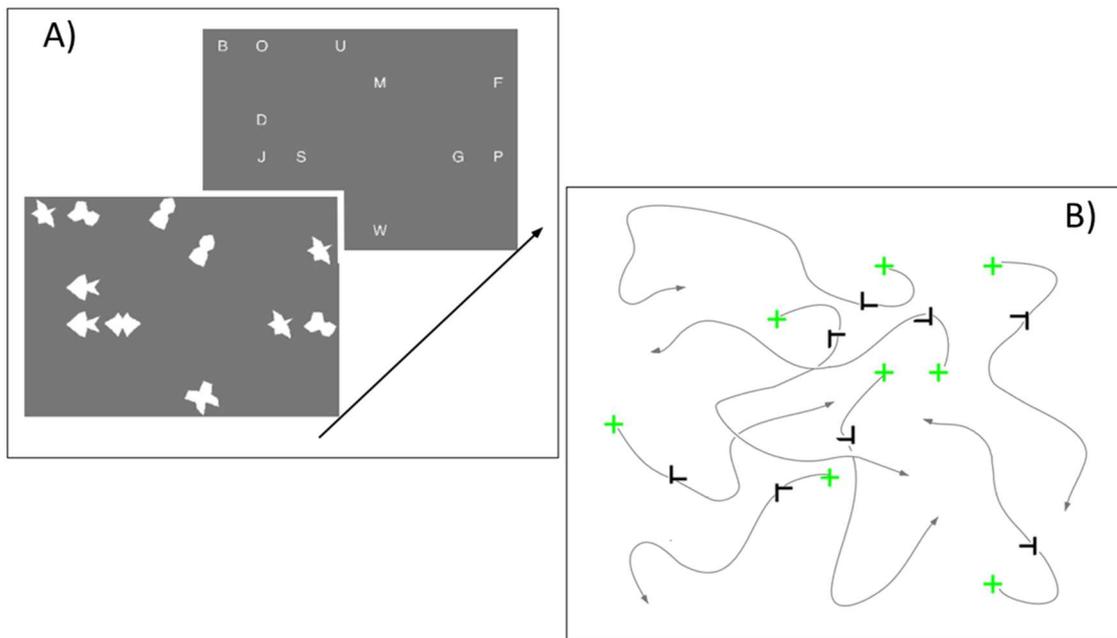


Figure 12 : Illustration du matériel utilisé pour mettre en évidence les phénomènes d'*object cueing* (A) et de *dynamic event cueing* (B) (extrait de Chun & Jiang, 1999).

Dynamic event cueing : Le monde visuel ne peut s'appréhender sans intégrer la notion de mouvement. De nombreux objets se déplacent ponctuellement, d'autres constamment. Nous-mêmes sommes la plupart du temps en mouvement. Nous avons évoqué précédemment la présence de régularités dans la manière dont les objets "co-apparaissent" dans une scène, ou dans leur disposition spatiale relative dans l'environnement. Il existe également une certaine récurrence dans la manière dont les objets se déplacent les uns par rapport aux autres (un exemple typique étant celui de la conduite automobile). Chun et Jiang (1999, Expérience 2) testent l'hypothèse selon laquelle les mécanismes d'apprentissage qu'ils ont mis en évidence opèrent également dans des scènes dynamiques. Dans ce but, ils proposent un protocole adapté de leur tâche de 1998 (voir Figure 12). Les participants doivent détecter une lettre cible (T) parmi sept distracteurs (L). L'originalité vient du déplacement des objets visuels à l'écran pendant une séquence de 2 secondes à chaque essai. La configuration finale est ensuite affichée à l'écran. La régularité est ici définie par la répétition de la trajectoire des objets d'un bloc à l'autre dans la condition prédictive, comparativement à des trajectoires aléatoires d'un bloc à l'autre dans la condition non prédictive. Comme pour l'Expérience 1, les résultats mettent en évidence une sensibilité des observateurs à des régularités spatio-temporelles définies par des séquences de déplacement d'objets visuels dans l'espace.

Les résultats apportés par cette étude ont constitué une première ouverture aux extensions du paradigme du CC montrant une capacité d'apprentissage de régularités temporelles, que nous aborderons plus spécifiquement dans le dernier chapitre de cette première partie, ainsi que des caractéristiques liées à l'identité des objets visuels.

1.2 Contextual cueing basé sur l'identité des distracteurs et les caractéristiques sémantiques du contexte

Chun et Jiang (1999, Expérience 1) ont montré que les informations sur l'identité des distracteurs facilitent la détection de la cible lorsque celles-ci sont prédictives de sa forme. D'autres recherches ont par la suite montré que les propriétés sémantiques du contexte visuel peuvent faciliter la recherche cette fois-ci, de la position d'une cible au sein d'une configuration, (e.g., Endo & Takeda, 2004, Expérience 2).

Endo et Takeda (2004) ont proposé une expérience au cours de laquelle l'identité des distracteurs (condition *identity repetition*) et leur disposition spatiale (condition *configuration repetition*) sont respectivement prédictives de la position de la cible dans une partie des environnements de recherche. Une troisième condition propose des environnements créés par la combinaison des deux régularités (condition *combined repetition*) (Expérience 3). L'analyse des résultats montre des effets de CC dans les conditions pour lesquelles une seule des informations est prédictive de la localisation de la cible, mais également un effet plus important lorsque les deux informations apprises de manière isolée sont disponibles simultanément. Endo et Takeda (2004) ont ainsi mis en évidence un effet de CC "additif" lorsque les deux informations, spatiale et relative à l'identité des distracteurs, sont toutes deux utiles pour la recherche de la cible.

D'autres travaux appuient l'idée que les informations relatives à l'identité de la cible sont en ce sens certainement intégrées dans la représentation du contexte, puisqu'un simple changement d'identité peut suffire à empêcher la généralisation du CC spatial. En effet Jiang et Song (2005) observent que lorsque des effets de CC émergent pour des configurations prédictives dont les distracteurs sont constitués de formes invariantes, le fait de modifier l'identité de ces distracteurs au cours de l'expérience suffit à abolir les bénéfices de la répétition des contextes spatiaux sur le temps de détection (Expérience 2).

Les résultats d'Endo et Takeda (2004) indiquent cependant que si la disposition spatiale des distracteurs et leur identité sont toutes deux prédictives de la localisation spatiale de la cible au cours d'une première phase d'apprentissage, seule l'information spatiale semble apprise par les participants. En effet, les performances observées au cours d'un transfert proposant la répétition d'un seul type d'information révèlent un CC préservé pour la répétition du contexte spatial seul, mais une abolition de l'effet quand ce sont uniquement les régularités portant sur l'identité des distracteurs qui sont répétées (Expérience 1). Ces résultats sont concordants avec l'hypothèse d'une supériorité du CC spatial sur un CC basé sur l'identité des distracteurs généralement rapportée par la littérature (voir Kunar et al., 2014 ; Makovski 2016 ; 2018).

Goujon et ses collaborateurs ont, de leur côté, montré au cours de deux recherches que la catégorie sémantique des distracteurs pouvait être apprise pour faciliter la recherche visuelle dans une tâche de CC (Goujon et al., 2007 ; 2009). Goujon et al (2009) ont ainsi utilisé des contextes visuels composés de groupes de mots appartenant à quatre catégories sémantiques (Expériences 1 et 2). Les participants devaient chercher, parmi un ensemble de mots distracteurs affichés à l'écran, un mot cible qu'ils savaient appartenir à l'une de deux catégories spécifiques (la cible était soit un nom de vêtement soit un nom de bâtiment). Les mots distracteurs quant à eux appartenaient à d'autres catégories sémantiques. Deux catégories sémantiques des distracteurs étaient prédictives de la localisation spatiale du mot cible à détecter, les deux autres catégories étant non prédictives de la position du mot cible (voir Figure 13 pour un exemple). Les résultats montrent, au bout de plusieurs blocs, des plus grands bénéfices dans le temps de recherche visuelle lorsque la cible est associée à des mots appartenant aux catégories sémantiques prédictives, c'est-à-dire présentée dans un contexte permettant de prédire son emplacement.

Ces résultats permettent de mieux appréhender la profondeur du traitement cognitif mis en œuvre dans le CC en soulignant que les systèmes visuo-cognitifs peuvent extraire des caractéristiques abstraites du contexte visuel. Ce dernier point reste un vif sujet de débat dans la littérature sur l'apprentissage implicite, certains auteurs proposant en effet que cette forme d'apprentissage ne permette que l'extraction de propriétés perceptives des objets dans l'environnement visuel (e.g., Perruchet et al., 2002), quand d'autres défendent la possibilité d'un apprentissage implicite de catégories sémantiques abstraites (e.g., Didierjean, 2007 ; Goschke & Bolte, 2007).



Figure 13 : Exemple d'un essai de la condition prédictive utilisé dans les expériences 1 et 2 dans Goujon et al. (2009). L'essai montre l'association entre le mot cible (blouse) localisé en haut à gauche de la configuration. Les mots distracteurs appartiennent à la catégorie sémantique prédictive "mammifères".

II. *Contextual cueing* dans des environnements complexes et au sein de scènes naturelles

Si Chun et Jiang (1998), puis Chun (2000), soulignent la stabilité du monde visuel comme source d'informations pertinentes pouvant faciliter le comportement de recherche visuelle, la plupart des investigations sur le CC et ses extensions ont toutefois été menées via l'utilisation de matériel expérimental composé d'ensembles de lettres, de formes et donc, en somme, relativement abstrait et éloigné des caractéristiques de l'environnement visuel. Une question importante reste celle de la transposition potentielle de ce phénomène à des environnements plus écologiques. En ce sens, certaines recherches ont tenté d'étudier le CC dans des scènes dites "naturelles" (e.g., Brockmole & Henderson, 2006a ; 2006b ; Brockmole & Võ, 2010 ; Ehinger & Brockmole, 2008 ; Goujon & al., 2014 ; voir Tummeltshammer & Amso, 2018 pour des travaux chez les enfants). Dans une recherche proposée par Brockmole et Henderson (2006a), les participants doivent rechercher une cible incrustée dans différentes photographies³⁶. La condition prédictive propose, à chacun des 17 blocs, huit essais prédictifs

³⁶ La toute première démonstration de cette généralisation revient toutefois à DiMase et Chun (2004).

pour lesquels huit images, répétées de bloc en bloc, sont chacune associées à une position spécifique de la cible. Dans la condition non prédictive, les images ne sont pas répétées d'un bloc à l'autre, et la cible peut changer de position. Conformément à l'hypothèse proposée par les chercheurs, les résultats montrent que la mise en mémoire des informations contenues dans les scènes du monde réel facilite le déploiement de l'attention vers la cible à détecter (Expérience 1).

2.1 Quelles spécificités pour le *contextual cueing* dans les photographies ?

Si Brockmole et Henderson (2006a) ont mis en évidence des effets d'apprentissage des régularités visuelles lorsque des images prédisent la position d'une cible localisée dans la scène, un certain nombre de caractéristiques dans les effets observés diffèrent de ceux obtenus dans la tâche classique.

Magnitude et vitesse du contextual cueing dans les images

Les résultats obtenus par Brockmole et Henderson (2006a) avec des photographies montrent tout d'abord que le bénéfice en termes de TR dans la condition prédictive est plus important et émerge beaucoup plus tôt (dès la troisième répétition, Expérience 1) au cours de la tâche. Ce résultat robuste a depuis été retrouvé dans de nombreux travaux portant sur l'étude des phénomènes de CC au sein de contextes naturels (e.g., Goujon et al., 2014³⁷).

Quelle conscience associée à l'apprentissage dans les photographies ?

Les deux caractéristiques abordées dans le point précédent, à savoir le bénéfice tiré très rapidement de la connaissance, ainsi que la grande magnitude de l'effet de CC, sont traditionnellement associées à la mémoire explicite (e.g., Nicolas, 1994). Corroborant cette idée, les résultats issus d'une tâche de mémoire proposée par les auteurs³⁸ à l'issue de la recherche suggèrent que les participants ont utilisé consciemment leur connaissance des régularités pour améliorer leurs performances de détection. Ce résultat est robuste puisque

³⁷ Goujon et ses collaborateurs obtiennent un effet significatif de la condition dès le second bloc (Expérience 2)

³⁸ La tâche de mémoire était scindée en deux parties. Une première tâche de reconnaissance était suivie d'une tâche de génération de cible concernant uniquement les contextes que les participants avaient désignés comme répétés, et dans lesquels les participants devaient placer la cible.

rapporté dans tous les travaux sur le CC basé sur les scènes visuelles (e.g., Goujon & al., 2014 ; Rosenbaum & Jiang, 2013).

Goujon et al. (2014) ont toutefois apporté une nuance importante au caractère purement explicite du CC pour les images. Dans une tâche de CC réduite à trois blocs de recherche, les auteurs ont montré que les participants ayant fourni une réponse aléatoire lors de la tâche de mémoire (génération de cible) exhibent malgré tout d'importants effets de CC (Expérience 2) (cf. Figure 14). De plus, une tâche de génération administrée entre les époques 2 et 3 a révélé que le CC précède sans doute la prise de conscience des régularités³⁹ (Expérience 3).

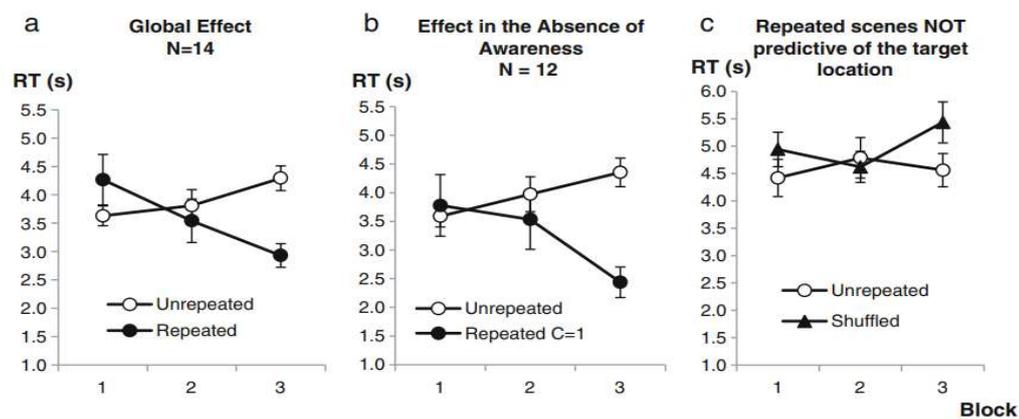


Figure 14 : Résultats à la tâche de CC de l'Expérience 2 pour l'ensemble des participants du groupe expérimental (a), pour les participants ayant répondu aléatoirement à la tâche de mémoire (b) et enfin pour le groupe contrôle (c) (extrait de Goujon et al., 2014).

D'autres travaux nous ont montré que les processus en jeu dans le CC pour les photographies pouvaient être parfois complètement inaccessibles à la conscience. A titre d'exemple, les effets de CC obtenus dans une tâche dont les essais sont précédés d'une prévisualisation d'une scène, pour laquelle les participants doivent réaliser une tâche de catégorisation sémantique, se sont révélés être de nature implicite (Goujon, 2011).

³⁹ Ce résultat est précieux puisqu'il donne des arguments en faveur d'un système unitaire à la base de contenus de conscience implicites et explicites.

Si le CC dans des scènes du monde réel se caractérise plutôt par la dimension explicite quant aux contenus de la conscience, il n'en reste pas moins qu'il correspond à une forme d'apprentissage incident, et peut parfois être considéré comme implicite, tant dans l'apprentissage que dans l'utilisation des connaissances, au moins dans les premiers blocs de la recherche visuelle au sein de scènes naturelles.

2.2 Mécanismes du *contextual cueing* dans les photographies

Au cours du troisième Chapitre, nous avons présenté les principaux mécanismes sous-tendant l'apprentissage dans le CC basé sur des contextes artificiels sous le prisme des débats dans la littérature. Nous avons vu, dans la section précédente, une première spécificité du CC dans les scènes naturelles quant à la question de la conscience associée à l'apprentissage.

Comme nous avons pu l'aborder dans la section 1.1 du Chapitre 3, même si de nombreux débats persistent, le *contextual cueing* au sein d'ensembles de lettres semble pouvoir reposer sur le contexte local ou global de la cible, selon la procédure et le format d'affichage des configurations. Quand la recherche visuelle se déroule dans des scènes naturelles, il semble y avoir moins d'incertitudes. Les études dans le domaine apportent des arguments robustes en faveur de représentations en mémoire construites sur les caractéristiques globales du contexte.

Des études ont spécifiquement adressé cette question, notamment en comparant les performances de recherche lorsque l'un des deux types de contextes, local ou global, est perturbé. Il apparaît alors que si des effets de CC peuvent résulter du seul maintien de l'information locale, les bénéfices sont moins importants que lorsque le contexte global seul est préservé tout au long de l'expérience (e.g. Brockmole et al., 2006 ; Brockmole & Võ, 2010). Brockmole et Henderson (2006a) ont, eux, montré qu'une inversion des images, rendant plus complexe la "lecture" du contexte global de la scène, notamment d'un point de vue sémantique, ralentit l'acquisition des régularités visuelles (Expérience 2).

Pris dans leur ensemble, les résultats de ces recherches mettent en évidence le rôle central de l'information sémantique fournie par les photographies, notamment au niveau global (sens de la scène visuelle dans son ensemble). Plus que l'image de fond elle-même, le sens de la scène visuelle permet la facilitation de la recherche puisque le maintien de la cohérence entre des objets clés d'une scène visuelle est suffisant pour faciliter la recherche visuelle et ce, même en

l'absence d'une image de fond⁴⁰ (Vö & Wolfe, 2013). Ce résultat peut être mis en relation avec le concept d'attente sémantique lors de l'analyse d'une scène, notamment lié aux représentations de scènes préexistantes en mémoire (e.g., Castelhana & Henderson, 2007). Ces attentes sont connues pour leur influence dans le traitement d'une scène visuelle, et viendront contraindre la recherche visuelle au cours d'une tâche de CC (Brockmole & Vö, 2010).

Enfin, des effets de facilitation contextuelle au sein de scènes naturelles ont récemment été mis en évidence chez des sujets âgés atteints de dégénérescence maculaire (DMLA) alors qu'aucun effet de CC n'est observé avec ces sujets dans des contextes artificiels⁴¹ (Pollmann et al., 2020). Ces résultats appuient le rôle des aspects sémantiques puisque le *gist* d'une scène peut être perçu très rapidement, et ce uniquement en vision périphérique (e.g., Boucart et al., 2013).

Une amélioration du guidage visuel basé sur la mémoire des informations sémantiques serait ainsi à la base des effets observés dans les environnements naturels. La manière dont le déploiement oculaire est distribué dans les scènes visuelles a été très largement étudiée dans la littérature, notamment avec des techniques d'*eye-tracking*. Des travaux de Yarbus (1967), mettant en évidence la préférence des observateurs pour certaines régions comme les visages, au concept de "cartes de saillance" proposé par Koch et Ullman (1985), il ressort que la dimension sémantique, si elle n'est pas le seul facteur impliqué, joue un rôle prépondérant dans le guidage attentionnel au sein de scènes naturelles (pour revue, voir Wu et al., 2014).

Dans une autre étude utilisant des scènes naturelles, Brockmole et Henderson (2006b) ont proposé une tâche de CC au cours de laquelle les scènes subissent une inversion en miroir en cours d'expérience (Figure 15). La position de la cible reste stable par rapport à son contexte (elle reste par exemple sur le scooter, cf. Figure 15) mais sa localisation spatiale absolue subit également l'inversion, modifiant sa position initiale. Conformément à l'hypothèse des auteurs, l'inversion entraîne une perturbation dans la recherche visuelle en condition répétée, mais sans que cela ne supprime le bénéfice en condition prédictive. L'étude des TR a de plus montré une reprise de la facilitation de la détection dès le bloc suivant l'inversion, et ce jusqu'à la fin de

⁴⁰ Les objets clés d'une scène sont les éléments qui en sont les plus caractéristiques, et qui permettent à eux seuls d'identifier un contexte global. Par exemple, la présence d'un lavabo peut s'avérer suffisante pour accéder au concept plus global de salle de bain.

⁴¹ Les résultats ont été reproduits avec une altération simulée de la vision centrale chez des sujets sans atteinte visuelle.

l'expérience (sans toutefois revenir au niveau des TR observés lors du dernier bloc du mode de présentation initial). L'étude des mouvements oculaires a, quant à elle, révélé qu'après l'inversion de l'image, le regard des participants est immédiatement réorienté vers la nouvelle position de la cible avec une efficacité de plus en plus importante au fil des répétitions. Sur la base de ces données, les auteurs ont suggéré que la réallocation rapide et efficace de l'attention après la perturbation a été permise par l'exploitation de la signification des scènes.



Figure 15 : Exemples de photographies utilisées par Brockmole et Henderson (2006b). A gauche les images originales présentées dans la première partie de l'expérience. A droite, les mêmes images après inversion en miroir au bloc 11 de l'expérience.

2.3 Le *contextual cueing* dans des images abstraites

Si la littérature sur la mémoire visuelle à long terme (MVLT) met l'accent sur le rôle prépondérant des informations sémantiques dans la formation des représentations et dans le guidage attentionnel au sein de scènes naturelles, cela signifie-t-il que les caractéristiques de plus bas niveau comme les traits perceptifs n'interviennent pas ? Les résultats obtenus par Ehinger et Brockmole (2008) vont dans ce sens, montrant qu'une caractéristique comme la couleur n'exerce aucune influence sur la qualité de l'apprentissage au sein de photographies. Pourtant, les scènes du monde réel se caractérisent et se distinguent les unes des autres par leur richesse visuelle et leur complexité.

Goujon et al. (2012) ont émis l'hypothèse qu'une telle quantité d'information serait suffisante pour permettre une prise de conscience des régularités visuelles. Les auteurs ont proposé une approche basée sur l'utilisation de fractales en guise de contextes de recherche. Ces stimuli sont considérés comme étant sans signification à priori. Sur la base de deux expériences, les auteurs ont apporté plusieurs résultats d'importance. Ils mettent tout d'abord en évidence des effets de CC en tout point comparables à ce qui est classiquement observé dans les procédures utilisant des environnements réels. Le CC, observé ici avec des images de nature abstraite, s'est avéré être de forte magnitude, et a pu émerger après un nombre réduit de répétitions. De plus, et c'est peut-être le résultat le plus surprenant, les effets de facilitation se sont avérés être associés à une prise de conscience des régularités avec ce matériel sans signification a priori. En outre, les données recueillies, à savoir les TR et les données sur les mouvements oculaires, ont apporté des arguments en faveur d'une amélioration du guidage de l'attention au cours de l'apprentissage.

Il est cependant à noter que, contrairement à ce qu'observent Ehinger et Brockmole (2008), des modifications portant sur la couleur des images utilisées dans les deux expériences ont perturbé l'apprentissage des régularités. Un tel résultat est plutôt caractéristique du CC dans des environnements artificiels et vient indéniablement questionner la nature, sémantique vs perceptive, des représentations en mémoire résultant de l'apprentissage⁴². Finalement, cette étude montre que la richesse et la complexité visuelle d'une scène sont des éléments suffisants pour permettre l'apprentissage explicite de régularités au sein d'images, celui-ci résultant d'une amélioration du guidage de l'attention au cours de la tâche.

⁴² L'information sémantique n'étant pas accessible avec les fractales, cela peut expliquer la différence entre les résultats de cette expérience et ceux obtenus par Ehinger et Brockmole (2008). Pour Goujon et al (2012), la possibilité d'un double codage sémantique et perceptif permettrait aux observateurs de s'appuyer sur les informations de nature sémantique afin de surmonter des modifications au niveau des caractéristiques perceptives comme la couleur dans les scènes naturelles.

2.4 Contextual cueing au sein de scènes naturelles vs. contextual cueing au sein de d'environnements artificiels

La littérature suggère que les mécanismes impliqués dans le *contextual cueing* au sein de scènes du monde réel pourraient différer de ceux impliqués dans le cas d'affichages arbitraires. Au regard des spécificités des mécanismes d'apprentissage au sein de ces deux types de contextes, il y a un intérêt certain à appréhender la manière dont ces formes de CC peuvent interagir dans la facilitation de la recherche d'un objet d'intérêt. Si les deux indices sont présents simultanément, les effets de *cueing* sont-ils "additifs" ? La recherche est-elle, au contraire, favorisée préférentiellement par l'un des contextes ? Comme nous l'avons décrit dans la section 1.1 du Chapitre 3, le CC dans les environnements artificiels peut reposer sur un nombre réduit d'items au voisinage de la cible (e.g., Brady & Chun, 2007), tandis que les effets facilitateurs les plus importants dans les scènes naturelles sont liés aux aspects sémantiques globaux de l'image (e.g., Brockmole et al., 2006). Finalement quel niveau de conscience est associé à l'apprentissage lorsque ces deux types d'indices sont disponibles simultanément pour les observateurs ?

Ces questions ont été abordées une première fois par Brooks et collaborateurs (2010). Selon les auteurs, la combinaison de ces deux environnements, à savoir une scène naturelle comme contexte global, et un environnement artificiel jouant le rôle de contexte local, pourrait se rapprocher de situations de recherche de la vie quotidienne. En effet, un objet que nous cherchons se situe la plupart du temps au cœur d'un ensemble d'autres objets pouvant lui ressembler, cet ensemble étant lui-même inscrit dans un environnement plus grand.

Pour répliquer de tels environnements de recherche, les auteurs ont proposé à des participants de détecter un objet cible parmi des distracteurs. Ces éléments, de nature abstraite, sont positionnés sur une table, elle-même placée dans un environnement naturel (voir Figure 16 pour une présentation du matériel et de la procédure de l'Expérience 1). Dans une première phase, la condition prédictive implique la répétition systématique des deux contextes (local et global). Dans une phase de test subséquente, seul l'un des contextes est répété pour la moitié des essais de la condition prédictive, l'autre moitié devenant aléatoire. Les résultats obtenus par les auteurs vont dans le sens de l'hypothèse dite conjointe, à savoir que les deux contextes sont appris concurremment, et que l'abolition du caractère prédictif de l'un ou de l'autre suffit à faire disparaître les effets de CC.

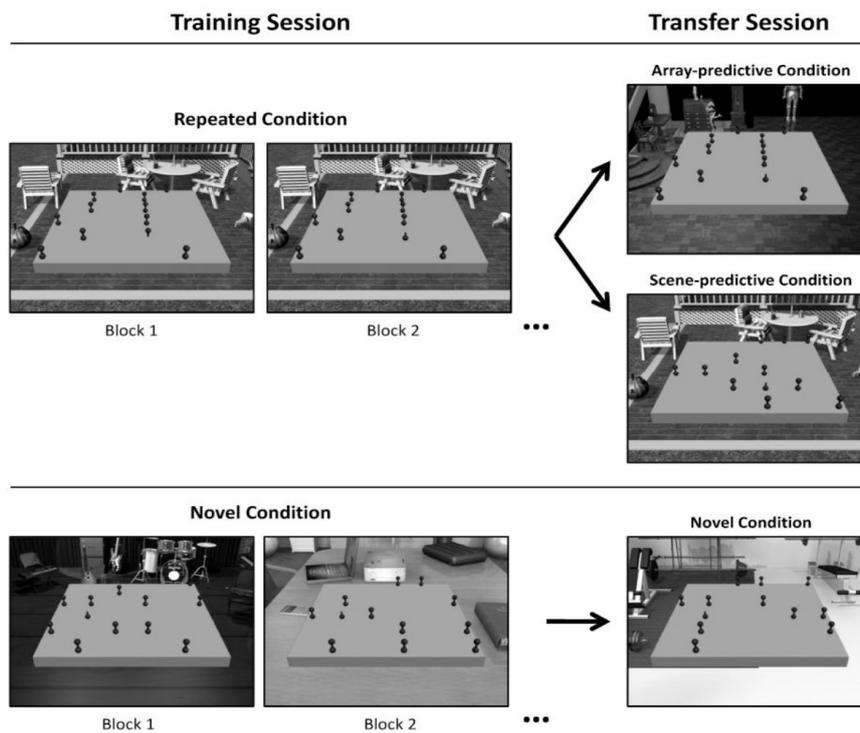


Figure 16 :Exemple d’essais des conditions répétée et nouvelle dans la phase d’entraînement et de transfert de l’Expérience 1. Lors du transfert, les essais issus de la condition répétée ne conservaient que le caractère prédictif de l’ensemble d’objets (*array-predictive*), ou de la scène de fond (*scene-predictive*) (tiré de Brooks et al., 2010).

Sans remettre en question la conceptualisation théorique derrière les expériences de Brooks et al. (2010), Rosenbaum et Jiang (2013) ont toutefois émis des réserves sur l’interprétation faite des résultats, notamment au regard du matériel utilisé dans ces travaux. En effet, dans l’expérience de Brooks et al. (2010), les scènes visuelles n’occupent que la partie excentrée des contextes, tandis que les ensembles de formes abstraites sont localisés au centre des environnements de recherche. Les modélisations proposées par Brady et Chun (2007) ayant montré que le CC est plus fragile pour les associations entre la cible et des éléments contextuels distants, Rosenbaum et Jiang estiment que cela peut avoir constitué un biais suffisant pour que les résultats ne rendent pas totalement compte des interactions entre les deux formes de CC. De plus, le fait que les participants aient été confrontés à deux types d’essais prédictifs au cours de la phase de transfert a pu exercer une contrainte supplémentaire dans l’expression des effets de CC.

Rosenbaum et Jiang (2013) ont réalisé quatre expériences visant à établir la contribution des deux types de CC à l'amélioration du comportement de recherche visuelle, tout en veillant à contrôler, au mieux, les biais susceptibles d'interférer avec l'un ou l'autre des modes d'apprentissage. Une première différence avec le matériel utilisé par Brooks et al. (2010) provient de l'utilisation de photographies sur lesquelles les auteurs ont superposé des configurations de lettres dont les éléments pouvaient être répartis sur toute la surface de l'image (Figure 17). Selon les auteurs, cette manipulation expérimentale permet de résoudre le problème de la restriction des types de stimuli à une région spécifique de l'environnement de recherche. De plus, Rosenbaum et Jiang (2013) ont opté pour l'administration de deux expériences distinctes selon que l'un ou l'autre des types de matériel (scène ou ensemble de lettres) perd son caractère prédictif (Expériences 1 et 2).

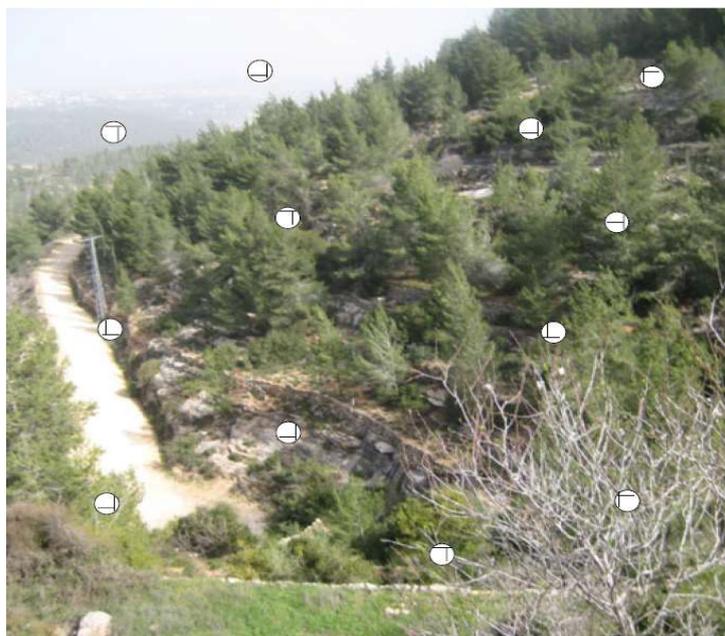


Figure 17 : exemple de stimulus proposé par Rosenbaum et Jiang (2013) au cours de la phase d'apprentissage des Expériences 1, 2 et 3a et 3b.

Dans ces deux expériences, une première phase d'apprentissage au cours de laquelle les deux types d'indices contextuels sont présents, est proposée. Dans les deux cas, des effets de CC stables sont observés au cours de cette première phase. Cependant, au cours d'un transfert, l'analyse des TR révèle un maintien des effets de CC uniquement quand la scène visuelle reste seule prédictive de la localisation de la cible. Au contraire, il y a rupture des bénéfices de

recherche lorsque seules les configurations de lettres restent répétées, mais que celles-ci sont affichées sur des photographies aléatoires. Contrairement à ceux obtenus par Brooks et al. (2010), les résultats de ces deux expériences mettent en évidence un effet de *foreshadowing* (ou ombrage) du CC pour les images sur le CC dans des configurations arbitraires quand ces deux contextes sont tous deux prédictifs de la localisation de la cible⁴³. Ces résultats sont intéressants puisque dans des contextes uniquement composés d'ensembles de lettres, la littérature a montré une supériorité de l'information spatiale sur l'information sémantique, comme évoqué dans la section 1.2 du Chapitre 3. La supériorité des indices fournis par les scènes visuelles s'est accompagnée d'un accès conscient aux régularités. Le caractère explicite associé à cette forme de CC pourrait en soi expliquer l'effet d'ombrage. En effet, pour les auteurs, le CC explicite associé aux images complexes, contrairement au CC implicite, autorise un guidage contrôlé de l'attention favorisant ainsi la détection plus rapide et efficace des régularités, ce qui conduirait à sa supériorité dans ce type de tâche.

III. Conclusions et perspectives

D'abord mis en évidence pour des contingences spatiales (e.g., Chun & Jiang, 1998 ; Peterson & Kramer, 2001a), le phénomène du CC a, par la suite, pu être étendu à d'autres formes de régularités, notamment à des contextes composés d'images complexes significantes ou abstraites. Toutefois dans ce dernier type de contextes, le CC diffère qualitativement, notamment au regard de la conscience associée à la connaissance. En effet, contrairement à ce qui est classiquement observé, les participants semblent utiliser consciemment leurs connaissances dans la recherche visuelle. Cela ne remet toutefois pas totalement en question l'assimilation du phénomène à un apprentissage implicite, puisqu'avec des images complexes, l'apprentissage précoce semble opérer de manière incidente et non-intentionnelle (e.g., Goujon et al., 2014).

La sensibilité des observateurs à d'autres régularités que la seule disposition de lettres au sein de configurations appuie le caractère adaptatif du CC. Néanmoins, si l'on souhaite aborder le CC dans sa portée écologique, il est crucial de prendre en considération la question du temps.

⁴³ Les auteurs ont obtenu des résultats similaires à ceux de l'Expérience 2 dans une adaptation de celle-ci pour laquelle les scènes n'étaient pas affichées durant le transfert afin de limiter la charge perceptive.

Chapitre VI.

Le *contextual cueing* dans ses dimensions temporelles

Une autre dimension importante dans le CC est le temps. Celle-ci est intrinsèque à tous les phénomènes psychologiques. Elle intervient, en effet, dans chaque acte dans lequel nous nous engageons quotidiennement. La dimension temporelle peut être abordée sous plusieurs facettes. Nous nous attacherons tout d'abord à présenter différentes recherches qui se sont intéressées à cette dimension dans le *contextual cueing*, que ce soit sur la précocité des effets au cours de la recherche visuelle, sur la robustesse de ces effets dans le temps, ou encore sur les interactions entre les différents registres de mémoire à long terme ou à très court terme. Dans une seconde partie, nous rapporterons les quelques travaux qui ont porté sur un autre type de redondances que les régularités spatiales, à savoir, des régularités basées sur des contingences temporelles ou spatio-temporelles. Enfin, nous mettrons en lumière non seulement les apports, mais également les limites de ces recherches, et donc les besoins d'investigations complémentaires dans le domaine. Ces manquements dans la littérature sont à l'origine du travail de recherche rapporté dans ce mémoire de thèse.

I. *Contextual cueing* et temporalité

Hormis son utilisation évidente comme variable servant à rendre compte des bénéfices dans la recherche, à travers une réponse motrice ou l'étude du parcours visuel jusqu'à détection de la cible, une réelle prise en compte du facteur temporel est cruciale au regard des mécanismes impliqués dans le CC. Nous nous attarderons, dans cette section, sur deux dimensions de la temporalité. Nous nous intéresserons tout d'abord au délai nécessaire pour qu'un effet de facilitation se manifeste. Cela inclut autant le temps de présentation minimal nécessaire à l'émergence du CC que le temps nécessaire pour que les mécanismes neurocognitifs impliqués dans le *contextual cueing* puissent entrer en jeu face à un contexte répété. Nous nous attacherons ensuite à décrire les travaux qui ont porté sur le maintien dans le temps des effets de CC.

1.1 Précocité des effets de *contextual cueing* au cours de la recherche visuelle

Au cours de la navigation visuelle, pouvoir extraire et exploiter les contingences statistiques dans un temps réduit est un enjeu majeur. Dans leur ensemble, les travaux sur le CC, autant dans des environnements naturels qu'artificiels, se sont appuyés sur des procédures au cours desquelles les participants étaient exposés aux contextes jusqu'à ce qu'ils produisent une réponse (e.g., Brockmole & Henderson, 2006a ; Chun & Jiang 1998, 2003 ; Rosenbaum & Jiang, 2013).

Chun et Jiang (1998) avaient néanmoins déjà rapporté qu'une présentation en flash de 200 ms des configurations était suffisante pour observer des bénéfices dans la recherche visuelle pour des configurations prédictives (Expérience 5). Plusieurs recherches ont par la suite rapporté des effets de CC dans des procédures utilisant des présentations brèves, de 350 ms (Xie et al., 2020) ou 250 ms (e.g., Giesbrecht et al., 2013). Ces résultats comportementaux ont été corroborés par des investigations neurophysiologiques. L'utilisation des potentiels évoqués a permis de mettre en évidence une plus grande positivité de la composante N2pc dans le cortex visuel, supposée refléter l'utilisation de ressources attentionnelles, pour les contextes répétés et ce dans des temps très courts (de l'ordre de 200 ms) après l'apparition du stimulus visuel (Johnson et al., 2007 ; Schankin & Schubo, 2011). Olson et al. (2001) ont rapporté des résultats similaires pour l'onde N210 en EEG, elle aussi en jeu dans le traitement attentionnel. Parallèlement, des investigations sur la mémoire visuelle à court terme (MVCT) ont permis de démontrer que celle-ci si était particulièrement sensible à la disposition spatiale des objets ainsi qu'à la relation entre ceux-ci dans des configurations visuelles (Jiang et al., 2000).

1.2. Interaction entre mémoire à long terme et mémoire iconique

Si ces résultats montrent, sans ambiguïté, que le CC peut émerger très tôt face à des configurations prédictives, Poulet et al. (2023), dans une recherche récente, ont souhaité raccourcir encore les présentations pour étudier si des bénéfices pouvaient émerger au sein de l'information maintenue brièvement en mémoire iconique. Les auteurs ont observé des effets de facilitation contextuelle pour des présentations extrêmement brèves (50 ms) avec cependant certaines contraintes méthodologiques. Le contexte devait en effet être disponible en vision centrale puisqu'il n'est pas possible de réaliser une saccade oculaire dans un temps aussi bref,

expliquant l'absence d'effet observé avec du matériel classique⁴⁴ (Expérience 1). Comment alors expliquer les effets observés avec un temps de présentation aussi court ? Lachter et al. (2004) ont en effet montré qu'un redéploiement attentionnel ne pouvait pas se faire pour un temps inférieur à 55 ms. Pour Poulet et collaborateurs, leurs résultats montrent que, non seulement l'extraction de contingences statistiques, mais également le déploiement de l'attention, ont opéré sur une représentation brièvement maintenue en mémoire iconique. Cette étude montre comment les différents registres de mémoire, à long-terme et iconique interagissent au cours de la recherche visuelle d'une cible. Cette étude offre un argument solide à la précocité des processus de *statistical learning* et à leur influence sur des représentations maintenues très brièvement en mémoire iconique.

1.3 Contextual cueing et robustesse face au temps

Comme nous l'avons évoqué dans le Chapitre 3, le *contextual cueing* semble extrêmement sujet aux effets d'interférence proactive. Cette caractéristique est typique des apprentissages implicites. Qu'en est-il d'une autre caractéristique souvent propre à la mémoire implicite, à savoir sa robustesse dans le temps?

Peu d'études ont été menées afin d'appréhender le maintien ou non des effets de CC à long ou très long terme. Une première investigation a été menée par Chun et Jiang (2003) avec pour objectif d'appuyer les arguments en faveur du caractère implicite du CC. Les représentations implicites en mémoire ont en effet largement été montrées comme étant très robustes dans le temps (e.g., Mitchell & Brown, 1998 ; Reber, 2013 ; Tulving et al., 1982). Après une première tâche classique de CC composée de 30 blocs, les participants étaient invités à revenir au laboratoire une semaine plus tard afin de réaliser huit blocs d'essais supplémentaires. Ces derniers contenaient les mêmes configurations prédictives que lors de la première session, alors que les configurations nouvelles étaient différentes entre les deux sessions. Cette dernière manipulation avait pour but d'écarter tout effet d'apprentissage entre les passations. Les résultats présentés dans la Figure 18 montrent, sans équivoque, une persistance des bénéfices après sept jours. Des effets comparables ont par la suite été observés à la suite d'un apprentissage en vision périphérique après un délai de dix jours (van Asselen & Castelo-

⁴⁴ Le temps minimum nécessaire faisant consensus dans la littérature est d'environ 150 ms pour réaliser une saccade oculaire.

Branco, 2009). Enfin, des bénéfices temporels encore plus importants, de l'ordre de six à huit semaines, ont été observés chez des primates non-humains, avec cependant un entraînement préalable comportant beaucoup plus d'essais (Goujon & Fagot, 2013).

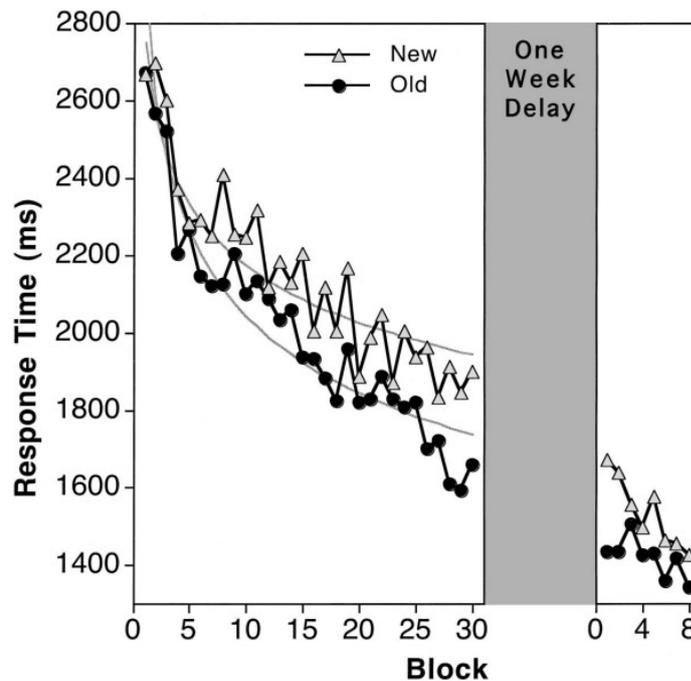


Figure 18: Evolution des TR par bloc pour la condition prédictive (*old*) et non prédictive (*new*) lors de la première session (à gauche) et lors de la seconde session (à droite), les deux sessions étant séparées d'une semaine (tiré de Chun & Jiang, 2003).

A l'aune de ces travaux, le CC apparaît comme pouvant émerger après des expositions très brèves, avec des effets persistant dans le temps au-delà d'une semaine. Notons que ces derniers résultats ont été rapportés pour du matériel artificiel. Un premier objectif des recherches rapportées dans ce travail de thèse était de tester la robustesse du CC au sein d'environnements plus naturels, i.e. au sein d'images complexes avec ou sans signification. Cette recherche est présentée dans la partie expérimentale de ce manuscrit (Expérience 1).

II. Le contextual cueing temporel

Comme nous l'avons déjà évoqué au sujet du *statistical learning*, la majorité des travaux sur le *contextual cueing* s'est restreint à tester l'apprentissage de régularités spatiales présentées simultanément, i.e. au sein du même affichage de recherche. Pourtant les régularités visuelles dans notre quotidien ne sont pas toujours présentes dans la même fenêtre temporelle. Par exemple, lorsque nous conduisons, une pancarte sur la route peut indiquer un événement ultérieur, comme la présence d'un passage à niveau quelques centaines de mètres plus loin. Ce dernier ne sera visuellement disponible que quelques secondes plus tard.

2.1 *Contextual cueing* au sein de séquences temporelles invariantes

Une première approche des phénomènes de CC temporel a été illustrée via la procédure d'indilage d'événements dynamiques (*Dynamic Event Cuing*) proposée par Chun et Jiang (1999), celle-ci décrit l'apprentissage d'un schéma de déplacement au sein d'une même configuration (cf. section 1.1 du Chapitre 5)

La première mise en évidence des capacités d'apprentissage de régularités temporelles à l'aide du CC a été rapportée par Olson et Chun (2001). Dans les deux premières expériences, les auteurs demandent à des participants de rechercher une lettre cible (un K ou un X) présentée au sein d'une séquence de lettres affichées successivement (Figure 19). Plusieurs séquences sont proposées au cours d'une phase d'entraînement. Au sein de ces séquences, l'un des paramètres suivants est maintenu constant, à savoir le rythme de présentation des stimuli (Expérience 1), ou l'ordre de présentation des lettres (Expérience 2). Le second paramètre est, lui, rendu aléatoire. Cette manipulation confère ainsi un caractère prédictif, dans le temps, à chacun des paramètres selon l'expérience. Les résultats montrent une amélioration du temps de détection des cibles au fil des répétitions dans chacune des deux expériences, soulignant la capacité d'apprentissage de régularités temporelles. Dans une phase de test subséquente à la tâche de recherche visuelle, les séquences sont complètement aléatoires. Les résultats mettent alors en évidence la disparition du bénéfice précédemment observé sur les TR, suggérant l'apprentissage des séquences prédictives dans la phase d'entraînement.

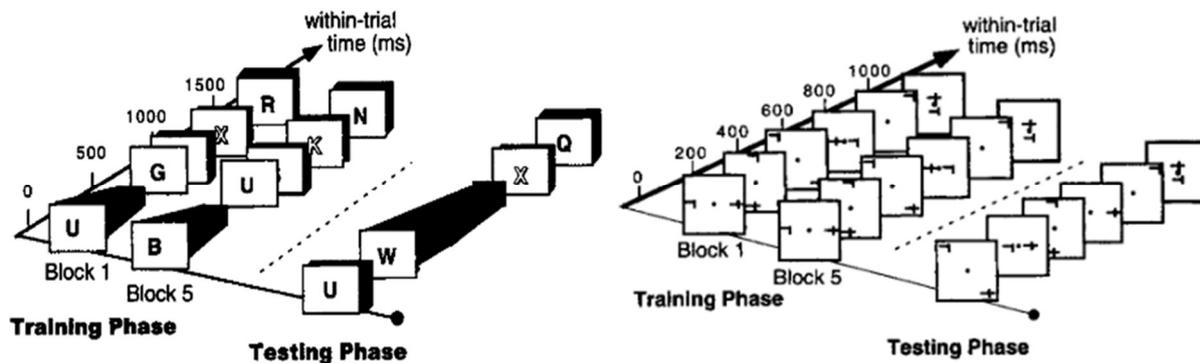


Figure 19 : Exemple de procédures utilisées par Olson et Chun (2001). A gauche : phases d'entraînement (rythme de présentation constant de bloc en bloc, ordre de présentation des lettres aléatoire), et de test (ordre de présentation et rythme aléatoires) de l'Expérience 1. A droite : phases d'entraînement (rythme et configurations spatiales identiques de bloc en bloc) et de test (configurations en ordre aléatoire) de l'Expérience 3 (Ici la séquence correspond à celle utilisée à l'Expérience 3 B car seule la dernière configuration avant celle contenant la cible est répétée à l'identique entre les phases d'entraînement et de test).

Au cours d'une troisième expérience, les auteurs ont souhaité appréhender la sensibilité des observateurs à des régularités spatio-temporelles. Ils ont adapté leur paradigme à la tâche classique de CC, i.e., les participants devaient rechercher une lettre cible (T) qui pouvait être présente, ou non, au sein de configurations comportant deux objets visuels (soit deux distracteurs, soit la cible et un distracteur). L'ordre ainsi que le rythme de présentation des essais, de 200 ms chacun, étaient maintenus constants tout au long de la tâche. Les participants se sont à nouveau montrés plus rapides pour détecter la cible au fur et à mesure des blocs. Pour les auteurs, il s'agit bien là d'un effet de CC spatio-temporel puisque pour détecter la cible plus rapidement, les participants ont appris la séquence temporelle des dispositions spatiales des essais précédant la cible. En effet, lorsque cette dernière est rendue aléatoire dans une phase de test, l'effet de *cueing* disparaît (Expérience 3A). Un résultat complémentaire proposé dans une variante de l'expérience précédente (Expérience 3B) présente un intérêt particulier pour la section suivante. Olson et Chun (2001) y ont reproduit les résultats de l'apprentissage mais, lors de la phase de test, l'ordre et la disposition des configurations est aléatoire, hormis celle présentée immédiatement avant la configuration contenant la cible. Les résultats de cette manipulation ont mis en évidence un effet de CC équivalent à celui de la phase d'apprentissage. Cette observation permet de souligner l'importance des informations contenues au voisinage temporel immédiat de l'environnement contenant la cible dans l'effet de CC temporel.

Par la suite, d'autres recherches ont reproduit les effets d'apprentissage temporel mis en évidence par Olson et Chun (2001) notamment pour des présentations très brèves de séquences de lettres (Mayberry et al., 2010) (pour revue, voir Jiménez & Vázquez, 2011).

2.2 Le *contextual cueing* inter-essais

Les travaux de Olson et Chun (2001) ont constitué une première illustration d'effets de CC spatio-temporel. Néanmoins, ces observations restent confinées à un apprentissage de séquences d'essais. Pour rendre compte des capacités d'apprentissages de régularités spatiales décalées dans le temps, Ono et al. (2005) ont développé un paradigme de *contextual cueing* dit "inter-essais" (voir aussi Bouwkamp et al., 2021 ; Thomas et al., 2018). S'appuyant sur des configurations composées de lettres, la procédure "inter-essais" se distingue de la tâche classique en ce sens que ce n'est pas la configuration spatiale des distracteurs qui prédit la position de la cible au cours d'un essai (essai N), mais la configuration spatiale des éléments présentés dans l'essai précédent⁴⁵ (essai N-1). Autrement dit, le contexte à l'essai N-1 prédit la localisation de la cible à l'essai N. Les auteurs ont proposé six expériences qui ont permis de caractériser cet effet d'apprentissage, et ses limites (une représentation schématique des expériences est proposée en Figure 20).

⁴⁵ Nous utiliserons également la terminologie intra-essai désigner les situations de recherche au sein desquels les régularités sont disponibles simultanément.

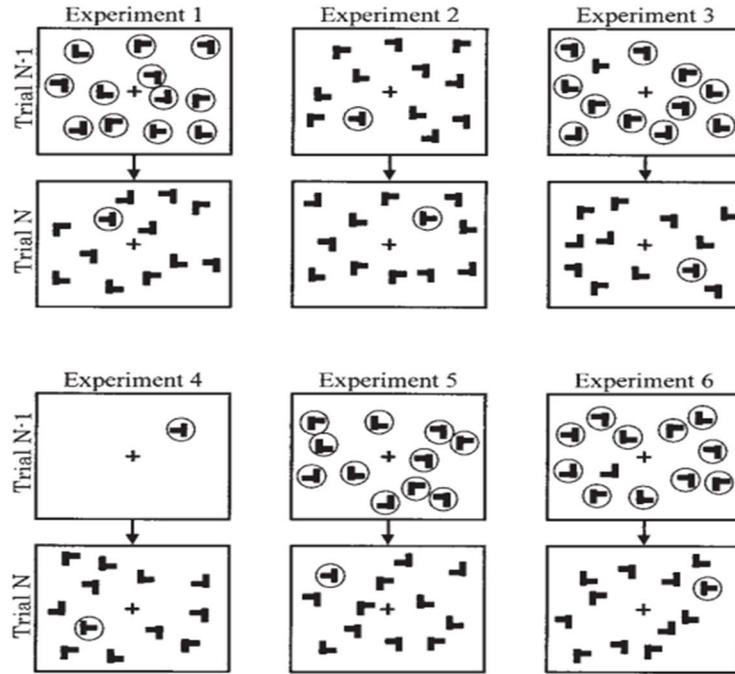


Figure 20 : représentation schématique des six expériences proposées par Ono et al. (2005) dans une procédure de type inter-essais. Les lettres entourées d'un cercle représentent les régularités présentes dans les essais prédictifs.

Chaque expérience comporte une première phase d'entraînement durant laquelle les participants réalisent une tâche de recherche visuelle comportant, à leur insu, des régularités inter-essais. Dans une seconde phase, dite de transfert, les régularités sont maintenues pour la moitié des participants tandis qu'elles sont rompues pour l'autre moitié. Lorsque les régularités sont adjacentes sur le plan temporel, les participants bénéficient du caractère prédictif du contexte des essais N-1 dans leur performance de recherche de la cible dans les essais N (Expérience 1). Toutefois, les résultats des Expériences 2 et 3 ont mis en évidence le rôle interférant d'une information non prédictive dans l'apprentissage. En effet, lorsque la position de la cible (Expérience 2), ou celle des distracteurs (Expérience 3) est rendue aléatoire dans les essais N-1, aucun effet de CC ne peut être mis en évidence lors du transfert. Cependant, lorsque les contextes N-1 ne contiennent pas de distracteurs, mais une cible prédictive, des effets sont à nouveau observés (Expérience 4). Il en est de même lorsque les contextes prédictifs ne contiennent que des distracteurs, i.e., pas de cible (Expérience 5). Enfin, lorsque les configurations N-1 sont entièrement prédictives de l'emplacement de la cible à l'essai N à l'exception d'un seul distracteur changeant de position à chaque bloc, des effets de CC sont

encore observés⁴⁶ (Expérience 6). Par ailleurs, les performances aux tests de reconnaissance explicite administrés à l'issue de chaque expérience se sont révélées être en faveur d'un apprentissage implicite des régularités inter-essais.

Dans leur ensemble, les résultats soulignent la sensibilité du système visuo-perceptif à des régularités spatiales qui ne sont pas présentées dans la même fenêtre temporelle. Selon Ono et al. (2005), les effets de CC inter-essais sont compatibles avec l'idée que deux événements, temporellement disjoints, peuvent être associés grâce à des mécanismes attentionnels. Les auteurs soulignent toutefois une fragilité de l'effet face à des variations aléatoires des éléments de l'environnement, comme le montrent les résultats des Expériences 2 et 3. Ce constat est, pour les auteurs, à mettre en perspective avec la sensibilité au bruit observée dans le CC intra-essai conduisant à un affaiblissement ou une suppression de l'effet (e.g., Chun & Jiang, 1998 ; Olson & Chun, 2002).

Une étude récente a proposé d'approfondir les travaux d'Ono et al. (2005) basés sur une procédure de CC inter-essais. Thomas et al. (2018) ont ainsi conduit une série d'expériences visant à mettre en évidence des effets de CC basés sur des contingences spatiales non-adjacentes (voir la Figure 21 pour une présentation schématique des expériences).

⁴⁶ Peterson & Kramer (2001b) ont observé des résultats similaires à ceux de cette dernière expérience, mais dans une procédure classique.

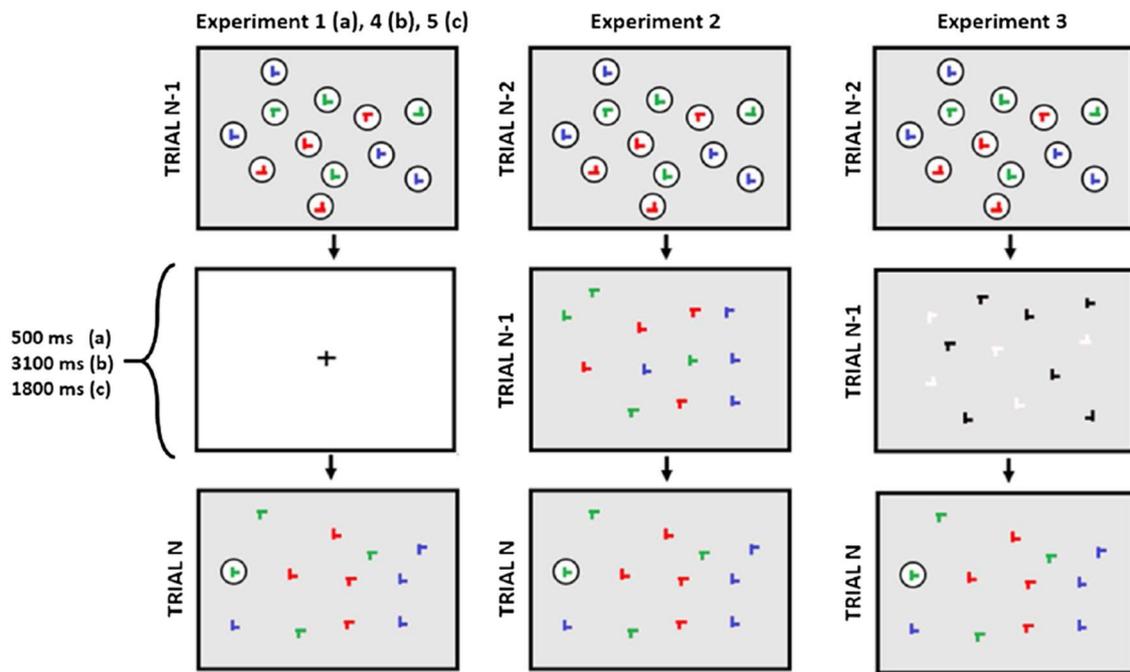


Figure 21 : Présentation schématique des procédures utilisées par Thomas et al. (2018) dans une série de 5 expériences. Dans les Expériences 1, 4, 5, les régularités sont temporellement adjacentes, seule la durée entre les essais N-1 et N varie. Dans les Expériences 2 et 3, un essai interférent (devenant ici N-1) est inséré entre les essais prédictifs, qui deviennent N-2, et les essais N contenant la cible dont la localisation est prédite par l'essai N-2. Les lettres entourées d'un cercle représentent les régularités présentes dans les essais prédictifs.

La première expérience réplique simplement l'effet de CC inter-essais. Dans l'Expérience 2 une configuration interférente N-1 est insérée entre l'essai prédictif, appelé ici N-2, et le contexte de recherche associé, N⁴⁷. Autrement dit, la configuration à l'essai N-2 était prédictive de la localisation de la cible à l'essai N. L'introduction de ce matériel interférant a suffi à prévenir l'apparition d'effets de facilitation. Afin de favoriser un couplage perceptif entre les essais N-2 et N, les auteurs ont conduit une expérience dans laquelle les essais N-1 étaient composés de lettres présentées en noir et blanc afin de limiter la proximité perceptive entre les essais interférents et les essais contenant les régularités (Expérience 3, cf. Figure 21). Même dans cette condition, aucun effet de CC n'a été observé. Thomas et al. (2018) posent l'hypothèse que l'absence d'effet vient d'un trop grand délai, induit par la recherche visuelle sur l'essai N-1, pour qu'un apprentissage associatif puisse avoir lieu. En effet, le temps entre deux essais est de 500 ms dans l'Expérience 1, mais forcément plus long dans les Expériences

⁴⁷ Cette manipulation rend les contingences non-adjacentes, contrairement aux expériences de Ono et al. (2005) et à la première expérience de la présente étude.

2 et 3 (le TR moyen le plus faible observé dans une époque est supérieur à 1600 ms). Les auteurs reviennent, dans les Expériences 4 et 5, à la procédure proposée initialement. Il n'y a plus d'essai interférant mais la durée entre deux essais est augmentée. Les auteurs observent alors des effets de CC inter-essais lorsque la durée passe à 1800 ms (Expérience 5), mais aucun bénéfice lorsque 3100 ms séparent les essais prédictifs N-1 des essais N. Les résultats de ces deux expériences montrent les limites du CC inter-essais dans l'association de régularités lorsque celles-ci sont trop distantes dans le temps.

Les deux études, complémentaires, de Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018) ont mis en lumière une extension du CC à des contingences spatio-temporelles. Néanmoins il semble que les effets d'apprentissage qu'ils décrivent, de nature implicite, ne soient restreints qu'à des contingences temporellement adjacentes. De plus, ce phénomène se montre très sensible à la variabilité dans l'environnement prédictif, ainsi qu'à la présence de matériel interférant entre les configurations prédictives et celles contenant la cible à détecter. Par ailleurs, plusieurs études récentes sont venues souligner les limites d'un apprentissage des régularités inter-essais au sein de contextes artificiels (e.g., Bouwkamp et al., 2021 ; Li et al., 2023). Bouwkamp et al. (2021) n'observent ainsi aucune différence de performances de recherche lorsque des configurations prédictives sont présentées aléatoirement, ou bien de manière séquentielle, alors même que les configurations au sein des séquences répétées présentent des régularités inter-essais⁴⁸. L'interprétation des auteurs est que les régularités temporelles ne sont pas apprises de manière automatique, contrairement aux contingences spatiales. Enfin, Li et collaborateurs (2023) ne retrouvent, de leur côté, aucun effet de CC inter-essais en condition de recherche *pop-out*, que les régularités soient confinées à des paires d'essais isolées, ou bien à l'échelle d'une séquence d'essais répétée de bloc en bloc.

Dans leur ensemble, ces recherches montrent que si le système visuel extrait aisément des contingences spatiales, l'extraction de contingences spatio-temporelles semble soumise à plus de contraintes.

⁴⁸ Contrairement au matériel utilisé par Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018), dans la condition contenant régularités inter-essais, la position d'une cible est prédite à la fois par la disposition spatiale des éléments de la configuration précédente (N-1) mais également par leur position au sein de la configuration elle-même.

III. Conclusions et perspectives

Dans le présent chapitre, nous avons présenté des travaux centrés sur le phénomène du *contextual cueing* dans ses dimensions temporelles. Nous avons tout d'abord montré qu'une exposition très brève aux régularités est suffisante pour produire du CC, et que les mécanismes en jeu dans le phénomène sont engagés très rapidement face à un contexte répété. Enfin, nous avons souligné la robustesse du phénomène dans le temps, argument supplémentaire soutenant l'assimilation du *contextual cueing* à un phénomène d'apprentissage implicite.

Par ailleurs, les travaux sur le *contextual cueing* temporel, malgré des restrictions certaines, mettent en évidence des capacités d'exploitation incidente par les observateurs de régularités spatio-temporelles, que celles-ci résultent de l'apprentissage de séquences d'objets visuels, ou bien d'un apprentissage associatif réalisé entre deux environnements visuels qui ne sont pas présentés simultanément. Toutefois, il est à noter que ces résultats n'adressent que des effets au sein d'environnements artificiels. Des explorations complémentaires restent ainsi à mener afin de vérifier si l'apprentissage de régularités spatio-temporelles peut se généraliser à des environnements écologiques à fort caractère sémantique comme les scènes du monde réel, ainsi qu'à des images abstraites mais visuellement riches et complexes. Ces investigations constituent le cœur des travaux expérimentaux menés tout au long de notre thèse, travaux que nous présenterons de manière détaillée dans la seconde partie de ce manuscrit.

Problématique et plan des expériences

Notre environnement contient beaucoup plus d'informations que ce que les individus peuvent traiter consciemment à un instant donné (voir par exemple, Levin & Simons, 1997). Paradoxalement, nous naviguons facilement dans des environnements perceptivement denses, riches et complexes. Le monde est en effet hautement structuré, de telle sorte que les objets et les événements ont tendance à covarier dans l'espace, le temps, ou les deux. Au cours des dernières décennies, une grande quantité de recherches s'est concentrée sur la capacité des êtres humains et des animaux à extraire et à utiliser les régularités à partir des entrées sensorielles, phénomène connu sous le terme *statistical learning* (Saffran et al., 1996 ; pour des revues, voir Frost et al., 2019 ; Goujon et al., 2015 ; Sherman et al., 2020 ; Thiessen, 2017). A cet égard, Chun et Jiang (1998) ont mis en évidence la capacité remarquable des observateurs à extraire et à utiliser des régularités visuelles spatiales et ce, de manière implicite. Cette forme de SL est connue sous le nom de *contextual cueing*.

Un quart de siècle de recherches et de débats a permis l'extension de ce phénomène à l'apprentissage d'autres types de régularités visuelles, et de mieux appréhender le format et le contenu des représentations formées à partir de l'apprentissage de celles-ci, ainsi que les principaux mécanismes neurocognitifs qui sous-tendent ce phénomène,

Cependant, certaines limites et plusieurs contraintes ont également été révélées par la littérature dans ce champ. Par exemple, des travaux ont mis en évidence une limitation du CC lorsque les régularités portent sur des éléments qui ne sont pas temporellement ou spatialement adjacents (e.g., Thomas et al., 2018). Les explications derrière ces limites et contraintes restent cependant floues. Une autre pièce manquante dans la compréhension du phénomène concerne la généralisation des effets de *statistical learning* spatio-temporel à des environnements complexes, plus proches de la richesse perceptive du monde réel. À cet égard, les recherches utilisant des images complexes, ou des scènes naturelles, suggèrent que les caractéristiques du CC diffèrent, au moins en partie, de celles mises en évidence avec des ensembles "arbitraires" (e.g., Brockmole & Henderson, 2006a ; Goujon et al., 2012 ; 2014). Dans ce cadre, les travaux de recherche menés au cours de notre thèse visaient à approfondir, à travers le prisme du *contextual cueing*, les connaissances sur l'apprentissage des contingences spatio-temporelles dans des environnements complexes, ainsi que sur l'expression de cet apprentissage dans le comportement de recherche des observateurs.

En adaptant la procédure employée par Rosenbaum et Jiang (2013), nous avons d'abord étudié la robustesse des effets d'apprentissage sur plusieurs semaines lorsque l'image en fond prédit l'emplacement d'une cible à détecter dans une tâche de recherche (Expérience 1). Les participants devaient rechercher une cible en forme de T intégrée dans un ensemble de distracteurs en forme de L placés sur une image. Dans notre procédure, seule cette image présentée en arrière-plan prédisait l'emplacement de la cible, c'est-à-dire que les distracteurs étaient positionnés de manière aléatoire dans l'affichage, et n'étaient donc pas prédictifs de l'emplacement de la cible. La robustesse de ces effets a été examinée après un délai de 10 à 12 semaines.

Dans un second temps, au travers de quatre expériences, nous avons testé si les effets d'apprentissage pouvaient s'observer lorsque l'image était proposée avant la présentation de la cible et des distracteurs, et non plus en fond. Ainsi, dans les Expériences 2 à 4, une image était affichée pendant 2 secondes, suivie de l'environnement de recherche (un arrangement arbitraire de lettres contenant la cible à détecter). L'Expérience 2 comportait une phase d'apprentissage similaire à celle de l'Expérience 1 (dans une procédure de type intra-affichage), suivie d'une phase de transfert au cours de laquelle les images étaient présentées en amont des configurations de lettres (dans une procédure inter-affichages). Dans l'Expérience 3, la procédure inter-affichages était mise en œuvre dès le début de la tâche afin de limiter de potentiels effets d'interférence liés au changement de mode de présentation des essais (cf. Expérience 2). L'Expérience 4 visait à dissocier les processus d'apprentissage des processus impliqués dans l'expression de l'apprentissage (e.g., Jiang et Leung, 2005 ; Pollman, 2019). En miroir de l'Expérience 2, les participants étaient tout d'abord testés avec une procédure inter-affichages, suivie immédiatement d'une procédure intra-affichage. Notre objectif était ici de vérifier si un apprentissage pouvait avoir lieu au cours de la première phase, quand les régularités n'étaient pas présentées simultanément. Enfin, l'Expérience 5 s'appuyait sur une procédure inter-essais adaptée de celle utilisée par Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018), c'est-à-dire que le contexte de l'essai N-1 prédisait l'emplacement de la cible à l'essai N (pour une description des procédures, voir le point 2.2 du Chapitre 6). Dans notre procédure, ce n'étaient pas les configurations en N-1 qui étaient prédictives de la position de la cible en N mais l'image de fond. La Figure 22 propose une présentation schématique des expériences qui seront décrites en détail dans la partie expérimentale du manuscrit.

a) Procédure intra-affichages

b) Procédure inter-affichages

c) Procédure inter-essais

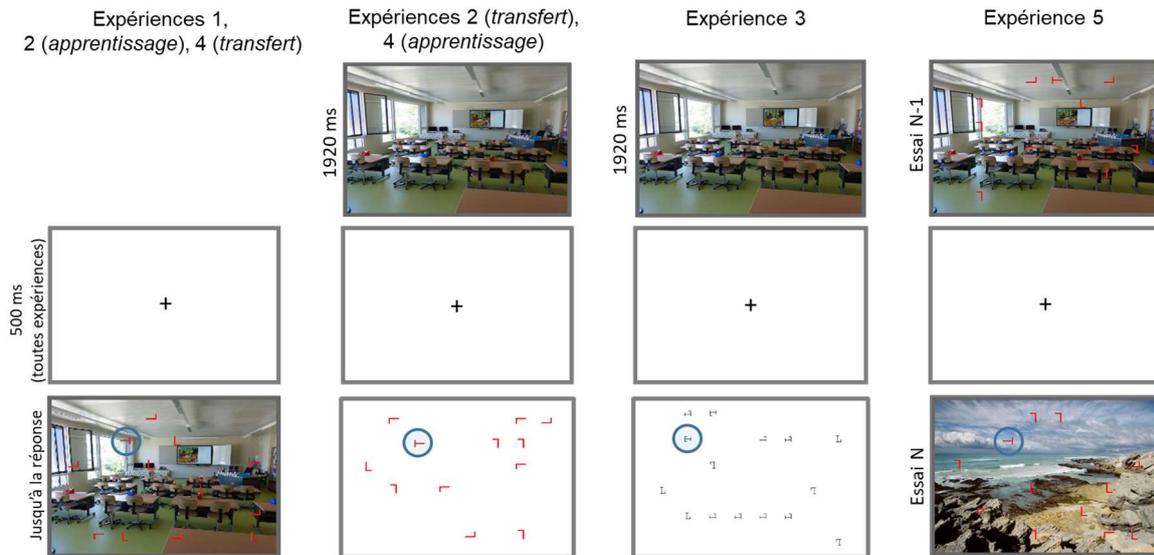


Figure 22 : description schématique d'un essai prédictif pour chaque expérience. Ici, l'image d'une salle de classe indique l'emplacement de la cible en forme de T dans la partie supérieure gauche de l'affichage. a) Dans une procédure intra-affichage, une image prédictive en arrière-plan et la configuration de recherche apparaissent dans le même affichage (Expérience 1, phase d'entraînement de l'Expérience 2, phase de transfert de l'Expérience 4). b) Dans une procédure inter-affichages, une image prédictive est présentée pendant 1920 ms avant la configuration de recherche (transfert de l'Expérience 2, entraînement de l'Expérience 4). c) Dans une procédure inter-essais, l'image d'arrière-plan de l'essai N-1 prédit l'emplacement de la cible à l'essai N (Expérience 5).

Partie Expérimentale

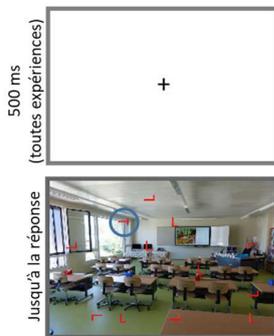
Expérience 1

Procédure intra-affichage



a) Procédure intra-affichage

Expériences 1,
2 (*apprentissage*), 4 (*transfert*)



b) Procédure inter-affichages

Expériences 2 (*transfert*),
4 (*apprentissage*)



Expérience 3



c) Procédure inter-essais

Expérience 5



Avant de mettre en œuvre des investigations plus spécifiques portant sur des effets de CC temporel inter-essais avec des images, une première expérience avait pour objectif d'étudier les effets de CC produits par ce matériel avec un dispositif intra-essai, puis d'en étudier la robustesse sur plusieurs semaines. L'expérience comprenait deux sessions identiques, et chaque session était constituée de deux phases, à savoir une tâche de recherche immédiatement suivie d'une tâche de mémoire explicite. La procédure des tâches de recherche était similaire à celle utilisée par Rosenbaum et Jiang (2013, phase de transfert de l'Expérience 1). Les participants devaient rechercher une cible en forme de T incluse dans un ensemble de distracteurs en forme de L placés devant une scène visuelle (voir Figure 1). Cependant, à la différence de la procédure proposée par Rosenbaum et Jiang, seule l'image présentée en arrière-plan était prédictive de l'emplacement de la cible, c'est-à-dire que les distracteurs étaient disposés de manière aléatoire et n'étaient donc pas prédictifs de l'emplacement de la cible. Dans la deuxième phase, après un débriefing où il leur était demandé s'ils avaient remarqué des régularités, les sujets devaient effectuer une tâche de mémoire directe visant à examiner la nature explicite/implicite des

connaissances acquises lors de la tâche de recherche. Celle-ci prenait la forme d'une tâche de génération de cible (e.g., Chun & Jiang, 2003).

Dans une seconde session (Session 2), nous avons examiné la persistance des effets de CC sur un délai plus long. À cet effet, les mêmes participants ont été testés à nouveau 10 à 12 semaines après la première session. La méthode était similaire à celle utilisée en Session 1, c'est-à-dire que les mêmes images prédictives étaient présentées aux participants. Des recherches antérieures ont montré des effets de *contextual cueing* préservés, voir renforcés, après une période d'une semaine (Chun & Jiang, 2003) et dix jours (van Asselen & Castelo-Branco, 2009) avec un matériel typique (c'est-à-dire des affichages composés de L et de T). Cependant, cette question n'a pas été explorée avec des images complexes, ni après une longue période. De plus, étant donné que cette expérience revêtait une dimension exploratoire, le matériel comprenait aussi bien des images signifiantes (voir par exemple, Brockmole & Henderson, 2006) que des images à priori non signifiantes (e.g., Goujon et al., 2012).

Méthode

Participants

Cinquante étudiants ($M = 19.80$ ans, $E.T. = 2.73$ ans) de l'Université de Franche-Comté ont participé à l'expérience en échange de crédits universitaires. Si un grand nombre de participants ont pris part à la Session 1, en raison de la crise sanitaire du Coronavirus et des mesures de confinement successives mises en place, seulement 15 étudiants ($M = 20.08$ ans, $E.T. = 4.04$ ans) sont revenus au laboratoire pour la deuxième session, qui a eu lieu de 10 à 12 semaines plus tard, selon les participants. La taille de l'échantillon de la Session 2 correspondait à la norme dans le domaine ($\eta p^2 = .72$, par exemple, Rosenbaum & Jiang, 2013). Tous se sont portés volontaires pour participer à l'expérience et ont signalé une acuité visuelle normale ou corrigée. Lors de la deuxième session, ils ignoraient qu'ils réalisaient la même expérience jusqu'au tout début de la phase d'entraînement.

Apparatus et stimuli

Les stimuli étaient affichés sur un ordinateur Hp ProBook 650 G2. La distance de visualisation était d'environ 50 cm. Les ensembles de lettres ont été créés à l'aide du logiciel Matlab 2017R (The MathWorks, Natick, MA). Le logiciel E-Prime 3 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) a quant à lui été utilisé pour générer la procédure expérimentale. Les participants cherchaient une lettre T noire orientée à 90° vers la droite ou la gauche parmi 11 lettres L noires chacune orientée en suivant l'une des quatre rotations possibles suivantes : 0°, 90°, 180° ou 270°. Les distracteurs étaient positionnés dans des emplacements sélectionnés au hasard à partir d'une grille invisible de 8 × 6. La lettre cible ne pouvait jamais être affichée dans les 4 cellules centrales de la grille. Les 12 lettres étaient affichées en rouge et la police utilisée était Arial, taille 36. Les 12 éléments étaient superposés sur une image en arrière-plan. Le matériel comprenait 16 images pour la tâche de recherche et 20 images supplémentaires pour les blocs d'entraînement. Deux types d'images ont été utilisés tout au long de l'expérience : a) 18 photos de scènes naturelles intérieures et extérieures (étiquetées "images significantes"), b) 18 images à priori sans signification (étiquetées "images non significantes"). Les images non significantes étaient composées de fractales ou de peintures abstraites (voir Figure 23 pour des exemples de stimuli). Ces images étaient visuellement complexes mais sémantiquement pauvres pour empêcher tout étiquetage sémantique de la part des participants lors de l'exécution de la tâche.

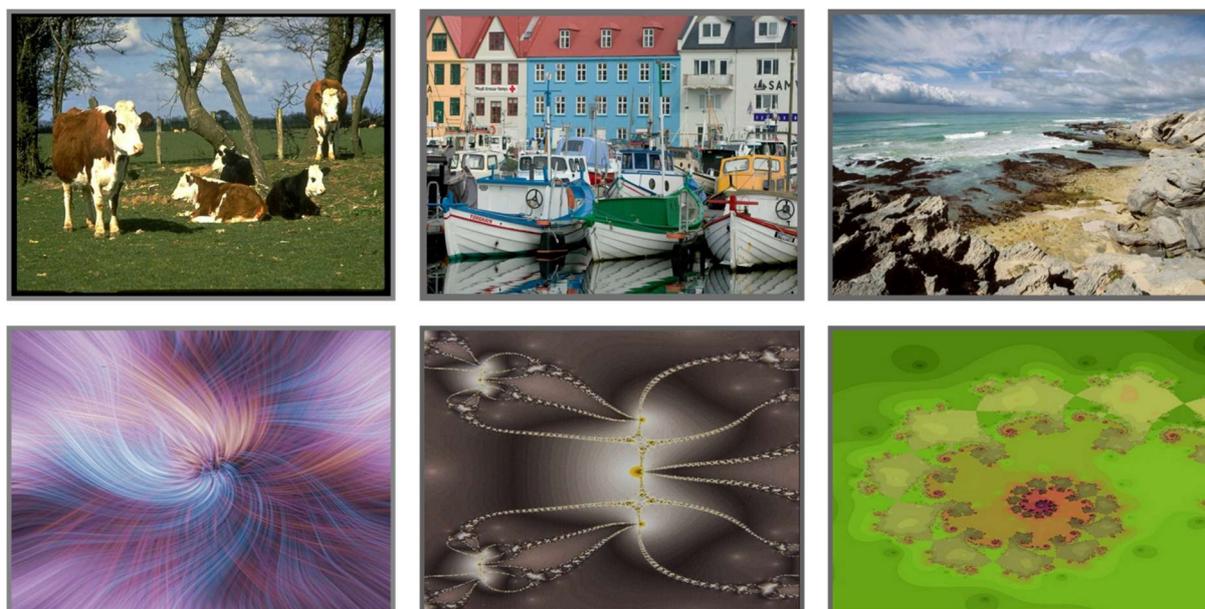


Figure 23 : Exemples de stimuli utilisés dans les Expériences 1 à 5. La ligne du haut présente des images de la condition significative, la ligne du bas des fractales utilisées en condition non significative.

Procédure

L'expérience comprenait deux sessions. Ces deux sessions étaient identiques, à l'exception des phases d'entraînement qui comprenaient respectivement dix essais dans la Session 1, et 20 essais dans la Session 2. Ces deux sessions étaient espacées de dix à douze semaines. Chaque session comprenait une tâche de recherche visuelle, suivie immédiatement par la tâche de génération de cible.

Tâche de recherche visuelle : Les participants devaient rechercher une lettre T parmi 11 lettres L et indiquer si la barre verticale du T pointait vers la gauche, ou vers la droite en appuyant sur l'une de deux touches. La consigne demandait explicitement aux participants de répondre le plus rapidement, et le plus précisément possible. Les participants initiaient un bloc d'essais en appuyant sur la barre d'espace. À chaque essai, une croix de fixation était présentée au centre d'un écran blanc pendant 500 ms, suivie d'un affichage de recherche qui restait à l'écran jusqu'à ce qu'une réponse soit donnée. Les deux sessions commençaient par un bloc d'entraînement (10 essais dans la Session 1, 20 essais dans la Session 2). Trente images d'arrière-plan et autant d'ensembles de lettres ont été spécifiquement choisis pour ces blocs de pratique. À l'issue de cette phase, les participants pouvaient lancer la tâche de recherche en appuyant sur la barre d'espace. Ils effectuaient ensuite 256 essais répartis en 16 blocs. Chaque bloc contenait huit essais prédictifs et huit essais non prédictifs. Au total, seize images d'arrière-plan ont été utilisées dans cette expérience : huit images pour les essais prédictifs et huit pour les essais non prédictifs. Chaque image était présentée une fois par bloc. Pour les huit essais prédictifs, chacune des huit images d'arrière-plan était associée à une position de cible spécifique, maintenue constante tout au long de l'expérience, tandis que l'emplacement des distracteurs était "aléatorisé" à chaque bloc. Les huit emplacements utilisés pour les cibles étaient répartis de manière égale dans chacune des quatre zones de l'affichage de recherche afin de minimiser l'effet de l'emplacement de la cible sur la performance de recherche. Pour les essais non prédictifs, les emplacements, à la fois de la cible et des distracteurs, étaient randomisés, avec la contrainte, néanmoins, que les cibles occupent l'un des huit emplacements définis dans les essais prédictifs. Dans chaque condition (prédictive et non prédictive), quatre des images utilisées étaient significatives, et quatre étaient non significatives. Tous les essais ont été créés en amont de l'expérience, ce qui signifie que chaque participant était testé avec le même matériel. L'ordre des blocs et des essais au sein de ceux-ci était aléatoire. Afin de garantir que les effets d'apprentissage potentiels n'étaient pas dus à un ensemble spécifique d'images, les images

utilisées dans la condition prédictive et les images utilisées dans la condition non prédictive ont été contrebalancées entre les participants.

Tâche de verbalisation puis de génération : À la fin de la tâche de recherche, un court débriefing permettait de recueillir les impressions des participants sur l'expérience. Il leur était principalement demandé s'ils avaient remarqué que, pour certaines images, la cible apparaissait toujours au même endroit. Juste après le débriefing, tous les participants effectuaient une tâche de génération de cible. Ils n'étaient pas informés de cette deuxième tâche avant sa réalisation. L'objectif était ici d'évaluer le niveau de conscience associé à l'effet de CC observé dans la tâche de recherche visuelle (e.g., Chun & Jiang, 2003). Cette tâche de mémoire comprenait un unique bloc de 16 essais où chacune des 16 images proposées dans la tâche de recherche était présentée divisée en quatre cadrans (coin supérieur gauche, coin supérieur droit, coin inférieur gauche et coin inférieur droit) numérotés de 1 à 4. À l'aide des touches 1 à 4 du clavier numérique, les participants devaient sélectionner la zone où ils pensaient que la cible était localisée durant la tâche de recherche. S'ils ne se souvenaient pas de l'emplacement de la cible, ils devaient donner une réponse au hasard. Aucune limite de temps n'était imposée pendant cette tâche.

Résultats

Session 1

Tâche de recherche visuelle : Nos analyses ont uniquement porté sur les temps de réaction (TR) observés pour les réponses correctes (2 % d'essais incorrects ont donc été retirés). Les TR supérieurs à la moyenne plus trois écarts-types, ou inférieurs à 250 ms, ont également été exclus des analyses. Cette dernière procédure a éliminé 1.3 % des TR des réponses correctes. Les données d'un participant ont également été exclues des analyses, car son taux d'erreur était beaucoup trop élevé (supérieur à 50 %). Les TR des réponses correctes ont été regroupés en quatre époques, couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. La Figure 24 présente les TR moyen par époque, en fonction de la condition (prédictive vs. non prédictive) et du type d'images (signifiantes vs. non signifiantes).

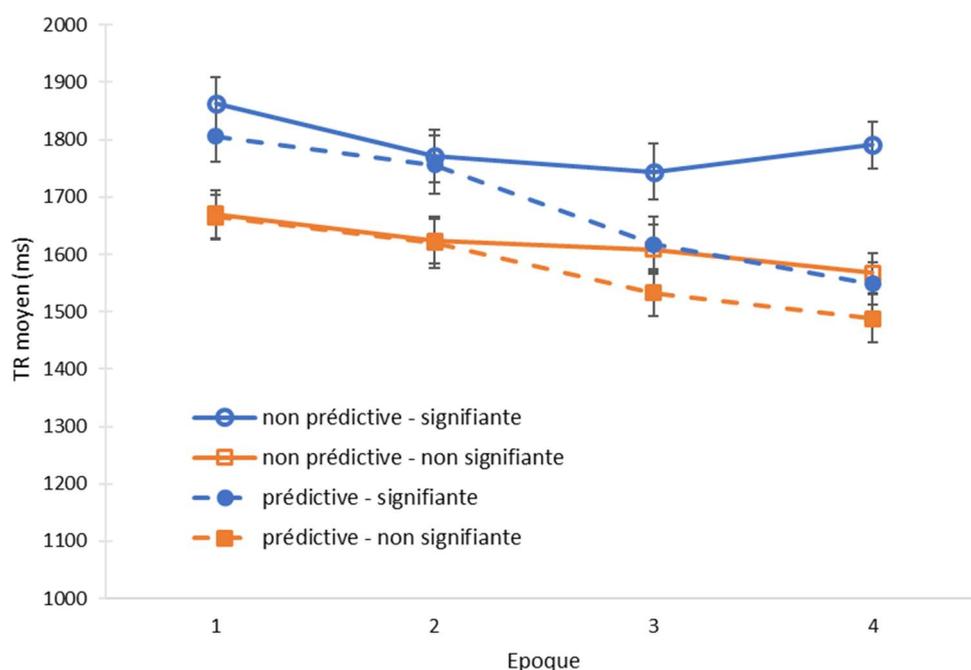


Figure 24 : TR moyen par époque pour les conditions “signifiante” et “non significantes” dans les essais prédictifs et non prédictifs (chaque époque couvre quatre blocs d’essais consécutifs) . Les barres d’erreur représentent l’erreur standard à la moyenne ($N = 49$).

Une ANOVA à trois facteurs a été réalisée sur le TR moyen avec l’époque (1-4), le type d’images (signifiantes vs. non signifiantes) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats montrent un effet principal de la condition, $F(1, 48) = 20.00, p < .001, \eta^2 = .29$, de l’époque, $F(3, 144) = 23.00, p < .001, \eta^2 = .32$, et du type d’images, $F(1, 48) = 40.20, p < .001, \eta^2 = .46$. Les résultats montrent également une interaction significative entre les variables condition et époque, $F(3, 144) = 9.06, p < .001, \eta^2 = .16$. Les interactions entre le type d’images et l’époque, $F(3, 144) = 1,16, p = .333$, le type d’images et la condition, $F(1, 48) = 2.00, p = .163$, et entre les trois variables indépendantes, $F(3, 144) = 1.54, p = .207$, n’étaient pas significatives. Dans l’ensemble, les résultats ont révélé un effet de CC dans les conditions signifiante et non signifiante, c’est-à-dire un bénéfice croissant pour les essais prédictifs par rapport aux essais non prédictifs au fil des répétitions. Des analyses post-hoc (LSD de Fisher) ont révélé que cet effet était fiable lors des deux dernières époques (tous les $ps < .001$), tant pour les images non signifiantes que signifiantes.

Tâche de verbalisation puis de génération : Seize participants (33,3 %) ont remarqué au moins une association image/cible lors de la tâche de recherche. La précision moyenne a été calculée pour la tâche de génération de cible. Cela correspond au nombre moyen d’essais pour lesquels

les participants ont correctement deviné l'emplacement de la cible, divisé par le nombre total d'essais. Compte tenu des quatre réponses possibles pour chaque essai, le niveau du hasard était de .25. Le taux moyen de localisations de cible correctement devinées dans la condition prédictive était de .43 ($E.T. = .22$), ce qui s'est avéré être significativement meilleur que le niveau du hasard (.25), $t(48) = 5.74$, $p < .001$. Les résultats ont ainsi suggéré que les connaissances acquises lors de la tâche de recherche étaient au moins partiellement explicites.

Session 2

Tâche de recherche visuelle : Le taux d'erreur est inférieur à 1,3 % pour les essais prédictifs et non prédictifs. Nos analyses ont porté uniquement sur le TR des réponses correctes. Les TR supérieurs à la moyenne plus trois écarts-types ou inférieurs à 250 ms ont été exclus des analyses, ce qui a éliminé 1,4 % des essais corrects. Les TR des réponses correctes ont été regroupés en quatre époques, couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. Étant donné que les résultats de la Session 1 n'ont montré aucun impact du type d'images (signifiante ou non) sur la performance de CC, les TR obtenus pour les images signifiantes et non signifiantes ont été "moyennés" dans la présentation des résultats. Pour chaque participant, une moyenne de TR des réponses correctes a été calculée pour chaque époque et chaque condition. La Figure 25 représente le TR moyen par époque, en fonction de la condition (prédictive vs. non prédictive) à la fois dans la Session 1 et la Session 2, pour les participants ayant réalisé les deux sessions.

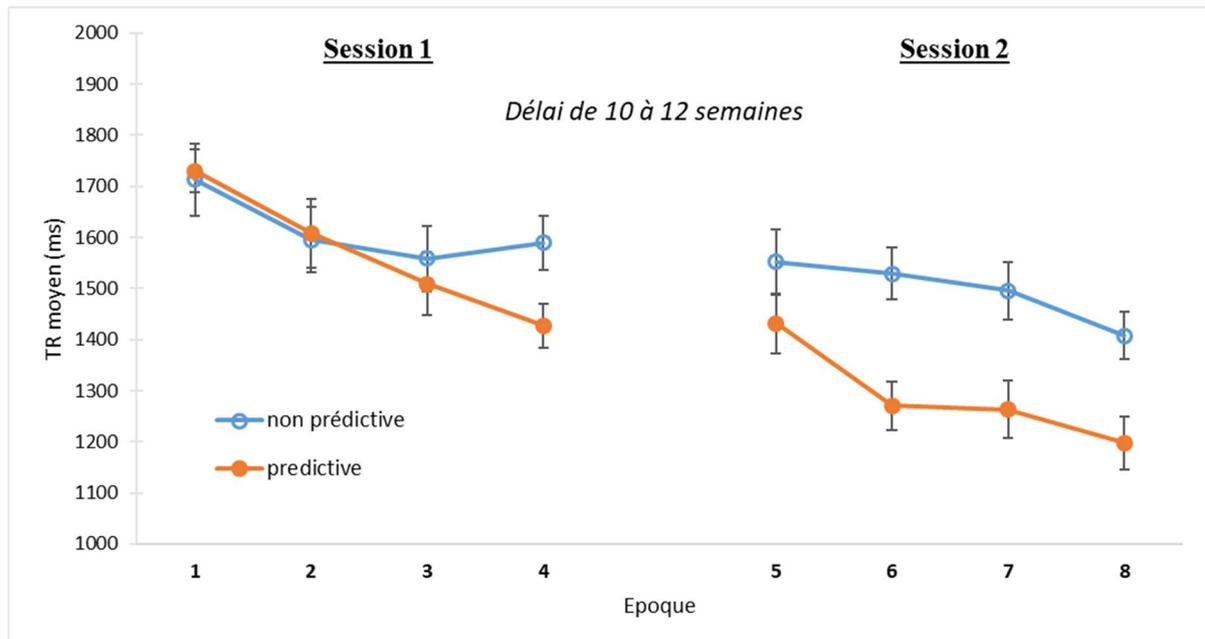


Figure 25 : Temps de réponse moyen dans chaque époque pour les essais prédictifs et non prédictifs dans la Session 1 et la Session 2. Les barres d'erreur montrent l'erreur standard de la moyenne ($N = 15$).

Nous avons réalisé une ANOVA à mesures répétées sur le TR moyen avec l'époque (5-8) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats montrent un effet principal de la condition, $F(1, 14) = 21.85, p < .001, \eta p^2 = .36$, et un effet principal de l'époque, $F(3, 42) = 14.42, p < .001, \eta p^2 = .15$. L'interaction entre les deux VI est également significative, $F(3, 42) = 2.89, p = .047, \eta p^2 = .02$. Les résultats de la tâche de recherche visuelle ont souligné la persistance de l'effet de CC observé lors de la première session. Les analyses post-hoc (LSD de Fisher) ont permis de mettre en évidence des différences significatives entre les essais prédictifs et non prédictifs et ce, dès l'époque 5, c'est-à-dire la première époque de la Session 2 ($p = .0014$) et au-delà (tous les $ps < .001$). Ce résultat montre que les participants ont bénéficié précocement des connaissances acquises lors de la première session.

Tâche de génération : Nous avons calculé le taux de bonnes réponses de la condition prédictive, les participants ne pouvant pas fournir de réponses correctes pour les scènes non prédictives. Un test t de Student pour échantillon unique a été réalisé sur le taux de *hits* pour les images prédictives, en prenant le niveau du hasard (.25) comme moyenne de référence. Nous avons trouvé que le taux de *hits* moyen ($M = .63$) était significativement supérieur au seuil du hasard, $t(14) = 10.80, p < .001$. Les résultats suggèrent que les connaissances acquises lors de la tâche de recherche sont principalement explicites.

Discussion

L'Expérience 1 fournit quatre résultats principaux. Tout d'abord, elle montre que le comportement de recherche s'est fortement amélioré lorsque l'image en arrière-plan des éléments visuels est prédictive de la localisation spatiale de la cible. Cet effet de *contextual cueing* spatial est conforme aux résultats rapportés par Rosenbaum et Jiang (2013, Expérience 1). Néanmoins, dans la phase d'apprentissage de ces auteurs, deux éléments étaient prédictifs de la localisation de la cible : la disposition spatiale des distracteurs et l'image de fond. Ici, nous avons montré que l'effet de CC peut apparaître même lorsque la position des distracteurs n'est pas prédictive. Ce résultat démontre que l'apprentissage peut se faire à partir d'images qui sont sans rapport avec la tâche, et pour lesquelles une attention sélective n'est pas demandée. Néanmoins, les données obtenues soulignent que l'effet de CC a émergé beaucoup plus tard que dans les études où la cible seule était incluse dans l'image (par exemple, Brockmole & Henderson, 2006a ; Goujon et al., 2012 ; 2014).

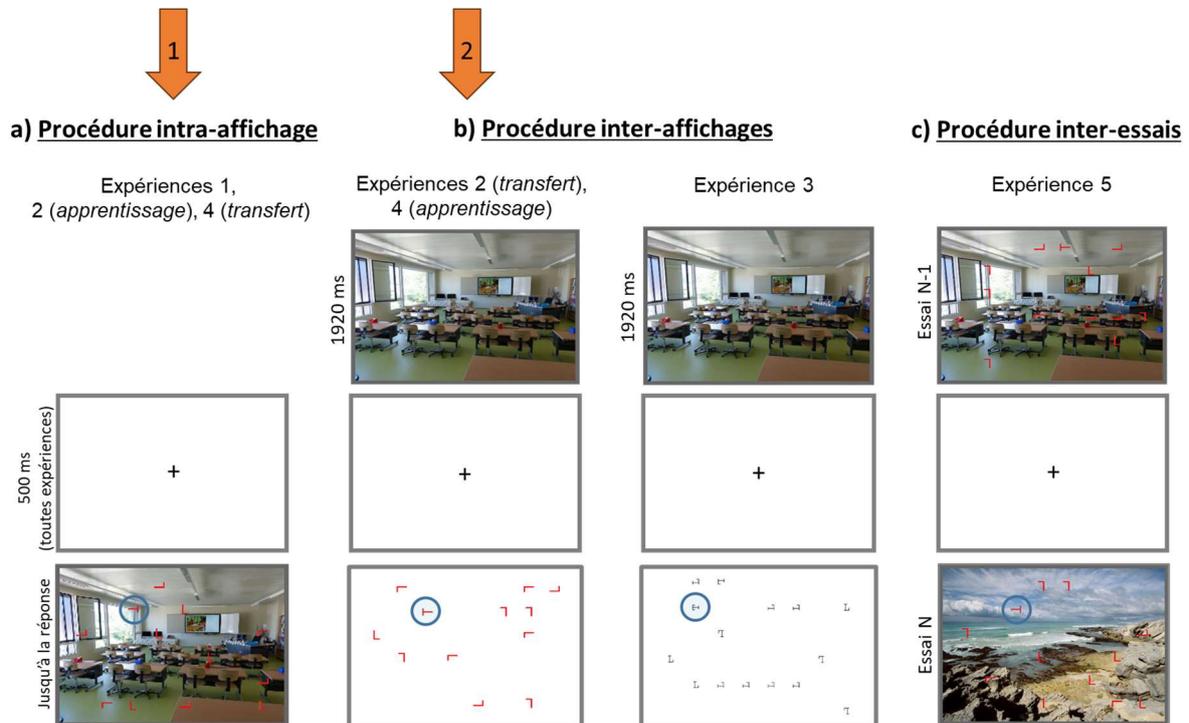
Nos résultats montrent également que le CC obtenu à partir d'images non pertinentes pour la réalisation de la tâche émerge à la fois avec des images signifiantes et non signifiantes. Contrairement aux études précédentes (e.g., Goujon et al., 2012), l'effet de CC n'est pas apparu plus tôt pour les images signifiantes. Il est important de noter que dans les recherches de Goujon et al (2012), le bénéfice initial des scènes naturelles sur les images sans signification disparaissait rapidement au cours de la tâche.

Le troisième résultat principal de cette expérience concerne la robustesse du CC sur plusieurs semaines. En effet, après un délai de 10 à 12 semaines, le bénéfice dans la condition prédictive est intact. Ce résultat va bien au-delà des résultats rapportés par de précédentes recherches montrant une persistance des effets de CC spatial après un délai de dix jours (Chun & Jiang, 2003 ; van Asselen & Castelo-Branco, 2009) et apporte de nouvelles preuves de la robustesse de l'apprentissage statistique de contingences visuo-spatiales dans des images.

Enfin, le dernier résultat principal de cette expérience concerne la nature explicite vs. implicite de l'apprentissage en jeu dans la tâche de recherche. Bien que les participants n'aient pas eu à prêter attention de manière intentionnelle aux images en arrière-plan, leur performance est supérieure au hasard dans la tâche de mémoire directe. De plus, les verbatims montrent que 33 % des participants ont rapporté avoir remarqué des régularités. Cela suggère que les connaissances étaient, au moins en partie, accessibles à la conscience.

Expérience 2

Procédure intra-affichage puis inter-affichages



L'Expérience 1 a montré qu'un effet de CC peut émerger lorsqu'une image d'arrière-plan est prédictive de la localisation de la cible intégrée parmi des distracteurs disposés, eux, de manière aléatoire. Les résultats de cette première expérience indiquent également que cet effet est robuste sur une période de 10 à 12 semaines. Cependant, dans notre vie quotidienne, les régularités visuelles ne sont pas toujours présentes dans la même fenêtre temporelle, mais s'inscrivent souvent dans un monde dynamique. S'approcher d'un rond-point en conduisant peut agir comme une amorce pour orienter notre attention vers un panneau de signalisation en aval sur la route. Dans ce cadre, l'Expérience 2 avait pour principal objectif l'étude de l'apprentissage contextuel temporel au sein d'images complexes. La procédure expérimentale comprenait deux phases. Une première phase utilisait la même procédure intra-essai que l'Expérience 1. Puis, dans une deuxième phase, nous testions de potentiels effets de transfert de l'apprentissage avec une procédure dite "inter-affichages": les images étaient présentées comme des amorces en amont de configurations de lettres. Ainsi, les participants étaient

exposés à une procédure intra-essai lors des 16 premiers blocs, puis à une procédure inter-affichages lors des huit blocs suivants. Comme dans l'expérience précédente, seules les images étaient prédictives de la localisation des cibles à détecter dans les ensembles de lettres. Une tâche de génération de cible était administrée immédiatement après la tâche de recherche, toujours afin de rendre compte de la nature implicite vs. explicite des connaissances contextuelles formées.

Méthode

Participants

Vingt-sept étudiants (âge moyen = 19 ans, *E.T.* = 7.27 ans) de l'Université de Franche-Comté ont participé à cette expérience en échange de crédits universitaires. Tous se sont portés volontaires et ont déclaré avoir une acuité visuelle normale ou corrigée. Nous avons basé notre taille d'échantillon sur deux études ayant montré des effets de CC temporel, à savoir Ono et al. (2005) ($N = 14$ dans les Expériences 1a et 1b) et Thomas et al. (2018) ($N = 25$ dans l'Expérience 1).

Apparatus et stimuli

Le matériel était le même que dans l'Expérience 1, excepté deux images qui ont été remplacées, car les participants ont à plusieurs reprises signalé une qualité visuelle insuffisante de ces images dans l'Expérience 1.

Procédure

Les participants ont d'abord effectué la tâche de recherche visuelle, immédiatement suivie de la tâche de génération.

Tâche de recherche visuelle :

Phase d'apprentissage : Cette partie de l'expérience (bloc 1-16) était similaire à l'Expérience 1.

Phase de transfert : Une phase de transfert était réalisée immédiatement après les 16 blocs de la phase d'apprentissage. La phase de transfert comprenait huit blocs de 16 essais chacun (c'est-à-dire huit essais prédictifs et huit essais non prédictifs). Les scènes visuelles utilisées étaient les mêmes que dans la phase d'apprentissage. De même, chaque image prédictive était associée au même emplacement spécifique de la cible. Cependant, l'image était affichée avant l'ensemble de recherche. Au cours de chaque essai, l'image était présentée à l'écran pendant 1920 ms, et était suivie d'une croix de fixation située au centre de l'écran pendant 500 ms. Enfin, la configuration de lettres apparaissait et restait affiché jusqu'à ce qu'une réponse soit donnée par le participant. La phase de transfert commençait par un bloc de pratique de six essais visant à familiariser les participants au nouveau mode de présentation. Les participants étaient informés de ce changement de présentation au sein des essais, et que leur objectif restait le même, à savoir détecter la cible T le plus rapidement et précisément possible. Tout comme pour les essais de familiarisation de la phase d'apprentissage, les six images et les ensembles de lettres utilisés dans cette phase de familiarisation du transfert étaient différents de ceux utilisés lors de la tâche effective.

Tâche de verbalisation puis de génération : La phase de mémoire explicite était similaire à celle proposée dans l'Expérience 1.

Résultats

Tâche de recherche visuelle : Les analyses ont uniquement porté sur les TR des réponses correctes (1.6 % d'erreur dans la phase d'entraînement et 1 % dans la phase de transfert) tant pour les essais prédictifs que non prédictifs. Les TR supérieurs à la moyenne plus trois écarts-types ou inférieurs à 250 ms respectivement dans la phase d'apprentissage ou dans la phase de transfert ont été exclus des analyses. Cette procédure a éliminé 1.4 % des TR des réponses correctes dans la phase d'apprentissage et 1.2 % dans la phase de transfert. Un participant a été exclu des analyses, sa proportion de réponses incorrectes étant supérieure à la moyenne de ses TR plus trois écarts-types. Les TR des réponses correctes ont été regroupés en six époques

(quatre dans la phase d'apprentissage et deux dans la phase de transfert), couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. Pour chaque participant, une moyenne séparée de TR des réponses correctes a été calculée pour chaque époque et chaque condition testée. La Figure 26 montre le TR moyen par époque pour les phases d'apprentissage et de transfert de l'Expérience 2.

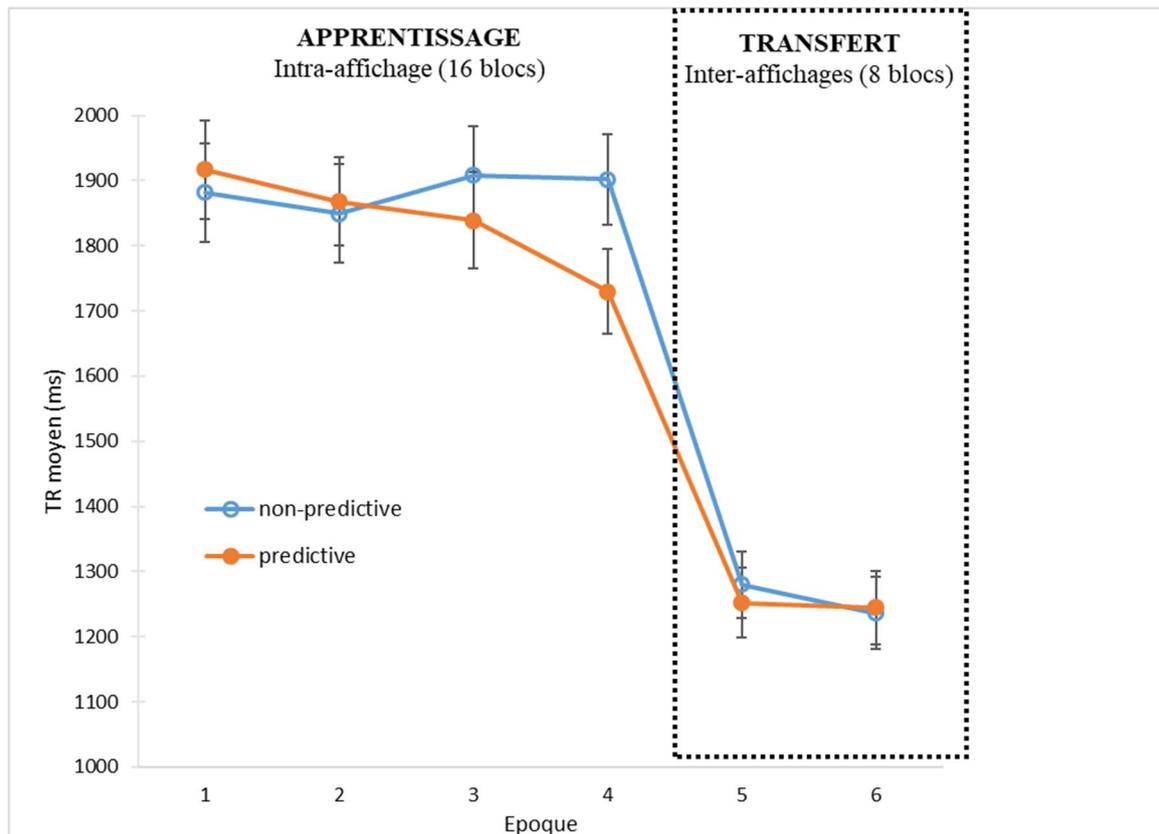


Figure 26 : TR moyen des essais prédictifs et non prédictifs à chaque époque pour les deux conditions (prédictive et non prédictive). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne ($N = 26$).

Phase d'apprentissage : Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur les TR moyens des participants avec l'époque (1-4) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats montrent un effet principal de la condition, $F(1, 25) = 5.86, p = .023, \eta p^2 = .19$, une absence d'effet de l'époque, $F(3, 75) = 1.93, p = .133$ et une interaction entre les deux variables, $F(3, 75) = 6.89, p < .001, \eta p^2 = .22$. De manière similaire à ce qui a été observé dans l'Expérience 1, nous constatons un effet de CC intra-affichage. Des analyses post-hoc

(LSD de Fisher) ont révélé un effet de *cueing* marginal à l'époque 3 ($p = .057$) et un effet significatif à l'époque 4 ($p < .001$).

Phase de transfert : Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur le TR moyen avec l'époque (5-6) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Nous n'avons trouvé aucun effet de l'époque, $F(1, 25) = 2.83, p = .104$, aucun effet principal de la condition, $F(1, 25) < 1$, et aucune interaction entre les deux variables $F(1, 25) = 1.07, p = .312$. Des analyses bayésiennes supplémentaires confirment l'absence d'effet de la condition, $BF_{10} = .079$. Par conséquent, malgré un apprentissage au début de l'expérience, lorsque les régularités sont présentées simultanément dans le même affichage, les participants n'ont ensuite tiré aucun bénéfice de cette connaissance dans une phase ultérieure de transfert, lorsque les images étaient cette fois-ci présentées comme amorces avant l'affichage de la configuration de lettres.

Tâche de verbalisation puis de génération : Neuf sujets (34.6 % des participants) ont indiqué avoir remarqué au moins une association cible/image. Nous avons effectué un test t de Student pour échantillon unique sur le taux moyen de réponses correctes pour les scènes prédictives avec le niveau du hasard (.25) comme moyenne de référence. Le taux de réussite moyen pour ces images ($M = .36$) s'est avéré être significativement supérieur au hasard, $t(25) = 4.37, p < .001$. Les résultats suggèrent que la connaissance acquise lors de la tâche de recherche est explicite, en accord avec les résultats observés dans l'Expérience 1.

Discussion

L'Expérience 2 a tout d'abord permis, dans la première phase, de répliquer les résultats de l'Expérience 1. Une facilitation contextuelle a ainsi été obtenue lorsque les images en arrière-plan étaient prédictives de la position de la cible, et que les connaissances sous-jacentes à l'amélioration du comportement de recherche étaient, au moins en partie, accessibles à la conscience au cours d'une tâche de mémoire directe. Cependant, contrairement à nos attentes, le bénéfice obtenu dans la condition prédictive n'a pas persisté lors de la phase de transfert, c'est-à-dire lorsque l'image prédictive amorçait la position de la cible dans l'environnement de recherche. Compte tenu de l'important effet de CC observé lors de la phase d'apprentissage, et de la capacité des participants à utiliser les connaissances acquises dans une tâche de mémoire directe, nous nous attendions à ce que l'effet de CC, donc le bénéfice de la répétition des associations cible/image sur la performance de recherche, perdure lors du transfert. Néanmoins,

la présente expérience n'a pas fourni de preuves que des effets de CC puissent s'exprimer lorsqu'une image prédictive amorce la position de la cible dans un environnement ultérieur. Ce résultat pourrait indiquer que le CC au sein d'images complexes est restreint aux contingences présentées dans une même fenêtre spatio-temporelle, suggérant ainsi une nouvelle limite dans le CC. Il est cependant possible que de tels effets puissent émerger si la procédure d'amorçage est mise en œuvre dès le début de la tâche, hypothèse testée dans l'Expérience 3.

Le matériel utilisé, ainsi que le design expérimental de cette expérience, pourraient également expliquer l'absence d'effet de facilitation dans la phase de transfert. Depuis l'étude pionnière sur le *contextual cueing* (Chun & Jiang, 1998), de nombreux travaux dans le domaine ont montré une relation étroite entre la difficulté de la tâche et l'amplitude des effets de CC (e.g., Brady & Chun, 2007 ; Darby et al., 2014 ; Kunar et al., 2008). Ces auteurs ont ainsi suggéré que la tâche de recherche doit être suffisamment difficile pour qu'un apprentissage contextuel soit engagé. A l'aune de ces observations, il est dès lors envisageable que les TR obtenus au cours de la phase de transfert aient été trop courts, traduisant une détection trop rapide, pour conduire à l'expression d'un effet de CC⁴⁹.

Enfin, la littérature dans le champ du SL a montré que les informations extraites lors de l'apprentissage des régularités peuvent être source d'effets d'interférence proactive, par exemple lorsque la position de la cible est déplacée au cours d'une tâche (cf. section 3 du Chapitre 3). Les changements associés à la phase de transfert ont possiblement engendré un "coût contextuel" qui a empêché l'expression des connaissances contextuelles acquises lors de la tâche d'apprentissage (Makovski & Jiang, 2010 ; Sisk et al., 2019). Une adaptation à ces changements peut se produire, mais cela ne se fait pas sans un certain coût, et il faudra peut-être du temps au système neurocognitif pour s'adapter à ces modifications (par exemple, Geyer et al., 2021 ; Zinchenko et al., 2020 ; cependant voir Geyer et al., 2023 ; Peterson et al., 2022 pour des résultats nuancés).

Les expériences suivantes ont été conçues en prenant en compte ces facteurs qui pourraient empêcher l'émergence des effets de CC lorsque les images prédictives amorcent l'environnement de recherche, et donc, lorsque les régularités ne sont pas présentées dans la même fenêtre temporelle.

⁴⁹ La question de la relation entre difficulté de la tâche est traitée dans la section 1.1 du quatrième chapitre de la partie théorique du manuscrit.

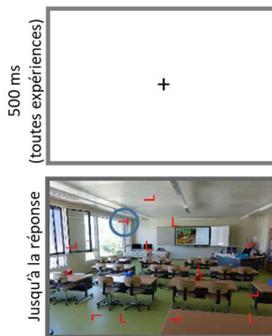
Expérience 3

Procédure inter-affichages



a) Procédure intra-affichage

Expériences 1,
2 (*apprentissage*), 4 (*transfert*)



b) Procédure inter-affichages

Expériences 2 (*transfert*),
4 (*apprentissage*)



Expérience 3



c) Procédure inter-essais

Expérience 5



Les résultats de la seconde expérience répliquent les résultats de l'Expérience 1, mais sans toutefois réussir à mettre en évidence une persistance de l'effet de CC lorsque l'image prédictive amorce l'environnement de recherche. Cependant, il est tout à fait envisageable qu'un tel effet contextuel inter-affichages puisse être obtenu si la procédure d'amorçage est mise en œuvre dès le début de la tâche. En effet, cela pourrait éviter des interférences, susceptibles d'empêcher l'expression du CC. De plus, le fait que les participants n'aient pas de pratique préalable pourrait rendre la tâche de recherche plus difficile, favorisant de ce fait l'émergence du CC (par exemple, Brady & Chun, 2007 ; Darby et al., 2014 ; Kunar et al., 2008). La procédure de l'Expérience 3 était similaire à la phase de transfert de l'Expérience 2, excepté que celle-ci comprenait désormais 16 blocs d'essais inter-affichage, et non huit. De plus, toujours dans l'optique de rendre la tâche plus difficile, nous avons augmenté le nombre de distracteurs à chaque essai par rapport aux Expériences 1 et 2, et modifié la police des lettres (les lettres L ayant désormais une petite excroissance pour les rendre moins distinctes des cibles T, voir Thomas et al., 2018). De plus, nous avons réduit le nombre d'images dans chaque condition,

de huit à six, afin de faciliter les mécanismes d'apprentissage associatif (e.g., Bennett et al., 2009).

Méthode

Participants

17 étudiants (âge moyen = 22 ans, *E.T.* = 4.34 ans) de l'Université de Franche-Comté ont participé à cette expérience en échange de crédits universitaires. Tous ont volontairement participé à l'expérience et ont déclaré avoir une acuité visuelle normale ou corrigée. Encore une fois, nous avons basé notre taille d'échantillon sur les études menées par Ono et al. (2005) ($N = 14$) et Thomas et al. (2018) ($N = 25$).

Apparatus et stimuli

Le matériel était constitué de 12 images utilisées comme amorces (six images significantes et six images non significantes) pour la tâche de recherche visuelle, et de 10 images supplémentaires pour le bloc de familiarisation. Les images proposées étaient différentes de celles proposées dans les expériences précédentes. Les environnements de recherche étaient, eux, de même nature que ceux utilisés dans la phase de transfert de l'Expérience 2, excepté que chaque ensemble contenait 14 distracteurs, et que les lettres étaient en police Courier (ajoutant ainsi une petite queue aux L pour les rendre plus semblables aux T), et de taille 14.

Procédure

Les participants effectuaient d'abord la tâche de recherche visuelle, immédiatement suivie de la tâche de génération.

Tâche de recherche visuelle : Les participants étaient informés qu'ils seraient exposés à des images suivies d'ensembles de lettres dans lesquels ils devraient détecter une lettre cible T parmi des L. Il leur était demandé de bien prêter attention aux images en vue d'une tâche ultérieure de reconnaissance. Une fois la lettre cible repérée, ils devaient appuyer le plus rapidement possible sur la touche assignée à l'orientation spatiale de la cible, c'est-à-dire la

touche gauche si la cible était tournée vers la gauche, et la touche droite si elle était tournée vers la droite. Les participants initiaient chaque nouveau bloc d'essais en appuyant sur la barre espace.

La procédure pour chaque essai était similaire à celle de la phase de transfert de l'Expérience 2. Une image était d'abord présentée à l'écran pendant 1920 ms, immédiatement suivie d'une croix de fixation pendant 500 ms, puis un environnement de recherche restait affiché à l'écran jusqu'à la réponse du participant.

L'expérience débutait par un bloc de familiarisation de dix essais spécialement conçus pour cette phase. Ensuite, les participants effectuaient 192 essais répartis en 16 blocs (quatre époques). Chaque bloc contenait six essais prédictifs et six essais non prédictifs. Douze scènes visuelles étaient utilisées dans cette expérience : six images pour les essais prédictifs et six pour les essais non prédictifs. Chaque image était affichée une fois par bloc. Pour le reste, la procédure était similaire à la phase de transfert de l'Expérience 2.

Tâche de génération : Après un recueil de verbatims, tous les participants réalisaient une tâche de génération. Une procédure légèrement modifiée était utilisée par rapport aux deux premières expériences pour assurer une plus grande cohérence dans la présentation des essais entre les deux tâches (pour un exemple, voir l'annexe 3). Cette tâche de mémoire était constituée d'un unique bloc comprenant 12 essais. Chaque essai se décomposait ainsi : une image de la tâche de recherche visuelle était affichée pendant 1920 ms. Puis, une croix de fixation suivait immédiatement chaque présentation d'image pendant 500 ms. Ensuite, un environnement de recherche vide, subdivisé en quatre cadrans numérotés de 1 à 4 apparaissait. Les participants devaient indiquer le cadran susceptible de contenir la cible pendant la tâche de recherche. S'ils ne pouvaient pas se rappeler l'emplacement de la cible, il leur était demandé de fournir une réponse au hasard. Aucune limite de temps n'a été imposée pour accomplir cette tâche.

Résultats

Tâche de recherche visuelle : Nous avons obtenu un taux moyen de réponses incorrectes de 1.3 % pour les essais prédictifs et non prédictifs. Les résultats d'un participant ont été exclus des analyses, la proportion de réponses incorrectes étant supérieure à trois écarts-types de la moyenne de l'ensemble des participants. Les analyses ont porté sur les temps de réaction pour les réponses correctes. 3.3 % des TR des réponses correctes ont été exclus des analyses car les ceux-ci étaient supérieurs à la moyenne des TR plus trois écarts-types, ou inférieurs à 250 ms. Les TR des réponses correctes ont été regroupés en quatre époques, couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. Pour chaque participant, une moyenne des TR pour les réponses correctes a été calculée pour chaque époque et chaque condition testée. Les résultats sont illustrés dans la Figure 27.

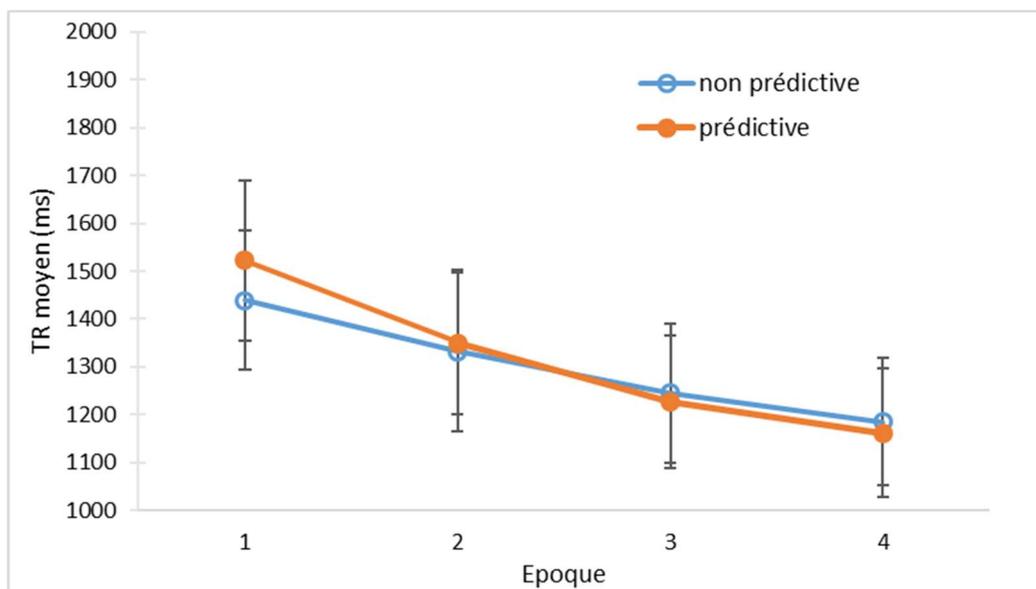


Figure 27 : TR moyen à chaque époque pour les essais prédictifs et non prédictifs. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne ($N = 16$).

Nous avons réalisé une Anova à mesures répétées sur les TR moyens avec l'époque (1-4) et la condition (prédictive vs non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats ont mis en évidence un effet principal de l'époque, $F(3, 45) = 16.45$, $p < .001$, $\eta p^2 = .52$, mais aucun effet de la condition, $F(1, 15) < 1$, et aucune interaction entre les deux variables, $F(3, 45) < 1$. Des analyses bayésiennes complémentaires ont confirmé l'absence d'effet de la condition, $BF_{10} =$

.19. Par conséquent, comme dans l'Expérience 2, les résultats soulignent clairement l'absence d'effet de *contextual cueing* lorsqu'une image prédictive amorce l'emplacement de la cible dans un environnement de recherche présenté ultérieurement.

Tâche de verbalisation puis de génération : Deux sujets (12.5 % des participants au total) ont rapporté avoir remarqué au moins une association entre les cibles et les images. Nous avons calculé le taux de *hits* moyen pour la tâche de génération de cibles. Nous avons effectué un test *t* de Student pour échantillon unique sur le taux de *hits* moyen pour les images prédictives, avec le hasard (.25) comme moyenne de référence. Nous n'avons trouvé aucune différence significative entre le taux de réussite moyen pour les scènes prédictives ($M = 0,29$) et le hasard, $t(15) = 1.07, p = .30$. Ainsi, la tâche de mémoire explicite n'a révélé aucune prise de conscience des régularités visuelles.

Discussion

Les résultats obtenus dans l'Expérience 3, tout comme ceux de l'Expérience 2, n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet de *contextual cueing* lorsque une image prédictive était présentée comme amorce d'un environnement de recherche, malgré une modification du matériel qui, d'une part, a rendu la recherche plus difficile tout en facilitant la possibilité d'apprendre les régularités (moins d'images et moins d'essais), mais qui a également permis de supprimer un éventuel coût contextuel induit par un changement du mode de présentation des essais en cours de tâche. Pris dans leur ensemble, les résultats des Expériences 2 et 3 échouent à mettre en évidence des effets de *contextual cueing* lorsque le contexte prédictif et la cible à détecter ne sont pas présentés dans la même fenêtre temporelle.

Cependant, il reste possible que les contingences temporelles aient été encodées dans une procédure de type inter-affichages, mais qu'elles n'aient pas été exploitées. À cet égard, de nombreuses recherches ont suggéré le rôle critique de l'attention et de la mémoire de travail dans les processus de "*binding*" dans l'apprentissage statistique, et plus spécifiquement en ce qui concerne l'expression des connaissances formées (Pollman, 2019 ; Wang et al., 2020). Par exemple, plusieurs études ont montré que, bien que l'apprentissage des contingences puisse se développer sans attention sélective et avec des ressources attentionnelles minimales, l'expression du *contextual cueing* requiert de l'attention sélective (e.g., Goujon et al., 2009 ; Jiang & Leung, 2005). En ce sens, Jiang et Leung (2005) ont proposé une tâche de recherche

comportant des contextes composés de distracteurs de la même couleur que la cible (contexte attentionné) soit d'une autre couleur (contexte ignoré). Chaque type de contexte pouvait être prédictif de la position de la cible, ou non prédictif (voir Figure 28). Lors d'une phase d'apprentissage, les auteurs ont observé des effets de CC lorsque le contexte attentionné (*attended*) était prédictif, mais pas lorsque c'était le contexte ignoré (car non-pertinent pour la recherche) qui prédisait l'emplacement de la cible. Ces observations suggèrent donc que sans attention sélective, il ne peut y avoir d'apprentissage contextuel. Néanmoins, au cours d'une phase de transfert, une inversion de la couleur des distracteurs amenait les contextes prédictifs précédemment ignorés à devenir attentionnés (et inversement). Une telle manipulation a abouti à une facilitation immédiate de la recherche pour ces contextes nouvellement attentionnés suggérant qu'un apprentissage contextuel a pu avoir lieu sur les contextes prédictifs ignorés.

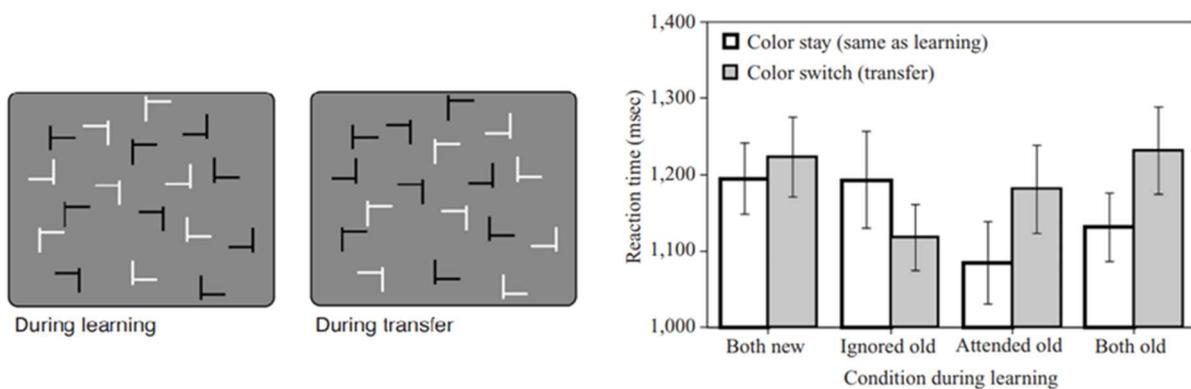
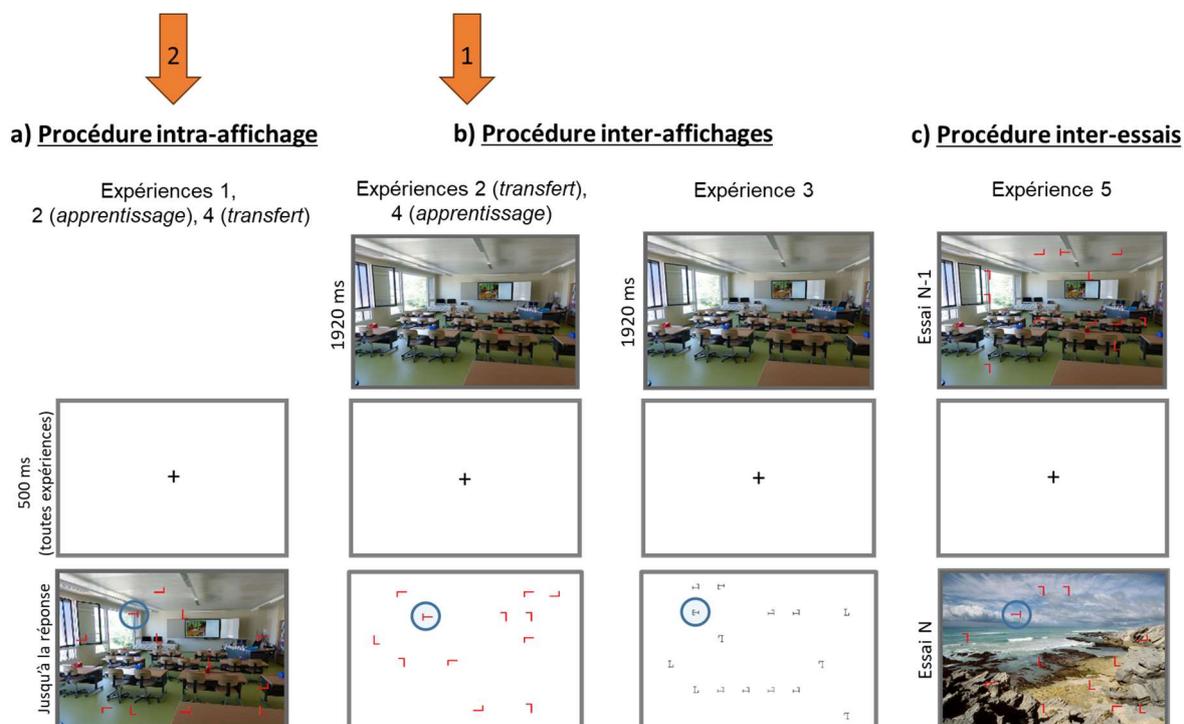


Figure 28 : A gauche : exemple de l'inversion de couleur des distracteurs entre la phase d'apprentissage et la phase de transfert. A droite : TR des participants au cours du transfert. Pour une moitié des participants, les couleurs des distracteurs sont identiques, tandis que pour l'autre, la couleur des distracteurs est inversée. La condition *ignored old* propose des contextes prédictifs d'une couleur différente de celle de la cible pendant l'apprentissage (extrait de Jiang & Leung, 2005).

En ce sens, Les résultats que nous avons observés dans notre seconde expérience montrent que même lorsque les associations entre l'image et la cible ont été acquises lors de l'apprentissage, la connaissance ne s'est pas exprimée lorsque l'image a servi d'amorce pour l'affichage de recherche pendant la phase de transfert. Dans ce cadre, l'Expérience 4 visait à dissocier l'apprentissage de régularités de son expression.

Expérience 4

Procédure inter-affichages puis intra-affichage



Les résultats des Expériences 2 et 3 n'ont pas révélé d'effet de CC inter-affichages, ce qui nous a conduit à émettre l'hypothèse que l'attention pourrait jouer un rôle critique dans le *binding* entre l'image et l'emplacement de la cible. À cet égard, des résultats issus de précédentes recherches ont révélé un phénomène intéressant. Bien que l'expression de l'apprentissage implicite nécessite de l'attention sélective, un apprentissage latent, et indépendant de l'attention portée aux contingences, peut néanmoins se produire. Jiang et Leung (2005) ont par exemple montré, à l'aide du paradigme du *contextual cueing*, qu'un contexte répété ignoré ne facilitait pas les performances de détection (voir également Goujon et al., 2009), mais lorsque ce contexte devenait soudainement attentionné (*attended*), les performances s'amélioraient immédiatement. Ces résultats suggèrent que bien que l'expression du CC dépende de l'attention portée aux contextes répétés, un apprentissage latent peut néanmoins se produire sur un contexte ignoré. Étant donné l'existence d'un tel phénomène, l'Expérience 4 avait pour objectif de tester l'hypothèse selon laquelle un apprentissage latent peut émerger grâce à une procédure

inter-affichages, mais que cet apprentissage ne peut s'exprimer que grâce à une procédure intra-affichage. À cette fin, les participants ont d'abord été exposés à une procédure inter-affichages lors des 16 premiers blocs, puis à une procédure intra-affichage lors des huit derniers blocs.

Méthode

Participants

30 étudiants (âge moyen 18.6 ans, *E.T.* = 0.73 ans) de l'Université de Franche-Comté ont participé à cette expérience en échange de crédits universitaires. Tous se sont portés volontaires pour l'expérience et ont signalé avoir une acuité visuelle normale ou corrigée. Nous avons basé la taille de notre échantillon sur deux études ayant montré des effets de CC temporels, c'est-à-dire Ono et al. (2005) ($N = 14$ dans les Expériences 1a et 1b) et Thomas et al. (2018) ($N = 25$ dans l'Expérience 1).

Apparatus et stimuli

Le matériel était identique à celui utilisé dans l'Expérience 2.

Procédure

Les participants ont d'abord effectué la tâche de recherche visuelle, immédiatement suivie de la tâche de génération.

Tâche de recherche visuelle : La tâche de recherche était similaire à celle proposée dans l'Expérience 2, à la différence près que les essais de la phase d'entraînement (bloc 1 à bloc 16) étaient proposés ici selon une procédure inter-affichages, tandis que les essais de la phase de transfert (bloc 17 à bloc 24) étaient proposés selon une procédure intra-affichage.

Tâche de verbalisation puis de génération : La phase de mémoire explicite était similaire à celle proposée dans les Expériences 1 et 2.

Résultats

Tâche de recherche visuelle : Le taux d'erreur est de 1,8 % dans la phase d'entraînement, et de 2,1 % dans la phase de transfert. Nos analyses ont uniquement porté sur les TR des réponses correctes. Les TR supérieurs à la moyenne plus trois écarts-types, ou inférieurs à 250 ms dans la phase d'apprentissage, ou dans la phase de transfert, ont également été exclus des analyses. Cette procédure a éliminé 2,2 % des TR des réponses correctes dans la phase d'entraînement, et 1,6 % dans la phase de transfert. Enfin, les TR des réponses correctes ont été regroupés en six époques (quatre dans la phase d'entraînement et deux dans la phase de transfert), couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. Pour chaque participant, une moyenne séparée de TR pour les réponses correctes a été calculée pour chaque époque, et chaque condition testée. La figure 29 représente la moyenne des TR par époque pour les phases d'apprentissage (présentation inter-affichage) et de transfert (présentation intra-affichage) de l'Expérience 4.

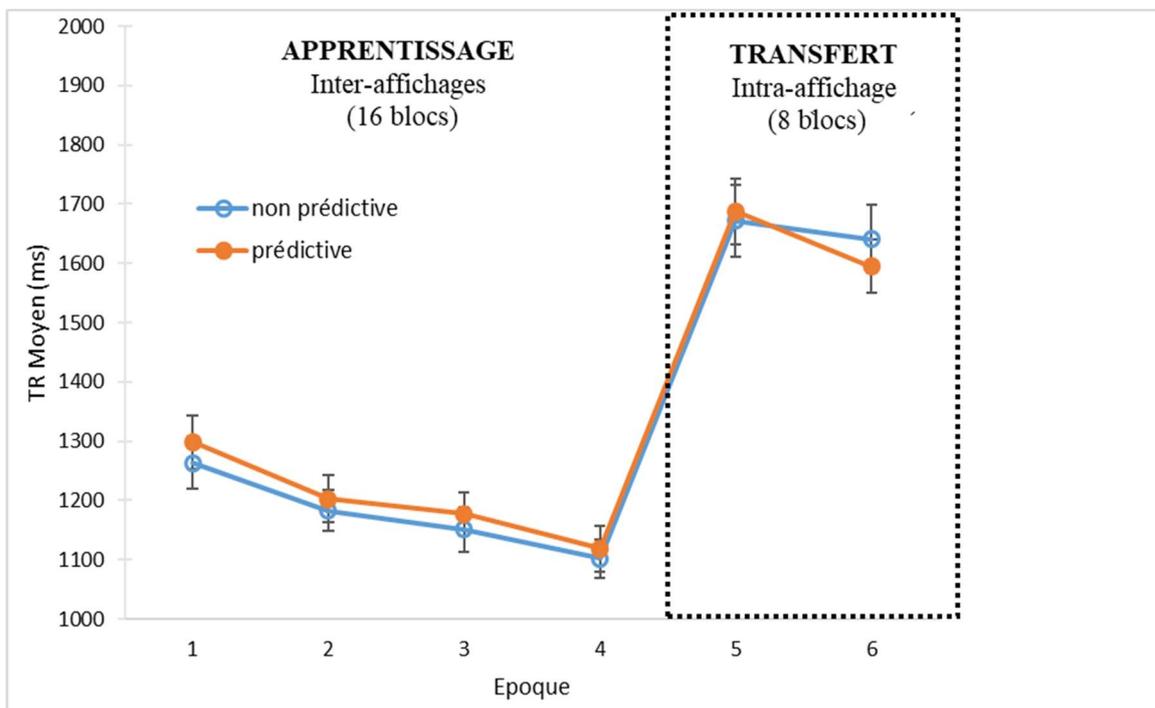


Figure 29: Temps de réponse moyen à chaque époque pour les essais prédictifs et non prédictifs dans les phases d'entraînement (présentation inter-affichages) et de transfert (présentation intra-affichage). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne ($N = 26$).

Phase d'entraînement : Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur les TR moyens avec l'époque (1-4) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats montrent un effet principal de la condition, $F(1, 29) = 6.72, p = .014, \eta p^2 = .19$, un effet principal de l'époque, $F(3, 87) = 27.66, p < .001, \eta p^2 = .49$, mais aucune interaction entre les deux variables indépendantes, $F(3, 87) < 1$. Malgré l'effet inattendu de la condition révélé par l'ANOVA (dans le sens TR des essais non prédictifs < TR des essais prédictifs), une analyse post-hoc (LSD de Fisher) n'a montré aucune différence significative entre les deux conditions à chacune des époques (tous les $ps > .05$), résultat en faveur de l'absence de différence entre les deux conditions pendant la phase d'entraînement. Des analyses bayésiennes supplémentaires nous permettent néanmoins de conclure quant à l'absence d'un effet du facteur condition, $BF_{10} = .71$, même si les résultats ne nous permettent pas de conclure fermement en faveur de l'hypothèse nulle. Étant donné que le matériel était contrebalancé entre les conditions, nous avons considéré cet effet inattendu comme anecdotique.

Phase de transfert : Une ANOVA à deux facteurs a été réalisée sur les TR moyens avec l'époque (5-6) et la condition (prédictive vs non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats n'ont pas révélé d'effet principal de l'époque, $F(1, 29) = 5.16, p = .031$, d'effet de la condition, $F(1, 29) < 1$, et aucune interaction entre les deux variables indépendantes, $F(1, 29) < 1$. Les résultats d'analyses bayésiennes complémentaires se sont montrés en faveur de l'absence d'effet de la condition, $BF_{10} = .264$. Les résultats de la phase de transfert soulignent une absence d'expression précoce des connaissances, remettant ainsi en question l'hypothèse selon laquelle un apprentissage contextuel inter-affichages se serait produit pendant la première phase. Cependant, l'analyse post-hoc révèle un effet de la condition marginalement significatif à l'époque 6 ($p = .067$). Ce résultat est conforme aux tendances d'apprentissage observées avec la procédure intra-affichage utilisée dans les Expériences 1 et 2, confirmant ainsi à nouveau la robustesse de cet effet.

Tâche de verbalisation puis de génération : Parmi les 30 participants de l'expérience, 16 (53.3% des participants) ont déclaré avoir remarqué au moins une association cible-image lors de la tâche de recherche visuelle. Ils ont tous déclaré avoir seulement pris conscience des régularités au cours de la phase de transfert. Nous avons calculé le taux de *hits* pour la tâche de génération de cibles. Cela correspond au nombre moyen d'essais pour lesquels les participants ont correctement deviné l'emplacement de la cible pour un affichage donné, divisé par le nombre total d'essais. La moyenne d'emplacements de cibles correctement devinés dans la condition prédictive était de .50 ($E.T. = .22$), ce qui s'est avéré significativement meilleur que le hasard

(.25), $t(29) = 6.37$, $p < .001$. Les résultats suggèrent que les participants ont pu accéder consciemment aux régularités apprises.

Discussion

L'Expérience 4 visait à tester l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage de régularités spatiales peut émerger à partir d'une image "amorce", mais que celui-ci ne peut s'exprimer dans un environnement intra-affichage. En effet, des recherches passées ont démontré qu'une absence d'effet de CC ne signifie pas nécessairement une absence d'apprentissage des contingences. Par exemple, Jiang et Leung (2005) ont montré que s'il n'y a pas de CC à partir de contextes répétés ignorés (voir également Jiang & Chun, 2001), lorsque ces contextes deviennent soudainement attentionnés (*attended*), les performances s'améliorent immédiatement (voir également Goujon et al., 2009). Ces résultats suggèrent donc que si l'expression de l'apprentissage est sans doute dépendante de l'attention portée aux contextes répétés, en situation intra-essai un apprentissage latent peut néanmoins se produire dans les contextes ignorés. Nos résultats ne permettent cependant pas d'étendre ce résultat en situation inter-affichages. Les résultats obtenus au tout début de la phase de transfert (c'est-à-dire à l'époque 5) n'ont pas permis de mettre en évidence un quelconque avantage en condition prédictive par rapport à la condition non prédictive. On peut cependant noter que l'apprentissage pendant la phase de transfert (c'est-à-dire dans la procédure intra-affichage) s'est produit plus tôt que dans l'Expérience 1 et l'Expérience 2 (phase d'apprentissage). On observe un effet tendanciel de CC à la deuxième époque de la phase de transfert. Il reste néanmoins difficile de déterminer si cette facilitation n'est pas simplement due à une expertise acquise lors de la phase d'apprentissage. De plus, la tâche de mémoire explicite a de nouveau montré qu'un nombre limité de présentations par le biais d'une procédure intra-affichage est suffisant pour produire des connaissances de nature explicite.

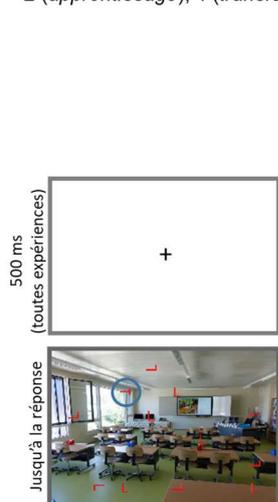
Expérience 5

Procédure inter-essais



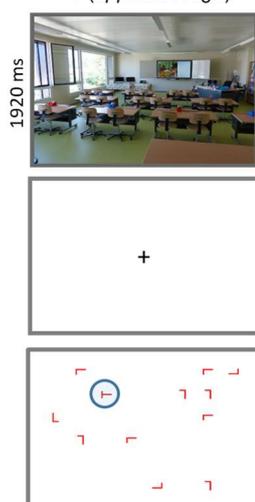
a) Procédure intra-affichage

Expériences 1,
2 (*apprentissage*), 4 (*transfert*)



b) Procédure inter-affichages

Expériences 2 (*transfert*),
4 (*apprentissage*)



Expérience 3



c) Procédure inter-essais

Expérience 5



Les Expériences 2 à 4 n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet de CC inter-affichages pour des images complexes, c'est-à-dire lorsqu'une image était prédictive de l'emplacement d'une cible incluse dans un ensemble de lettres proposé lors d'une présentation ultérieure. Pourtant, deux études ont déjà rapporté des effets de CC temporel via des procédures dites "inter-essais" avec du matériel artificiel (Ono et al., 2005 ; Thomas et al., 2018⁵⁰). La procédure utilisée dans ces études est néanmoins relativement différente de celle utilisée dans notre procédure inter-affichages, et ce à plusieurs égards. Tout d'abord, dans les deux études, la configuration spatiale de l'essai N-1 prédisait l'emplacement de la cible à l'essai N. Par conséquent, les participants étaient engagés dans une tâche de recherche au sein des contextes qui allaient s'avérer prédictifs (les essais N-1), tandis que dans nos Expériences 2, 3 et 4, aucun traitement spécifique sur les images "amorces" n'était demandé aux participants.

⁵⁰ Une description schématique des procédures utilisées par les auteurs est proposée dans la section 2.2 du chapitre 5 de la partie théorique de ce manuscrit.

De plus, dans les travaux de Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018) le CC était mesuré par le biais d'une phase de test mise en œuvre à la fin de la phase d'apprentissage, et non pendant l'apprentissage lui-même (voir Figure 30 pour un exemple). Ainsi, l'effet de CC inter-essais était révélé dans ces travaux par une augmentation des TR dans des essais de transfert dans lesquels les régularités étaient perturbées, par rapport aux essais contrôle dans lesquels les régularités étaient maintenues. Cette manipulation expérimentale pourrait s'avérer primordiale en vue d'obtenir des effets de CC inter-affichages. En effet, dans une étude récente, Bouwkamp et al. (2021) n'ont pas reproduit l'effet de CC inter-essais, mais ces auteurs mesuraient le CC en comparant les essais prédictifs et non prédictifs pendant une phase d'apprentissage uniquement (comme dans nos expériences 2, 3 et 4). De même, Thomas et al. (2018) n'ont initialement pas réussi à montrer un effet de CC inter-essais avec cette méthode.

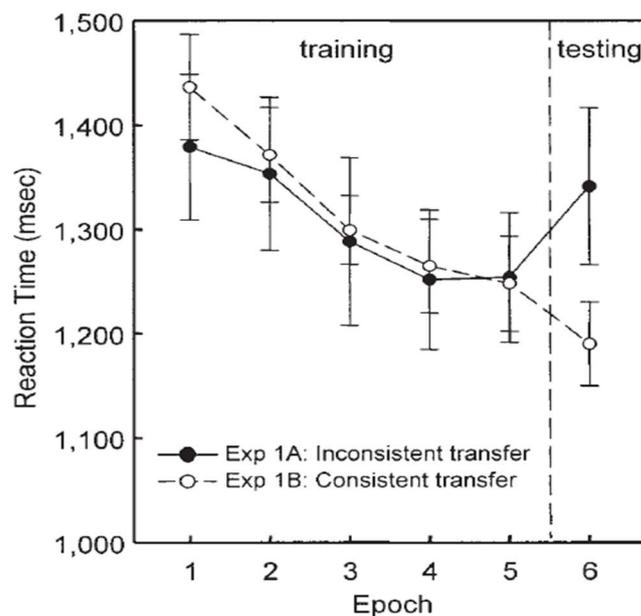


Figure 30 : Résultats de l'Expérience 1 extrait de Ono et al. (2005). Durant la phase d'apprentissage (*training*), tous les participants sont exposés aux régularités inter-essais. En revanche, durant la phase de transfert (*testing*) les régularités ne sont maintenues que pour une partie des participants (groupe *consistent transfer*).

Enfin, la dernière différence provenait de la nature des contextes prédictifs en eux-mêmes, c'est à dire des tableaux de lettres par rapport aux images complexes. Dans ce cadre, la procédure de l'Expérience 5 était similaire à la procédure utilisée par Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018), mais chaque ensemble de recherche était superposé à une image d'arrière-

plan (cf. Expérience 1) et seule l'image de l'essai N-1 prédisait l'emplacement de la cible à l'essai N (c'est-à-dire que la disposition spatiale des configurations était aléatoire à chaque essai, de même que l'emplacement de la cible à l'essai N-1).

Méthode

Participants

43 étudiants répartis en deux groupes (âge moyen = 20.86 ans, *E.T.* = 4.39 ans) de l'Université de Franche-Comté ont participé à cette expérience en échange de crédits universitaires. Nous avons basé la taille de notre d'échantillon, pour chacun des deux groupes, sur celui constitué par Thomas et al. (2018) ($N = 25$). Tous ont volontairement participé à l'expérience et ont déclaré avoir une acuité visuelle normale ou corrigée. Les participants ont été répartis aléatoirement dans le groupe de transfert cohérent ($N = 23$) ou dans le groupe de transfert incohérent ($N = 20$).

Apparatus et stimuli

Nous avons utilisé le même matériel que celui de la phase d'apprentissage de l'Expérience 2, mais les huit scènes sans signification ont été remplacées par huit nouvelles scènes du monde réel.

Procédure

Dans les deux groupes, de transfert cohérent et de transfert incohérent, les participants ont d'abord effectué la tâche de recherche visuelle, qui comprenait une phase d'apprentissage et une phase de transfert, immédiatement suivies d'un débriefing et d'une tâche de génération de cible.

Tâche de recherche visuelle :

Phase d'apprentissage : Celle-ci était similaire à celle de l'Expérience 2, excepté pour les points suivants. Tout d'abord, les participants effectuaient 192 essais répartis en 16 blocs. Chaque bloc contenait huit essais prédictifs et huit essais dits de remplissage. Seize images en arrière-plan étaient utilisées dans cette expérience : huit images pour les essais prédictifs et huit pour les essais de remplissage. Chaque image était affichée une fois par bloc. Contrairement à l'Expérience 1 et à l'Expérience 2 (phase d'apprentissage), l'image en arrière-plan ne prédisait pas l'emplacement de la cible dans le même affichage, mais dans l'essai suivant. Ainsi, l'emplacement de la cible dans un essai (Essai N) était "indiqué" par l'image en arrière-plan de l'essai antérieur (N-1). Comme dans les expériences précédentes, l'emplacement des distracteurs était aléatoire à chaque essai, mais les huit mêmes emplacements de cible étaient utilisés à la fois dans les essais N-1 et N. De même, les images utilisées pour les essais N-1 vs. N, ainsi que l'ordre de présentation des blocs, étaient contrebalancés entre les participants.

Phase de transfert : Lors des quatre derniers blocs de l'Expérience 5, et à l'insu des participants, les associations entre l'image de l'essai N-1, et l'emplacement de la cible à l'essai N, étaient rompues pour la moitié des participants (groupe de transfert incohérent). Pour le groupe de transfert cohérent, les associations étaient maintenues.

Tâche de verbalisation puis de génération : La tâche de génération de cible était similaire à celle proposée pour les Expériences 1 et 2.

Résultats

Tâche de recherche visuelle : Les analyses ont uniquement porté sur les TR des réponses correctes. Le taux d'erreur est égal ou inférieur à 2% pour les deux groupes. Les résultats de deux participants ont été exclus des analyses (nombre de réponses incorrectes supérieur à la moyenne de réponses correctes plus trois écarts-types). Les TR supérieurs à la moyenne plus trois écarts-types ou inférieurs à 250 ms ont également été exclus des analyses. Cette procédure a éliminé 1.2% des TR des réponses correctes dans les deux groupes. Les TR des réponses correctes ont été regroupés en cinq époques, couvrant chacune quatre blocs consécutifs d'essais. Pour chaque participant, une moyenne distincte des TR des réponses correctes a été calculée pour chaque époque et chaque condition testée. La Figure 31 montre la moyenne des TR par époque pour le groupe de transfert cohérent et le groupe de transfert incohérent.

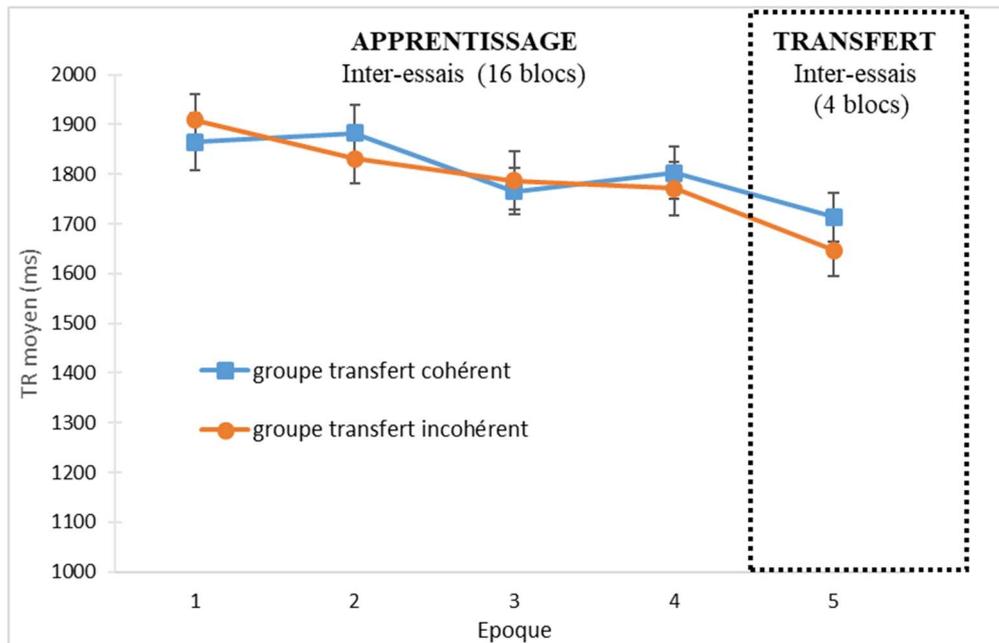


Figure 31 : TR moyen dans la phase d'entraînement (époques 1 à 4) et dans la phase de test (époque 5) pour les groupes de transfert cohérent et incohérent dans l'Expérience 5. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne ($N = 41$).

Une ANOVA à deux facteurs a été réalisée sur le TR moyen avec l'époque (1-4) comme facteur intra-sujet et le groupe (transfert cohérent vs. transfert incohérent) comme facteur inter-sujet. Les résultats montrent un effet principal de l'époque, $F(3, 117) = 7.61, p < .001, \eta p^2 = .163$, mais aucun effet du groupe, $F(1, 39) < 1$, et aucune interaction entre les deux variables, $F(3, 117) = .39, p = .248$.

Une comparaison planifiée entre les deux groupes à l'époque 5 (transfert) ne montre aucune différence significative, $F(1, 39) < 1$, confirmant l'absence d'effet de CC dans cette phase. Les résultats d'analyses bayésiennes complémentaires sont également en faveur d'une absence de différence significative entre nos deux groupes pendant la phase de transfert, $BF_{10} = .331$. Par conséquent, les résultats de l'Expérience 5 n'ont pas apporté de preuves en faveur d'un effet de CC temporel pour des images avec une procédure inter-essais.

Tâche de verbalisation puis de génération : Aucun des participants n'a signalé avoir remarqué les régularités inter-essais. Malheureusement, en raison de problèmes techniques lors de la mise en œuvre de la tâche, nous n'avons pas pu exploiter les résultats de la tâche de génération comme cela était initialement prévu.

Discussion

Les résultats de l'Expérience 5 ne nous ont pas permis de mettre en évidence d'effets de *contextual cueing* avec l'utilisation d'une procédure inter-essais adaptée aux scènes du monde réel. De tels résultats posent inévitablement la question, en lien avec les résultats obtenus dans les Expériences 2, 3 et 4, de l'impossibilité d'obtenir des effets de *contextual cueing* temporel à partir d'images amorçant la localisation spatiale d'une cible dans un contexte ultérieur. De manière plus générale, ces résultats interrogent sur notre capacité à extraire des contingences statistiques au sein d'affichages qui ne sont pas présentés simultanément.

Discussion générale et perspectives

Depuis bientôt trois décennies, un nombre conséquent de recherches a porté sur la capacité à extraire et utiliser des régularités présentes au sein de l'environnement perceptif, un phénomène baptisé *statistical learning* (SL) (Saffran et al., 1996 ; pour des revues, voir Frost et al., 2019 ; Goujon et al., 2015 ; Sherman et al., 2020 ; Thiessen, 2017). Le SL est aujourd'hui reconnu comme un pilier majeur dans le développement du langage, la reconnaissance d'objets, et la navigation dans des environnements complexes (par exemple, Gopnick & Wellman, 2012 ; Oliva & Torralba, 2007 ; Perruchet & Pacton, 2006). Dans ce champ, Chun et Jiang (1998) ont mis en évidence une forme de SL visuel, nommée *contextual cueing* (CC), traduisant la capacité des observateurs à apprendre et à utiliser des régularités visuelles spatiales de l'environnement et, ce, le plus souvent de manière implicite.

Malgré les nombreuses avancées dans la compréhension de ce phénomène (pour des revues, voir Goujon et al., 2015 ; Sisk et al., 2019), et son extension à d'autres régularités, notamment temporelles, des limites et des contraintes ont cependant été observées. Certains travaux suggèrent notamment que cette forme de SL ne soit limitée qu'à des contingences spatialement ou temporellement adjacentes (Ono et al., 2005 ; Thomas et al., 2018). Toutefois, à ce jour, aucune hypothèse ne fait l'unanimité pour expliquer clairement ces limitations. En outre, une compréhension fine des mécanismes du *contextual cueing* temporel requiert inévitablement des investigations menées à partir d'environnements visuellement complexes, capturant en partie la richesse du monde réel (par exemple Brockmole & Ehinger, 2008 ; Brockmole & Henderson, 2006a ; Goujon et al., 2012 ; 2014). En effet, la plupart des effets rapportés dans la littérature l'ont été dans des environnements arbitraires de symboles ou de formes.

L'objectif principal des recherches expérimentales que nous avons menées dans le cadre du présent travail de thèse était de fournir de nouveaux éclairages quant à l'impact de différentes dimensions temporelles sur le *contextual cueing*, notamment lorsque des images complexes sont prédictives de l'emplacement d'un objet d'intérêt à rechercher dans un environnement présenté ultérieurement. Pour cela, nous avons d'abord examiné dans quelle mesure des effets de *contextual cueing* spatial dans des images pouvaient subsister après une période de 10 à 12 semaines, lorsqu'une scène d'arrière-plan, sans lien direct avec la recherche, prédisait l'emplacement de la cible (Expérience 1). Ensuite (Expériences 2 à 5), nous avons cherché à déterminer si le *contextual cueing* pouvait également s'appliquer à des contingences qui n'étaient pas présentes dans le même affichage, c'est-à-dire dans la même fenêtre temporelle (effet que nous avons nommé *contextual cueing* "inter-affichages"). Dans l'ensemble, nos résultats ont mis en évidence une robustesse des effets de CC spatial, sur plusieurs semaines,

lorsque les images et la cible étaient présentées simultanément au sein d'un même environnement. Cependant, et malgré plusieurs adaptations méthodologiques visant à optimiser l'apparition potentielle d'un effet de *contextual cueing* inter-affichage, nos résultats n'ont pas permis mettre en évidence un tel effet, même en cas d'apprentissage préalable des associations image/cible dans une procédure intra-affichage. Pris dans leur ensemble, les résultats que nous avons obtenus apportent de nouveaux éléments de compréhension des mécanismes et caractéristiques du CC pour les images, mais aussi des limites dans l'apprentissage statistique de régularités contextuelles visuelles temporellement adjacentes.

Synthèse et interprétation des résultats expérimentaux

Robustesse dans le temps du *contextual cueing* intra-affichage pour des images

Dans l'Expérience 1, les participants devaient rechercher une lettre cible T intégrée dans un ensemble de distracteurs en forme de L superposés à une image de fond (pour une procédure similaire, voir Rosenbaum & Jiang, 2013). L'originalité de la méthode utilisée ici vient du fait que seule l'image présentée en arrière-plan prédisait l'emplacement de la cible, c'est-à-dire que la disposition spatiale des distracteurs ne revêtait pas de caractère prédictif. Cette expérience a révélé que des effets de CC pouvaient émerger dans une telle situation expérimentale, c'est-à-dire à partir d'images, photographiques ou fractales, qui étaient sans rapport avec la tâche, et donc pour lesquelles l'attention sélective n'est pas requise (e.g., Jiang & Leung, 2005). Selon nous, cet effet pourrait être le résultat d'un traitement automatique des images présentées en arrière-plan. Bien que cet effet soit apparu beaucoup plus tard que dans les études où la cible était intégrée dans l'image (bloc 9 ici versus bloc 3, par exemple, dans Brockmole & Henderson, 2006a, ou Goujon et al., 2014), le bénéfice en termes de TR s'est avéré important et préservé après un délai de 10 à 12 semaines. Ce résultat montre une persistance du bénéfice de l'apprentissage contextuel au-delà des résultats proposés dans des recherches antérieures qui montrent des effets de CC intacts après un délai de dix jours (Chun & Jiang, 2003 ; van Asselen & Castelo-Branco, 2009). Une robustesse sur une période équivalente avait déjà été observée chez les babouins, mais la phase d'apprentissage initiale impliquait ici plus de 20 000 répétitions (Goujon & Fagot, 2013). À notre connaissance, il s'agit de la première démonstration d'un effet de CC intact après une si longue période, avec un nombre aussi restreint de répétitions, et avec des régularités contextuelles basées sur des images.

La robustesse des effets de CC spatial après plusieurs semaines est en accord avec les théories de la mémoire implicite, mémoire réputée pour être très robuste dans le temps (e.g., Mitchell, 2006 ; Mitchell & Brown, 1998 ; Reber, 2013 ; Tulving et al., 1982). Par exemple, Mitchell (2006) a montré que des participants qui avaient été exposés à des images 17 ans plus tôt en laboratoire, ont été à même d'identifier des fragments issus de ces scènes parmi d'autres fragments provenant de nouvelles images. Les auteurs ont attribué ces performances à des

effets de *priming*, implicites, plutôt qu'à des mécanismes en lien avec la mémoire épisodique. En effet, les performances d'identification pour les items déjà vus 17 années plus tôt s'avèrent très élevées même chez les participants exposés n'ayant aucun souvenir relatif à l'apprentissage des images. Cependant, dans notre expérience, les participants ont obtenu des performances supérieures au niveau du hasard dans les tâches de mémoire directe, montrant que les associations apprises pendant la tâche de CC étaient globalement accessibles à la conscience. Les aspects explicites/implicites de l'apprentissage et des connaissances acquises au cours de la tâche de recherche visuelle de cette expérience seront discutés dans un paragraphe ultérieur.

Absence de preuve de *contextual cueing* inter-affichages à partir d'images prédictives

Les Expériences 2 à 5 visaient à étudier de potentiels effets de *contextual cueing* spatio-temporel lorsqu'une image prédictive amorçait la position de la cible dans . L'Expérience 2 comprenait deux phases, une session d'apprentissage, immédiatement suivie d'une session de transfert. La procédure utilisée lors de la phase d'apprentissage était similaire à celle utilisée dans l'Expérience 1. Les résultats de cette phase répliquent ceux que nous avons obtenus dans notre première expérience, appuyant la robustesse de l'apprentissage contextuel dans ces conditions expérimentales. Lors de la phase de transfert, l'image était, cette fois-ci, présentée pendant 2 secondes avant l'affichage de l'environnement de recherche, c'est-à-dire que l'image servait d'amorce pour la recherche. De manière surprenante, et malgré une robustesse du CC sur une longue période (cf. Expérience 1), la connaissance de l'association entre une image et la disposition spatiale d'une cible n'a pas été exploitée pendant cette phase de transfert. Cependant, comme dans l'Expérience 1, une tâche de génération de cible proposée à l'issue de la tâche de recherche visuelle suggère que les participants ont pu accéder consciemment aux associations. Nous avons formulé plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats.

Il est tout d'abord envisageable que lors du transfert, la recherche visuelle se soit avérée moins complexe (ce que pourrait traduire la diminution extrêmement forte des TR dès la première époque de cette phase). Comme nous l'avons évoqué dans la section 1.1 du Chapitre 4 de la partie théorique du manuscrit, une tâche de recherche trop simple (ou trop complexe), peut compliquer l'émergence du CC (e.g. Darby et al., 2014). De plus, les connaissances formées au cours de la phase d'apprentissage ont pu égarer l'attention lorsque la cible n'était plus

présentée sur l'image au cours du transfert. Comme nous l'avons montré dans la section 3 du Chapitre 3, une adaptation à ces changements est possible, mais elle s'accompagne d'un coût contextuel, et un délai d'adaptation est nécessaire aux systèmes neurocognitifs pour s'ajuster à ces modifications (par exemple, Geyer et al., 2021 ; Zinchenko, et al., 2020 ; mais aussi Peterson et al., 2022). Zellin et al. (2014) ont par exemple montré que par suite d'un premier apprentissage spatial, l'apprentissage d'une nouvelle localisation de la cible au sein des mêmes environnements prédictifs est possible, mais au prix d'un entraînement intensif (80 répétitions). Enfin, l'observation d'un effet de CC lors de l'apprentissage, accompagné d'un accès a priori conscient aux régularités à l'issue de la tâche, renvoie à une dichotomie déjà observée dans la littérature entre l'apprentissage de régularités visuelles, et l'expression de la connaissance formée (e.g., Jiang & Leung, 2005 ; Jimenez & Vasquez, 2011). Les Expériences 3 et 4 ont été conçues en tenant compte de ces facteurs susceptibles d'interférer avec la mise en évidence d'effets de CC inter-affichages.

Dans l'Expérience 3, la procédure d'amorçage était mise en œuvre dès le début de la tâche pour éviter d'éventuels effets d'interférence induits par la présence de deux types d'affichages de recherche entre l'apprentissage et le transfert (voir Sisk et al., 2019, pour une discussion). Mais encore une fois, cette expérience n'a pas fourni d'éléments en faveur de la possibilité d'un effet de CC basé sur un effet d'amorçage. La tâche de mémoire explicite n'a pas non plus fourni de résultats en faveur d'un apprentissage au cours de la tâche de recherche, puisque les performances des participants n'étaient pas différentes du hasard. Pourtant, plusieurs modifications avaient été apportées au matériel afin d'optimiser la probabilité d'obtenir du *contextual cueing*, notamment via un accroissement de la difficulté de la tâche par rapport au transfert de l'Expérience 2 (e.g., Brady & Chun, 2007 ; Darby et al., 2014 ; Kunar et al., 2008). Dans cette optique, le nombre d'items présentés dans chaque environnement de recherche était augmenté, la taille des objets était réduite, et un changement de police des lettres rendait cibles et distracteurs moins distincts. De plus, le nombre d'essais par bloc était assez faible (six essais prédictifs et six essais non prédictifs) par rapport aux procédures typiques (par exemple, 12 essais prédictifs et 12 essais non prédictifs dans la première expérience de Chun & Jiang, 1998). Enfin, il était demandé explicitement aux participants de bien regarder les images afin d'optimiser le traitement attentionnel de l'amorce, et ainsi favoriser les mécanismes d'apprentissage associatif. Il est à noter que nous avons réalisé une expérience complémentaire dont les résultats seront présentés en annexe (Annexe 1). Répliquant l'Expérience 3, celle-ci n'utilisait que des scènes naturelles. En effet, même si le CC revêt des propriétés similaires

pour des images sémantiquement riches ou abstraites (voir Goujon et al., 2012 ; Expérience 1 de la présente étude), l'utilisation conjointe des deux types de scènes aurait pu conduire à des effets d'interférence dans l'apprentissage des régularités. Même dans cette condition de recherche inter-affichages, que l'on pourrait qualifier d'"optimale", nous n'avons observé aucun effet de CC temporel.

Dans l'Expérience 4, nous avons souhaité tester l'hypothèse selon laquelle un apprentissage latent pourrait néanmoins avoir lieu dans le cadre d'une procédure de type inter-affichages, mais que la connaissance issue de cet apprentissage ne pourrait s'exprimer que via une procédure de type intra-affichage (voir Goujon et al., 2009 ; Jiang & Leung, 2005). Ainsi, les participants ont d'abord été exposés à une procédure inter-affichages, puis à une procédure intra-affichage. Là encore, les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet de CC temporel à partir d'une image, même lorsque l'apprentissage était évalué au moyen d'une procédure intra-affichage proposée immédiatement après la procédure inter-affichages. Par conséquent, bien que nous ne puissions pas exclure l'existence d'un effet de CC temporel à partir d'images amorces, les résultats de l'Expérience 4 soulignent la difficulté d'obtenir ce type d'effet.

Pourtant, des recherches antérieures ont déjà montré des effets de guidage contextuel temporel ou inter-affichages avec une procédure classique de CC (Ono et al., 2005 ; Thomas et al., 2018 ; cependant, voir Bouwkamp et al., 2021). Toutefois, les effets mentionnés étaient soumis à un certain nombre de contraintes. Par exemple, Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018) ont observé des effets de CC dits inter-essais avec un matériel typique (affichages composés de L et de T), à condition que ces effets soient mesurés au cours d'une phase de transfert proposée après la phase d'apprentissage. En effet, les auteurs n'ont pu mettre en évidence aucune preuve d'un effet de CC inter-essais lorsque la comparaison entre la condition prédictive et non prédictive était réalisée pendant l'apprentissage (cf. Bouwkamp et al., 2021).

Ainsi, dans l'Expérience 5, nous avons mis en œuvre la même procédure que celle utilisée par Ono et al. (2005) et Thomas et al. (2018), à l'exception du fait que seule l'image en arrière-plan à l'essai N-1 prédisait l'emplacement de la cible à l'essai N. Dans notre procédure inter-affichages utilisant une image-amorce comme contexte prédictif, les participants n'étaient potentiellement engagés dans la recherche que lors de la présentation de la configuration contenant la cible. Une adaptation de la tâche inter-essais permettait d'assurer un traitement attentionnel, même minimal de l'image prédictive même si celle-ci n'était pas pertinente pour

la réalisation de la tâche de recherche. Malheureusement, et malgré les similarités méthodologiques avec les travaux précédemment mentionnés, et en particulier la mesure du bénéfice dans le comportement de recherche via une phase de transfert, cette expérience n'a à nouveau pas permis de mettre en évidence d'effet de *contextual cueing* temporel. La complexité et la variabilité des environnements de recherche proposés dans l'expérience, notamment le caractère aléatoire des configurations associées aux images prédictives, pourraient avoir prévenu toute forme d'apprentissage des régularités dans une procédure inter-essais⁵¹.

Nature implicite vs. explicite de l'apprentissage

Un autre résultat majeur issu de nos travaux concerne la nature implicite vs. explicite de l'apprentissage. Les résultats des Expériences 1 et 2 ont montré que le *contextual cueing* était principalement lié à une certaine prise de conscience des associations prédictives. L'Expérience 4 semble montrer, quant à elle, que huit blocs d'essais suivant une procédure intra-affichage sont suffisants pour produire une certaine connaissance explicite des régularités contextuelles. Ce résultat est en accord avec la littérature sur ce sujet qui suggère notamment que lorsque des images complexes prédisent l'emplacement de la cible, la connaissance acquise est accessible via des tâches directes de mémoire (par exemple, Brockmole & Henderson, 2006a ; Goujon et al., 2012 ; Goujon et al., 2014 ; Rosenbaum & Jiang, 2013). En revanche, dans nos travaux, lorsqu'il n'y avait aucun élément en faveur d'un effet de CC, il n'y avait pas non plus de preuve de prise de conscience des régularités contextuelles (par exemple, Expérience 3). Néanmoins, il faut noter que les participants n'ont pas utilisé leur connaissance explicite pendant la phase de transfert mise en œuvre après l'apprentissage dans l'Expérience 2. Ainsi, dans cette expérience nous avons observé un effet inverse de ce qui est généralement rapporté dans la littérature, c'est-à-dire une preuve d'un accès conscient aux régularités, mais une absence de bénéfice de cette connaissance dans le guidage de l'attention vers la cible. Ce résultat surprenant remet en question, une fois de plus, la nature intentionnelle vs. non intentionnelle du traitement qui a guidé la recherche visuelle pendant la phase d'apprentissage de l'Expérience 2. En effet, nous aurions pu nous attendre à ce que, si la connaissance explicite avait

⁵¹ Pour rappel, Ono et al. (2005) n'observent aucun effet de CC lorsque le contexte (Expérience 2), ou la position de la cible (Expérience 3), sont aléatoires dans le contexte prédictif N.

effectivement guidé le comportement de recherche au cours de cette phase, ce comportement intentionnel soit maintenu lors du transfert, et ce malgré un décalage temporel dans l'affichage des régularités.

Encore une fois, ces expériences démontrent la difficulté de considérer les performances de mémoire implicite vs. explicite grâce à une dissociation claire (e.g., Cleeremans et al., 1998 ; Gaillard et al., 2014 ; Geyer et al., 2020 ; Goujon et al., 2014). Bien que les participants puissent accéder consciemment à leurs connaissances, ils pourraient ne pas les utiliser intentionnellement pendant la recherche visuelle. Cette hypothèse renvoie à une conception de l'apprentissage implicite défendue dans plusieurs théories, comme le modèle de la conscience auto-organisatrice (*self-organizing consciousness*, SOC) (Perruchet & Vinter, 2002). Perruchet et Vinter ont proposé une définition de l'apprentissage implicite qui serait neutre par rapport à la question de la nature des connaissances résultantes. Pour eux, « *l'apprentissage implicite recouvre toutes les formes d'apprentissage non intentionnel dans lesquelles, à la suite d'une expérience répétée, le comportement d'un individu devient sensible aux caractéristiques structurelles d'une situation vécue, sans qu'à aucun moment, on lui dise d'apprendre quelque chose sur cette situation et sans que l'adaptation soit due à une exploitation intentionnelle de certaines parties de connaissances explicites sur ces caractéristiques* » (Perruchet & Vinter, 1998).

Portée de nos travaux dans le champ du *statistical learning* visuel

Limites du *contextual cueing* temporel

Dans leur ensemble, les données que nous avons recueillies dans le cadre de nos travaux expérimentaux mettent en évidence un paradoxe. En effet, nous avons observé des effets de *contextual cueing* spatial, au sein d'images, très robustes dans le temps lorsque les régularités sont présentées dans le même affichage (Expérience 1 et phase d'apprentissage de l'Expérience 2). Néanmoins, cet effet disparaît dès lors que l'image prédictive amorce l'affichage de recherche, c'est-à-dire lorsque les contingences ne sont pas présentées dans la même fenêtre temporelle. Ce résultat reste très surprenant, notamment lorsque l'on considère la robustesse de l'apprentissage intra-affichage après dix à douze semaines (session 2 de l'Expérience 1), ainsi que le caractère adaptatif des systèmes perceptifs dans l'exploitation simultanée des contingences spatiales et temporelles (e.g. Olson & Chun, 2001 ; Ono et al., 2005). La question est alors de déterminer les raisons de telles limitations dans le guidage contextuel temporel avec des images du monde réel, et plus généralement dans le champ du *statistical learning* visuel.

L'Expérience 4 a conduit à écarter l'hypothèse selon laquelle les contingences temporelles peuvent être encodées dans une présentation inter-affichages sans toutefois être exploitées au cours de celle-ci. Pour rappel, comme nous l'avons développé dans la discussion de la troisième expérience, une absence de bénéfice de recherche dans une tâche ne signifie pas nécessairement l'absence d'apprentissage contextuel (pour un argument, voir Goujon et al., 2009 ; Jiang & Leung, 2005).

Une deuxième limite pour le système cognitif dans l'exploitation des régularités pourrait être imputable à la surcharge fournie à la fois par les multiples éléments présents dans les configurations de lettres, et par l'image en arrière-plan. À première vue, cette hypothèse est en contradiction avec les effets de CC basés sur des images complexes répétées (e.g., Brockmole & Henderson, 2006a ; 2006b ; Brockmole & Võ, 2010 ; Goujon et al., 2012), et ce même lorsque des configurations de lettres sont superposées à ces images (e.g., Rosenbaum & Jiang, 2013). En effet, ces recherches suggèrent que la singularité visuelle des images, en raison de

leur complexité et de l'hétérogénéité perceptive entre différentes scènes, faciliterait leur discrimination, rendant ainsi la détection des contingences spatiales plus évidente. Ainsi, nous nous attendions initialement à une amélioration du comportement de recherche pour des contingences temporelles à partir d'images amorces visuellement complexes. Néanmoins, ce matériel n'a pas permis aux observateurs de détecter des contingences entre deux affichages présentés de manière successive.

Une troisième explication pourrait tenir à ce que l'expression de l'apprentissage observée dans les Expériences 1 et 2 ne repose pas sur un guidage attentionnel par l'image dans sa globalité, mais plutôt sur une capture attentionnelle par une portion réduite de l'image contenant la cible (par exemple, une table basse, voir Brockmole et al., 2006). Selon cette hypothèse, dès que l'image n'est plus présente en arrière-plan, il n'y a plus non plus de possibilité de capture attentionnelle par l'extrait d'image. Une telle explication a déjà été proposée pour expliquer le guidage dans le phénomène de CC classique (pour une revue, voir Goujon et al., 2015). En effet, un ensemble, formé par la cible et le contexte local, pourrait créer une unité perceptive capturant l'attention spatiale de manière ascendante en utilisant la vision périphérique proche. La formation et le renforcement de cette unité perceptive au fil des répétitions pourraient s'accompagner d'une augmentation de sa saillance visuelle (Geyer et al., 2010).

Enfin, il pourrait bel et bien y avoir eu, au cours de la procédure inter-affichages, un guidage attentionnel sous-tendu par le contexte visuel global (c'est-à-dire l'image en arrière-plan), mais cette forme de guidage attentionnel ne serait finalement opérante que lorsque la recherche s'effectue sur l'image. Là encore, dès que celle-ci n'est plus présente en arrière-plan, le guidage ne se manifeste plus.

La question est alors de déterminer ce que les participants ont réellement appris en présentation intra-affichage dans les Expériences 1 et 2. Il est peu probable qu'ils n'aient appris qu'une zone spécifique à l'écran indépendamment de l'image associée. Il est plus vraisemblable qu'ils aient appris l'objet sur lequel la cible était située, ou bien une zone susceptible de contenir la cible à l'intérieur de l'image.

Contraintes dans le *statistical learning* visuel spatio-temporel

Nos travaux expérimentaux mettent en évidence les limites de l'apprentissage associatif de contingences entre une image et une configuration présentée ultérieurement, que ce soit dans procédure de type inter-essais (Expérience 5) ou inter-affichages (Expériences 2, 3 et 4), révélant ainsi des contraintes importantes dans le *statistical learning* visuel spatio-temporel.

Nos résultats peuvent appuyer l'hypothèse selon laquelle le SL découle d'un ensemble de processus spécifiques à la modalité perceptive engagée dans l'apprentissage, et dont les contraintes diffèrent entre les modalités auditives ou visuelles. Pour rappel, un nombre important de recherches dans le champ du SL ont porté sur les probabilités transitionnelles extraites des entrées auditives (e.g., Mersad & Nazzi, 2011 ; Mittag et al., 2016 ; Saffran et al., 1996 ; 1999 ; Soares et al., 2020). Étant donné que l'information auditive est intrinsèquement transmise temporellement, tandis que l'information visuelle est, elle, intrinsèquement disposée spatialement, le SL peut être contraint à extraire de préférence des contingences spatiales de la modalité visuelle, et des contingences temporelles de la modalité auditive (pour une discussion, voir Conway & Christiansen, 2009 ; Krogh et al., 2013).

Pourtant, la littérature rapporte des effets de SL temporel visuel dans de nombreuses tâches différentes, utilisant des procédures expérimentales variées, et ce même à partir de contingences non-adjacentes. Cependant, dans la plupart de ces recherches, des items isolés sont présentés dans un ordre bien défini, par exemple en paires ou en triplets (par exemple, Fiser & Aslin, 2001 ; 2002 ; Jun & Chong, 2016 ; Rogers et al., 2021 ; Turk-Browne et al., 2005 ; Turk-Browne et al., 2009). Dans le cadre du CC, un effet d'apprentissage est observé lorsqu'un élément pertinent à l'essai N-1 prédit l'identité ou l'emplacement d'un élément pertinent à l'essai N. Ono et al. (2005) retrouvent des effets de CC temporel quand les configurations N-1, contenant uniquement une cible, sont prédictives de l'emplacement de la cible à l'essai N. Néanmoins, ces auteurs ont montré que le contexte spatial à l'essai N-1 doit être répété pour amener des effets de *contextual cueing* inter-essais. En effet, si la disposition spatiale des distracteurs est répétée, mais que la position de la cible à l'essai N-1 est aléatoire, aucun effet d'apprentissage temporel ne peut être mis en évidence. Un guidage de l'attention vers la cible par un contexte prédictif semble possible, mais la liaison entre un contexte antérieur et un emplacement de cible à l'essai ultérieur semble toutefois soumise à des contraintes restrictives au niveau attentionnel et/ou perceptif.

Le résultat que nous observons est conforme à plusieurs limitations généralement soulignées dans le champ du SL. Par exemple, Thomas et al. (2018) ont montré que le *contextual cueing* spatial est fortement entravé par l'introduction d'un élément interférant entre le contexte prédictif et le contexte contenant la cible, que ce "bruit" soit dû à l'insertion d'un essai dit de remplissage, ou simplement à un plus long délai (3100 ms) entre les deux éléments contingents. De même, l'introduction de matériel spatialement non-pertinent entre la cible et le contexte prédictif réduit considérablement les effets *contextual cueing* (par exemple, Olson & Chun, 2002).

Plus généralement, l'apprentissage statistique de régularités non-adjacentes est possible, mais se trouve souvent limité à des contingences spatiales et temporelles proches (e.g., Gebhart et al., 2009; Newport & Aslin, 2004; Wilson et al., 2020). Nos travaux mettent en évidence des limites supplémentaire dans le champ du SL étant donné que nous n'avons pas réussi à observer d'effets de CC temporel lorsque la prédictibilité du contexte reposait sur une image amorce plutôt que sur la disposition spatiale de configurations de lettres (Ono et al., 2005 ; Thomas et al., 2018).

Une explication possible à ces limitations peut être que les participants n'ont pas réussi, lorsque les régularités n'étaient pas présentées simultanément, à associer l'image et la configuration de lettres au sein d'une seule et unique unité perceptive cohérente. En ce sens, des études ont montré que le CC était biaisé et contraint par la segmentation perceptive et le regroupement des éléments qui établissent des ensembles cohérents fondés sur les principes de la *Gestalt* (Conci et al., 2013).

Les limites observées dans nos travaux sont finalement compatibles avec une approche du SL basée sur la mémoire (pour une revue, voir Thiessen, 2017). L'affirmation centrale de cette approche est que la détection des régularités statistiques émerge de l'extraction de *chunks* à partir des entrées perceptives. Par exemple, selon le modèle PARSER (Perruchet & Vinter, 1998), les *chunks* formés au cours d'un déploiement attentionnel sont regroupés au sein d'une même unité représentationnelle. Le devenir de ces nouvelles représentations est dépendant des principes fondamentaux de la mémoire : les représentations internes des *chunks* qui sont répétés sont progressivement renforcées, et les représentations des *chunks* qui ne sont pas répétés sont, elles, oubliées. Cette approche offre un cadre général pour aborder le *statistical learning*. En effet, le modèle PARSER décrit un certain nombre de contraintes dans le SL, notamment au regard de l'attention. A cet égard de nombreuses études ont souligné le rôle critique joué par

l'attention sélective (e.g. Jiang & Chun, 2001) et la mémoire de travail (e.g., Annac et al., 2013 ; Manginelli et al., 2012) dans les processus de *binding* dans le *statistical learning*. Les résultats que nous avons obtenus appuient l'idée selon laquelle les mécanismes attentionnels n'ont pas regroupé l'image amorce et la configuration, présentée ultérieurement, en une seule unité cohérente.

De manière surprenante, la détection explicite des contingences dans la procédure intra-affichage n'a pas aidé les apprenants à extraire des contingences lors d'une procédure inter-affichages. Cela met en lumière de fortes limites dans l'apprentissage non supervisé lorsqu'il est basé sur des scènes naturelles.

Limites de nos travaux et perspectives pour de futures recherches

S'il est toujours difficile de conclure sur une absence d'effet, les limites observées dans cette thèse sur l'apprentissage de régularités spatiales temporellement adjacentes nous semblent assez robustes, avec notre matériel expérimental tout du moins. Nous observons une absence d'effet de CC à la fois dans des procédures inter-essais et inter-affichages. De plus, la connaissance formée par l'apprentissage associatif image/position de cible n'a pas survécu à un changement de mode de présentation temporel des régularités et, ce, malgré un accès conscient aux associations révélé par une tâche de génération (Expérience 2).

Il serait pourtant déraisonnable de conclure à l'impossibilité d'un apprentissage contextuel temporel dans des images. Une des hypothèses que nous avons formulées pour expliquer l'absence d'effets de CC temporel repose sur la grande charge cognitive induite par notre procédure. Celle-ci tenait essentiellement à la répétition d'images comme contextes prédictifs pour l'apprentissage. Cependant, les scènes n'étaient pas pertinentes pour la recherche au contraire des distracteurs dont la disposition spatiale n'était jamais prédictive, diminuant de fait l'allocation de ressources en attention sélective sur les scènes. Un élément appuyant cette hypothèse provient du fait qu'en présentation intra-affichage, l'introduction d'éléments distracteurs a indéniablement ralenti la recherche comparativement à ce qui est généralement rapporté pour des procédures classiques de CC pour des images (e.g., Brockmole & Henderson 2006a ; Goujon et al., 2014). Compte-tenu de la robustesse des effets de CC pour des images rapportés dans la littérature dans des procédures intra-affichage, il serait intéressant d'envisager des procédures se rapprochant du matériel de Brockmole & Henderson (2006a), c'est-à-dire ne proposant qu'une cible à détecter au sein des scènes.

Par ailleurs, l'utilisation d'un dispositif de capture des mouvements oculaires en complément des mesures comportementales de TR (e.g., Peterson et Kramer, 2001a ; Yang et al., 2021) fournirait sans aucun doute des informations intéressantes dans l'appréhension du déploiement attentionnel au fil des tâches de recherche. Les résultats obtenus à l'Expérience 2 nous ont notamment amené à faire l'hypothèse d'une capture attentionnelle par une partie de l'image dans la phase d'apprentissage intra-affichage. Un dispositif d'*eye-tracking* permettrait de voir comment se déplace le regard à la fois sur l'image lorsque celle-ci est présentée comme amorce lors du transfert, mais également sur la configuration de lettres présentée ultérieurement. Par

ailleurs, certaines recherches ayant apporté des éléments parfois contradictoires quant à un effet de CC entre les mesures comportementales des TR et l'étude des mouvements oculaires (e.g., Yang et al., 2021), l'ajout d'un dispositif de capture des mouvements oculaires permettrait d'affiner notre interprétation des résultats de nos travaux expérimentaux.

Enfin, même si cette question n'a pas été centrale dans nos travaux expérimentaux, des explorations complémentaires sur le caractère implicite vs. explicite de l'apprentissage dans le CC temporel pour des images seraient intéressantes. Lors de la présentation, au Chapitre 3 (section 4), des débats entourant l'évaluation des contenus de conscience dans le CC, nous avons souligné l'importance de l'utilisation complémentaire de mesures subjectives et objectives (voir Gaillard et al., 2014). Les travaux de Goujon et al. (2014) ont, en ce sens, combiné les données d'échelles de confiance aux résultats obtenus à des tâches de génération. En outre, celles-ci n'étaient pas systématiquement proposées en fin de tâche de recherche, mais au moment où des bénéfices avaient émergé, informant de fait sur l'évolution du degré de conscience associé aux connaissances au cours d'une tâche de CC.

Conclusion

Au cours des trois dernières décennies, un pan important de la recherche sur la cognition humaine a été consacré à la compréhension des phénomènes assimilés au *statistical learning*, comme le *contextual cueing* (Chun & Jiang, 1998). Bien que la plupart de ces travaux aient mis l'accent sur les importantes capacités des êtres humains à repérer et à utiliser des schémas réguliers dans leur environnement, ils ont également permis de mettre en lumière certaines contraintes pour que de tels mécanismes se mettent en place, ainsi que des limites à cette forme d'apprentissage. À cet égard, les travaux expérimentaux que nous avons pu mener au cours de notre thèse mettent en lumière un nouveau paradoxe dans les mécanismes de *statistical learning*.

En effet, dans une tâche de CC, malgré le fait que l'apprentissage associatif entre une image et un emplacement de cible puisse être très robuste, et ce sur plusieurs semaines, ces associations sont rompues dès lors qu'elles n'apparaissent pas simultanément. Cela peut traduire, une faiblesse du système cognitif à détecter et à lier des contingences spatiales dès lors qu'elles ne se produisent pas dans le même affichage. Cette forme de sélection dans les mécanismes de *statistical learning* pourrait soit refléter une limite du système cognitif, soit traduire une adaptation de ce système aux contraintes de l'environnement. À chaque instant, notre système cognitif est en effet "bombardé" par une très grande quantité de contingences spatio-temporelles. Ces contingences sont ainsi susceptibles de venir surcharger la mémoire et d'interférer avec les informations pertinentes. Une hypothèse possible serait que seules les contingences liées dans une fenêtre attentionnelle spatio-temporelle réduite seraient encodées, conservées en mémoire et, *in fine*, capables de guider l'exploration au cœur de notre environnement.

Au cours de nos travaux de thèse, nous avons souhaité, à travers l'étude des mécanismes du CC temporel basé sur des images, rendre compte d'effets d'apprentissage de régularités dans des environnements se rapprochant de la complexité perceptive du monde réel. De tels mécanismes seraient extrêmement adaptatifs dans un monde dynamique par essence. Si Gibson (1966) a montré que nos systèmes perceptifs pouvaient guider de manière économique nos actions dans l'environnement par la simple détection d'invariants, il semble plus difficile de réaliser des apprentissages décalés dans le temps dès lors que les informations environnementales à lier sont trop riches, complexes, ou ne sont simplement pas cohérentes.

Cela semble en accord avec les limites de la cognition humaine que nous avons évoquées tout au long de ce manuscrit. Il serait évidemment intéressant de pouvoir orienter notre attention vers un événement pertinent sur la base d'informations captées au préalable sur notre "route" visuelle. Mais compte-tenu de la quantité incommensurable de contingences possibles, tout en tenant compte d'une part de variabilité inévitable présente même dans nos environnements les plus familiers, il serait sans doute compliqué pour notre système cognitif de traiter toutes ces informations sans être noyé dans le bruit.

Annexes

Annexe 1 : Expérience 3 bis (étude complémentaire)

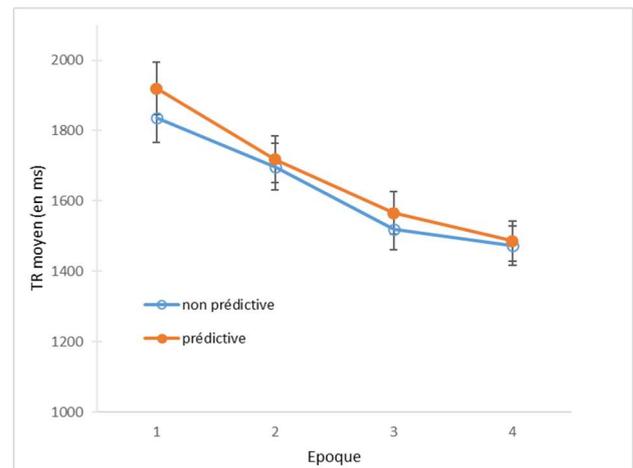
Compte-tenu de l'absence d'effet de CC inter-affichages à l'Expérience 3, nous avons reproduite, mais en utilisant, cette fois-ci, uniquement des scènes du monde réel afin de limiter les interférences potentiellement induites par la présence de stimuli de nature différente, et ainsi favoriser l'apprentissage des contingences temporelles.

Méthode

La méthode était identique à celle de l'Expérience 3, à l'exception du remplacement des six images abstraites par des images signifiantes.

Résultats et discussion

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur le TR moyen avec l'époque (1-4) et la condition (prédictive vs. non prédictive) comme facteurs intra-sujet. Les résultats mettent en évidence un effet principal de la condition, $F(1, 24) = 10.08, p = .004, \eta p^2 = .29$, un effet de l'époque, $F(3, 72) = 24.05, p < .001, \eta p^2 = .50$, mais une absence d'interaction entre les deux variables, $F(3, 72) = 1.42, p = .24$. Même si un effet principal du facteur condition a été observé, des analyses complémentaires n'ont montré aucune différence significative entre les conditions prédictive et non prédictive aux époques 3 et 4 (p 's $> .05$). Les résultats sont en faveur d'une absence d'effet de facilitation de la recherche au cours de la tâche



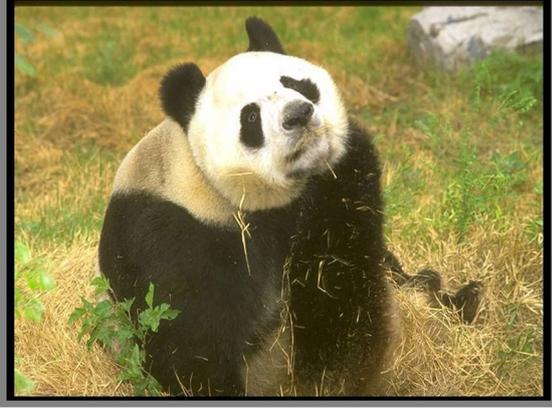
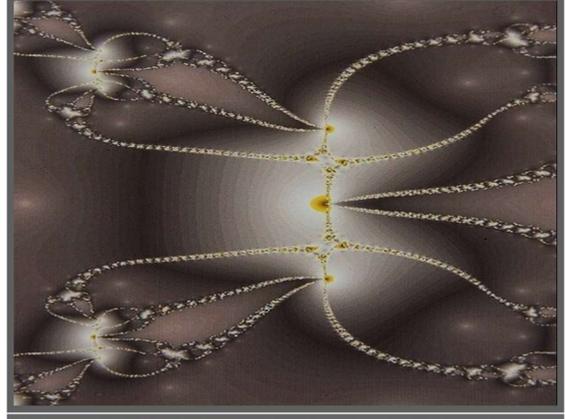
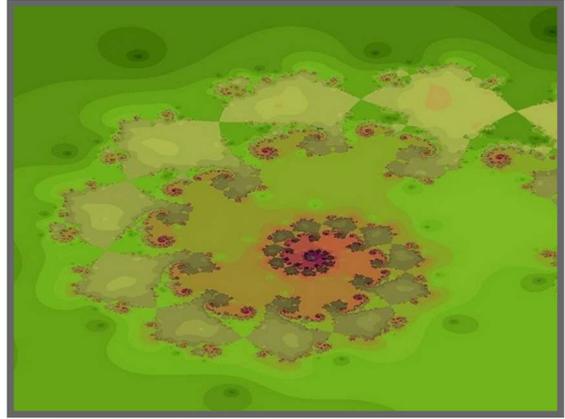
TR moyen, par époque, des essais prédictifs et non prédictifs. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne ($N = 25$)

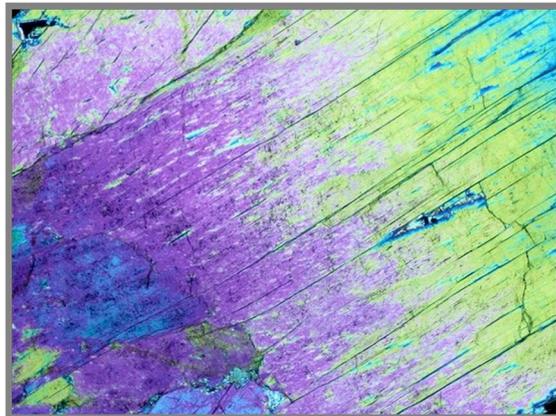
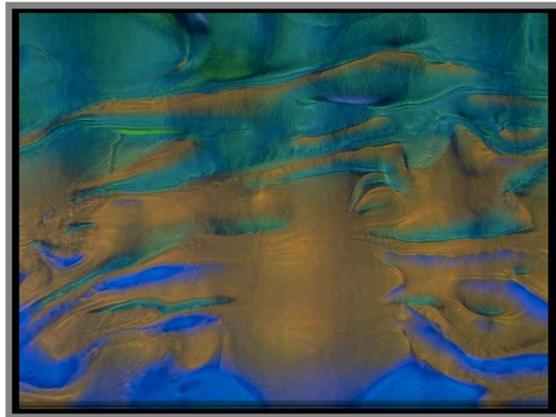
Cette expérience n'a pas permis de mettre en évidence d'effets de *contextual cueing* temporel à partir d'images amorces malgré l'utilisation d'un matériel expérimental amenant à des effets de CC robustes en condition intra-affichage (voir Expérience 1). De manière concomitante à la discussion des résultats de l'Expérience 3, nos résultats soulignent des limitations dans le CC temporel, tout du moins dans son expression.

Annexe 2 : Set d'images utilisé dans les expériences 1 à 5



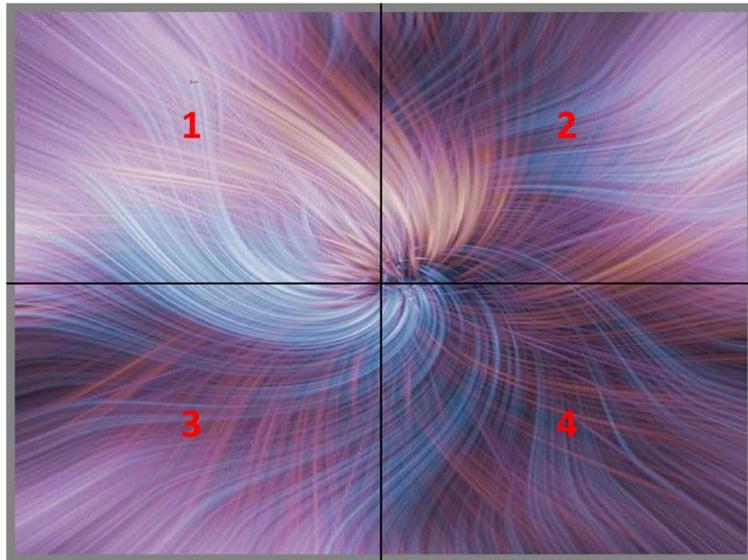




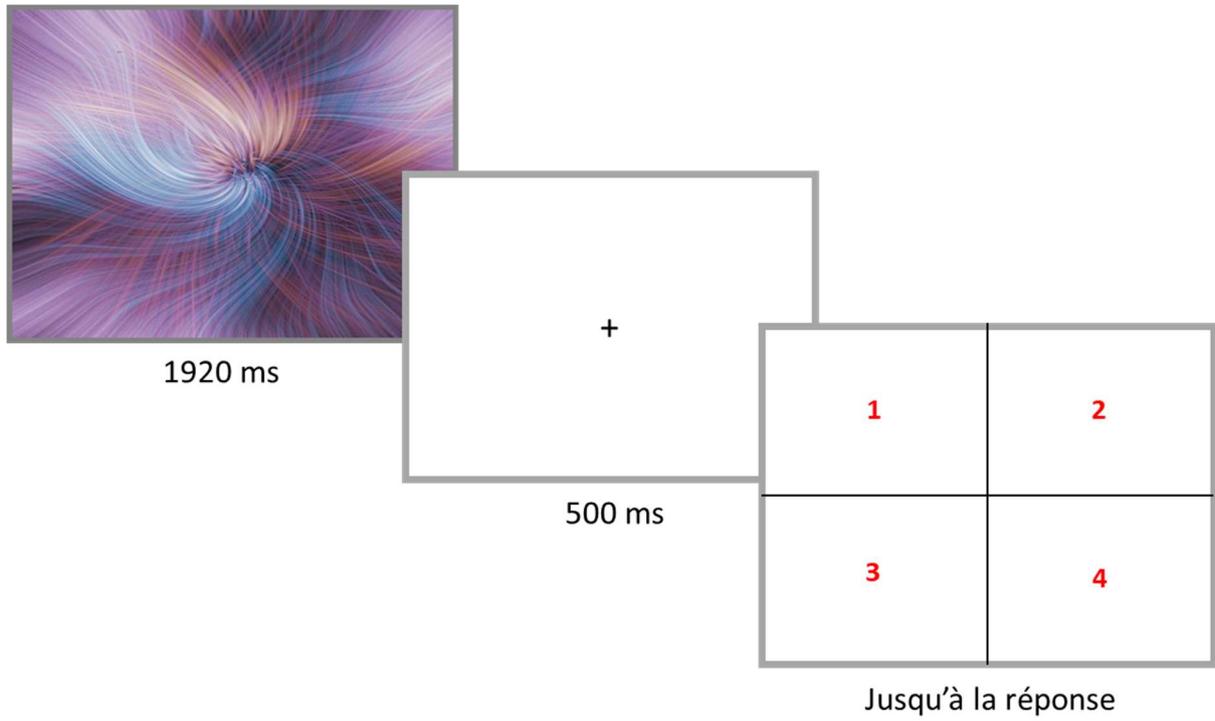


Annexe 3 : Illustrations d'essais de génération

Tâche de génération en présentation intra-affichage
(Expériences 1, 2, 4)



Tâche de génération en présentation inter-affichages (Expérience 3)



Références bibliographiques

- Amsalem, N., Sahar, T., & Makovski, T. (2023). The effect of load on spatial statistical learning. *Scientific Reports*, *13*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38404-2>
- Annac, E., Manginelli, A. A., Pollmann, S., Shi, Z., Müller, H. J., & Geyer, T. (2013). Memory under pressure : Secondary-task effects on contextual cueing of visual search. *Journal of Vision*, *13*(13), 6. <https://doi.org/10.1167/13.13.6>
- Annac, E., Zang, X., Müller, H. J., & Geyer, T. (2019). A secondary task is not always costly : Context-based guidance of visual search survives interference from a demanding working memory task. *British Journal of Psychology*, *110*(2), 381-399. <https://doi.org/10.1111/bjop.12346>
- Arciuli, J., & Conway, C. M. (2018). The Promise-and Challenge-of Statistical Learning for Elucidating Atypical Language Development. *Current Directions in Psychological Science*, *27*(6), 492-500. <https://doi.org/10.1177/0963721418779977>
- Arexis, M., Maquestiaux, F., Gaspelin, N., Ruthruff, E., & Didierjean, A. (2017). Attentional capture in driving displays. *British Journal of Psychology*, *108*(2), 259-275. <https://doi.org/10.1111/bjop.12197>
- Armstrong, B. C., Frost, R., & Christiansen, M. H. (2017). The long road of statistical learning research : Past, present and future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *372*(1711), 20160047. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0047>
- Arthur, T., Brosnan, M., Harris, D., Buckingham, G., Wilson, M., Williams, G., & Vine, S. (2023). Investigating how Explicit Contextual Cues Affect Predictive Sensorimotor

Control in Autistic Adults. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(11), 4368-4381. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05718-5>

Aslin, R. N., Saffran, J. R., & Newport, E. L. (1998). Computation of conditional probability statistics by 8-month-old infants. *Psychological Science*, 9(4), 321-324. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00063>

Barnes, K. A., Howard, J. H., Howard, D. V., Kenealy, L., & Vaidya, C. J. (2010). Two forms of implicit learning in childhood ADHD. *Developmental neuropsychology*, 35(5), 494-505. <https://doi.org/10.1080/87565641.2010.494750>

Barnes, K., Howard, J., Howard, D., Gilotty, L., Kenworthy, L., Gaillard, W., & Vaidya, C. (2008). Intact Implicit Learning of Spatial Context and Temporal Sequences in Childhood Autism Spectrum Disorder. *Neuropsychology*, 22, 563-570. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.563>

Batterink, L. J., Paller, K. A., & Reber, P. J. (2019). Understanding the Neural Bases of Implicit and Statistical Learning. *Topics in Cognitive Science*, tops.12420. <https://doi.org/10.1111/tops.12420>

Batterink, L. J., Reber, P. J., Neville, H. J., & Paller, K. A. (2015). Implicit and explicit contributions to statistical learning. *Journal of Memory and Language*, 83, 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.04.004>

Bennett, I. J., Barnes, K. A., Howard, J. H., & Howard, D. V. (2009). An abbreviated implicit spatial context learning task that yields greater learning. *Behavior Research Methods*, 41(2), 391-395. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.2.391>

- Bennett, I. J., Romano, J. C., Howard, J. H., & Howard, D. V. (2008). Two forms of implicit learning in young adults with dyslexia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1145, 184-198. <https://doi.org/10.1196/annals.1416.006>
- Bergmann, N., & Schubö, A. (2021). Local and global context repetitions in contextual cueing. *Journal of Vision*, 21(10), Article 10. <https://doi.org/10.1167/jov.21.10.9>
- Bertels, J., Boursain, E., Destrebecqz, A., & Gaillard, V. (2015). Visual statistical learning in children and young adults : How implicit? *Frontiers in Psychology*, 5, 1541. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01541>
- Bertels, J., Franco, A., & Destrebecqz, A. (2012). How implicit is visual statistical learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(5), 1425-1431. <https://doi.org/10.1037/a0027210>
- Bertels, J., San Anton, E., Gebuis, T., & Destrebecqz, A. (2017). Learning the association between a context and a target location in infancy. *Developmental Science*, 20(4). <https://doi.org/10.1111/desc.12397>
- Biederman, I. (1972). Perceiving real-world scenes. *Science*, 177(4043), 77-80. <https://doi.org/10.1126/science.177.4043.77>
- Biederman, I. (1981). Do Background Depth Gradients Facilitate Object Identification? *Perception*, 10(5), 573-578. <https://doi.org/10.1068/p100573>
- Biederman, I., Mezzanotte, R. J., & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception : Detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology*, 14(2), 143-177. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(82\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0010-0285(82)90007-X)

- Boucart, M., Moroni, C., Thibaut, M., Szaffarczyk, S., & Greene, M. (2013). Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Research*, 86, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.04.006>
- Bouwkamp, F. G., de Lange, F. P., & Spaak, E. (2021). No exploitation of temporal sequence context during visual search. *Royal Society Open Science*, 8(3), 201565. <https://doi.org/10.1098/rsos.201565>
- Brady, T. F., & Chun, M. M. (2007). Spatial constraints on learning in visual search : Modeling contextual cuing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(4), 798-815. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.4.798>
- Brockmole, J. R., Castelhana, M., & Henderson, J. M. (2006). Contextual cueing in naturalistic scenes : Global and local contexts. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 32, 699-706. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.4.699>
- Brockmole, J. R., & Henderson, J. M. (2006a). Recognition and attention guidance during contextual cueing in real-world scenes: Evidence from eye movements. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1177-1187. <https://doi.org/10.1080/17470210600665996>
- Brockmole, J. R., & Henderson, J. M. (2006b). Using real-world scenes as contextual cues for search. *Visual Cognition*, 13(1), 99-108. <https://doi.org/10.1080/13506280500165188>
- Brockmole, J. R., & Le-Hoa Võ, M. (2010). Semantic memory for contextual regularities within and across scene categories: Evidence from eye movements. *Attention*,

Perception & Psychophysics, 72(7), 1803-1813.

<https://doi.org/10.3758/APP.72.7.1803>

Brooks, D., Dai, J., & Sheinberg, D. (2011). Scene-based Contextual Cueing in the Rhesus Macaque. *Journal of Vision*, 11(11), 1329. <https://doi.org/10.1167/11.11.1329>

Brooks, D. I., Rasmussen, I. P., & Hollingworth, A. (2010). The nesting of search contexts within natural scenes: Evidence from contextual cuing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(6), 1406-1418. <https://doi.org/10.1037/a0019257>

Choung, O.-H., Gordillo, D., Roinishvili, M., Brand, A., Herzog, M. H., & Chkonia, E. (2022). Intact and deficient contextual processing in schizophrenia patients. *Schizophrenia Research: Cognition*, 30, 100265. <https://doi.org/10.1016/j.scog.2022.100265>

Chua, K.-P., & Chun, M. M. (2003). Implicit scene learning is viewpoint dependent. *Perception & Psychophysics*, 65(1), 72-80. <https://doi.org/10.3758/BF03194784>

Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 170-178. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01476-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01476-5)

Chun, M. M., & Jiang, Y. (1999). Top-Down Attentional Guidance Based on Implicit Learning of Visual Covariation. *Psychological Science*, 10(4), 360-365. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00168>

Chun, M. M., & Jiang, Y. V. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36(1), 28-71. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0681>

- Chun, M. M., & Jiang, Y. V. (2003). Implicit, long-term spatial contextual memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(2), 224-234. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.2.224>
- Clarys, D. (2001). Psychologie de la mémoire humaine : De nouvelles avancées théoriques et méthodologiques//Psychology of human memory : Theoretical and melhodological progress. *L'Année psychologique*, 101(3), 495-519. <https://doi.org/10.3406/psy.2001.1344>
- Cleeremans, A., Destrebecqz, A., & Boyer, M. (1998). Implicit learning : News from the front. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 406-416. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(98\)01232-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01232-7)
- Colagiuri, B., & Livesey, E. J. (2016). Contextual cuing as a form of nonconscious learning : Theoretical and empirical analysis in large and very large samples. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(6), 1996-2009. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1063-0>
- Conci, M., Müller, H. J., & von Mühlenen, A. (2013). Object-based implicit learning in visual search : Perceptual segmentation constrains contextual cueing. *Journal of Vision*, 13(3), 15. <https://doi.org/10.1167/13.3.15>
- Conci, M., Sun, L., & Müller, H. J. (2011). Contextual remapping in visual search after predictable target-location changes. *Psychological Research*, 75(4), 279-289. <https://doi.org/10.1007/s00426-010-0306-3>
- Conway, C. M., & Christiansen, M. H. (2009). Seeing and hearing in space and time : Effects of modality and presentation rate on implicit statistical learning. *European*

Journal of Cognitive Psychology, 21(4), 561-580.

<https://doi.org/10.1080/09541440802097951>

Corrêa, M. S., Balardin, J. B., Caldieraro, M. A. K., Fleck, M. P., Argimon, I., Luz, C., & Bromberg, E. (2012). Contextual recognition memory deficits in major depression are suppressed by cognitive support at encoding. *Biological Psychology*, 89(2), 293-299.

<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.11.001>

Creel, S. C., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (2004). Distant Melodies : Statistical Learning of Nonadjacent Dependencies in Tone Sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(5), 1119-1130.

<https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.5.1119>

Curzon, P., Rustay, N. R., & Browman, K. E. (2009). Cued and Contextual Fear Conditioning for Rodents. In J. J. Buccafusco (Éd.), *Methods of Behavior Analysis in Neuroscience* (2nd éd.). CRC Press/Taylor & Francis.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK5223/>

Dagenais, E., Rouleau, I., Tremblay, A., Demers, M., Roger, É., Jobin, C., & Duquette, P. (2016). Prospective memory in multiple sclerosis : The impact of cue distinctiveness and executive functioning. *Brain and Cognition*, 109, 66-74.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.07.011>

Darby, K. P., Burling, J. M., & Yoshida, H. (2014). The role of search speed in the contextual cueing of children's attention. *Cognitive Development*, 29, 17-29.

<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2013.10.001>

Didierjean, A. (2007). Parity effects in an implicit-learning task. *British Journal of Psychology*, 98(4), 529-545. <https://doi.org/10.1348/000712606X161947>

- DiMase, J. S., & Chun, M. M. (2004). Contextual cueing by real-world scenes. *Journal of Vision*, 4(8), 259. <https://doi.org/10.1167/4.8.259>
- Dixon, M. L., Zelazo, P. D., & De Rosa, E. (2010). Evidence for intact memory-guided attention in school-aged children. *Developmental Science*, 13(1), 161-169. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00875.x>
- Drew, T., Vo, M. L. H., & Wolfe, J. M. (2013). “The invisible gorilla strikes again : Sustained inattention blindness in expert observers”. *Psychological science*, 24(9), 1848-1853. <https://doi.org/10.1177/0956797613479386>
- Ehinger, K. A., & Brockmole, J. R. (2008). The role of color in visual search in real-world scenes : Evidence from contextual cuing. *Perception & Psychophysics*, 70(7), 1366-1378. <https://doi.org/10.3758/PP.70.7.1366>
- Endo, N., & Takeda, Y. (2004). Selective learning of spatial configuration and object identity in visual search. *Perception & Psychophysics*, 66(2), 293-302. <https://doi.org/10.3758/BF03194880>
- Endo, N., & Takeda, Y. (2005). Use of spatial context is restricted by relative position in implicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 880-885. <https://doi.org/10.3758/bf03196780>
- Fehér, O., Ljubičić, I., Suzuki, K., Okanoya, K., & Tchernichovski, O. (2017). Statistical learning in songbirds : From self-tutoring to song culture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 372(1711), 20160053. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0053>

- Ferguson, H. J., Brunsdon, V. E. A., & Bradford, E. E. F. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, *11*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80866-1>
- Fiser, J., & Aslin, R. N. (2001). Unsupervised Statistical Learning of Higher-Order Spatial Structures from Visual Scenes. *Psychological Science*, *12*(6), 499-504. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00392>
- Fiser, J., & Aslin, R. N. (2002). Statistical learning of new visual feature combinations by infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(24), 15822-15826. <https://doi.org/10.1073/pnas.232472899>
- Fleischman, D. A., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D. E., Bienias, J. L., & Bennett, D. A. (2004). A Longitudinal Study of Implicit and Explicit Memory in Old Persons. *Psychology and Aging*, *19*(4), 617-625. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.4.617>
- Frost, R., Armstrong, B. C., & Christiansen, M. H. (2019). Statistical learning research : A critical review and possible new directions. *Psychological Bulletin*, *145*(12), 1128-1153. <https://doi.org/10.1037/bul0000210>
- Gaillard, V., Cleeremans, A., & Destrebecqz, A. (2014). Dissociating Conscious and Unconscious Learning With Objective and Subjective Measures. *Clinical EEG and Neuroscience*, *45*(1), 50-56. <https://doi.org/10.1177/1550059413516757>
- Gauchou, H., & Auvray, M. (2007). L'inhibition comme absence de représentation : L'exemple de la cécité aux changements. In *Le Journal des psychologues* (Vol. 244, p. 29). <https://doi.org/10.3917/jdp.244.0029>

- Gebhart, A. L., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (2009). Statistical learning of adjacent and nonadjacent dependencies among nonlinguistic sounds. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(3), 486-490. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.3.486>
- Geringswald, F., & Pollmann, S. (2015). Central and peripheral vision loss differentially affects contextual cueing in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(5), 1485-1496. <https://doi.org/10.1037/xlm0000117>
- Gerlai, R. (1998). Contextual learning and cue association in fear conditioning in mice : A strain comparison and a lesion study. *Behavioural Brain Research*, *95*(2), 191-203. [https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(97\)00144-7](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(97)00144-7)
- Geyer, T., Baumgartner, F., Müller, H. J., & Pollmann, S. (2012). Medial temporal lobe-dependent repetition suppression and enhancement due to implicit vs. Explicit processing of individual repeated search displays. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 272. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00272>
- Geyer, T., Rostami, P., Sogerer, L., Schlagbauer, B., & Müller, H. J. (2020). Task-based memory systems in contextual-cueing of visual search and explicit recognition. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71632-4>
- Geyer, T., Seitz, W., Zinchenko, A., Müller, H. J., & Conci, M. (2021). Why Are Acquired Search-Guiding Context Memories Resistant to Updating? *Frontiers in Psychology*, *12*, 650245. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.650245>
- Geyer, T., Shi, Z., & Müller, H. J. (2010). Contextual cueing in multiconjunction visual search is dependent on color- and configuration-based intertrial contingencies.

Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 36(3), 515-532. <https://doi.org/10.1037/a0017448>

Geyer, T., Zinchenko, A., Seitz, W., Balik, M., Müller, H. J., & Conci, M. (2023). Mission impossible? Spatial context relearning following a target relocation event depends on cue predictiveness. *Psychonomic Bulletin & Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-023-02328-9>

Gibson, B. M., Leber, A. B., & Mehlman, M. L. (2015). Spatial context learning in pigeons (*Columba livia*). *Journal of Experimental Psychology. Animal Learning and Cognition*, 41(4), 336-342. <https://doi.org/10.1037/xan0000068>

Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin.

Gobet, F., Lane, P. C. R., Croker, S., Cheng, P. C.-H., Jones, G., Oliver, I., & Pine, J. M. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 236-243. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01662-4](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01662-4)

Gopnik, A., & Wellman, H. M. (2012). Reconstructing constructivism : Causal models, Bayesian learning mechanisms, and the theory theory. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1085-1108. <https://doi.org/10.1037/a0028044>

Goschke, T., & Bolte, A. (2007). Implicit learning of semantic category sequences : Response-independent acquisition of abstract sequential regularities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(2), 394-406. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.2.394>

Goujon, A. (2011). Categorical implicit learning in real-world scenes : Evidence from contextual cueing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(5), 920-941. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.526231>

- Goujon, A., Brockmole, J. R., & Ehinger, K. A. (2012). How visual and semantic information influence learning in familiar contexts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(5), 1315-1327. <https://doi.org/10.1037/a0028126>
- Goujon, A., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2007). Contextual cueing based on specific and categorical properties of the environment. *Visual Cognition*, 15(3), 257-275. <https://doi.org/10.1080/13506280600677744>
- Goujon, A., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2009). Semantic contextual cuing and visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(1), 50-71. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.35.1.50>
- Goujon, A., Didierjean, A., & Poulet, S. (2014). The emergence of explicit knowledge from implicit learning. *Memory & Cognition*, 42(2), 225-236. <https://doi.org/10.3758/s13421-013-0355-0>
- Goujon, A., Didierjean, A., & Thorpe, S. (2015). Investigating implicit statistical learning mechanisms through contextual cueing. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(9), 524-533. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.07.009>
- Goujon, A., & Fagot, J. (2013). Learning of spatial statistics in nonhuman primates : Contextual cueing in baboons (*Papio papio*). *Behavioural Brain Research*, 247, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.03.004>
- Goujon, A., Mathy, F., & Thorpe, S. (2022). The fate of visual long term memories for images across weeks in adults and children. *Scientific Reports*, 12(1), 21763. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26002-7>

- Graf Estes, K., Evans, J. L., & Else-Quest, N. M. (2007). Differences in the nonword repetition performance of children with and without specific language impairment : A meta-analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 50(1), 177-195. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/015\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/015))
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(3), 501-518. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.11.3.501>
- Greene, A. J., Gross, W. L., Elsinger, C. L., & Rao, S. M. (2007). Hippocampal differentiation without recognition : An fMRI analysis of the contextual cueing task. *Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, 14(8), 548-553. <https://doi.org/10.1101/lm.609807>
- Harris, A. M., & Remington, R. W. (2017). Contextual cueing improves attentional guidance, even when guidance is supposedly optimal. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(5), 926-940. <https://doi.org/10.1037/xhp0000394>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108(3), 356-388. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.108.3.356>
- Hay, J. F., Pelucchi, B., Estes, K. G., & Saffran, J. R. (2011). Linking sounds to meanings : Infant statistical learning in a natural language. *Cognitive psychology*, 63(2), 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2011.06.002>

- Henke, K. (2010). A model for memory systems based on processing modes rather than consciousness. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*(7), 523-532.
<https://doi.org/10.1038/nrn2850>
- Howard, J. H., Dennis, N. A., Howard, D. V., Yankovich, H., & Vaidya, C. J. (2004). Implicit Spatial Contextual Learning in Healthy Aging. *Neuropsychology*, *18*(1), 124-134. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.1.124>
- Idowu, M. I., & Szameitat, A. J. (2023). Executive function abilities in cognitively healthy young and older adults-A cross-sectional study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *15*, 976915. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.976915>
- Intraub, H., & Richardson, M. (1989). Wide-angle memories of close-up scenes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*(2), 179-187.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.2.179>
- Irwin, D. E., & Andrews, R. V. (1996). Integration and accumulation of information across saccadic eye movements. In *Attention and performance 16 : Information integration in perception and communication* (p. 125-155). The MIT Press.
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework : Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, *30*(5), 513-541.
[https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)
- Jiang, Y., & Chun, M. M. (2001). Selective attention modulates implicit learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *54*(4), 1105-1124.
<https://doi.org/10.1080/713756001>
- Jiang, Y., King, L.-W., Shim, W., & Vickery, T. (2006). *Visual implicit learning overcomes limits in human attention.*

- Jiang, Y., & Leung, A. W. (2005). Implicit learning of ignored visual context. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(1), 100-106.
<https://doi.org/10.3758/BF03196353>
- Jiang, Y., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(3), 683-702. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.26.3.683>
- Jiang, Y., & Song, J.-H. (2005). Spatial context learning in visual search and change detection. *Perception & Psychophysics*, *67*(7), 1128-1139.
<https://doi.org/10.3758/BF03193546>
- Jiang, Y., Song, J.-H., & Rigas, A. (2005). High-capacity spatial contextual memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(3), 524-529.
<https://doi.org/10.3758/BF03193799>
- Jiang, Y. V., Sisk, C. A., & Toh, Y. N. (2019). Implicit guidance of attention in contextual cueing: Neuropsychological and developmental evidence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *105*, 115-125.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.07.002>
- Jiang, Y., & Wagner, L. C. (2004). What is learned in spatial contextual cuing— Configuration or individual locations? *Perception & Psychophysics*, *66*(3), 454-463.
<https://doi.org/10.3758/BF03194893>
- Jiménez, L., & Vázquez, G. A. (2011). Implicit sequence learning and contextual cueing do not compete for central cognitive resources. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*(1), 222-235.
<https://doi.org/10.1037/a0020378>

- Jiménez-Fernández, G., Vaquero, J., Jiménez, L., & Defior, S. (2010). Dyslexic children show deficits in implicit sequence learning, but not in explicit sequence learning or contextual cueing. *Annals of dyslexia*, *61*, 85-110. <https://doi.org/10.1007/s11881-010-0048-3>
- Johnson, R. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, *23*(4), 367-384. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1986.tb00649.x>
- Jun, J., & Chong, S. C. (2016). Visual statistical learning of temporal structures at different hierarchical levels. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *78*(5), 1308-1323. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1104-9>
- Jun, J., & Chong, S. C. (2018). Visual statistical learning at basic and subordinate category levels in real-world images. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *80*(8), 1946-1961. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1566-z>
- Kirkham, N. Z., Slemmer, J. A., & Johnson, S. P. (2002). Visual statistical learning in infancy: Evidence for a domain general learning mechanism. *Cognition*, *83*(2), B35-B42. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(02\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(02)00004-5)
- Kiss, M., Van Velzen, J., & Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, *45*(2), 240-249. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00611.x>
- Kojouharova, P., Nagy, B., Czigler, I., & Gaál, Z. A. (2023). Mechanisms of spatial contextual cueing in younger and older adults. *Psychophysiology*, *60*(11), e14361. <https://doi.org/10.1111/psyp.14361>

- Kourkoulou, A., Leekam, S., & Findlay, J. (2011). Implicit Learning of Local Context in Autism Spectrum Disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 42, 244-256. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1237-6>
- Krogh, L., Vlach, H. A., & Johnson, S. P. (2013). Statistical learning across development : Flexible yet constrained. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00598>
- Kunar, M. A., Flusberg, S. J., Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (2007). Does Contextual Cueing Guide the Deployment of Attention? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 33(4), 816-828. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.4.816>
- Kunar, M. A., Flusberg, S. J., & Wolfe, J. M. (2006). Contextual cuing by global features. *Perception & Psychophysics*, 68(7), 1204-1216. <https://doi.org/10.3758/BF03193721>
- Kunar, M. A., Flusberg, S. J., & Wolfe, J. M. (2008). Time to Guide : Evidence for Delayed Attentional Guidance in Contextual Cueing. *Visual cognition*, 16(6), 804-825. <https://doi.org/10.1080/13506280701751224>
- Kunar, M. A., John, R., & Sweetman, H. (2014). A configural dominant account of contextual cueing : Configural cues are stronger than colour cues. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(7), 1366-1382. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.863373>
- Lamy, D., Goshen-Kosover, A., Aviani, N., Harari, H., & Levkovitz, H. (2008). Implicit memory for spatial context in depression and schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 117(4), 954-961. <https://doi.org/10.1037/a0013867>

- Levin, D. T., & Simons, D. J. (1997). Failure to detect changes to attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(4), 501-506. <https://doi.org/10.3758/BF03214339>
- Lewicki, P., Hill, T., & Bizot, E. (1988). Acquisition of procedural knowledge about a pattern of stimuli that cannot be articulated. *Cognitive Psychology*, 20(1), 24-37. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90023-0)
- Li, A.-S., Bogaerts, L., & Theeuwes, J. (2023). No evidence for spatial suppression due to across-trial distractor learning in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 85(4), 1088-1105. <https://doi.org/10.3758/s13414-023-02667-8>
- Loftus, E. F., & Pickrell, J. E. (1995). The formation of false memories. *Psychiatric Annals*, 25(12), 720-725. <https://doi.org/10.3928/0048-5713-19951201-07>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb02218.x>
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), Article 6657. <https://doi.org/10.1038/36846>
- Lyon, J., Scialfa, C., Cordazzo, S., & Bubric, K. (2014). Contextual cuing : The effects of stimulus variation, intentionality, and aging. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 68(2), 111-121. <https://doi.org/10.1037/cep0000007>
- Mack, A., & Rock, I. (1998). Inattention blindness : Perception without attention. In *Visual attention* (p. 55-76). Oxford University Press.

- Makovski, T. (2016). What is the context of contextual cueing? *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(6), 1982-1988. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1058-x>
- Makovski, T. (2018). Meaning in learning : Contextual cueing relies on objects' visual features and not on objects' meaning. *Memory & Cognition*, 46(1), 58-67. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0745-9>
- Makovski, T., & Jiang, Y. V. (2010). Contextual cost : When a visual-search target is not where it should be. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(2), 216-225. <https://doi.org/10.1080/17470210903281590>
- Mandler, J. M., & Parker, R. E. (1976). Memory for descriptive and spatial information in complex pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2(1), 38-48. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.2.1.38>
- Mandler, J. M., & Ritchey, G. H. (1977). Long-term memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(4), 386-396. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.3.4.386>
- Manginelli, A. A., Geringswald, F., & Pollmann, S. (2012). Visual search facilitation in repeated displays depends on visuospatial working memory. *Experimental Psychology*, 59(1), 47-54. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000125>
- Manginelli, A. A., Langer, N., Klose, D., & Pollmann, S. (2013). Contextual cueing under working memory load : Selective interference of visuospatial load with expression of learning. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(6), 1103-1117. <https://doi.org/10.3758/s13414-013-0466-5>

- Manginelli, A. A., & Pollmann, S. (2009). Misleading contextual cues : How do they affect visual search? *Psychological Research*, 73(2), 212-221. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0211-1>
- Manns, J. R., & Squire, L. R. (2001). Perceptual learning, awareness, and the hippocampus. *Hippocampus*, 11(6), 776-782. <https://doi.org/10.1002/hipo.1093>
- Marzouki, Y., Gullstrand, J., Goujon, A., & Fagot, J. (2014). Baboons' Response Speed Is Biased by Their Moods. *PLOS ONE*, 9(7), e102562. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102562>
- Mayberry, C., Livesey, E., & Dux, P. (2010). Rapid learning of rapid temporal contexts. *Psychonomic bulletin & review*, 17, 417-420. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.3.417>
- Ménétrier, E., Didierjean, A., & Marmèche, É. (2011). Le système visuel traite-t-il les photographies comme des fenêtres ouvertes sur le monde? [Does visual system treat photographs like apertures on the world?]. *L'Année Psychologique*, 111(4), 753-773. <https://doi.org/10.4074/S0003503311004064>
- Merrill, E. C., Conners, F. A., Roskos, B., Klinger, M., & Klinger, L. (2013). Contextual Cueing Effects Across the Lifespan. *The Journal of genetic psychology*, 174(4), 387-402. <https://doi.org/10.1080/00221325.2012.694919>
- Merrill, E. C., Conners, F. A., Yang, Y., & Weathington, D. (2014). The acquisition of contextual cueing effects by persons with and without intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 35(10), 2341-2351. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.05.026>

- Mersad, K., & Nazzi, T. (2011). Transitional probabilities and positional frequency phonotactics in a hierarchical model of speech segmentation. *Memory & Cognition*, 39(6), 1085-1093. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0074-3>
- Minier, L., Fagot, J., & Rey, A. (2016). The Temporal Dynamics of Regularity Extraction in Non-Human Primates. *Cognitive science*, 40(4), 1019–1030. <https://doi.org/10.1111/cogs.12279>
- Mitchell, D. B. (1989). How many memory systems? Evidence from aging. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(1), 31-49. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.1.31>
- Mitchell, D. B. (2006). Nonconscious Priming After 17 Years : Invulnerable Implicit Memory? *Psychological Science*, 17(11), 925-929. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01805.x>
- Mitchell, D. B., & Brown, A. S. (1988). Persistent repetition priming in picture naming and its dissociation from recognition memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 14(2), 213-222. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.14.2.213>
- Mittag, M., Takegata, R., & Winkler, I. (2016). Transitional Probabilities Are Prioritized over Stimulus/Pattern Probabilities in Auditory Deviance Detection : Memory Basis for Predictive Sound Processing. *The Journal of Neuroscience*, 36(37), 9572-9579. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1041-16.2016>
- Negash, S., Boeve, B. F., Geda, Y. E., Smith, G. E., Knopman, D. S., Ivnik, R. J., Howard, D. V., Howard, J. H., & Petersen, R. C. (2007). Implicit learning of sequential

regularities and spatial contexts in corticobasal syndrome. *Neurocase*, 13(3), 133-143.

<https://doi.org/10.1080/13554790701401852>

Negash, S., Kliot, D., Howard, D. V., Howard, J. H., Das, S. R., Yushkevich, P. A., Pluta, J. B., Arnold, S. E., & Wolk, D. A. (2015). Relationship of contextual cueing and hippocampal volume in amnesic mild cognitive impairment patients and cognitively normal older adults. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 21(4), 285-296. <https://doi.org/10.1017/S1355617715000223>

Negash, S., Petersen, L. E., Geda, Y. E., Knopman, D. S., Boeve, B. F., Smith, G. E., Ivnik, R. J., Howard, D. V., Howard, J. H., & Petersen, R. C. (2007). Effects of ApoE genotype and mild cognitive impairment on implicit learning. *Neurobiology of Aging*, 28(6), 885-893. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2006.04.004>

Newport, E. L., & Aslin, R. N. (2004). Learning at a distance I. Statistical learning of non-adjacent dependencies. *Cognitive Psychology*, 48(2), 127-162. [https://doi.org/10.1016/S0010-0285\(03\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0285(03)00128-2)

Nicolas, S. (1994). Réflexions autour du concept de mémoire implicite. *L'Année psychologique*, 94(1), 63-79. <https://doi.org/10.3406/psy.1994.28736>

Nicolas, S., & Perruchet, P. (1998). La mémoire implicite: Une vue d'ensemble. *Psychologie Française*, 43(1), 3-12.

Ogawa, H., & Kumada, T. (2008). The encoding process of nonconfigural information in contextual cueing. *Perception & Psychophysics*, 70(2), 329-336. <https://doi.org/10.3758/PP.70.2.329>

- Oliva, A. (2005). CHAPTER 41—Gist of the Scene. In L. Itti, G. Rees, & J. K. Tsotsos (Éds.), *Neurobiology of Attention* (p. 251-256). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-012375731-9/50045-8>
- Oliva, A., & Torralba, A. (2006). Building the gist of a scene : The role of global image features in recognition. *Progress in Brain Research*, 155, 23-36.
[https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)55002-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)55002-2)
- Oliva, A., & Torralba, A. (2007). The role of context in object recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(12), 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.09.009>
- Oliva, A., Torralba, A., Castelhana, M., & Henderson, J. (2003). Top-down control of visual attention in object detection. In *IEEE International Conference on Image Processing* (Vol. 1, p. 256). <https://doi.org/10.1109/ICIP.2003.1246946>
- Olson, I., & Chun, M. M. (2001). Temporal Contextual Cuing of Visual Attention. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 27, 1299-1313.
<https://doi.org/10.1037//0278-7393.27.5.1299>
- Olson, I. R., & Chun, M. M. (2002). Perceptual constraints on implicit learning of spatial context. *Visual Cognition*, 9(3), 273-302.
<https://doi.org/10.1080/13506280042000162>
- Olson, I. R., Chun, M. M., & Alisson, T. (2001). Contextual guidance of attention : Human intracranial event-related potential evidence for feedback modulation in anatomically early temporally late stages of visual processing. *Brain*, 124(7), 1417-1425.
<https://doi.org/10.1093/brain/124.7.1417>

- Onnis, L., Monaghan, P., Richmond, K., & Chater, N. (2005). Phonology impacts segmentation in online speech processing☆. *Journal of Memory and Language*, 53(2), 225-237. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.02.011>
- Ono, F., Jiang, Y., & Kawahara, J. (2005). Intertrial temporal contextual cuing : Association across successive visual search trials guides spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(4), 703-712. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.4.703>
- Oudman, E., Van der Stigchel, S., Wester, A. J., Kessels, R. P. C., & Postma, A. (2011). Intact memory for implicit contextual information in Korsakoff's amnesia. *Neuropsychologia*, 49(10), 2848-2855. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.010>
- Palmer, S. E. (1975). The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Memory & Cognition*, 3(5), 519-526. <https://doi.org/10.3758/BF03197524>
- Park, H., Quinlan, J., Thornton, E., & Reder, L. M. (2004). The effect of midazolam on visual search : Implications for understanding amnesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(51), 17879-17883. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408075101>
- Park, S. H., Rogers, L. L., & Vickery, T. J. (2018). The roles of order, distance, and interstitial items in temporal visual statistical learning. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(6), 1409-1419. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1556-1>
- Pelucchi, B., Hay, J. F., & Saffran, J. R. (2009). Statistical learning in a natural language by 8-month-old infants. *Child Development*, 80(3), 674-685. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01290.x>

- Perruchet, P. (2019). What Mechanisms Underlie Implicit Statistical Learning? Transitional Probabilities Versus Chunks in Language Learning. *Topics in Cognitive Science*, 11(3), 520-535. <https://doi.org/10.1111/tops.12403>
- Perruchet, P., Gallego, J., & Savy, I. (1990). A critical reappraisal of the evidence for unconscious abstraction of deterministic rules in complex experimental situations. *Cognitive Psychology*, 22(4), 493-516. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(90\)90011-R](https://doi.org/10.1016/0010-0285(90)90011-R)
- Perruchet, P., & Pacton, S. (2006). Implicit learning and statistical learning: One phenomenon, two approaches. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.006>
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). PARSER : A Model for Word Segmentation. *Journal of Memory and Language*, 39(2), 246-263. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2576>
- Perruchet, P., & Vinter, A. (2002). The self-organizing consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(3), 297-330. <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000067>
- Peterson, M., Mead, P., Kelly, S., Esser-Adomako, E., & Blumberg, E. (2022). Spatial context target relearning following a target relocation event : Not mission impossible. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 84(2), 474-489. <https://doi.org/10.3758/s13414-022-02443-0>
- Peterson, M. S., & Kramer, A. F. (2001a). Attentional guidance of the eyes by contextual information and abrupt onsets. *Perception & Psychophysics*, 63(7), 1239-1249. <https://doi.org/10.3758/BF03194537>

- Peterson, M. S., & Kramer, A. F. (2001b). Contextual cueing reduces interference from task-irrelevant onset distractors. *Visual Cognition*, 8(6), 843-859.
<https://doi.org/10.1080/13506280042000180>
- Pollmann, S. (2019). Working memory dependence of spatial contextual cueing for visual search. *British Journal of Psychology*, 110(2), 372-380.
<https://doi.org/10.1111/bjop.12311>
- Pollmann, S., Geringswald, F., Wei, P., & Porracin, E. (2020). Intact Contextual Cueing for Search in Realistic Scenes with Simulated Central or Peripheral Vision Loss. *Translational Vision Science & Technology*, 9(8), 1-11.
<https://doi.org/10.1167/tvst.9.8.15>
- Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2(5), 509-522.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.2.5.509>
- Poulet, S., Goujon, A., & Didierjean, A. (2023). Statistical learning guides visual attention within iconic memory. *Memory & Cognition*, 51(6), 1358-1373.
<https://doi.org/10.3758/s13421-023-01394-7>
- Preuschhof, C., Sharifian, F., Rosenblum, L., Pohl, T. M., & Pollmann, S. (2019). Contextual cueing in older adults : Slow initial learning but flexible use of distractor configurations. *Visual Cognition*, 27(5-8), 563-575.
<https://doi.org/10.1080/13506285.2019.1668516>
- Psychology Software Tools I. E-Prime 3.0. Pennsylvania, USA: Psychology Software Tools, Inc; 2016.

- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 6(6), 855-863. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(67\)80149-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(67)80149-X)
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(3), 219-235. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.118.3.219>
- Reber, P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research. *Neuropsychologia*, 51(10), 2026-2042. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019>
- Rensink, R. A. (2000). The Dynamic Representation of Scenes. *Visual Cognition*, 7(1-3), 17-42. <https://doi.org/10.1080/135062800394667>
- Rogers, L. L., Park, S. H., & Vickery, T. J. (2021). Visual statistical learning is modulated by arbitrary and natural categories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(4), 1281-1288. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-01917-w>
- Rosenbaum, G. M., & Jiang, Y. V. (2013). Interaction between scene-based and array-based contextual cueing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(5), 888-899. <https://doi.org/10.3758/s13414-013-0446-9>
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical Learning by 8-Month-Old Infants. *Science*, 274(5294), 1926-1928. <https://doi.org/10.1126/science.274.5294.1926>
- Saffran, J. R., Johnson, E. K., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1999). Statistical learning of tone sequences by human infants and adults. *Cognition*, 70(1), 27-52. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00075-4)

- Saffran, J. R., & Kirkham, N. Z. (2018). Infant Statistical Learning. *Annual Review of Psychology*, 69(1), 181-203. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011805>
- Sampanes, A. C., Tseng, P., & Bridgeman, B. (2008). The role of gist in scene recognition. *Vision Research*, 48(21), 2275-2283. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.07.011>
- Schacter, D. L. (1992). Priming and Multiple Memory Systems : Perceptual Mechanisms of Implicit Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 244-256. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.244>
- Schankin, A., & Schubö, A. (2010). Contextual cueing effects despite spatially cued target locations. *Psychophysiology*, 47(4), 717-727. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.00979.x>
- Schapiro, A. C., Gregory, E., Landau, B., McCloskey, M., & Turk-Browne, N. B. (2014). The necessity of the medial temporal lobe for statistical learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(8), 1736-1747. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00578
- Schapiro, A. C., Kustner, L. V., & Turk-Browne, N. B. (2012). Shaping of Object Representations in the Human Medial Temporal Lobe Based on Temporal Regularities. *Current Biology*, 22(17), 1622-1627. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.056>
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing : I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1-66. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>
- Sherman, B. E., Graves, K. N., & Turk-Browne, N. B. (2020). The prevalence and importance of statistical learning in human cognition and behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 32, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.01.015>

- Siegelman, N., Bogaerts, L., Christiansen, M. H., & Frost, R. (2017). Towards a theory of individual differences in statistical learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 372(1711), 20160059. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0059>
- Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst : Sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), 1059-1074. <https://doi.org/10.1068/p281059>
- Sisk, C. A., Remington, R. W., & Jiang, Y. V. (2019). Mechanisms of contextual cueing : A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(8), 2571-2589. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01832-2>
- Smyth, A. C., & Shanks, D. R. (2008). Awareness in contextual cuing with extended and concurrent explicit tests. *Memory & Cognition*, 36, 403-415. <https://doi.org/10.3758/MC.36.2.403>
- Smyth, A. C., & Shanks, D. R. (2011). Aging and implicit learning : Explorations in contextual cuing. *Psychology and Aging*, 26(1), 127-132. <https://doi.org/10.1037/a0022014>
- Soares, A. P., Gutiérrez-Domínguez, F.-J., Vasconcelos, M., Oliveira, H. M., Tomé, D., & Jiménez, L. (2020). Not All Words Are Equally Acquired : Transitional Probabilities and Instructions Affect the Electrophysiological Correlates of Statistical Learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2020.577991>

- Song, J.-H., & Jiang, Y. (2005). Connecting the past with the present : How do humans match an incoming visual display with visual memory? *Journal of Vision*, 5(4), 322-330. <https://doi.org/10.1167/5.4.4>
- Spaan, P. E. J., & Raaijmakers, J. G. W. (2011). Priming effects from young-old to very old age on a Word-Stem Completion task : Minimizing explicit contamination. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 18(1), 86-107. <https://doi.org/10.1080/13825585.2010.511146>
- The MathWorks Inc. (2017). Statistics and Machine Learning Toolbox Documentation, Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com/help/stats/index.html>
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77-99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Theeuwes, J., Bogaerts, L., & van Moorselaar, D. (2022). What to expect where and when : How statistical learning drives visual selection. *Trends in Cognitive Sciences*, 26(10), 860-872. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.001>
- Thiessen, E. D. (2011). Domain General Constraints on Statistical Learning. *Child Development*, 82(2), 462-470. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01522.x>
- Thiessen, E. D. (2017). What's statistical about learning? Insights from modelling statistical learning as a set of memory processes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 372(1711), 20160056. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0056>

- Thiessen, E. D., Kronstein, A. T., & Hufnagle, D. G. (2013). The extraction and integration framework : A two-process account of statistical learning. *Psychological Bulletin*, *139*(4), 792-814. <https://doi.org/10.1037/a0030801>
- Thomas, C., Didierjean, A., Maquestiaux, F., & Goujon, A. (2018). On the limits of statistical learning : Intertrial contextual cueing is confined to temporally close contingencies. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *80*(6), 1420-1435. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1519-6>
- Thornton, A. E., Raz, N., & Tucke, K. A. (2002). Memory in multiple sclerosis : Contextual encoding deficits. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *8*(3), 395-409. <https://doi.org/10.1017/s1355617702813200>
- Torralba, A., Oliva, A., Castelhana, M. S., & Henderson, J. M. (2004). Saliency, objects and scenes : Global scene factors in attention and object detection. *Journal of Vision*, *4*(8), 337-337. <https://doi.org/10.1167/4.8.337>
- Travers, B., Powell, P., Mussey, J., Klinger, L., Crisler, M., & Klinger, M. (2013). Spatial and Identity Cues Differentially Affect Implicit Contextual Cueing in Adolescents and Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, *43*. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1787-x>
- Travis, S. L., Mattingley, J. B., & Dux, P. E. (2013). On the role of working memory in spatial contextual cueing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(1), 208-219. <https://doi.org/10.1037/a0028644>
- Tseng, Y.-C., & Li, C.-S. R. (2004). Oculomotor correlates of context-guided learning in visual search. *Perception & Psychophysics*, *66*(8), 1363-1378. <https://doi.org/10.3758/bf03195004>

- Tulving, E. (1995). Organization of memory : Quo vadis? In *The cognitive neurosciences* (p. 839-853). The MIT Press.
- Tulving, E., Schacter, D. L., & Stark, H. A. (1982). Priming effects in word-fragment completion are independent of recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(4), 336-342.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.4.336>
- Tummeltshammer, K., & Amso, D. (2018). Top-down contextual knowledge guides visual attention in infancy. *Developmental Science*, 21(4), e12599.
<https://doi.org/10.1111/desc.12599>
- Tummeltshammer, K. S., Wu, R., Sobel, D. M., & Kirkham, N. Z. (2014). Infants Track the Reliability of Potential Informants. *Psychological Science*, 25(9), 1730-1738.
<https://doi.org/10.1177/0956797614540178>
- Turk-Browne, N. B. (2012). Statistical learning and its consequences. *Nebraska Symposium on Motivation. Nebraska Symposium on Motivation*, 59, 117-146.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4794-8_6
- Turk-Browne, N. B., Isola, P. J., Scholl, B. J., & Treat, T. A. (2008). Multidimensional visual statistical learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34, 399-407. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.2.399>
- Turk-Browne, N. B., Jungé, J. A., & Scholl, B. J. (2005). The Automaticity of Visual Statistical Learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(4), 552-564.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.4.552>
- Turk-Browne, N. B., Scholl, B. J., Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2009). Neural evidence of statistical learning : Efficient detection of visual regularities without

- awareness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1934-1945.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21131>
- Vadillo, M. A., Giménez-Fernández, T., Aivar, M. P., & Cubillas, C. P. (2020). Ignored visual context does not induce latent learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 27(3), Article 3. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01722-x>
- Vadillo, M. A., Giménez-Fernández, T., Beesley, T., Shanks, D. R., & Luque, D. (2021). There is more to contextual cuing than meets the eye: Improving visual search without attentional guidance toward predictable target locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 47(1), Article 1. <https://doi.org/10.1037/xhp0000780>
- Vadillo, M. A., Konstantinidis, E., & Shanks, D. R. (2016). Underpowered samples, false negatives, and unconscious learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(1), 87-102. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0892-6>
- Vaidya, C. J., Huger, M., Howard, D. V., & Howard, J. H. (2007). Developmental differences in implicit learning of spatial context. *Neuropsychology*, 21(4), 497-506. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.4.497>
- Van Asselen, M., Almeida, I., Andre, R., Januário, C., Gonçalves, A. F., & Castelo-Branco, M. (2009). The role of the basal ganglia in implicit contextual learning: A study of Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 47(5), 1269-1273. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.008>
- van Asselen, M., Almeida, I., Júlio, F., Januario, C., Campos, E., Simões, M., & Castelo-Branco, M. (2012). Implicit Contextual Learning in Prodromal and Early Stage

- Huntington's Disease Patients. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 18, 689-696. <https://doi.org/10.1017/S1355617712000288>
- van Asselen, M., & Castelo-Branco, M. (2009). The role of peripheral vision in implicit contextual cuing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71, 76-81. <https://doi.org/10.3758/APP.71.1.76>
- van Asselen, M., Kessels, R., Wester, A., & Postma, A. (2005). Spatial Working Memory and Contextual Cueing in Patients with Korsakoff Amnesia. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 27, 645-655. <https://doi.org/10.1081/13803390490919281>
- Vicente-Conesa, F., Giménez-Fernández, T., Shanks, D. R., & Vadillo, M. A. (2022). The role of working memory in contextual cueing of visual attention. *Cortex*, 154, 287-298. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.05.019>
- Võ, M. L.-H., & Wolfe, J. M. (2013). The interplay of episodic and semantic memory in guiding repeated search in scenes. *Cognition*, 126(2), 198-212. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.09.017>
- Wang, C., Bai, X., Hui, Y., Song, C., Zhao, G., Haponenko, H., Milliken, B., & Sun, H. (2020). Learning of association between a context and multiple possible target locations in a contextual cueing paradigm. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(7), 3374-3386. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02090-3>
- Ward, E., & Shanks, D. (2018). *Implicit Memory and Cognitive Aging*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190236557.013.378>

- Ward, E. V., Berry, C. J., Shanks, D. R., Moller, P. L., & Czsiser, E. (2020). Aging Predicts Decline in Explicit and Implicit Memory : A Life-Span Study. *Psychological Science*, 31(9), 1071-1083. <https://doi.org/10.1177/0956797620927648>
- Wasserman, E. A., Teng, Y., & Brooks, D. I. (2014). Scene-based contextual cueing in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 40(4), 401-418. <https://doi.org/10.1037/xan0000028>
- Weichselbaum, H., & Ansorge, U. (2018). Bottom-up attention capture with distractor and target singletons defined in the same (color) dimension is not a matter of feature uncertainty. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(6), 1350-1361. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1538-3>
- Weigard, A., & Huang-Pollock, C. (2014). A diffusion modeling approach to understanding contextual cueing effects in children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(12), 1336-1344. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12250>
- Wilson, B., Spierings, M., Ravignani, A., Mueller, J. L., Mintz, T. H., Wijnen, F., van der Kant, A., Smith, K., & Rey, A. (2020). Non-adjacent Dependency Learning in Humans and Other Animals. *Topics in Cognitive Science*, 12(3), 843-858. <https://doi.org/10.1111/tops.12381>
- Wu, C.-C., Wick, F. A., & Pomplun, M. (2014). Guidance of visual attention by semantic information in real-world scenes. *Frontiers in Psychology*, 5, 54. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00054>
- Xie, X., Chen, S., & Zang, X. (2020). Contextual Cueing Effect Under Rapid Presentation. *Frontiers in Psychology*, 11, 603520. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.603520>

- Yang, Y., Coutinho, M. V. C., Greene, A. J., & Hannula, D. E. (2021). Contextual cueing is not flexible. *Consciousness and Cognition*, 93, 103164. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103164>
- Yu, X., Zhou, Z., Becker, S. I., Boettcher, S. E. P., & Geng, J. J. (2023). Good-enough attentional guidance. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(4), 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.01.007>
- Zang, X., Zinchenko, A., Jia, L., Assumpção, L., & Li, H. (2018). Global Repetition Influences Contextual Cueing. *Frontiers in Psychology*, 9, 402. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00402>
- Zang, X., Zinchenko, A., Wu, J., Zhu, X., Fang, F., & Shi, Z. (2022). Contextual cueing in co-active visual search : Joint action allows acquisition of task-irrelevant context. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 84(4), 1114-1129. <https://doi.org/10.3758/s13414-022-02470-x>
- Zellin, M., von Mühlenen, A., Müller, H. J., & Conci, M. (2014). Long-term adaptation to change in implicit contextual learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(4), 1073-1079. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0568-z>
- Zhao, F., & Ren, Y. (2020). Revisiting contextual cueing effects : The role of perceptual processing. *Attention, Perception & Psychophysics*, 82(4), 1695-1709. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01962-7>
- Zhao, G., Liu, Q., Jiao, J., Zhou, P., Li, H., & Sun, H. (2012). Dual-state modulation of the contextual cueing effect : Evidence from eye movement recordings. *Journal of Vision*, 12(6), 11. <https://doi.org/10.1167/12.6.11>

Zinchenko, A., Conci, M., Hauser, J., Müller, H. J., & Geyer, T. (2020). Distributed attention beats the down-side of statistical context learning in visual search. *Journal of Vision*, 20(7), Article 7. <https://doi.org/10.1167/JOV.20.7.4>

Zinchenko, A., Conci, M., Töllner, T., Müller, H. J., & Geyer, T. (2020). Automatic guidance (and misguidance) of visuospatial attention by acquired scene memory : Evidence from an N1pc polarity reversal. *Psychological Science*, 31(12), 1531-1543. <https://doi.org/10.1177/0956797620954815>