



HAL
open science

L'inhibition, un processus au cœur de la compétition visuo-attentionnelle globale/locale : perspectives développementales

Claire-Sara Krakowski

► **To cite this version:**

Claire-Sara Krakowski. L'inhibition, un processus au cœur de la compétition visuo-attentionnelle globale/locale : perspectives développementales. Psychologie et comportements. Université Sorbonne Paris Cité, 2015. Français. NNT : 2015USPCB206 . tel-01888974

HAL Id: tel-01888974

<https://theses.hal.science/tel-01888974>

Submitted on 5 Oct 2018

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.

Université Paris Descartes – UFR de Psychologie –
Ecole doctorale 261, 3CH « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

THÈSE, sous la direction du Pr. Nicolas Poirel et du Pr. Olivier Houdé.

Présentée par Claire-Sara Krakowski

Et soutenue publiquement le 27 novembre 2015 en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université de Paris Descartes, Mention Psychologie, Spécialité Psychologie du Développement.

L'inhibition: un processus au cœur de la compétition visuo-attentionnelle globale/locale. Perspectives développementales.

Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant
(LaPsyDÉ), UMR 8240, CNRS,

Composition du jury :

Dr. Carole Peyrin, CR-HDR CNRS, Université Pierre Mendès-France, Grenoble (Rapporteure)

Pr. Annie Vinter, Université de Bourgogne, Dijon (Rapporteure)

Pr. George Michael, Université Lyon 2, Lyon (Examinateur)

Pr. Nicolas Poirel, Université Paris Descartes, Paris (Directeur de Thèse)

Pr. Olivier Houdé, Université Paris Descartes, Paris (Co-Directeur de Thèse)

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Nicolas Poirel qui m'a encouragée à poursuivre mes études en thèse et qui a partagé avec moi son enthousiasme pour la recherche et l'enseignement. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a témoignée, me confiant des responsabilités qui m'ont permis de devenir autonome dans la réalisation de mon travail de recherche. Enfin, je le remercie pour sa disponibilité et ses conseils avisés tout au long de la rédaction de cette thèse.

Je tiens à remercier Olivier Houdé qui m'a accueillie chaleureusement dans son laboratoire et qui a toujours été très encourageant depuis la construction de mes projets de recherche jusqu'à la rédaction de cette thèse. Je le remercie pour ces échanges passionnants sur le développement de l'enfant et l'histoire de la psychologie, et pour sa relecture attentive de ce manuscrit.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury : George Andrew Michael, Carole Peyrin et Annie Vinter, qui me font l'honneur d'expertiser cette thèse. Merci pour le temps que vous consacrez à l'évaluation de mon travail de recherche.

Je tiens à remercier Arlette Pineau, dont la passion pour le développement de l'enfant et pour le global/local a été contagieuse. Merci pour tout le travail qu'elle a mené auprès des écoles caennaises et qui m'a permis de faire passer des protocoles de recherche auprès des enfants normands. Je la remercie pour sa relecture très précise de ce manuscrit et pour ses remarques précieuses et toujours encourageantes.

Je remercie chaleureusement Julie Vidal, qui m'a accompagnée dans toutes les passations en école à Paris et dans le projet d'EEG. Merci pour sa patience infinie, ses conseils méthodiques, sa grande pédagogie et également pour ses qualités d'écoute et sa bienveillance.

Je remercie également chaleureusement Grégoire Borst qui a largement participé à ma formation en psychologie expérimentale et qui a alimenté et enrichi ma réflexion théorique sur tous mes projets de recherche. Merci d'avoir toujours répondu présent, y compris dans l'urgence, y compris lors des « crises existentielles » qui jalonnent tout projet de recherche.

Je remercie Claire Pruvot, Mélanie Shaïek et Mathurin Phojo qui m'ont guidée dans mes démarches administratives tout au long de ces trois années de thèse.

Je remercie les étudiant.e.s de Licence et de Master de Paris Descartes, ainsi que les stagiaires du LaPsyDÉ qui m'ont accompagnée dans la construction des protocoles de recherche et des passations expérimentales: Valentin Corneloup, Célia Demarre, Alexandre Jancana, Margot Roëll et Sabrina Sayah. Merci également à tous les étudiant.e.s qui ont été volontaires pour participer à mes expériences.

Je remercie les écoles qui ont participé à mes recherches, notamment les écoles du réseau caennais, et, à Paris, l'école élémentaire de la rue Saint Jacques ainsi que les écoles (maternelle et élémentaire) de la place Jeanne d'Arc. Merci aux directrices et directeurs d'établissement, aux enseignant.e.s ainsi qu'aux parents pour leur confiance, et enfin merci aux enfants pour leur participation et leur intérêt.

Je remercie les chercheur.se.s qui m'ont accueillie chaleureusement, et avec qui j'ai pu partager des moments forts d'enseignement et de recherche au cours de ces trois années : Arnaud Cachia, Mathieu Cassotti, Katell Mevel, Céline Lanoe, Amélie Lubin, Wim de Neys, Sandrine Rossi et Grégory Simon.

Des remerciements particuliers à tou.te.s les doctorant.e.s, futur.e.s doctorant.e.s, ancien.ne.s doctorant.e.s du LaPsyDÉ, ainsi qu'aux ATERs qui ont partagé mon quotidien pendant quelques années : À Emmanuel Ahr pour avoir ranimé régulièrement ma passion en revenant au cœur de ce qui m'a fait prendre cette direction : les enfants et les apprentissages. Je le remercie pour son écoute toujours bienveillante, pour son sens critique teinté d'un grand optimisme, et pour son ouverture d'esprit. À Ania Aïte, aujourd'hui maîtresse de conférence, pour son accueil chaleureux à mes débuts de doctorante et ses encouragements dans les moments difficiles. À Marine Buon pour ses conseils, sa disponibilité et son sens de l'écoute. À Anaëlle Camarda, pour toutes ses adorables attentions et sa bienveillance au cours de ma dernière année de thèse. À Darren Frey, le friendly alien qui a été contraint d'occuper le bureau en face du mien... au-delà de ses corrections en anglais et de ses relectures, merci pour toutes ses petites attentions, ses mots gentils, ses sourires bizarres, j'espère que nous aurons encore des tas de conversations captivantes et maladroites (français oblige). À Julien Hay pour sa relecture et ses corrections précieuses de cette thèse, et également pour sa bonne humeur et son ouverture d'esprit. À Marianne Habib, aujourd'hui maîtresse de conférence, pour avoir été un soutien expérimenté au tout début de ma thèse. Merci pour ses conseils et ses qualités d'écoute. À Adriano Linzarini pour avoir parsemé nos journées de travail de conversations passionnées, de poésie et de regards sur le 7^{ème} art. Je le remercie pour son esprit d'analyse et de remise en question. À Cloélia Tissier pour son soutien, notamment durant l'intense période de rédaction de thèse.

Enfin, et tout particulièrement, je remercie Anaïs Osmont avec qui j'évolue depuis ma première année de Master (cinq ans, déjà !). Elle a été une partenaire de thèse empathique, optimiste, encourageante, toujours présente dans les moments difficiles. C'est un honneur pour moi d'avoir gravi toutes les étapes de cette thèse à ses côtés.

Je remercie ma famille, et notamment mon père Michel et mes grands-parents Annette et Daniel qui m'ont toujours poussée à questionner le monde qui m'entoure et qui m'ont permis de développer un esprit curieux et critique. Je remercie tout particulièrement mon frère et mon allié, Vincent, pour ses formidables qualités humaines, pour son esprit scientifique et critique, et je lui souhaite tout le courage possible pour la fin de sa thèse.

Je remercie également mes ami.e.s : Deb, pour son aide dans les traductions, et pour ses playlists dynamiques qui m'ont permis de garder le rythme. Elsa, pour ses textos quotidiens, encourageants et drôles qui m'ont permis de garder le cap, je la remercie pour sa présence permanente, ainsi que pour la superbe illustration qu'elle a faite de ma thèse. Mon bro' à paillettes Gérard parce que je n'aurais pas tenu le coup sans sa présence bienveillante et son amour inconditionnel, je le remercie pour ses cartes postales hebdomadaires durant la période de rédaction. Héléa pour son aide dans la réalisation des figures de cette thèse et surtout pour m'avoir supportée dans la période de rédaction en m'offrant un sas de décompression, merci d'être un tel repère dans ma vie.

Enfin je remercie deux soignant.e.s exceptionnel.le.s, Sylvain Emy et Isabelle Bergis, pour leur immense bienveillance.

RÉSUMÉ ET MOTS-CLÉS

Le monde visuel qui nous entoure est extrêmement complexe, constitué d'une grande quantité d'informations, toutes emboîtées les unes aux autres, qui entrent en compétition pour l'octroi de nos ressources attentionnelles. Notre système cognitif doit ainsi sélectionner un nombre limité d'informations qui lui permettront d'agir de façon adaptée sur son environnement. La saillance perceptive d'une information biaise automatiquement les ressources attentionnelles en sa faveur, un processus qui est la plupart du temps efficace et adaptatif. Néanmoins, lorsque l'information avantagée n'est pas celle qui est pertinente, un effort mental supplémentaire d'inhibition est nécessaire pour la supprimer et permettre la sélection de l'information d'intérêt. Cette thèse a pour objectif de faire le lien entre les modèles de sélection et d'inhibition attentionnelles et l'effet de précedence globale, c'est-à-dire le fait que la structure globale soit traitée plus rapidement que ses parties constituantes locales et interfère avec elles. Chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire, un tel effet de précedence globale semble exister précocement mais serait sensible à des manipulations de sa saillance : lorsque les éléments locaux sont denses, la forme globale émerge spontanément et est privilégiée. À l'inverse, lorsque les éléments locaux sont moins denses, ce sont eux qui semblent être traités prioritairement. L'objectif de cette thèse est de préciser le développement du traitement global/local par 1) l'étude de la compétition attentionnelle entre les niveaux hiérarchiques global, intermédiaire et local au cours du développement et 2) la mise en évidence du rôle central du contrôle inhibiteur dans la sélection du niveau hiérarchique le moins saillant. Nous avons montré chez l'adulte, grâce à un paradigme de recherche visuelle, que le niveau local est toujours désavantagé durant la compétition attentionnelle par rapport aux niveaux structurels global et intermédiaire. Même si les enfants présentaient un pattern de résultats similaires, les enfants de 5 et 6 ans avaient des difficultés accrues dans la sélection locale, faisant davantage d'erreurs que les enfants plus âgés et les adultes. Ces résultats semblent indiquer un défaut d'inhibition de la structure globale chez les enfants d'âge préscolaire. Grâce à un paradigme d'amorçage négatif, nous avons vérifié que, chez l'adulte et l'enfant de 7 ans, la sélection du niveau local (peu saillant) nécessite bien l'inhibition du niveau global (le plus saillant). Toutefois, en utilisant des figures peu denses, une inversion de ce pattern de résultats était observée chez les enfants de 7 ans, résultat qui n'était pas observé chez les adultes. Une inhibition du niveau local, et non plus du niveau global, serait ainsi nécessaire chez l'enfant. Quel que soit le niveau le plus saillant à un âge donné, l'inhibition permettrait de supprimer l'information présente au niveau saillant et non-pertinent au profit de l'information d'intérêt moins saillante. L'ensemble de ces résultats, au regard des modèles actuels de sélection et d'inhibition attentionnelles et des théories dynamiques du développement, permet de nouvelles interprétations et perspectives dans l'étude de l'effet de précedence globale chez l'adulte et l'enfant.

Mot-clés : développement; enfants ; attention ; sélection ; perception ; global ; local ; objet ; figures hiérarchisées ; inhibition ; saillance ; pertinence

The visual world around us is extremely complex and has a great deal of information embedded in various sources that compete for our attentional resources. Our cognitive system must select a limited amount of visual information, which allows one to adapt to the environment. The perceptual saliency of a piece of information automatically biases attentional resources towards it, and this process is often useful and adaptive. Nevertheless, when the advantaged information is not the most pertinent available, additional mental effort is necessary to suppress it and to select the information of interest. The purpose of this thesis is to connect models of attentional selection and inhibition to the global precedence effect. The latter describes the faster processing of the global structure of an object compared to its local constitutive parts as well as the interference from global to local level. This global precedence effect seems to exist in preschoolers, but appears to be sensitive to manipulations of saliency: when the local elements are dense, the global form spontaneously emerges and is prioritized; however, when local elements are sparse, they seem to be processed with priority. The main goal of this thesis is to specify the global/local development by 1) studying the attentional competition between global, intermediate and local hierarchical levels during development and 2) highlighting the central role of inhibitory control when selecting the less salient level.

With a visual search task, we demonstrated that in adults the local level is always disadvantaged during the attentional competition for resources compared to more structural, global and intermediate, levels. Although children showed a similar pattern of results, the selection of the local level was impaired in 5- and 6-year-old children who committed more errors than older children and adults. This result indicates there is a lack of inhibition of the global form in preschoolers. With a negative priming paradigm, we validated the idea that adults and 7-year-old children need to inhibit the global hierarchical level (the most salient one) to select the local hierarchical level (the less salient one). However, when using sparse hierarchical figures, this pattern of results was reversed in 7-year-old children but not in adults. A local inhibition, instead of a global inhibition, seems to be necessary in children when processing sparse figures. Regardless of which level is the most salient at each age, the inhibition process appears necessary to suppress the information at the salient and non-pertinent level in order to select the less salient but most relevant information. Taken together, and with regards to models of attentional selection and inhibition and to dynamic theories of development, these results provide new interpretations and perspectives in the study of the global precedence effect in children and adults.

Key words: development; children; attention; selection; perception; global; local; objet; hierarchical figures; inhibition; salience; pertinence

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	2
RÉSUMÉ ET MOTS-CLÉS.....	4
TABLE DES MATIÈRES.....	5
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	9
PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA THÈSE.....	10
LE DÉVELOPPEMENT DE LA PRÉCÉDENCE GLOBALE: D'UN MODÈLE GESTALTISTE À UNE CONCEPTION DYNAMIQUE ET NON-LINÉAIRE ?	
INTRODUCTION THÉORIQUE.....	20
PARTIE 1. La précedence globale chez l'adulte à la lumière des modèles de la compétition attentionnelle et de l'inhibition	20
CHAPITRE 1. LA COMPETITION POUR L'OCTROI DES RESSOURCES ATTENTIONNELLES.....	21
1- Introduction	22
2- Définition de l'attention sélective	24
3- La sélection attentionnelle : précoce ou tardive ?.....	25
4- La « Feature Integration Theory » de Treisman.....	28
5- La saillance et la capture attentionnelle	32
6- La pertinence: ajuster la sélection en fonction des objectifs.	35
6.1 Données comportementales montrant une modulation de la capture attentionnelle par l'attention volontaire.....	36
6.2 L'attention volontaire biaise la réponse au signal : exemples de modélisations.....	37
6.3 L'attention volontaire biaise la réponse au signal : données neurofonctionnelles chez l'homme	41
CHAPITRE 2. L'INHIBITION: UN MECANISME ESSENTIEL A LA SELECTION ATTENTIONNELLE.....	45
1- Introduction	46
2- L'inhibition dans la sélection attentionnelle : définition et terminologie.	47
3- L'inhibition : un mécanisme permettant de résister à la saillance perceptive.....	49
4- L'inhibition dans les modèles attentionnels.....	53
5- Aspects neurofonctionnels de l'inhibition attentionnelle	55
5.1- Point général sur l'inhibition et ses corrélats neurofonctionnels	55
5.2. Implication d'un réseau pariéto-frontal dans l'inhibition attentionnelle.....	56
5.3. Corrélats neurofonctionnels du phénomène d'inhibition-retour	57

5.4. Corrélats neurofonctionnels de l'effet d'amorçage négatif	58
6- Transition : objet et groupement, un statut particulier dans les phénomènes de sélection et d'inhibition attentionnelles.....	59
6.1. Le statut particulier de l'objet.....	59
6.2. Les groupements	62
CHAPITRE 3. LE BIAIS ATTENTIONNEL GLOBAL	63
1- Introduction	64
2- L'effet de précedence globale : définition.....	65
3- Contraintes psychophysiques sous-tendant la saillance du niveau global.....	66
4- Modèles neurofonctionnels et computationnels du traitement global/local et des fréquences spatiales.....	69
5- Conflit, interférence et compétition entre les niveaux hiérarchiques	72
5.1- L'interférence globale : un effet post-sémantique.....	73
5.2- Types de conflit entre deux niveaux hiérarchiques et niveau d'intervention.....	73
5.3- L'interférence globale et la recherche visuelle.	74
6- Le rôle de l'inhibition dans la résistance à l'interférence du niveau global saillant.	76
7- Transition : le biais global se construit-il au cours du développement?.....	79
PARTIE 2. Sélection/Inhibition attentionnelles et précedence globale: Aspects développementaux	81
CHAPITRE 4. LE DEVELOPPEMENT DE LA SELECTION ATTENTIONNELLE SELON LA COMPETITION : QUEL ROLE DE L'INHIBITION ?	82
1- L'attention, les fonctions exécutives, l'inhibition : leur développement est-il dissociable ?.....	83
1.1 Un facteur général du contrôle exécutif, proche du concept de superviseur attentionnel ?	83
1.2 L'inhibition, un processus dissociable des autres fonctions exécutives ?	84
1.3 L'inhibition, ou LES inhibitions ? Mise en évidence d'un développement différencié selon le type d'inhibition requise.	85
2- La sélection attentionnelle dans un contexte non-compétitif : un développement précoce.....	86
3- La sélection attentionnelle dans un contexte d'interférence ou de compétition.	87
3.1 Le développement des capacités de désengagement attentionnel.....	87
3.2 Le développement des capacités de sélection dans une situation d'interférence	88
3.3 Conclusion	90
4- Dissocier la sélection d'une cible saillante selon le contexte de compétition: l'intérêt des études en recherche visuelle.....	91
Conclusion.....	95
5- Inhiber pour sélectionner une réponse correcte: l'effet d'amorçage négatif au cours du développement.....	96
5.1 L'inhibition mise en évidence dans les tâches attentionnelles.....	96

5.2 L'inhibition comme structure-clé du développement de l'intelligence : l'apport des études en amorçage négatif dans les tâches piagésiennes.....	98
6- Conclusion et Transition : saillance perceptive et compétition attentionnelle, quel impact sur l'ontogenèse du traitement Global / Local ?.....	100
CHAPITRE 5. L'ONTOGENESE DU TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL	103
1- Introduction.....	104
2- Biais global ou biais local chez l'enfant d'âge préscolaire ?.....	106
2.1- Mise en évidence d'un biais global chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire.....	106
2.2 Variabilité de la saillance globale à l'âge scolaire et préscolaire	108
2.3 Le rôle de la densité dans l'émergence d'un biais global chez l'enfant.....	108
2.4 Variabilité du biais global chez le jeune enfant selon la complexité de la tâche et le type de matériel utilisé.....	111
2.5 L'émergence d'un biais global « résistant »: données cérébrales anatomiques.....	112
3- Développement des capacités de sélection globale/locale dans des situations d'interférence et de compétition.....	113
4- Conclusion : développement de l'intelligence, Gestalt et inhibition.....	118
PRÉSENTATION DES OBJECTIFS DE LA THÈSE. Saillance perceptive et inhibition: quel impact sur le développemeny du traitement Global/Local?	123
ÉTUDES EXPÉRIMENTALES	126
AXE 1 : COMPÉTITION ATTENTIONNELLE GLOBALE-LOCALE.....	126
ÉTUDE 1: Le niveau local, le grand perdant de la compétition attentionnelle?	127
1. Introduction.....	128
2. Expérience 1	131
3. Expérience 2	140
4. Expérience 3	143
5. Discussion Générale	152
5.1 Implications concernant la perception globale/locale.....	152
5.2 Implications concernant les modèles attentionnels.....	154
5.3 Implications concernant les fonctions exécutives.....	156
6. Conclusion.....	157
ÉTUDE 2. Sensibilité perceptive et dominance attentionnelle dans le traitement Global/Local au cours du développement	158
1. Introduction.....	159
2. Méthode.....	160
3. Résultats.....	160
4. Discussion.....	168
5. Conclusion.....	173
AXE 2 : L'INHIBITION, UN PROCESSUS AU CŒUR DU TRAITEMENT GLOBAL-LOCAL.....	175

ÉTUDE 3. Mise en évidence de l'inhibition globale lors de la sélection locale: une étude en amorçage négatif chez l'adulte	176
1. Introduction	177
2. Expérience 1	178
3. Expérience 2	183
4. Expérience 3	189
5. Discussion générale	194
ÉTUDE 4. Impact de la saillance sur le contrôle inhibiteur lors du traitement Global/Local: étude comparative entre les enfants de 7 ans et les adultes	197
1. Introduction	198
2. Méthode	200
3. Résultats	203
6. Discussion	212
7. Conclusion	218
DISCUSSION. Rôle de la saillance et de l'inhibition dans le développement du traitement global/local : une conception dynamique et non linéaire.	219
1- Résumé des objectifs et des principaux résultats obtenus.	219
2- Au-delà de la dichotomie globale/locale.....	221
3- Le syncrétisme périel: une réinterprétation en termes d'activation / inhibition.	225
ÉTUDES EN COURS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	229
Perspective 1. Amorçage négatif global/local : une étude en potentiels évoqués (étude en cours).....	229
Perspective 2. Compétition et inhibition lors du traitement global/local (projet de recherche)	237
Perspective 3. Biais global et heuristique « longueur = nombre » (étude en cours).	239
Conclusion.....	242
BIBLIOGRAPHIE	243
ANNEXES.....	279

LISTE DES ABRÉVIATIONS

FIT : Feature Integration Theory

WTA: Winner Take All

TVA: Theory of Visual Attention

LIP: Lateral Intraparietal area

SOA: stimulus onset asynchrony

V1 : Aire visuelle Primaire

MAM: Master Activation Map

CPF : Cortex Préfrontal

CPFDL : Cortex Préfrontal Dorsolatéral

CPFVL : Cortex Préfrontal Ventrolatéral

CCA : Cortex Cingulaire Antérieur

IRMf : Imagerie par Résonance magnétique fonctionnelle

BFS : Basses Fréquences Spatiales

HFS : Hautes Fréquences Spatiales

EEG : Électro-Encéphalogramme

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA THÈSE

LE DEVELOPPEMENT DE LA PRECEDENCE GLOBALE : D'UN MODELE GESTALTISTE A UNE CONCEPTION DYNAMIQUE ET NON-LINEAIRE?

Il n'est pas possible de répartir simplement les fonctions cognitives en perception (« les sens ») et raison, parce que tout le domaine de l'action constitue à la fois le point de départ de la raison et une source d'organisation et de réorganisation continue pour la perception.

Piaget, 1961, p.447.

Lorsque la théorie de la Gestalt (« de la Forme »), prenant en compte l'unité du réel, commença, à la fin du 19^{ème} siècle, à introduire le relativisme (au sens de la relation à une forme) en opposition aux thèses classiques de l'associationnisme et du Béhaviorisme qui réduisaient la pensée et le comportement en modules ou éléments, cela fut dans le champ de la Psychologie une révolution souvent comparée à la révolution de la Théorie de la Relativité en Physique (Piaget, 1961, 2012). La perception et les représentations humaines étaient jusque-là considérées comme le résultat d'un assemblage de parties traitées séparément (théories dites atomistes, élémentaristes ou encore pointillistes) : par exemple, reconnaître sa maison impliquerait de traiter d'abord chaque partie : la porte, les fenêtres, les volets, le toit, etc. puis de les assembler en un ensemble signifiant « maison ». Les théoriciens de la Forme apportèrent un renouveau théorique, basé sur un large corpus de données comportementales, en défendant l'idée suivante : notre perception et nos représentations sont d'abord structurées en ensembles, en un Tout qui est davantage que la somme des parties (théorie dite holistique) (Köhler, 1929; Wertheimer, 1938). Dans *L'Être et le Néant*, Jean-Paul Sartre donne un bel exemple de cette dominance du Tout sur les parties en perception : « Lorsque j'entre dans le café, pour y chercher Pierre, il se fait une organisation synthétique de tous les objets du café en fond sur quoi Pierre est donné comme devant paraître... Chaque élément de la pièce, personne, table, chaise, tente de s'isoler, de s'enlever sur le fond constitué par la totalité des autres objets et retombe dans l'indifférenciation de ce fond, il se dilue dans ce fond.» (Sartre,

1943). Bien que la théorie de la Gestalt ait essentiellement apporté des preuves empiriques dans le champ de la perception visuelle et auditive, l'idée que le Tout précède le traitement des parties s'étend à d'autres domaines. En 1890, Renan proposa une théorie de l'évolution de la connaissance humaine en trois étapes, théorie qui rejoignait la vision gestaltiste de la perception des objets: « De même que le fait le plus simple de la connaissance humaine s'appliquant à un objet complexe se compose de trois actes : 1° Vue générale et confuse du tout ; 2° Vue distincte et analytique des parties ; 3° Recomposition synthétique du tout avec la connaissance que l'on a des parties ; de même l'esprit humain dans sa marche traverse trois états, que l'on peut désigner sous les trois noms de syncrétisme, d'analyse, de synthèse et qui correspondent à ces trois phases de la connaissance » (Renan, 1995). Au début du siècle, sous l'impulsion théorique de la loi de Haeckel (« l'ontogenèse récapitule la phylogenèse »), naît l'idée que l'évolution tripartite de la connaissance humaine pourrait se retrouver de façon accélérée au cours du développement de l'enfant (Claparède, 1907; Sully, 1898). Les psychologues du développement vont alors chercher à retrouver dans le développement de la perception chez l'enfant les trois grandes étapes établies par Renan (1995) : syncrétisme, analyse et synthèse. En réalité, il apparaît difficile à cette époque de mettre en évidence chez l'enfant d'âge préscolaire un avantage pour le tout ou les parties : les études sont en cela contradictoires (Binet, 1890; Binet & Simon, 1908; Claparède, 1907). Néanmoins, ce qui fait l'unanimité, c'est le fait que le jeune enfant ne peut articuler le tout et les parties (Vurpillot, 1972), ce qui rejoint bien la vision d'un syncrétisme précoce. Les psychologues du 20^{ème} siècle vont chercher à caractériser les différentes étapes du développement perceptif et leur âge d'apparition. Plusieurs questionnements théoriques émergent de ces travaux. Tout d'abord, la définition de la perception n'est pas clairement définie : les études portent à la fois sur l'exploration visuelle, les capacités de discrimination, de détection de dissemblances ou de ressemblances, les productions et reproductions de dessins, la catégorisation, et conduisent ainsi à une grande variété de résultats pour lesquels il apparaît difficile d'isoler un facteur causal. Ensuite, le lien entre la perception et les fonctions cognitives de plus haut niveau (intelligence, raisonnement) n'est pas évident. Pour les gestaltistes, l'intelligence est un prolongement de la perception, ces deux domaines cognitifs sont structurés de la même façon, simplement l'intelligence n'est pas contrainte par le champ perceptif (Wertheimer, 1945). Piaget reconnaît quant à lui un rôle essentiel de la perception dans la construction de l'intelligence, du moins aux premiers stades du développement de l'enfant: « les structures de la pensée préopératoire chez le petit enfant (...) sont manifestement plus liées aux configurations perceptives que ce n'est le cas des structures opératoires ultérieures » (Piaget,

1961). Toutefois, pour Piaget, l'intelligence devient, au cours du développement, une intelligence abstraite, portant sur des représentations, des schèmes d'actions intégrées et réversibles (ou « opérations »), elle se détache ainsi peu à peu de l'environnement réel du sujet, du monde perçu des objets concrets. Si la perception guide le développement de l'intelligence dans les premiers temps, elle est également une source d'erreurs. En effet, la perception apporte uniquement un point de vue subjectif, dépendant de la centration du regard, sur l'objet concret, et n'est ainsi pas en mesure d'embrasser toutes les propriétés des objets : « la perception, obligée de procéder pas à pas, par contact immédiat, mais partiel, avec son objet, le déformait (...) tandis que l'intelligence, embrassant en un seul tout un nombre bien plus grand de réalités, selon des trajets mobiles et souples, atteint l'objectivité » (Piaget, 2012).

Bien que Piaget ait décrit avec conviction les différences essentielles entre la perception rigide et irréversible et l'intelligence, il la considère bien, au même titre que les fonctions motrices, comme un facteur « d'incubation » des opérations logiques (Piaget, 2012). Sa conception de l'intelligence conserve d'ailleurs une analogie certaine avec les théories holistiques: « les opérations sont ainsi conçues comme se groupant nécessairement en système d'ensemble comparables aux « formes » de la théorie de la Gestalt » (Piaget, 2012).

Le principal désaccord entre Piaget et les théoriciens de la Gestalt porte sur la description temporelle du développement de l'individu. Alors que les théoriciens de la forme conçoivent des lois de la perception et du fonctionnement mental définies *a priori*, Piaget défend une théorie du développement par paliers ou stades atteints successivement de la naissance à l'adolescence (voir Houdé, 2012) : l'intelligence se construirait par assimilation et accommodation, se développerait de façon linéaire, cumulative et majorante (tout stade correspondant à une nouvelle capacité à coordonner des schèmes acquis précédemment), jusqu'à atteindre une intelligence adulte, c'est-à-dire une intelligence logico-mathématique formelle.

À partir des années 70-80, de nouvelles théories du développement cognitif vont éclore. Leur but est à la fois de rendre compte des décalages développementaux et des différences individuelles que la théorie piagétienne échoue à expliquer, et d'intégrer les données nouvelles issues des théories du traitement de l'information.

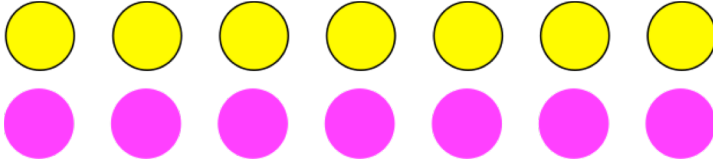
Ces théories néo-piagésiennes vont par ailleurs être influencées par les modèles cognitifs anglo-saxons. Il s'agit alors d'intégrer de nouveaux concepts pouvant rendre compte du développement de l'intelligence chez l'enfant, tels que la mémoire de travail (système permettant de stocker temporairement et de manipuler les informations nécessaires à une

tâche cognitive en cours, Baddeley, 1992) et les fonctions exécutives (permettant l'exécution des conduites, la planification du comportement, et les choix stratégiques, Houdé & Leroux, 2009).

Parmi ces nouvelles théories, celle de Juan Pascual-Leone (Greenberg & Pascual-Leone, 1995; Pascual-Leone, 1989; Pascual-Leone & Bovet, 1966; Pascual-Leone & Goodman, 1979) est particulièrement intéressante puisqu'elle cherche à la fois à intégrer les données issues des travaux de la Gestalt, le modèle piagétien, et les nouveaux apports issus de la psychologie cognitive (Cf. Figure 24, p.120). L'auteur insiste sur le fait que la méthode piagétienne repose sur des situations-pièges, c'est-à-dire de situations conflictuelles. Dès lors, comprendre la façon dont l'intelligence se développe revient à comprendre comment l'enfant résout des conflits. Tout comme Piaget, Pascual-Leone note que la perception conduit parfois à des erreurs : « des schèmes non pertinents sont exacerbés par des facteurs de gestalt situationnels ou perceptifs » (Pascual-Leone, 1989, p. 533, notre traduction). Par exemple, la tâche piagétienne classique de conservation du nombre (Piaget & Szeminska, 1941) a pour but d'évaluer dans quelle mesure un enfant est capable de conserver un invariant de quantité. L'enfant, dans un premier temps, est confronté à deux lignes de longueur égale constituées d'un même nombre de jetons. Puis, sous ses yeux, les pions d'une rangée sont écartés. Jusqu'à environ 6-7 ans, l'enfant désigne la ligne devenue la plus longue comme étant celle dotée du plus grand nombre de jetons, il est « non-conservant » c'est-à-dire qu'il perd l'invariant de quantité lorsque des transformations perceptives sont apportées à l'objet (Cf. Encadré 1).

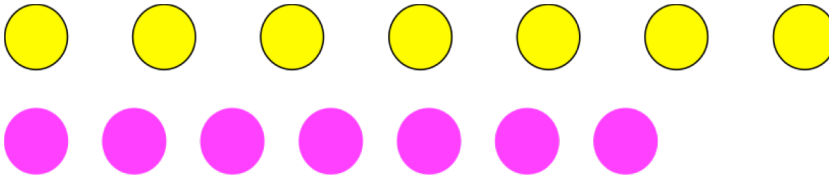
Encadré 1 : La tâche de conservation du nombre

Dans la tâche classique piagétienne de conservation du nombre (Piaget & Szeminska, 1941), des jetons sont d'abord alignés sur deux rangées avec une correspondance terme à terme. Le/la psychologue fait constater l'égalité de la quantité entre les deux rangées à l'enfant.



Puis, les jetons d'une des rangées sont écartés sous les yeux de l'enfant, et on lui demande:

« Y a-t-il plus de jaunes, y a-t-il plus de violets, ou est-ce qu'il y a autant de jaunes et de violets? »



Jusqu'à environ 6-7 ans, l'enfant déclare qu'il y a davantage de jaunes car la rangée des jaunes est la plus grande. La transformation perceptive biaiserait ainsi la réponse de l'enfant, qui n'aurait pas acquis la conservation du nombre, c'est-à-dire l'idée que la quantité ne peut varier que si on ajoute ou enlève des jetons.

Dans sa théorie des opérateurs constructifs, Pascual-Leone (Pascual-Leone & Goodman, 1979) prend en compte les facteurs externes et internes qui biaisent le raisonnement de l'individu. Les réponses à une tâche donnée sont impactées par différents opérateurs, notamment concernant les propriétés physiques des stimuli, les lois d'organisation perceptive, mais aussi des schèmes exécutifs et affectifs. L'ensemble de ces schèmes et opérateurs silencieux est sous contrôle permanent de la capacité M, qui distribue les ressources selon les objectifs de l'individu. Pour Pascual-Leone, la capacité M, pouvant être associée à une capacité de mémoire à court-terme, évolue avec l'âge et permet de rendre compte quantitativement des stades que Piaget avait initialement décrits de façon qualitative. Bien que la théorie des opérateurs constructifs puisse rendre compte d'une certaine variabilité inter- et intra-individuelle, et soit éclairante du point de vue des processus à l'œuvre dans les choix de réponse, elle conserve une vision piagétienne du temps du développement, c'est-à-dire linéaire, cumulative et majorante. En effet, les différences observées avec l'âge seraient dues à l'accroissement quantitatif de la capacité M. Toutefois, comment expliquer dans ce

cadre théorique les résultats d'études de cette époque révélant des incompétences tardives chez les adultes (Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982) ou bien encore des compétences très précoces chez les nourrissons (Baillargeon, Spelke, & Wasserman, 1985; Spelke, 2000) ? En effet, les adultes, supposés avoir atteint le stade des opérations formelles pour Piaget et être dotés d'une capacité M maximale pour Pascual-Leone, font presque systématiquement des erreurs de logique dans certaines tâches (Evans, Barston, & Pollard, 1983) : ces erreurs sont donc une norme et non un simple artefact ou décalage d'un individu par rapport aux autres. Les théories constructiviste de Piaget et néo-constructiviste de Pascual-Leone ne proposent pas d'interprétation claire et systématique de cette incompétence logique de l'adulte, et peinent également à rendre compte des compétences précoces de l'enfant, notamment lorsqu'il dépasse les performances d'un enfant plus âgé ou d'un adulte. Pourtant, dans le domaine perceptif, Piaget (1961) lui-même rapportait le fait que le jeune enfant est souvent moins sensible aux illusions que ne l'est l'adulte : il est ainsi moins sensible à l'illusion d'Ebbinghaus-Titchener¹ (Titchener, 1901), le jeune enfant d'âge préscolaire est également moins biaisé dans la perception des grandeurs projectives (tâche consistant à trouver quelle tige proche a la même longueur qu'une tige placée à plusieurs mètres) que ne le sont les enfant entre 7 et 11 ans et, dans une moindre mesure, les adultes. Dans la conception linéaire et cumulative de Piaget « lorsqu'une réaction diminue d'importance avec l'âge c'est donc qu'un facteur antagoniste se développe » (p.2): ainsi l'adulte serait-il plus sensible à des effets d'illusions que l'enfant parce qu'il aurait développé des connaissances structurantes. Toutefois, on se rend bien compte ici que l'adulte, en développant de nouvelles connaissances, se trompe dans ses jugements rationnels. Les modèles dualistes de la cognition, nés dans les années 80, permettent d'envisager de telles erreurs chez l'adulte, en postulant l'existence de deux systèmes en compétition : 1) un système d'heuristiques ou biais très rapides, utiles au quotidien mais parfois erronées du point de vue logique ; 2) un système composé d'algorithmes lents et coûteux mais corrects du point de vue logique (Borst, Aïte, & Houdé, 2015; Evans, 1984, 2008; Houdé, 1995; Kahneman et al., 1982). Dans ce cadre théorique, les résultats exposés par Piaget (1961) pourraient être ainsi expliqués : le biais perceptif d'illusion (système 1) deviendrait tellement fort à un moment donné du développement que la réponse rationnelle (système 2) ne pourrait plus être activée.

¹ Dans la tâche d'Ebbinghaus-Titchener, les individus sont invités à juger quel cercle est le plus grand parmi deux dont un est entouré de cercles plus petits et l'autre de cercles plus grands. En réalité, les deux cercles font la même taille, mais les individus adultes jugent plus grand l'item entouré de petits cercles.

Mais comment envisager le développement de l'enfant en prenant en compte l'existence de ces deux systèmes ?

Dans les années 90, Olivier Houdé (1995) a élaboré une nouvelle théorie du développement cognitif en lien direct avec les travaux du philosophe épistémologue Michel Serres (1992) qui décrivait alors une évolution non-linéaire de la connaissance humaine et des sciences, traversées selon lui par « des points d'arrêt, des ruptures, des puits, des cheminées d'accélération foudroyante, des déchirures, des lacunes » (Serres, 1992, p.89, cité par Houdé, 1995). Houdé s'appuie également sur les travaux de Siegler (Siegler, 1988; Siegler & Jenkins, 1989) qui avait démontré que l'enfant dispose simultanément de nombreuses stratégies pour répondre à un problème donné, et que ces stratégies peuvent se « chevaucher », c'est-à-dire entrer en compétition les unes avec les autres. Ces nouvelles conceptions, à la fois du « temps des sciences » et du développement cognitif, ont poussé Houdé à proposer une théorie dynamique et non-linéaire du développement cognitif de l'enfant, permettant de rendre compte à la fois des compétences précoces des nourrissons et des jeunes enfants et des incompétences tardives des adultes, rompant ainsi avec la conception linéaire, majorante et hiérarchique de Piaget et Pascual-Leone (Cf. Figure 1). Prenant également en compte l'apport des modèles dualistes de la cognition, Houdé propose l'idée suivante : au cours de la résolution d'un problème, différentes stratégies coexisteraient et seraient en compétition. Les stratégies dominantes ne seraient pas les mêmes selon les âges et les individus. Certaines de ces stratégies dominantes seraient des heuristiques, des biais, pouvant possiblement conduire l'individu à l'erreur. Les mécanismes exécutifs permettraient alors d'inhiber la stratégie inadéquate mais automatique (système 1) pour activer la stratégie adaptée, logique et plus coûteuse (système 2). Les données de cette époque, enrichies par l'apparition de l'imagerie cérébrale, étayaient cette théorie : ainsi, il apparaissait que le contrôle inhibiteur se développait avec l'âge (Bjorklund & Harnishfeger, 1990; Dempster, 1992), en lien avec la maturation du cortex préfrontal sous-tendant ces capacités exécutives (Mrzljak, Uylings, Van Eden, & Judáš, 1991) et les échecs des enfants à des tâches piagésiennes classiques étaient réinterprétés comme une conséquence d'un défaut d'inhibition (Diamond, 1988).

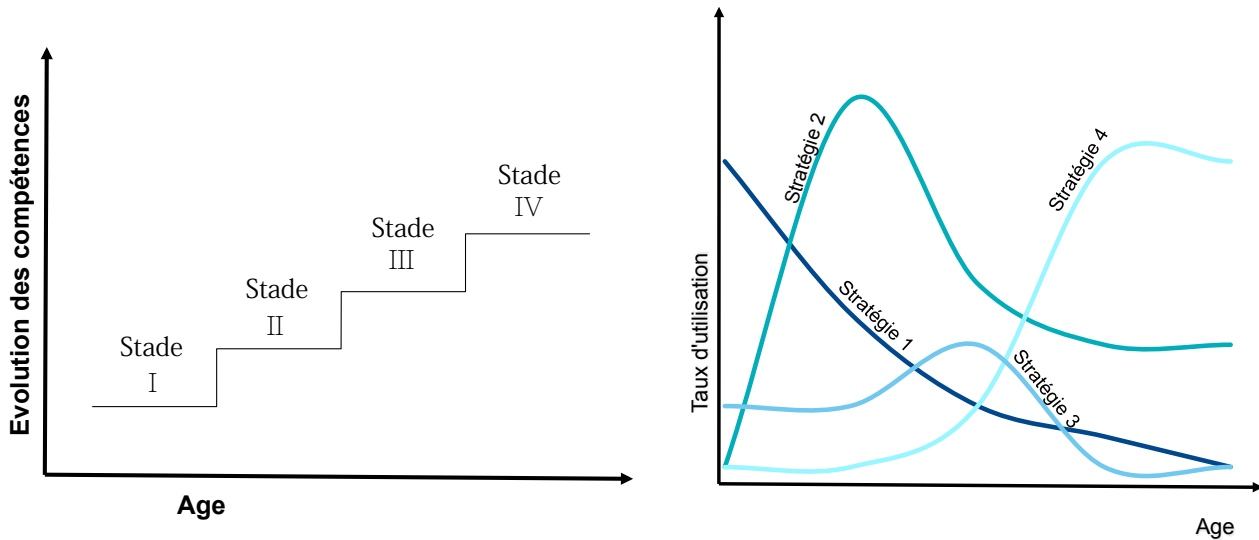


Figure 1. Schématisation de deux conceptions du temps du développement. A gauche, une conception du développement de l'enfant linéaire et cumulative, telle celle de Piaget ou de Pascual Leone : chaque nouvelle connaissance ou structure est acquise sur la base de la structure précédente. A droite, une conception du développement dynamique et non-linéaire telle que celle de Houdé : à chaque âge, différentes stratégies peuvent être activées simultanément, avec des poids plus ou moins forts. Lorsque la stratégie erronée est la plus fortement activée, l'inhibition est nécessaire.

Si une telle vision du développement était, au début des années 90, totalement novatrice et « non-consensuelle » selon les propres mots de l'auteur (Houdé, 1995, *Avant-propos*), aujourd'hui le rôle-clé de l'inhibition dans le développement de l'enfant et les apprentissages est largement reconnu : l'enfant se trompe car il ne parvient pas à inhiber des stratégies dominantes mais erronées, et des traces de ces mécanismes inhibiteurs existent toujours chez les enfants plus âgés ou les adultes qui réussissent la tâche (Borst et al., 2015; Borst, Poirel, Pineau, Cassotti, & Houdé, 2013; Lubin, Vidal, Lanoë, Houdé, & Borst, 2013). Un échec à un âge donné ne signifierait donc pas nécessairement un défaut de connaissance logique, mais plutôt le fait que cette logique serait supplantée par une stratégie heuristique moins coûteuse (Borst et al., 2015; Houdé & Leroux, 2009). Ces heuristiques peuvent être d'ordre perceptif et entrer en conflit avec une logique abstraite (par exemple, dans la tâche de conservation du nombre, l'heuristique est basée sur la longueur perçue des lignes). Cela montre bien que la perception joue un rôle majeur dans notre façon de raisonner et penser le monde : pour comprendre comment se développe la pensée humaine, il semble nécessaire de considérer la perception, les biais qui en émanent, et la façon dont elle interagit avec la pensée au cours du développement. Nous pourrions ici reprendre la comparaison entre la construction d'une intelligence individuelle et l'histoire des sciences : si la simple induction à partir d'observations ne peut conduire à la certitude, l'observation peut toutefois falsifier une théorie scientifique (voir Popper, [1963] 2006), l'évolution scientifique est ainsi un permanent aller-retour entre l'observation et la théorisation. De la même façon, sur le plan

psychologique, la perception et l'intelligence logique seraient intimement liées dans la vie intellectuelle de l'individu (voir Piaget, 1961).

Les importants débats suscités par la théorie gestaltiste il y a plus d'un siècle, associés aux immenses avancées théoriques en psychologie du développement, forment les ancrages historiques de cette thèse. Le but est aujourd'hui d'y associer des données contemporaines portant sur la sélection et l'inhibition attentionnelles afin de répondre aux questions suivantes : une vision moderne, dynamique et non-linéaire, est-elle applicable au développement de la Gestalt (supériorité du tout sur les parties)? Peut-on considérer cette supériorité globale comme un biais de saillance? L'inhibition permet-elle de le dépasser ?

La première partie de cette thèse sera consacrée aux données rapportées de nos jours chez l'adulte. Nous montrerons qu'à l'instar des modèles cognitifs du raisonnement, les modèles attentionnels reposent eux aussi aujourd'hui sur l'idée d'une compétition, qui a lieu à la fois entre les informations sensorielles (priorisation de l'information la plus saillante), mais également entre les informations saillantes et les informations pertinentes (qui correspondent aux objectifs de l'individu). Nous montrerons que l'inhibition est le facteur-clé permettant d'ignorer un élément saillant pour sélectionner une information moins saillante mais pertinente. Nous reviendrons ensuite sur la supériorité du Tout sur les parties, en nous focalisant sur l'effet de précedence globale (une structure globale est plus rapidement détectée/identifiée que les éléments qu'elle contient et interfère avec leur traitement). Nous appuierons l'idée que la supériorité du global sur le local correspond à un biais de saillance, qui entre en compétition avec les objectifs de l'individu lorsque celui-ci a pour consigne de traiter les aspects locaux de l'information visuelle. Nous évoquerons des études qui suggèrent, sans le démontrer directement (ce qui fera l'objet des études de cette thèse), que l'inhibition du niveau global serait nécessaire pour sélectionner un détail de l'information visuelle.

La deuxième partie de cette introduction sera consacrée à des aspects développementaux. Dans un premier temps, nous montrerons que le développement de la sélection attentionnelle dépend du niveau de compétition et d'interférence : l'engagement attentionnel sur une cible saillante ou présentée de façon isolée se développerait précocement alors que les capacités de sélection d'une cible peu saillante dans un environnement compétitif atteindraient un niveau adulte plus tardivement, en lien avec une maturation lente des capacités d'inhibition. Nous présenterons ensuite une revue des données concernant le développement de l'effet de précedence globale, montrant que le biais global est plus variable

chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire que chez l'adulte et que les enfants sont également plus sensibles à l'interférence du niveau le plus saillant sur le niveau le moins saillant.

Les études réalisées durant notre thèse constitueront les deux parties suivantes. Dans un premier temps, nous analyserons les effets de compétition entre plusieurs niveaux hiérarchiques emboîtés (des formes globales, constituées de formes « intermédiaires », elles-mêmes constituées d'éléments locaux), chez l'adulte et chez l'enfant de 5 à 9 ans, grâce à un paradigme de recherche visuelle. Chez l'adulte, une série de cinq expériences nous permettra de montrer que, quelle que soit la taille des figures, le niveau le plus local est toujours celui qui est désavantagé dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Nous montrerons que les enfants sont encore plus désavantagés que les adultes dans la sélection d'une cible locale, ce que nous rapprocherons de difficultés exécutives. Nous rapporterons également des différences non-linéaires de la sensibilité perceptive aux niveaux structurels global et intermédiaire au cours du développement, qui semblent liées à l'apprentissage de la lecture

Dans un second temps, nous présenterons des données issues d'un paradigme d'amorçage négatif (signature cognitive de la mise en œuvre de mécanismes d'inhibition), montrant que l'inhibition est bien impliquée dans la sélection d'une cible au niveau hiérarchique le moins saillant. Chez l'adulte et l'enfant de 7 ans, la sélection d'une cible locale nécessite l'inhibition du niveau global conflictuel lorsque les figures sont denses et respectent les lois de la Gestalt. En revanche, lorsque les figures sont peu denses (niveau global peu saillant), l'avantage global disparaît et l'effet d'amorçage négatif s'inverse chez les enfants en comparaison des adultes, indiquant une inhibition du niveau local et non plus du niveau global.

Nous montrerons que l'ensemble de ces données suggère une modulation (ou relativité) du biais global selon la saillance et la complexité des figures hiérarchisées, et va dans le sens d'un modèle dynamique et non linéaire du développement du traitement global/local.

PARTIE 1 :

**LA PRÉCÉDENCE GLOBALE CHEZ L'ADULTE
À LA LUMIÈRE DES MODÈLES DE LA COMPÉTITION
ATTENTIONNELLE ET DE L'INHIBITION**

Chapitre 1

LA COMPETITION POUR L'OCTROI DES RESSOURCES ATTENTIONNELLES.

RÉSUMÉ : Notre organisme doit faire face en permanence à une multitude d'informations visuelles. Les ressources cognitives étant limitées, seul un nombre restreint de ces informations peut faire l'objet d'un traitement de haut niveau, aboutissant à une réponse de l'organisme. La sélection attentionnelle est le processus cognitif essentiel qui permet d'orienter l'organisme vers l'information d'intérêt. La psychologie expérimentale a cherché à identifier le moment d'intervention de cette sélection, ouvrant le débat entre les théories de filtrage précoce et les théories tardives. À l'issue de ce débat productif, il est apparu que la sélection pourrait en réalité opérer à plusieurs niveaux, rendant nécessaire la caractérisation des étapes de traitement depuis les entrées sensorielles jusqu'à la réponse motrice. La Feature Integration Theory a ainsi montré que la sélection peut avoir lieu rapidement, à un niveau préattentif, ou bien nécessiter une analyse soutenue de l'environnement. Les modèles actuels cherchent à modéliser l'efficacité de la recherche visuelle et la nature de la sélection en identifiant les biais qui influencent la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Certains biais sont issus des caractéristiques psychophysiques des items visuels (forme, taille, couleur...) et capturent l'attention en l'orientant vers les informations les plus saillantes de l'environnement. D'autres dépendent des objectifs des individus et favorisent la sélection des items pertinents. Ces deux types de biais, bottom-up et top-down, interagissent ainsi dans la priorisation des informations.

1- Introduction

L'environnement visuel dans lequel nous évoluons est extrêmement complexe car il comprend à chaque instant une multitude d'informations. Pour agir sur cet environnement, nous devons en permanence en dégager les informations pertinentes, les sélectionner au milieu de toutes les informations qui ne sont pas directement utiles à nos objectifs (Eckstein, 2011). La sélection d'informations visuelles est impliquée dans la majorité de nos activités quotidiennes : par exemple, lorsque nous cherchons notre trousseau de clefs égaré au fond d'un sac, lorsque nous saisissons une pomme dans une corbeille remplie de fruits et légumes, ou encore lorsque nous sélectionnons une icône parmi plusieurs sur une page web ou sur notre téléphone. Il s'agit d'un mécanisme à la base de l'adaptation phylogénétique : pour trouver sa nourriture ou échapper à des prédateurs, une espèce doit pouvoir rechercher et détecter une cible dans son environnement.

Le système attentionnel humain est tellement performant qu'il est encore à ce jour inégalé par les machines. En intelligence artificielle, il est ainsi plus facile de programmer une machine pour qu'elle adopte des réponses logiques et stratégiques de haut niveau (en 1997, le champion d'échec Kasparov s'est incliné devant le programme informatique *Deep Blue*), que de faire en sorte qu'elle perçoive et reconnaisse des objets (Neisser, 1993). Ainsi le Laboratoire Spatial de Berkeley fait-il appel depuis 2006 à des citoyen.ne.s du monde entier pour détecter de minuscules particules interstellaires sur des vidéos qui ont été numérisées à partir d'échantillons prélevés par un vaisseau spatial de la NASA sur une comète (<http://stardustathome.ssl.berkeley.edu/>). Cette tâche est en effet tellement complexe qu'aucun algorithme informatique ne peut la réaliser. Elle nécessite d'identifier un objet défini conceptuellement (dont les traits perceptifs peuvent changer), peu saillant, entouré d'éléments non-pertinents qui lui ressemblent (Cf. Figure 2A).

Cette efficacité de l'être humain dans la sélection d'informations visuelles peut, en contrepartie, le rendre incapable de détecter des événements inattendus dans son environnement. La plupart des accidents de transport sont ainsi liés au fait que les conducteur.trice.s ne remarquent pas un obstacle pourtant visible sur leur trajectoire (Most, Scholl, Clifford, & Simons, 2005). Des études célèbres en psychologie expérimentale ont reproduit ce phénomène en laboratoire et montré que des individus concentrés à compter sur

une vidéo des échanges de balle sont majoritairement incapables de remarquer l'apparition d'un gorille qui traverse le terrain au milieu des joueurs : il s'agit là d'une « cécité d'inattention » (Chabris & Simons, 2015; Simons, 2010; Simons & Chabris, 1999) (Cf. Figure 2B).

a)

b)

Images soumises à droits d'auteur et non reproduites dans la version publique de cette thèse.

Voir les références en légende.

*Figure 2. La recherche visuelle est à la fois très évoluée chez l'humain, capable de détecter des cibles complexes dans des environnements bruités (A: projet Stardust, source : <http://stardustathome.ssl.berkeley.edu/>), et, dans le même temps, elle peut être marquée par une « cécité d'inattention » (B: les participant.e.s doivent compter les passes des joueurs sur une vidéo et ne perçoivent pas le gorille qui traverse la scène, image de Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), p. 1070).*

Ainsi, la sélection d'informations pertinentes est un processus qui semble à la fois très évolué chez l'être humain, mais qui, dans le même temps, peut le conduire à de véritables « aveuglements », parfois dangereux pour sa survie. Ce double-constat peut très bien s'expliquer si on considère, comme c'est le cas depuis les années 50, que notre attention est limitée dans ses ressources (Broadbent, 1958; Lavie & Dalton, 2014). Il y a donc en permanence une compétition pour la sélection entre toutes les informations de notre environnement, et cette compétition est régie par des biais (Desimone & Duncan, 1995). Certaines informations sont ainsi plus saillantes, et se retrouvent privilégiées dans la compétition (Fecteau & Munoz, 2006; Theeuwes, 2010). Les biais attentionnels sont la plupart du temps adaptatifs, utiles dans la vie quotidienne : ainsi, lorsque nous conduisons, un feu rouge, qui est un objet très saillant dans notre environnement, va biaiser la compétition et venir « capturer » nos ressources attentionnelles. Toutefois, il arrive que des informations saillantes soient sélectionnées par défaut, alors qu'elles ne sont pas pertinentes : par exemple, imaginons que vous soyez en train de lire cette thèse dans un train, et que soudainement une personne apparaisse, s'installe sur le siège laissé vacant près de vous, ouvre son sac pour en

sortir un carnet et des stylos, se mette à écrire à grands coups de ratures et d'envolées lyriques ce que vous devinez être un poème passionnel... Au bout de plusieurs minutes, vous vous rendez compte que vous avez suivi ses faits et gestes plutôt que de continuer la lecture de cette thèse, ce qui constituait pourtant votre objectif initial. Il y a là un conflit très net entre une source saillante de distraction et les buts que vous poursuivez.

Dans ce chapitre, nous allons définir la sélection attentionnelle, la recherche visuelle, puis montrer comment la saillance et la pertinence sont intégrées afin de prioriser des informations dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles.

2- Définition de l'attention sélective

Bien que l'attention soit un domaine classique de recherche en psychologie, il s'agit d'une notion difficile à définir et qui s'avère polysémique: Moray (1969) en dénombrait plus de dix usages différents.

La définition proposée par William James (1890), considérant l'attention comme la sélection sous une forme claire et précise d'une information ou d'une pensée et son maintien dans la conscience, est souvent adoptée de façon consensuelle. Bien qu'utile, une telle définition ne doit pas laisser croire à une unicité des processus : l'attention est le plus souvent décomposée en différentes composantes (Posner & Rothbart, 2007), parfois tout aussi polysémiques. Parmi elles, il semble nécessaire d'en distinguer au moins deux : l'alerte, qui permet d'activer et maintenir un état d'éveil permettant une mobilisation accrue des ressources cognitives et l'attention sélective, qui fait l'objet de cette thèse et qui désigne la capacité à donner une priorité de traitement aux informations pertinentes (Serences & Kastner, 2014), conduisant ainsi « à ce qu'une chose plutôt qu'une autre domine notre expérience » (Driver, 2001).

L'attention sélective est une notion étroitement liée à l'idée que les ressources attentionnelles ont une capacité limitée (Broadbent, 1958; Gopher & Navon, 1980; Kinchla, 1980; Neisser, 2014; Treisman, 1960, 1969), et que les informations sensorielles sont en compétition pour être traitées. Le fait d'envisager le système cognitif comme étant limité dans ses ressources est aujourd'hui confirmé par l'imagerie cérébrale, montrant qu'une compétition neuronale a lieu dans différentes aires corticales et pour différentes propriétés (Beck & Kastner, 2009) et par la neurobiologie (Lennie, 2003). Lennie (2003) a ainsi

démontré que seul 1% des neurones peut produire un potentiel d'action dans un même temps, ce qui nécessite de répartir les ressources énergétiques de manière flexible selon le type de tâche. L'organisme a donc tout intérêt à être capable de sélectionner, à moindre coût, l'information la plus utile pour lui.

Mais à quel moment l'attention sélective intervient-elle pour prioriser une information?

3- La sélection attentionnelle : précoce ou tardive ?

Pour Broadbent (1958), le filtre sélectif interviendrait de façon précoce, c'est-à-dire après l'extraction en parallèle des caractéristiques sensorielles et permettrait à un nombre limité d'informations de bénéficier d'un traitement de haut niveau (identification et programmation d'une réponse). Cette proposition théorique a été étayée par de nombreuses données expérimentales, montrant, dans différentes modalités sensorielles, qu'un individu chargé de reporter des informations précises ne parvient pas à reporter d'autres informations présentes au même moment (Cherry, 1953; Mack & Rock, 1998) et que la sélection des informations d'intérêt a lieu avant leur analyse sémantique (Lalor & Tweedy, 1964).

Toutefois, d'autres études ont observé des résultats incompatibles avec la théorie d'un filtrage précoce des informations. Une sélection involontaire des informations que les individus n'ont pas pour consigne de traiter peut se produire si elles sont en lien sémantique avec les informations cibles ou si elles sont importantes pour le sujet (Moray, 1959; Treisman, Squire, & Green, 1974). Ces nouvelles données empiriques ont conduit Deutsch et Deutsch (1963) à proposer un modèle de filtrage tardif : l'attention aurait lieu après les traitements perceptifs et sémantiques et avant l'encodage en mémoire qui aurait une capacité limitée contrairement aux traitements perceptifs. Dans ce modèle apparaît la notion de poids : les informations en reçoivent plus ou moins et seules celles dont le poids dépasse un certain seuil sont sélectionnées pour produire une réponse.

Certaines informations non pertinentes pour une tâche donnée peuvent en effet perturber le traitement de l'information pertinente : c'est ce qu'on appelle des effets d'interférence. Eriksen et Eriksen (1974) ont ainsi montré que les individus sont ralentis dans le traitement d'une lettre centrale si celle-ci est entourée de lettres différentes (tâche des flankers, Cf. Encadré 2, p. 27), et cela est accentué lorsque ces lettres désignent une réponse motrice





différente de celle désignée par la cible. Ces résultats indiquent que des informations distractrices peuvent être traitées jusqu'à un niveau de planification motrice. Les travaux de Tipper (1985, 2001) ont renforcé ce constat en montrant que les temps de réaction augmentent lorsque l'objet à sélectionner est l'objet qui devait être ignoré auparavant en amorce. Cet effet, dit « d'amorçage négatif » (Cf. Chapitre 2, p. 45), va dans le sens d'une sélection attentionnelle tardive : les objets à ignorer seraient tout de même traités, au moins en partie identifiés, puisqu'ils peuvent interférer ensuite sur le traitement des items pertinents pour la tâche. Même lorsque des participant.e.s n'ont pas conscience qu'un distracteur a été présenté durant une tâche, la qualité de leurs réponses est toutefois amoindrie (Most et al., 2001).

Intégrant les différentes données contradictoires de la littérature de l'époque, Treisman (1969), qui avait effectué sa thèse sous la direction de Broadbent, proposa un modèle dit « d'atténuation ». Dans cette perspective, le filtre attentionnel serait bien précoce, mais il ne bloquerait pas le message, il l'atténuerait. Si un item de l'environnement atteint un certain seuil, il peut être traité même si l'individu ne cherche pas consciemment à lui porter attention. Ceci répondrait à un besoin adaptatif des organismes de rester informés de dangers potentiels de l'environnement tout en étant concentrés sur une activité. Ce modèle permet d'expliquer le fait que la présentation du prénom de l'individu puisse capturer son attention (Mack & Rock, 1998; Moray, 1959) : le seuil d'activation serait plus bas pour cet item particulièrement important dans la vie de l'individu.

Un peu plus tard, Kahneman et Treisman (1984) notèrent que l'effet Stroop (l'interférence d'un mot désignant une couleur sur la capacité à donner la couleur de l'encre avec laquelle il est écrit (Cf. Encadré 2), compatible avec les théories de sélection tardive, disparaissait lorsque l'environnement visuel devenait plus chargé. Cela conduisit Lavie (Lavie, 1995; Lavie & Dalton, 2014; Lavie, Hirst, de Fockert, & Viding, 2004) à proposer une théorie dite de la « charge perceptive », proposant que la sélection précoce serait observable avec des environnements visuels chargés alors que la sélection tardive aurait lieu avec des environnements visuels moins chargés quantitativement.

Encadré 2 : Tâches classiques d'interférence

La tâche classique du Stroop permet la mesure de l'interférence d'un processus automatisé (lire un mot) sur un traitement moins automatisé (nommer la couleur de l'encre). Dans la version classique, trois planches sont présentées séquentiellement. La première est constituée de mots de couleur à lire, permettant de vérifier que la lecture est bien automatisée, la deuxième est constituée d'encarts de couleurs qu'il faut nommer, et la troisième est constituée de mots désignant une couleur mais écrits dans une encre de couleur différente qu'il faut nommer. Le temps nécessaire au traitement de chaque planche est mesuré et l'effet d'interférence du Stroop est calculé en soustrayant le temps nécessaire pour le traitement de la planche 2) au temps nécessaire pour le traitement de la planche 3).

1- Planche lecture	2- Planche couleur	3- Planche interférente
VERT JAUNE	 	BLEU JAUNE
VERT ROUGE	 	VERT ROUGE

La tâche classique des *flankers* permet la mesure de l'interférence des distracteurs qui entourent une cible à identifier. Les distracteurs peuvent être congruents (identiques à la cible), neutres (différents de la cibles mais ne correspondant à aucune réponse possible), ou conflictuels (correspondant à une réponse possible). Cette tâche peut être déclinée avec un matériel varié, comme montré dans les deux exemples ci-dessous :

Tâche « R ou B ? »

Situation congruente	Situation neutre	Situation interférente
R R R	K R K	B R B

Tâche « gauche ou droite? »

Situation congruente	Situation neutre	Situation interférente
← ← ←	— ← —	→ ← →

Toutefois, la charge perceptive à elle seule ne suffit pas à expliquer le fait qu'un distracteur puisse ou non capturer l'attention. Par exemple, à charge perceptive égale, la capacité des items à être perçus peut varier : une personne concentrée sur une tâche parvient à détecter l'apparition de son prénom, mais ce n'est plus le cas si une seule lettre du prénom est modifiée (Mack & Rock, 1998). Le niveau de sélection dépendrait ainsi surtout des propriétés de la cible et des distracteurs présents. Le système cognitif fonctionnerait de façon à minimiser l'effort au maximum : si cela est possible, il filtrerait les stimuli précocement, mais

sinon il les filtrerait à un niveau plus tardif. Les effets d'interférence seraient ainsi un index de la difficulté de sélection, liée à une faible efficacité de la ségrégation entre une information pertinente et des informations non-pertinentes. Dans ce cas, le filtrage des distracteurs serait tardif, conduisant ainsi à une augmentation des erreurs ou des temps de réponse (Allport, 1989).

Le débat concernant le moment d'intervention du filtre sélectif dure depuis plus de quarante ans (Driver, 2001). Néanmoins, comprendre le fonctionnement de la sélection attentionnelle ne peut se réduire à dessiner la fenêtre temporelle à laquelle elle interviendrait. En réalité, la sélection attentionnelle de l'information est le résultat final de nombreuses opérations que les modèles attentionnels cherchent à qualifier et à articuler.

La base théorique de la plupart des modèles attentionnels contemporains repose sur les travaux initiaux de Treisman (Treisman, 1993; Treisman & Gelade, 1980) en recherche visuelle. Qu'ils prolongent ses idées ou qu'ils les déconstruisent, les modèles attentionnels ne peuvent pas faire l'impasse sur l'ensemble des données scientifiques qui a été produit dans le cadre de cette théorie.

4- La « Feature Integration Theory » de Treisman

La Feature Integration Theory (FIT) élaborée par Treisman (Bouvier & Treisman, 2010; Treisman, 1993, 1998; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Paterson, 1984) puise ses sources dans un phénomène étonnant dont la plupart des individus font l'expérience au cours de leur vie. Par exemple : 16 heures sonnent, vous avez faim et décidez de prendre comme en-cas une des magnifiques pommes rouges que vous aperçues un peu plus tôt dans la corbeille de fruits trônant dans la salle de réunion, mais arrivé.e devant cette corbeille vous vous apercevez qu'il n'y a là en réalité que des pommes vertes... en revanche, il y a aussi dans la corbeille des cerises, qui elles sont bien rouges. Ce qui vient de se produire est une conjonction illusoire, vous avez erronément associé ensemble des caractéristiques appartenant pourtant à des objets différents (la forme « pomme » et la couleur « rouge »). Vous étiez probablement préoccupé.e lorsque vous êtes passé.e devant cette corbeille la première fois, ou alors vous ne l'avez fixée que très brièvement. Ce phénomène, très étudié en psychologie expérimentale (Hazeltine, Prinzmetal, & Elliott, 1997; Prinzmetal, Presti, & Posner, 1986; Treisman & Paterson, 1984; Treisman & Schmidt, 1982; Tsal, Meiran, & Lavie, 1994), a

conduit à l'idée principale défendue par Treisman et Gelade (1980) : les caractéristiques primaires des objets (forme, couleur, taille, luminance) seraient extraites en parallèle et traitées de façon pré-attentive, conformément à ce que proposait initialement Broadbent (1958). La nouveauté de la FIT consiste à proposer que ces caractéristiques primaires « flotteraient » librement dans l'espace (*free-floating*) et que l'attention sélective serait le mécanisme qui permettrait de rattacher les différentes caractéristiques primaires de l'objet à une localisation. Cette idée fut appuyée par toute une série d'expériences en recherche visuelle. Dans ce type de tâche, les participant.e.s recherchent une cible au milieu de distracteurs dont le nombre est manipulé. Lors d'une *feature task* c'est-à-dire lorsque la cible diffère des distracteurs sur la base d'une seule caractéristique primaire (forme, couleur, taille, luminance etc.), le temps de détection est constant quel que soit le nombre de distracteurs. Treisman et Gelade (1980) appellent ce type de recherche « parallèle », et qualifie la cible de « *pop-out* » : elle « saute aux yeux ». En revanche, lors d'une *conjunction task* c'est-à-dire lorsque la cible est déterminée par une conjonction de plusieurs caractéristiques primaires (considérer par exemple la forme et la couleur), le temps nécessaire à la détection augmente linéairement avec le nombre de distracteurs : ce type de recherche est dite « sérielle » (Treisman & Gelade, 1980) (Cf. Figure 4).

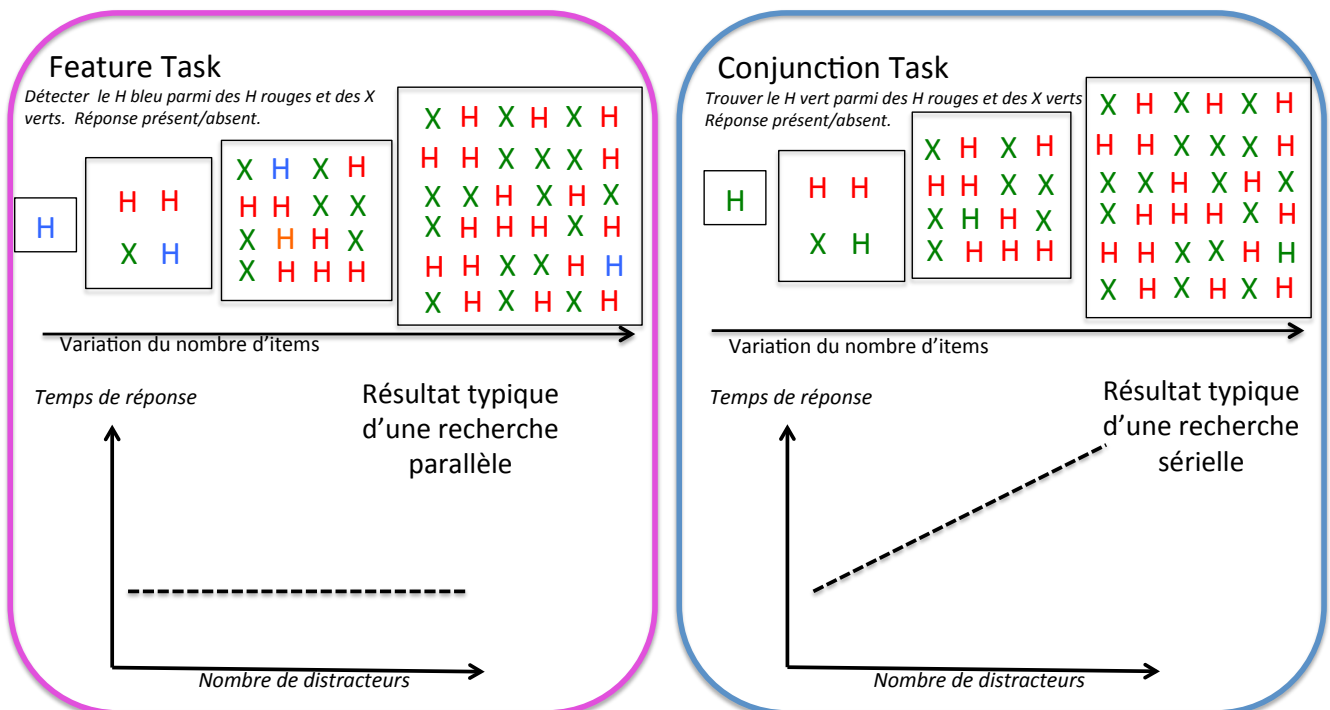


Figure 3. Adaptée du paradigme proposé par Treisman & Gelade (1980). En rose: une tâche de type feature. La cible (H bleu) diffère des distracteurs (X vert et H rouge) sur la base d'une caractéristique primaire (couleur). Dans ce cas, on observe une recherche sérielle, c'est-à-dire des temps de réponse constants quel que soit le nombre de distracteurs. En bleu: une tâche de type conjunction. La cible (H vert) diffère des distracteurs (H rouge et X vert) par une conjonction de deux caractéristiques primaires (forme et couleur). Dans ce cas, on observe une recherche linéaire, c'est-à-dire que les temps de réponse augmentent de façon constante avec le nombre de distracteurs.

Ces données renforcent l'hypothèse théorique des auteur.e.s : les caractéristiques primaires seraient traitées de façon préattentive, en parallèle et avant tout filtrage sélectif. En revanche l'association de caractéristiques primaires nécessiterait une sélection spatiale de l'information (Cf. Figure 4). Dans cette perspective, l'attention sélective est donc spatiale, ce qui rejoint une position majoritaire de cette époque (LaBerge & Brown, 1989; Posner, 1980). L'attention spatiale est conçue comme un faisceau qui sélectionnerait des parties du monde visuel, avec l'idée que les items présents dans ce faisceau seraient plus rapidement détectés que les items en dehors de ce faisceau: pour sélectionner une cible, l'attention devrait ainsi s'orienter spatialement vers elle (Posner, 1980). Dans la théorie de LaBerge et Brown (1989), les ressources attentionnelles sont distribuées de manière graduelle dans l'espace : à mesure que les informations visuelles s'éloignent du point de la focalisation attentionnelle, elles bénéficient d'un traitement moins profond. Dans tous les cas, le mouvement attentionnel « *covert* » serait un prérequis au mouvement oculaire « *overt* » qui permet de centrer l'information intéressante au niveau fovéal afin que sa perception soit la plus précise possible (Deubel & Schneider, 1996).

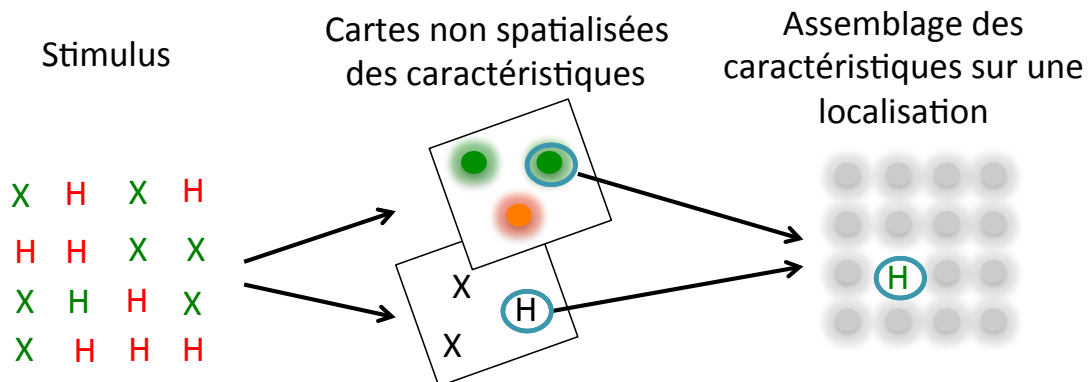


Figure 4. Schématisation de la Feature Integration Theory de Treisman & Gelade (1980). La scène visuelle se décompose en caractéristiques primaires qui flottent dans l'espace durant le traitement préattentif. Elles sont ensuite combinées spatialement entre elles.

La FIT dans sa conception de 1980 a été un modèle incontournable, capable de rendre compte d'un nombre important de données. Toutefois, certains résultats sont incompatibles avec cette théorie. Ainsi, Wolfe, Cave et Franzel (1989) ont montré qu'une cible différente des distracteurs sur la base d'une conjonction de caractéristiques peut être traitée de façon *pop-out* dans certaines circonstances, phénomène incompatible avec la FIT. Treisman elle-même (Treisman & Gormican, 1988) montra qu'une cible différente des distracteurs sur la base d'une seule caractéristique peut être détectée de façon sérielle lorsque sa similarité avec les distracteurs est forte, par exemple si la cible a une couleur légèrement différente.

Par ailleurs, une remise en question de la distinction dichotomique entre traitement parallèle et traitement sériel apparût nécessaire. En effet, la pente de recherche² d'une cible est parfois considérée parallèle parce que faible : par exemple une recherche de 5 millisecondes par item ajouté pourrait être considérée comme une recherche sérielle extrêmement rapide plutôt que comme une recherche parallèle, ou bien encore comme une combinaison de ces deux types de recherche (Townsend, 1990). Pour ces raisons, les études actuelles utilisent plutôt les termes « recherche efficiente » ou « inefficente » ou « moins efficiente », ce qui permet de caractériser les pentes de recherche les unes par rapport aux autres plutôt que de manière absolue (Eckstein, 2011; Wolfe, 2007). Wolfe (1994, 2007, 2014; Wolfe et al., 1990, 1989) a repris les principes de base de la FIT en y ajoutant l'idée que l'étape préattentive permettant l'extraction de caractéristiques primaires guiderait la recherche sélective et spatiale subséquente. Les recherches parallèle et sérielle sont alors conçues comme les extrémités d'un continuum dans la guidance attentionnelle. Prenons l'exemple de la recherche conjonctive de la Figure 3: la cible à rechercher étant verte, l'étape préattentive pourrait permettre de guider la recherche sélective uniquement vers les items verts, et seuls ceux-ci devraient alors être explorés minutieusement jusqu'à la découverte du H vert.

Un certain consensus commença à apparaître, permettant de rendre compte des résultats qui divergeaient des prédictions de la FIT : ce serait la saillance de la cible par rapport aux distracteurs (i.e., sa «distinguabilité»), plutôt que le nombre de caractéristiques nécessaires pour les différencier, qui serait le facteur-clé entraînant une recherche parallèle ou sérielle (Desimone & Duncan, 1995; Wolfe, 2007).

² La pente de recherche correspond à la vitesse de détection d'une cible au regard du nombre d'items présentés simultanément à l'écran. Une recherche sérielle correspond à une pente linéaire : le temps nécessaire à la détection de la cible augmente à chaque ajout de distracteur, avec une amplitude constante. Une recherche parallèle correspond à une pente plate : la cible est détectée à la même vitesse quel que soit le nombre de distracteurs présentés simultanément.

5- La saillance et la capture attentionnelle

Duncan et Humphreys (1989), en réalisant plusieurs expériences, caractérisèrent deux principes de l'efficacité en recherche visuelle : 1) l'efficacité de la recherche chute lorsque la ressemblance entre la cible et les distracteurs augmente ; 2) l'efficacité de la recherche chute lorsque la similarité entre les distracteurs diminue. Ainsi, une cible *pop-out* au milieu de distracteurs homogènes peut ne plus l'être au milieu de distracteurs hétérogènes (i.e., qui ne sont pas identiques). L'efficacité de la recherche visuelle dépend donc à la fois des caractéristiques psychophysiques de la cible, mais également de celles des distracteurs. Pour Theeuwes (1992), les objectifs liés à la tâche ne peuvent influencer l'étape préattentive définie dans la FIT. L'auteur base cette idée sur les résultats obtenus à partir d'un paradigme de « *singleton* ». Dans ce paradigme, les participant.e.s réalisent une tâche de recherche de type *feature* (trouver un losange vert parmi des cercles verts) au cours de laquelle peut apparaître un distracteur qui se distingue des autres, mais pas sur la même caractéristique que la cible (par exemple, un cercle rouge). Or, l'apparition de ce distracteur vient perturber la sélection de la cible. Pour Theeuwes (1992, 2010), le fait que les participant.e.s soient biaisé.e.s par la couleur rouge alors qu'ils recherchent un losange vert démontre que les objectifs de la recherche ne peuvent pas influencer l'étape préattentive (qu'il a estimé aux 150 premières millisecondes après l'apparition des items).

Ces données empiriques correspondent à un phénomène que l'on qualifie aujourd'hui de saillance. Itti et Borgi (2014), dans une revue de littérature récente, définissent la saillance ainsi : « elle repose sur une accentuation, visible sur le plan comportemental, de la représentation neurale et perceptive des localisations pour lesquelles les statistiques visuelles diffèrent significativement des statistiques des images voisines » (p. 1126, notre traduction). Ainsi, la saillance correspond à la force de la différence perceptive entre un objet visuel et ses voisins, c'est-à-dire au fait qu'elle soit distinguable. Elle est traditionnellement associée à des processus dits *bottom-up* ou *stimulus-driven* (« ascendants », « guidés par les stimuli », donc dépendants des caractéristiques psychophysiques des informations visuelles).

Koch et Ullman (1985) furent les premiers à postuler dans leur modèle l'existence d'une carte de saillance, qui recevrait des informations directement de la carte des caractéristiques

telle que décrite dans la FIT. Cette carte des saillances modulerait la recherche visuelle : la localisation la plus saillante serait ainsi celle sur laquelle se porterait la sélection. Ce modèle prend en considération les résultats observés par Posner (1980). Dans sa tâche classique d'indilage spatial, deux emplacements d'apparition de la cible sont possibles. Si un de ces emplacements est indicé, par surbrillance par exemple, l'attention est automatiquement dirigée vers lui, même si cet indice périphérique est non prédictif (c'est-à-dire qu'il donne une indication fautive dans la moitié des cas). Ce type d'attention est qualifié d'« exogène » par Posner (et s'oppose à l'attention « endogène », volontaire et mesurable par des indices prédictifs et centraux, Cf. Figure 5). Il résulte de l'indilage exogène un temps de détection de la cible plus rapide si elle apparaît bien à l'emplacement indicé, et plus lent si elle apparaît sur l'autre emplacement. Dans ce dernier cas, un processus de désengagement de l'attention serait nécessaire avant une réorientation correcte vers la cible. Ces résultats semblent indiquer que certaines propriétés des objets sont capables de « capturer » l'attention des sujets de façon involontaire.

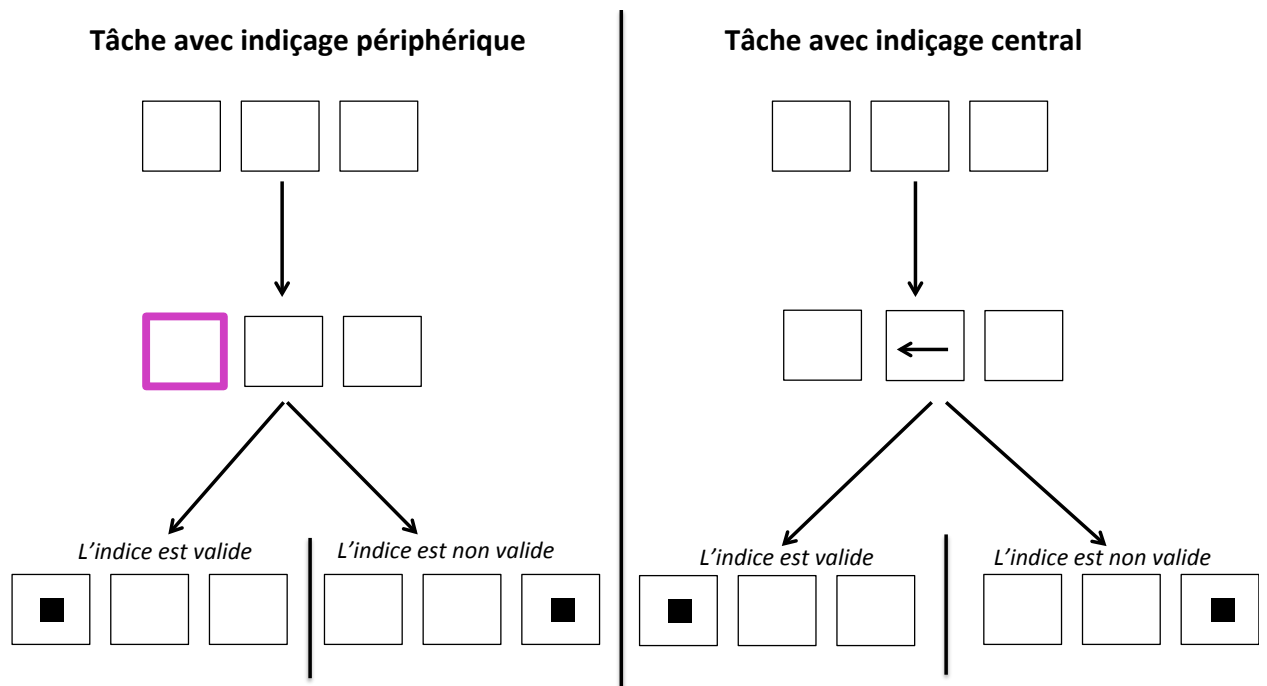


Figure 5. Tâche d'indilage spatial telle qu'employée par Posner (1980). Un indice est présenté, soit de façon périphérique (par exemple, par surbrillance), soit de façon centrale. Lorsque l'indice est présenté de façon périphérique, il capture l'attention. Les temps de réponse sont accélérés si la cible apparaît immédiatement après à la même localisation (indice valide), et ralentis si elle apparaît sur l'autre localisation (indice non-valide).

Le même phénomène serait en jeu dans des tâches de recherche visuelle lorsqu'une cible est détectée de façon *pop-out* : dans ce cas, une de ses caractéristiques capturerait l'attention

(par exemple, la couleur bleue), et cette capture serait ensuite validée car elle correspondrait aux objectifs de la tâche (trouver le H bleu). Dans le modèle de Koch et Ullman, l'attention sélective s'oriente vers l'élément le plus saillant, et si cet élément n'est pas celui recherché, elle s'oriente ensuite vers le deuxième élément le plus saillant. C'est un modèle qui conçoit le réseau attentionnel comme « *winner-take-all* » (WTA, « le gagnant reçoit tout ») (Cf. Figure 6).

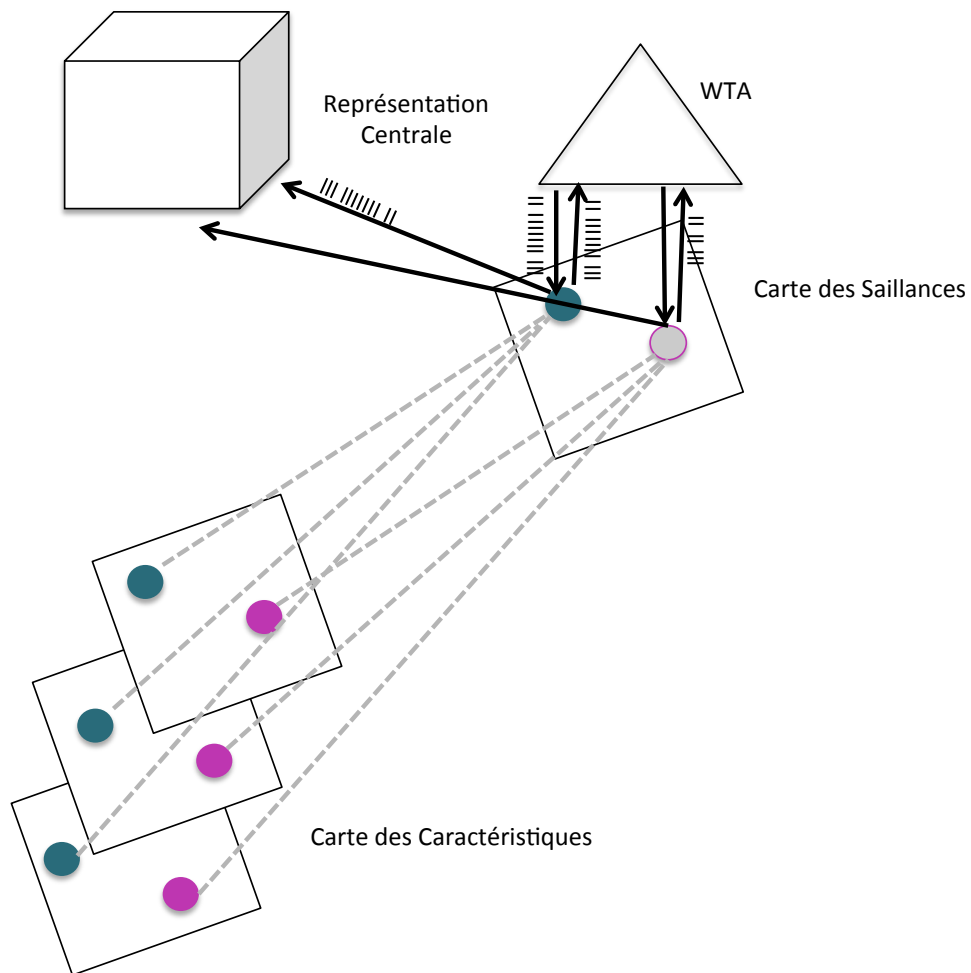


Figure 6. Modèle de Koch & Ullman 1985. Dans chaque carte de caractéristiques, certains éléments apparaissent plus saillants (sur la base de la couleur, de la forme, du mouvement, etc.). Ces informations sont transmises à une carte de saillances qui tient compte de toutes les cartes et attribue à chaque objet un poids général. Un processus winner take all (WTA) sélectionne la localisation (ici le point bleu) pour laquelle la saillance est la plus importante et fait parvenir ses propriétés à la représentation centrale du sujet.

Itti et al (1998) ont repris ce modèle, en y rajoutant notamment un opérateur de normalisation, qui ajuste les activations neuronales sur la carte de saillance afin de valoriser les localisations spatiales qui se démarquent des autres. Ainsi, cet opérateur de normalisation permet d'ajuster les poids des différents items par rapport au contexte, c'est-à-dire qu'il privilégie l'attribut (couleur, orientation, taille etc.) qui permet le plus de distinguer la cible

des distracteurs, rendant compte du critère essentiel de « distinguabilité » de la carte des saillances. Ce modèle a été jusqu'à récemment repris et amélioré dans le champ des sciences computationnelles (Harel, Koch, & Perona, 2006; Le Meur, Le Callet, Barba, & Thoreau, 2006) où le concept de carte de saillance est aujourd'hui largement reconnu et employé (voir les revues de littérature de Fecteau & Munoz, 2006; Itti & Borji, 2014).

De tels modèles computationnels, basés uniquement sur les caractéristiques des stimuli, permettent de rendre compte de comportements quelle que soit la tâche que les individus sont amenés à résoudre. Leurs prédictions quant aux stratégies d'exploration des images peuvent être excellentes : ainsi Harel et al. (2006) parviennent-ils à expliquer 98% des comportements oculaires lors du visionnage de photographies. Toutefois, des données suggèrent également l'implication de processus descendants (*top-down*), c'est-à-dire dépendants de la tâche et des objectifs des individus, dès les traitements sensoriels de bas niveau.

Comme l'ont souligné Corbetta et Shulman (2002), « dans la vie réelle, la saillance des objets est influencée par leur pertinence comportementale. Par exemple, si vous cherchez dans une foule un ami qui porte un chapeau rouge, vous allez davantage remarquer les gens qui portent des habits rouges, et moins les gens qui portent d'autres couleurs. La « distinguabilité » sensorielle des objets rouges interagit avec les objectifs *top-down* consistant à trouver un objet rouge. Les premières études ont proposé que les stimuli sensoriels distincts attireraient l'attention automatiquement, indépendamment de l'intention ou de la tâche en cours, mais les études récentes sont revenues sur cette idée » (p. 208, notre traduction).

6- La pertinence: ajuster la sélection en fonction des objectifs.

Comme il a été souligné dans différents articles (Fecteau & Munoz, 2006; Serences & Yantis, 2006), une ambiguïté dans l'usage du terme « saillance » existe dans la littérature sur l'attention : elle est parfois employée de façon interchangeable avec la notion de pertinence. Pour éviter cette ambiguïté, il est proposé que le terme de saillance soit utilisé pour évoquer spécifiquement la « distinguabilité » d'un item, donc ses propriétés intrinsèques, et que le terme de pertinence soit utilisé pour évoquer les connaissances de l'individu sur la cible à rechercher, donc des processus *top-down*. La notion de « priorité » a été proposée pour intégrer la combinaison des effets *bottom-up* de la saillance et *top-down* de la pertinence. Cette terminologie sera respectée tout au long de cette thèse.

6.1 Données comportementales montrant une modulation de la capture attentionnelle par l'attention volontaire

Bien que l'existence d'une capture involontaire de l'attention liée à la saillance ait été retrouvée dans de nombreuses tâches, un grand nombre de données révèlent une modulation de cette capture par l'attention volontaire. Par exemple, si des individus doivent détecter parmi trois carrés de tailles différentes celui qui a une ouverture latérale (chaque carré étant cible de façon aléatoire), alors le grand carré est détecté plus rapidement que le moyen, lui-même détecté plus rapidement que le petit. En effet, l'objet le plus grand (ici le plus grand carré) est plus saillant. Toutefois, si la cible est plus fréquemment le petit carré, alors les temps de détection s'inversent : le petit carré est détecté plus rapidement que le moyen lui-même détecté plus rapidement que le grand (Michael, Fernandez, & Vairet, 2007). Cette expérience montre que les objectifs des observateurs modulent les stratégies de recherche visuelle. Les objectifs impactent également la capture par la saillance : ainsi, un distracteur d'apparition soudaine ne capture plus l'attention si un indice endogène valide est présenté 200 ms avant son apparition (Yantis & Jonides, 1990). Folk et al. (1992) ont montré que seules les caractéristiques qui sont recherchées de façon endogène peuvent capturer l'attention : un indice rouge aura un effet facilitateur s'il est valide et un effet interférent s'il est non-valide uniquement si la cible se démarque des distracteurs par sa couleur, mais pas si elle se démarque des distracteurs sur la base d'une autre caractéristique (Cf. Figure 7).

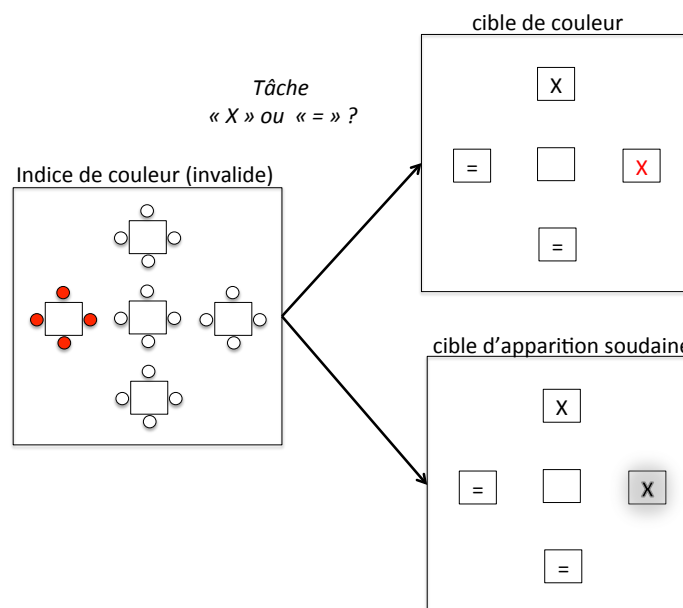


Figure 7. Paradigme employé par Folk et al. (1992, expérience 2). L'indice (ici, invalide) est rouge. La cible peut soit partager la caractéristique de l'indice (rouge) soit se démarquer des distracteurs par une autre caractéristique (apparition soudaine). L'indice invalide rouge altère la réponse à la cible rouge et non à la cible d'apparition soudaine.

Comme l'ont souligné Most et al. (2001), il est difficile de séparer totalement la capture attentionnelle de l'attention volontaire : ainsi, dans les tâches de recherche visuelle (Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 2014), les participant.e.s connaissent au préalable l'objet à identifier, une préparation attentionnelle serait donc possible. De la même façon dans les études de Theeuwes (1992, 2010), les participant.e.s recherchent un objet unique, et cela peut expliquer que le *singleton* (distracteur unique, se démarquant des autres) capture l'attention. Dans leur série d'expériences, Most et al. (2001) ont contrôlé l'impact de l'attention endogène sur la capture en ne prévenant pas les participant.e.s qu'un item (distracteur) critique allait apparaître durant la tâche. Dans ce cas, les chances que l'item critique soit détecté étaient plus grandes s'il partageait des caractéristiques (forme ou couleur) avec les items liés à la tâche principale. Si l'item critique était saillant, unique, il était certes mieux détecté, mais néanmoins pas systématiquement. La saillance seule ne favoriserait donc pas automatiquement la détection : les objectifs volontaires des individus pourraient la moduler.

6.2 L'attention volontaire biaise la réponse au signal : exemples de modélisations

À partir des années 90, les modèles computationnels ont tenté d'intégrer cette influence *top-down*, liée aux objectifs de la tâche, avec les caractéristiques de saillance des entrées visuelles. Milanese et al (1994) ont ainsi repris le modèle de Koch et Ullman (1985) en y intégrant un système *top-down* recevant des informations à tous les stades du traitement sensoriel et modulant les cartes d'intégration *bottom-up* des caractéristiques. Wolfe (1994), en se basant sur la FIT de Treisman, défendait l'idée que les caractéristiques primaires guident la recherche sélective. Dans son modèle, des processus *top-down*, basés sur la catégorisation, attribuent un poids supplémentaires aux informations d'intérêt pour chaque caractéristique (par exemple « vertical » pour les orientations et « rouge » pour les couleurs). Ces poids *top-down* sont associés aux activations *bottom-up* sur une carte générale des activations.

Desimone et Duncan (1995) ont été les premiers à mettre la compétition au premier plan d'un modèle attentionnel. Pour eux, dans les tâches de recherche visuelle, ce qui a lieu est un phénomène de compétition entre les cibles et les non-cibles. Cette compétition est biaisée par des mécanismes *bottom-up* (saillance) et par des mécanismes *top-down* qui permettent la sélection des objets selon leur pertinence par rapport aux objectifs du sujet. Selon les tâches, les biais *top-down* peuvent porter sur une localisation spatiale, une caractéristique des objets

ou bien une conjonction de différentes caractéristiques. Dans tous les cas, ils sont définis par la description des objets pertinents. Cette description à court-terme a été appelée « *template* attentionnel » (Desimone & Duncan, 1995; Duncan & Humphreys, 1989), et pourrait être vue comme un aspect de la mémoire de travail, permettant le stockage temporaire des informations en vue de leur traitement (Baddeley, 1992). Si la cible est fortement discriminable, les distracteurs ne vont pas correspondre aux critères du *template*, ce qui va entraîner des phénomènes *pop-out*. En revanche, si les distracteurs ressemblent à la cible, celle-ci va être détectée plus lentement car les biais *top-down* ne suffiront pas à les filtrer (Cf. Figure 8). Desimone et Duncan (1995) ont refusé les définitions purement spatiales de l'attention, métaphorisée en faisceau (Posner, 1980) ou en gradient (LaBerge & Brown, 1989). Pour eux, le fait d'avoir des connaissances a priori sur la localisation de la cible n'est qu'un facteur parmi tous les facteurs qui peuvent venir biaiser la compétition en faveur de la cible. Aussi décrivent-ils l'attention comme un processus général, une propriété lente qui permettrait de gérer les interactions compétitives ayant lieu en parallèle sur tout le champ visuel.

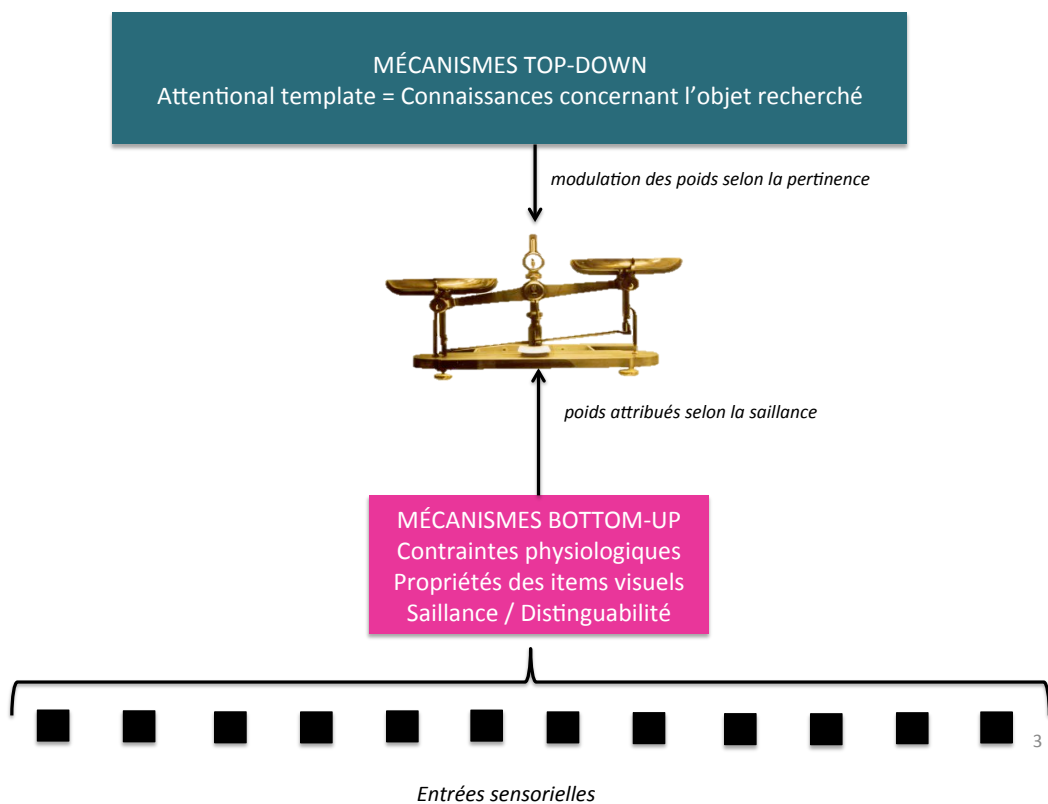


Figure 8. Schématisation du modèle de Desimone et Duncan (1995). Tous les items du champ visuel sont en compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Cette compétition est biaisée à la fois par des processus bottom-up, attribuant davantage de poids aux informations les plus saillantes, et par des processus top-down, attribuant davantage de poids aux informations pertinentes.

Les modèles actuels sont plus précis quant à la façon dont les mécanismes top-down agissent sur la sélection de la cible. La TVA (*Theory of Visual Attention*, Bundesen & Habekost, 2014), est une formalisation mathématique du modèle de la compétition biaisée. La limitation des ressources serait liée au faible nombre de catégories visuelles pouvant être traitées par la mémoire visuelle à court-terme. La compétition qui en découle est biaisée par des poids attentionnels et des biais perceptifs et leur interaction est définie par deux équations permettant de calculer à la fois le poids de chaque objet et la vitesse de la sélection.

Pour Navalpakkam et Itti (2006), les connaissances préalables (le template attentionnel de Desimone et Duncan, 1995) porteraient à la fois sur les cibles et les distracteurs et permettraient d'augmenter le signal bottom-up de la cible par rapport au bruit, et ainsi d'accélérer la détection de la cible. L'attention top-down donnerait du gain au signal au profit à la fois d'une caractéristique par rapport aux autres d'une même dimension (par exemple, privilégier le rouge par rapport au vert sur la carte des couleurs), et à la fois entre les dimensions (privilégier la couleur par rapport à l'orientation). Ce modèle, testé sur les tâches classiques en recherche visuelle et sur des scènes naturelles (par exemple, détecter un téléphone portable sur un bureau jonché d'éléments, Cf. Figure 9) prédit mieux les résultats des individus qu'un modèle intégrant uniquement la saillance *bottom-up*.

Image soumise à droits d'auteur et non reproduite dans la version publique de cette thèse. Voir la référence en légende.

Figure 9. Apports d'une modélisation prenant en compte les objectifs et les connaissances des individus.

A) Photographie initiale: une cible doit être détectée (téléphone indiqué par la flèche jaune) au milieu de distracteurs après une session d'entraînement qui a permis une familiarisation à la fois sur la cible et sur les distracteurs

B) Carte de priorité prédite par un modèle ne prenant en compte que les données sensorielles bottom-up

C) Carte de priorité prédite par le modèle de Navalpakkam & Itti (2006) ajoutant au B) les objectifs et connaissances préalables de l'individu.

Image : Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006). An Integrated Model of Top-Down and Bottom-Up Attention for Optimizing Detection Speed. In 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Vol. 2, p. 2049-2056).

Dans ce modèle, on voit clairement que l'efficacité de la recherche visuelle dépendrait d'un ratio entre le signal émanant de la cible et le bruit, c'est-à-dire le signal émanant des

distracteurs. L'attention endogène est alors perçue comme un mécanisme qui module les signaux entrants. Certains modèles cherchent à décrire la façon dont le signal est modulé. Dans une revue de littérature, Verghese (2001) rapporte l'existence de trois types de modèles de la détection de signal. Pour les premiers l'attention endogène accentuerait la saillance de l'information cible (*signal enhancement*). Ainsi, la direction de l'attention vers une cible augmente la sensibilité à son contraste (Carrasco, Penpeci-Talgar, & Eckstein, 2000; Liu, Abrams, & Carrasco, 2009). Pour les deuxièmes, l'attention endogène agirait sur la réduction du bruit en affinant le filtrage des informations (*noise reduction*). Doshier et Lu (2000) proposent ainsi que l'indiciage endogène entraînerait essentiellement une réduction du bruit ; l'accentuation du signal cible existant surtout dans des environnements peu bruités. Verghese (2001) propose un troisième type de modèle, prenant en compte à la fois l'augmentation du signal et la réduction du bruit : « l'attention améliore la recherche visuelle en augmentant les réponses à la cible et en excluant les distracteurs » (p.534, notre traduction).

L'ensemble de ces modélisations s'appuie sur les données électrophysiologiques obtenues chez le singe : l'attention volontaire modulerait les réponses neuronales dès les aires visuelles de bas niveau (en augmentant le signal et en réduisant le bruit), mais dans une moindre mesure que sur les aires associatives, et interagirait avec la saillance perceptive (Cf. Encadré 3).

Encadré 3 : données électrophysiologiques obtenues chez le singe

L'attention volontaire module les réponses neuronales des aires visuelles de bas-niveau

Plus on s'éloigne de l'aire visuelle primaire (V1) sur la voie ventrale, plus le traitement de l'information se complexifie et plus les neurones couvrent un large champ réceptif (de 2 degrés d'angle visuel sur l'aire visuelle primaire à 25° pour certaines régions du cortex temporal inférieur). Plus le champ réceptif est large, plus les entrées visuelles sont susceptibles d'entrer en compétition (Desimone & Duncan, 1995). Par exemple, sur l'aire V4, la réponse d'un neurone à un stimulus inattendu est atténuée, alors qu'elle est accentuée lorsque la cible apparaît bien à la localisation indiquée (Moran & Desimone, 1985). De tels résultats ont aussi été retrouvés sur des aires de plus bas niveau comme V1 et V2 (Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997; Motter, 1993) indiquant une modulation top-down dès les premiers traitements perceptifs.

L'attention volontaire module davantage les aires associatives que les aires visuelles de bas-niveau

Les études ayant enregistré les activations cellulaires dans plusieurs aires chez le singe ont montré que plus on monte dans la hiérarchie corticale, plus l'attention volontaire module les activations (Cook & Maunsell, 2002; Luck et al., 1997). Treue (2003) rapporte ainsi un effet plus limité de l'attention volontaire sur les aires de bas-niveau tandis que sur les aires associatives, pariétales et frontales, les informations provenant de stimuli non-attendus sont presque supprimés.

De tels résultats ne sont pas seulement obtenus lorsque l'attention se porte sur une localisation spatiale, mais également lorsqu'elle se porte sur une caractéristique des stimuli (McAdams & Maunsell, 2000; Treue & Martínez Trujillo, 1999).

L'attention volontaire interagit avec la saillance

Martínez-Trujillo et Treue (2002) ont montré que l'attention volontaire accroît la réponse du neurone de l'aire visuelle temporelle moyenne (V5) à la cible si son niveau de contraste est moyen mais pas si son niveau de contraste est fort. De tels résultats ont aussi été reproduits sur V4 (Reynolds & Desimone, 2003). Une telle observation est totalement compatible avec l'idée d'une interaction entre saillance et pertinence : si la saillance est suffisamment importante, l'item capture l'attention sans intervention de plus haut-niveau. En revanche, si l'item n'a pas une « distinguabilité » assez forte, des processus top-down interviennent pour permettre sa sélection.

6.3 L'attention volontaire biaise la réponse au signal : données neurofonctionnelles chez l'homme

Comme le souligne Treue (2003) : « quasiment tout le traitement cortical de l'information visuelle est modulé par des influences *top-down*, une représentation purement sensorielle de l'environnement visuel ne semble pas exister dans le cortex visuel des primates » (p. 428, notre traduction). En effet, le développement des méthodes d'imagerie *in vivo* chez l'être humain a permis de montrer que l'attention volontaire agit sur les aires de traitement de bas-niveau. Le corps genouillé latéral (CGL), une aire du thalamus qui reçoit des afférences directement de la rétine avant même que les informations ne parviennent à l'aire visuelle

primaire V1, présente ainsi une augmentation des activations (signal BOLD³) lorsqu'une cible apparaît, une diminution des réponses aux distracteurs, et une augmentation de son activité lorsqu'il y a préparation attentionnelle, même s'il n'y a rien à l'écran (O'Connor, Fukui, Pinsk, & Kastner, 2002).

Sur le plan temporel, l'étude des potentiels évoqués (PE) en électro-encéphalographie (EEG) montre des différences d'amplitude précoces entre un stimulus attendu et un stimulus inattendu. Dès 100ms après la présentation d'un item, sur des sites occipitaux, l'amplitude observée de la P1 est plus forte si la cible apparaît à la localisation attendue (Mangun, Hillyard, & Luck, 1993), et l'amplitude de la N1 est également modulée si la cible partage des caractéristiques avec l'indice (Arnott, Pratt, Shore, & Alain, 2001). Ainsi, très précocement, les attentes du sujet modulent le traitement perceptif. Une telle modulation a été retrouvée plus tôt encore, environ 50 ms après la présentation du stimulus (onde C1), et a été associée aux traitements de V1 (Kelly, Gomez-Ramirez, & Foxe, 2008). Ces données confirment chez l'être humain un gain pour le signal entrant qui correspond aux objectifs de l'individu

Une telle modulation des activations précoces n'existe pas que pour des attentes d'ordre spatial, mais également pour une caractéristique donnée (mouvement, orientation, forme), et cela sur l'ensemble du cortex visuel (Liu et al., 2009; Serences & Boynton, 2007; Stokes, Thompson, Nobre, & Duncan, 2009). Cela suggère que les connaissances préalables sur les propriétés de la cible modulent l'activité de sous-populations de neurones qui codent préférentiellement une caractéristique particulière, et confirme ainsi une proposition du modèle de la compétition biaisée (Desimone & Duncan, 1995) : les mécanismes *top-down* biaisent la compétition en faveur des caractéristiques pertinentes dès les premiers stades du traitement perceptif, et parfois même avant que les informations visuelles n'apparaissent.

Bien que la pertinence impacte les premiers traitements perceptifs, il semblerait que l'importance des biais *top-down* croisse à mesure que l'on monterait dans la hiérarchie des aires visuelles, alors que l'impact de la saillance suivrait le chemin inverse (Serences & Kastner, 2014; Serences & Yantis, 2006; Treue, 2003) : ainsi 90% de la réponse maximale obtenue en V1 serait liée aux propriétés visuelles d'une information (saillance) et seulement

³ Signal BOLD : de l'anglais « Blood-Oxygen-Level-Dependant », correspond à une variation locale en fonction des activités neuronales du cerveau de la quantité d'hémoglobine transportant le glucose et l'oxygène.

10% aux biais *top-down* (pertinence), alors que ce serait le contraire au niveau du cortex pariétal, et plus encore au niveau du cortex préfrontal (Cf. Figure 10).

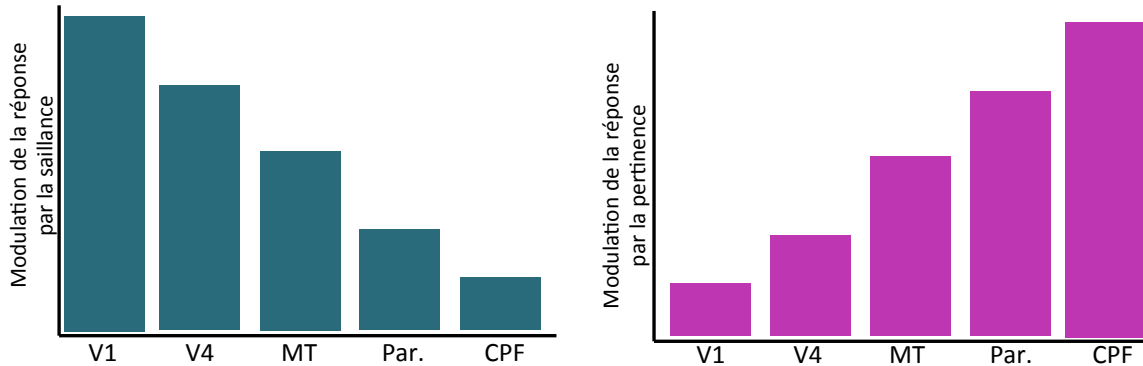


Figure 10. Impact de la saillance et de la pertinence selon la hiérarchie corticale des aires visuelles, depuis les aires occipitales jusqu'aux aires pariétales et préfrontales, schéma d'après Serences et Kastner, 2014.

Les neurones du cortex préfrontal (CPF) sont en effet très flexibles et s'adaptent à la demande de la tâche : les cellules vont essentiellement coder les informations spécifiquement pertinentes pour une tâche donnée (Duncan, 2001). Ainsi le CPF occuperait-il une fonction centrale permettant au système cognitif d'être flexible et de prioriser les informations pertinentes par rapport aux préoccupations actuelles de l'individu (Duncan, 2001; Stokes & Duncan, 2014). Lors de la recherche d'une cible visuelle *pop-out*, la sélection est plus précoce chez le singe dans les aires pariétales postérieures que dans le cortex préfrontal et l'aire oculomotrice frontale (*Frontal Eye Field*, FEF), alors que le contraire est observé lors d'une recherche visuelle plus complexe (Buschman & Miller, 2007). Des résultats allant dans le même sens ont été rapportés chez l'être humain (Li, Gratton, Yao, & Knight, 2010). Pour ces différents auteurs, les neurones pariétaux pourraient sous-tendre la « carte de saillance » décrite par les modèles computationnels alors que la source du contrôle *top-down* serait préfrontale (Cf. 5.2. Implication d'un réseau pariéto-frontal dans l'inhibition attentionnelle, p. 56)

Ces observations précisent le modèle de Corbetta et Shulman (2002) qui fait référence dans la modélisation neurofonctionnelle de l'attention. Dans ce modèle, la priorisation des informations est sous-tendue par deux réseaux : 1- un réseau pariéto-frontal bilatéral qui intègre la saillance et la pertinence, avec notamment une implication de la FEF programmant les mouvements oculaires volontaires, et du cortex pariétal postérieur ; 2- un réseau ventral temporo-frontal, latéralisé à droite, incluant la jonction temporo-pariétale et le cortex frontal

ventral. Sa fonction serait de réorienter l'attention vers des stimuli pertinents alors que l'attention est déjà engagée sur un autre objet.

Les modèles récents convergent à montrer que la sélection serait sous-tendue par deux mécanismes : l'amplification du signal et la suppression du bruit, c'est-à-dire l'activation d'une cible pertinente et l'inhibition des distracteurs. Cela rejoint une idée défendue par Tipper (1992) : « La position dominante a été premièrement que l'attention serait basée sur des processus d'excitation (...) sans nier leur rôle dans l'attention, il est raisonnable de penser que les processus d'inhibition, agissant sur les représentations internes de stimuli compétitifs à ignorer, joueraient aussi un rôle » (p.105, notre traduction)

L'inhibition fait partie des fonctions cognitives dites « exécutives » sous-tendues par le cortex préfrontal. Historiquement, l'étude des fonctions exécutives a connu un essor à la fin des années 90 (Houdé, 1995, 2000; Miyake et al., 2000), soit bien après les premières études en psychologie expérimentale sur l'attention. Les modèles attentionnels actuels incluent de plus en plus les fonctions exécutives pour rendre compte de la sélection attentionnelle. Ce rapprochement entre deux domaines théoriques semble en effet nécessaire, car comme le soulignent Lavie et Fox (2000), « dans notre expérience personnelle, on peut ressentir de manière unifiée le fait d'orienter l'attention vers les informations pertinentes et éviter la distraction provenant des informations distractrices, néanmoins les théories insistent souvent plus sur un aspect ou sur un autre » (p.1038, notre traduction).

Chapitre 2

L'INHIBITION : UN MÉCANISME ESSENTIEL À LA SÉLECTION ATTENTIONNELLE.

« Le phénomène basique de tout accomplissement intellectuel est ce qu'on nomme la concentration de l'attention. Il est compréhensible que dans l'évaluation de ce phénomène nous attachions tout d'abord de l'importance, et par conséquent de façon trop exclusive, à ses aspects positifs, au fait de saisir et de clarifier certaines représentations. Mais pour l'approche physiologique il est clair qu'il existe un aspect négatif, l'inhibition de l'afflux de toutes les autres excitations perturbatrices... et c'est cela qui est le plus important »

Wundt, 1904, p.481

RÉSUMÉ : L'inhibition est un mécanisme exécutif permettant la suppression d'une information ou d'une réponse dominante mais non-adaptée. Dans la sélection attentionnelle, un tel mécanisme est requis pour permettre la suppression d'informations saillantes afin de prioriser le traitement de l'information pertinente, révélée notamment par des paradigmes d'indication et d'amorçage négatif. Les modèles attentionnels accordent aujourd'hui une place centrale à l'inhibition pour rendre compte des données comportementales. Sur le plan cérébral, l'inhibition attentionnelle implique un réseau pariéto-frontal, les aires frontales sous-tendant la détection du conflit et le processus d'inhibition, et les aires pariétales permettant l'activation de la réponse adaptée. Des études en potentiels évoqués permettent de révéler l'existence d'ondes précoces sous-tendant les processus d'inhibition et d'ondes plus tardives permettant une remobilisation des ressources attentionnelles. Les objets dans leur globalité (et non seulement les caractéristiques ou les localisations) joueraient un rôle particulier dans la mise en place de l'inhibition et de la sélection attentionnelles, comme en témoignent des études en comportement et en imagerie.

1- Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que les capacités de recherche visuelle chez l'être humain peuvent à la fois être très performantes, et, dans le même temps, conduire à une cécité de certains éléments critiques dans notre environnement. Ce phénomène pourrait être expliqué par le haut niveau de métacognition et des fonctions exécutives chez les Homo sapiens (Ardila, 2008), en lien avec l'importance du volume et de la spécialisation de leur cortex préfrontal par rapport à d'autres espèces de primates (Diamond, 1990; Schoenemann, Sheehan, & Glotzer, 2005; Semendeferi, Armstrong, Schleicher, Zilles, & Van Hoesen, 2001).

Ainsi sommes-nous efficaces pour ignorer des distracteurs et trouver des cibles, même lorsque l'environnement est fortement bruité, peu contrasté, avec une différence ténue entre les cibles et les distracteurs (voir Projet Stardust, Cf. Figure 2A, p. 23). Toutefois, lorsque nous sommes concentré.e.s sur une scène, par exemple lorsque nous comptons les passes de ballons d'une équipe dont les membres portent des T-shirt blancs, nous supprimons tellement efficacement les caractéristiques des autres éléments de l'environnement (équipe avec des T-shirt noirs), que le gorille noir qui traverse la scène en nous faisant coucou passe totalement inaperçu (Simons & Chabris, 1999) (Cf. Figure 2B, p. 23).

Dans les théories attentionnelles, l'intérêt s'est essentiellement porté sur l'augmentation du signal des stimuli saillants ou pertinents, alors que dès le début du siècle Wundt (1904) avertissait de la nécessité de s'intéresser à l'aspect « négatif » de l'attention, l'inhibition. Si l'inhibition à l'échelle cellulaire a été prise en compte dans la description des processus attentionnels (Desimone & Duncan, 1995), elle n'a été que peu modélisée sur un plan cognitif pour rendre compte de la sélection attentionnelle.

Aujourd'hui, l'intérêt croissant pour les fonctions exécutives et l'apport de la neuroimagerie confèrent à l'inhibition un rôle central dans la sélection attentionnelle. Dans ce chapitre, après une définition de l'inhibition, nous montrerons qu'elle permet de résister à l'interférence entraînée par la présence d'items saillants mais non pertinents, et nous évoquerons les modèles qui l'intègrent comme mécanisme central de la compétition pour l'octroi des ressources cognitives.

2- L'inhibition dans la sélection attentionnelle : définition et terminologie.

L'inhibition est un mécanisme permettant d'ignorer une réponse ou une stratégie pourtant automatique, dominante, saillante ou renforcée. Elle est définie par Diamond (2013) comme le fait « de contrôler l'attention, le comportement, la pensée et/ou les émotions pour ignorer une prédisposition interne forte ou un leurre externe » (p. 136, notre traduction). Dans cette définition, on perçoit une des caractéristiques les plus importantes de l'inhibition : elle est impliquée à tous les niveaux du traitement, depuis les entrées sensorielles jusqu'à la réponse motrice et elle module les comportements tant dans des tâches perceptives de détection que dans des tâches de haut niveau (raisonnement, prise de décision etc.) On parle couramment de « contrôle inhibiteur » car l'inhibition permet aux individus d'ajuster leurs comportements en fonction de leurs objectifs en résistant « aux habitudes, aux tentations, distractions ou interférences » (Houdé, sous presse). C'est ainsi l'un des mécanismes dits « exécutifs » qui « contrôlent et modulent la réalisation de nombreux sous-processus cognitifs et ainsi régulent les dynamiques de la cognition humaine » (Miyake et al., 2000, p. 50, notre traduction)

L'inhibition cognitive dépend intrinsèquement de l'idée d'une compétition entre plusieurs réponses, stratégies ou représentations : certaines sont évidentes mais ne sont pas adaptées et doivent être ignorées au profit de réponses plus coûteuses mais pertinentes. Dès les années 80, cette compétition a été modélisée de façon duelle, en système 1 (heuristiques, réponses automatiques) et système 2 (algorithmes, réponses adaptées) (Evans, 1984, 2008; Kahneman et al., 1982).

Concernant le champ d'étude spécifique de la sélection attentionnelle visuelle, différents termes existent pour désigner le fait d'ignorer une information non-pertinente ou de supprimer une réponse pour que l'activation d'une information d'intérêt soit possible. Cette multiplication terminologique a plusieurs causes : tout d'abord, l'étude scientifique des processus attentionnels est plus ancienne que l'étude des fonctions exécutives qui a participé à un renouvellement important des concepts. Ensuite, il existe des nuances subtiles entre différents termes désignant pourtant tous l'idée de résister à des informations au profit de la sélection. Ces nuances sont essentiellement liées au fait que des phénomènes très précis ont été décrits avec des méthodes d'observation spécifiques. Conformément à la terminologie employée par Diamond (2013), le terme « inhibition attentionnelle » sera utilisé dans cette thèse pour désigner le mécanisme consistant à écarter des distracteurs saillants au profit de la

sélection d'une cible pertinente. Toutefois, certains termes plus spécifiques à certaines situations pourront être utilisés (Cf. Encadré 4).

Un autre aspect rendant complexe la terminologie dans le domaine de la sélection attentionnelle concerne l'aspect volontaire des processus. L'inhibition permet d'ignorer des stimuli non-pertinents, et est donc liée à des savoirs sur l'objet recherché, à des stratégies *top-down*; toutefois le mécanisme inhibiteur en lui-même est-il volontaire ou conscient ? Imaginons par exemple que nous fassions une promenade à la montagne : nous pouvons avoir conscience de chercher avidement à apercevoir un chamois ; mais pour autant, avons-nous conscience d'inhiber tous les items non-chamois de l'environnement ? Pour évoquer spécifiquement les stratégies conscientes et volontaires (dont l'inhibition est un mécanisme), différents termes existent : « attention endogène », « contrôle attentionnel », « attention *top-down* », « attention centrée sur les objectifs » (*goal-driven*), « attention volontaire » (Diamond, 2013; Posner & Cohen, 1984; Serences & Kastner, 2014; Theeuwes, 2010). Depuis peu, le terme « attention exécutive » est également employé pour désigner spécifiquement l'ensemble des processus attentionnels permettant de détecter et gérer des interférences (Posner & Rothbart, 2007).

Encadré 4: Termes spécifiques de l'inhibition attentionnelle

La suppression du bruit et l'inhibition cellulaire.

Les connaissances du sujet sur l'item à rechercher modulent les entrées sensorielles en augmentant le signal et/ou en réduisant le bruit (Beck & Kastner, 2009; Vergheze, 2001). Dans les modèles computationnels de détection du signal, la modulation du ratio signal/bruit selon les objectifs liés à la tâche est étudiée à la lumière des études à l'échelle de la réponse neuronale. La suppression du bruit peut être qualifiée d'« inhibition » ; avec l'idée toutefois que les données ne sont pas filtrées entièrement à un stade perceptif, ni uniquement à l'échelle cellulaire, et que la compétition peut se poursuivre jusqu'à un niveau moteur et impliquer de larges réseaux corticaux (Desimone & Duncan, 1995).

Le désengagement

Ce terme est employé lorsque l'attention a été capturée par un item saillant et s'est déplacée vers lui, et qu'elle doit se réorienter vers une autre localisation. Il faut alors qu'elle se désengage de l'item précédent (Posner & Cohen, 1984; Posner & Rothbart, 2007).

L'inhibition-retour

Lorsqu'un indice exogène oriente l'attention vers une localisation, un avantage est observé si la cible apparaît à cet emplacement. Mais au-delà d'un certain délai (200 à 300 ms), un coût est observé avec des temps de réponse plus longs (Posner & Cohen, 1984) et un indice de détection amoindri, suggérant que « la localisation du distracteur est inhibée » (Theeuwes & Chen, 2005, p. 1311). Cette forme d'inhibition serait automatique et adaptive puisqu'elle « encourage et facilite, par la sélection qu'elle opère, l'exploration visuelle des nouveautés de l'environnement » (Houdé, sous presse)

3- L'inhibition : un mécanisme permettant de résister à la saillance perceptive.

Comme le souligne Mounts (2000), « il y a de plus en plus de résultats qui montrent que le traitement des objets inattendus serait inhibé ou supprimé » (p. 969, notre traduction).

Theeuwes et Chen (2005) ont montré qu'une cible apparaissant subséquemment à un *singleton*, au même emplacement que lui, est mieux détectée en comparaison avec un autre emplacement, lorsque le SOA⁴ est court (60 ms), et moins bien détectée lorsque le SOA est long (500 ms). En effet, lorsque le SOA est court, l'attention serait capturée par le *singleton* et les régions avoisinantes seraient inhibées, conduisant à une meilleure détection de la cible apparaissant au même emplacement que le *singleton*, et à une moins bonne détection d'une cible apparaissant sur un emplacement voisin. Avec un SOA plus long, l'inhibition serait la plus forte sur l'emplacement où se situait le *singleton*. Ce phénomène, qualifié d'inhibition-retour, serait graduel : très fort sur les régions voisines puis diminuant progressivement (Mounts, 2000).

Lorsqu'un indice est endogène (prédictif et central), cela conduit les participant.e.s à orienter volontairement leur attention vers une localisation : dans ce cas, une facilitation de traitement de la cible est bien observée avec un SOA court, mais l'attention est maintenue et cette localisation n'est pas inhibée avec un SOA plus long (Posner & Cohen, 1984). Si un indice, même prédictif, est présenté de façon périphérique, l'inhibition-retour est bien observée (Chica, Lupiáñez, & Bartolomeo, 2006; Lupiáñez et al., 2004). Ainsi, l'inhibition d'une localisation précédemment indiquée serait automatiquement mise en place en cas de capture par la saillance (indice périphérique), mais pas lorsque l'orientation attentionnelle a été décidée volontairement, stratégiquement. Le contrôle volontaire favoriserait la mise en place du processus d'inhibition permettant de résister à la saillance : lorsque des individus savent qu'un indice est systématiquement non-valide (par exemple, s'il apparaît à gauche cela signifie que la cible apparaîtra à droite), alors ils inhibent très rapidement l'emplacement de l'indice, dès 50 ms après son apparition (Danziger & Kingstone, 1999). Dodd et Pratt (2006) ont montré que l'inhibition-retour pouvait, selon les objectifs de la tâche et le type de paradigme, être extrêmement rapide : elle pourrait apparaître dès 30 ms et durer jusque 6000 ms. Comme l'ont souligné Desimone et Duncan (1995), la localisation (attention spatiale) fait partie des nombreux biais qui modulent la compétition, et d'autres types de biais peuvent

⁴ Stimulus Onset Asynchrony, durée entre l'apparition d'un premier stimulus et l'apparition d'un stimulus subséquent

entraîner une inhibition-retour : c'est par exemple le cas pour les couleurs (Law, Pratt, & Abrams, 1995) ou les objets (Leek, Reppa, & Tipper, 2003; List & Robertson, 2007; Tipper, Weaver, Jerreat, & Burak, 1994). L'inhibition n'est pas retrouvée qu'avec des tâches de détection mais également avec des tâches de discrimination, nécessitant donc des traitements de plus haut niveau, d'identification de l'objet et de catégorisation (Lupiáñez, Milán, Tornay, Madrid, & Tudela, 1997; Pratt, 1995; Pratt & Abrams, 1999). Ainsi, l'inhibition-retour serait bien un phénomène attentionnel et non purement perceptif : elle permettrait en effet de résister à des représentations, et ne serait pas limitée aux tâches de détection spatiale. L'inhibition-retour occuperait ainsi un rôle central dans la recherche visuelle : dans la recherche non-efficiente, elle permettrait d'inhiber les localisations ou les objets déjà explorés (Dodd & Pratt, 2006; Klein, 1988; Posner & Cohen, 1984; Tipper, Weaver, & Watson, 1996). Elle n'empêcherait pas forcément le traitement sémantique de l'objet mais empêcherait la programmation d'une réponse : en effet, l'inhibition-retour module les effets d'amorçage sémantique et l'interférence de type *flankers* (Fuentes, Vivas, & Humphreys, 1999) et supprime l'effet Stroop (Chen, Wei, & Zhou, 2006; Vivas & Fuentes, 2001). Ainsi, l'interférence au Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27) est modulée selon que le mot interférent (par exemple BLEU écrit en jaune) est présenté après un indice valide ou non-valide. Lorsque l'indice valide est suivi d'un long SOA (mise en place d'une inhibition retour sur la localisation), l'effet d'interférence du Stroop est éliminé. Le mécanisme d'inhibition qui opère sur la localisation pourrait ainsi se propager et faciliter l'inhibition de la réponse automatique au Stroop (lecture du mot de couleur).

L'amorçage négatif ou *negative priming* (Tipper, 1985, 2001) permet également de révéler des processus d'inhibition permettant de résister à la saillance pour assurer la sélection de la caractéristique ou de l'objet attendu. Dans ce type de paradigme, les traitements de deux cibles identiques (*probe*) sont comparés selon que la cible ait été ou non le distracteur en amorce (*prime*). L'idée est la suivante : si l'inhibition a été nécessaire en amorce pour bloquer le traitement d'un distracteur, alors il sera plus difficile de traiter ce distracteur s'il devient l'item à identifier en *probe*. En effet, pour traiter cet item il faudra lever l'inhibition opérée sur lui au cours de l'amorce. Cette levée d'inhibition a un coût cognitif reflété par une augmentation des temps de réponse pour les *probes* dont l'item à identifier était le distracteur en amorce par rapport à des *probes* dont le même item à identifier n'était pas le distracteur en amorce. Par exemple, dans le paradigme de base décrit par Tipper (Houghton & Tipper, 1994; Tipper, 1992), les participant.e.s doivent donner le nom d'un objet rouge entrelacé à un objet

vert. Durant la probe, l'objet rouge à activer est par exemple un carré. Or, le carré était l'objet en vert à ignorer au cours de l'amorce. Les chercheurs observent que la décision est plus longue pour identifier le carré désormais cible lorsqu'il a été distracteur juste avant (essai test), comparé à une situation où le carré n'était pas un objet à ignorer (essai contrôle) (Cf. Figure 11).

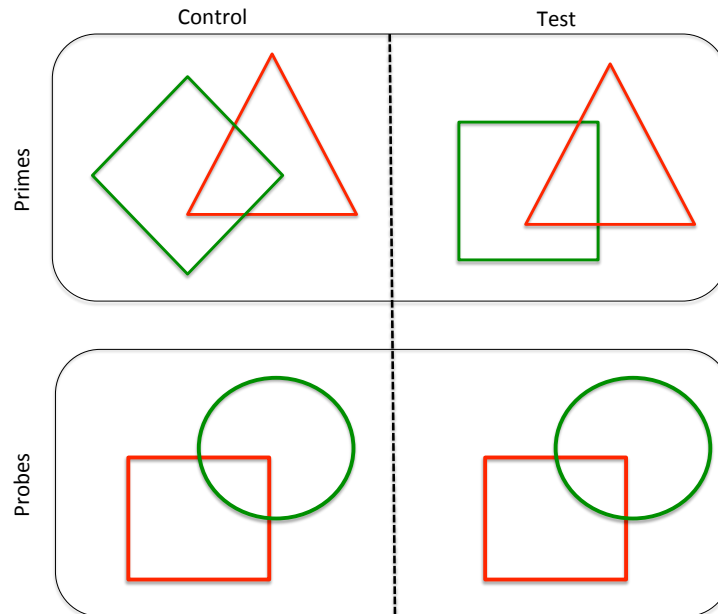


Figure 11. Paradigme de negative priming d'après Houghton et Tipper (1994). La cible (objet rouge) est un carré en probe. En condition test, ce carré était un distracteur (objet vert) en amorce, alors qu'en condition contrôle, le distracteur était un autre objet. Les temps de détection sont plus lents pour identifier le carré rouge dans l'essai test que dans l'essai contrôle. Ce ralentissement révélerait une levée d'inhibition en probe, ce qui permet de conclure que le distracteur vert a été inhibé en amorce.

Tipper a également retrouvé de l'amorçage négatif lorsque l'amorce est une image et la probe un mot (voir Houghton & Tipper, 1994). Cela montre que la suppression d'un objet qui est aussi saillant ou plus saillant qu'une cible se fait à un niveau tardif, après un niveau sémantique, et sur la base de représentations internes. Pour Tipper et ses collaborateurs, l'inhibition-retour et l'amorçage négatif sont deux phénomènes qui peuvent s'expliquer de la même façon. La différence tient plutôt du type de paradigme et du déroulement temporel de ces processus (Milliken, Tipper, Houghton, & Lupiáñez, 2000) : l'effet d'amorçage négatif se retrouve dans des tâches où l'attention s'est volontairement portée sur un objet et reflète un processus engagé spécifiquement pour régler un conflit, alors que l'inhibition-retour n'est pas mesurée avec une procédure de sélection attentionnelle, mais avec une capture exogène. L'amorçage négatif reflète un ralentissement du traitement de la cible si elle (ou une de ses caractéristiques) a été précédemment inhibée, alors que l'inhibition-retour reflète un ralentissement du traitement de la cible si elle a été indiquée. En ce qui concerne l'inhibition-retour et les effets d'indication, les entrées sensorielles qui apparaissent avant la cible sont

censées ne pas correspondre aux objectifs de la tâche, et donc recevoir de l'inhibition. Toutefois, ces processus de correspondance entre les entrées sensorielles et les connaissances du sujet, ainsi que l'initiation de l'inhibition prennent du temps. Les entrées saillantes, ne correspondant pas aux objectifs, atteignent ainsi un niveau d'activation important. C'est pour cela qu'immédiatement après un indice valide (moins de 150 ms), la cible est mieux traitée et qu'au contraire un coût est observé pour de plus longs intervalles. Un élément inadéquat serait traité, ce qui entraînerait un rebond de l'inhibition. Cette inhibition doit être levée pour permettre de nouveau une sélection, tout comme dans l'effet d'amorçage négatif.

Certains auteurs, toutefois, ont proposé d'autres théories pour expliquer les effets de l'amorçage négatif (Frings & Schneider, 2015). En effet, différentes études ont retrouvé des effets similaires à l'amorçage négatif (ralentissement du traitement de la cible après une amorce) sans qu'il y ait d'interférence entre deux objets en amorce (Milliken & Joordens, 1996; Neill & Kahan, 1999). Le lien entre l'interférence et l'effet d'amorçage négatif n'est pas évident ni systématique (Stablum, Ricci, Pavese, & Umiltà, 2001; Tipper, 2001). La manipulation de certaines variables peut avoir des conséquences différenciées sur l'effet d'amorçage négatif et sur l'effet d'interférence (Houghton, Tipper, Weaver, & Shore, 1996). Une façon de rendre compte de cela consiste à faire une distinction entre l'inhibition préparatoire et l'inhibition réactive (Neill, Valdes, Terry, & Gorfein, 1995). Dans le premier cas, une quantité constante d'inhibition est appliquée, avant même l'apparition du distracteur. Un distracteur faiblement activé serait alors supprimé (pas d'interférence) alors qu'un distracteur fortement activé pourrait tout de même produire un effet d'interférence. L'inhibition réactive est quant à elle proportionnelle au niveau d'activation du distracteur : dans ce cas, une plus grande interférence s'accompagne d'un plus grand effet d'amorçage négatif. Le lien complexe entre l'interférence et l'effet d'amorçage négatif a entraîné la naissance de théories expliquant l'effet d'amorçage négatif non par la levée d'inhibition mais par des processus mnésiques. Par exemple, le modèle de la discrimination temporelle (Milliken, Joordens, Merikle, & Seiffert, 1998) propose l'existence d'un conflit entre l'information ancienne (de l'amorce, conduisant à une réponse de suppression) et l'information nouvelle (de la probe, conduisant à une réponse d'activation). Ce modèle rend compte de la diminution de l'effet d'amorçage négatif avec l'augmentation du SOA : avec un SOA long, la trace mnésique de la réponse en amorce s'atténuerait et ainsi le conflit en probe serait amoindri. Pour Neil et Mathis (1998) l'effet d'amorçage négatif montrerait que l'organisme, par économie cognitive, aurait tendance à appliquer des traitements similaires aux traitements déjà appliqués par le passé sur un même objet. Le ralentissement observé en

probe serait donc lié à un transfert de traitement inadapté entre l'amorce et la probe (théorie du transfert de traitement inapproprié). Toutefois, comme le souligne Frings et Schneider (2015), ces données et théories ne stipulent pas une absence d'inhibition, mais indiquent plutôt la nécessité de concevoir l'amorçage négatif comme un processus impliquant un mécanisme inhibiteur et un mécanisme de récupération d'un traitement préalable. Tipper (2001) souligne également que l'effet d'amorçage négatif peut être considéré du point de vue de l'encodage (théories de l'inhibition) ou de la récupération, sans que cela soit pour autant incompatible.

A la suite des modèles de la détection du signal et des travaux montrant le rôle de l'inhibition dans la sélection d'une cible pertinente, l'hypothèse de la suppression du signal saillant s'est développée. Kumada et Humphreys (2002) ont ainsi observé une inhibition des localisations des distracteurs saillants (*singletons*) en recherche visuelle, conduisant à des temps de réaction plus longs à une cible apparaissant sur une localisation précédemment inhibée. Gaspar et McDonald (2014) ont démontré que l'inhibition d'un distracteur n'a pas lieu s'il est moins saillant que la cible. L'inhibition serait ainsi un processus permettant de supprimer la saillance au profit de la pertinence, et ne serait pas nécessaire lorsque l'objet saillant est aussi l'objet pertinent.

4- L'inhibition dans les modèles attentionnels

Dès les années 90, des modèles de l'attention ont commencé à intégrer le contrôle inhibiteur dans les étapes nécessaires à la sélection. Ainsi Treisman et Sato (1990), dans leur révision de la FIT, faisaient l'hypothèse d'un processus d'inhibition rattaché aux différentes cartes de caractéristiques et permettant de moduler la saillance des items non pertinents. Les auteurs montraient qu'en cas de recherche parallèle (efficace), les connaissances des individus sur la cible à rechercher n'impactent pas la recherche visuelle, alors que c'est le cas pour une recherche sérielle (moins efficace). Les connaissances préalables sur la cible à rechercher permettraient ainsi une inhibition plus efficace des distracteurs, uniquement lorsque la cible n'est pas saillante.

L'inhibition a également été intégrée dans les modèles computationnels classiques: Tsotsos (1993), en s'inspirant du modèle de Koch et Ullman (1985), stipulait que l'élément le plus saillant entrerait dans le WTA et serait inhibé s'il ne correspondait pas aux objectifs de l'individu, conduisant à supprimer toutes ses statistiques et à recalculer l'ensemble des poids

des items du champ visuel. Houghton et Tipper (1994) ont proposé dans leur modèle l'existence de trois champs : le champ de l'objet, le champ de la cible et un champ de correspondance/non correspondance. Ce dernier permettrait une comparaison entre les attentes endogènes et les entrées sensorielles : si un objet ne correspond pas à la description de la cible, un sous-système de contrôle du gain brise la symétrie des cellules inhibitrices et excitatrices répondant à l'objet, et la fait basculer en faveur des cellules inhibitrices. Par diffusion, si une caractéristique est inhibée (par exemple la couleur rouge), elle se diffuse à toutes les caractéristiques de l'objet (tous les objets rouges sont alors inhibés).

Michael et ses collaborateurs (Michael et al., 2007; Michael, Garcia, Fernandez, Sellal, & Boucart, 2006) ont proposé un modèle, le *Master Activation Map* (MAM) dans lequel le mécanisme d'inhibition occupe une place tout aussi centrale que le mécanisme de sélection. L'idée principale de ce modèle est que la sélection et l'inhibition communiqueraient à travers une MAM qui centraliserait les statistiques issues d'une carte de saillance et d'une carte de pertinence. « Le processus d'inhibition agirait sur cette carte afin de réduire les activités non pertinentes, et néanmoins représentées fortement » (Michael et al., 2007, p. 178). L'attention est alors considérée comme un mécanisme permettant d'établir une balance entre la saillance et la pertinence (Cf. Figure 12).

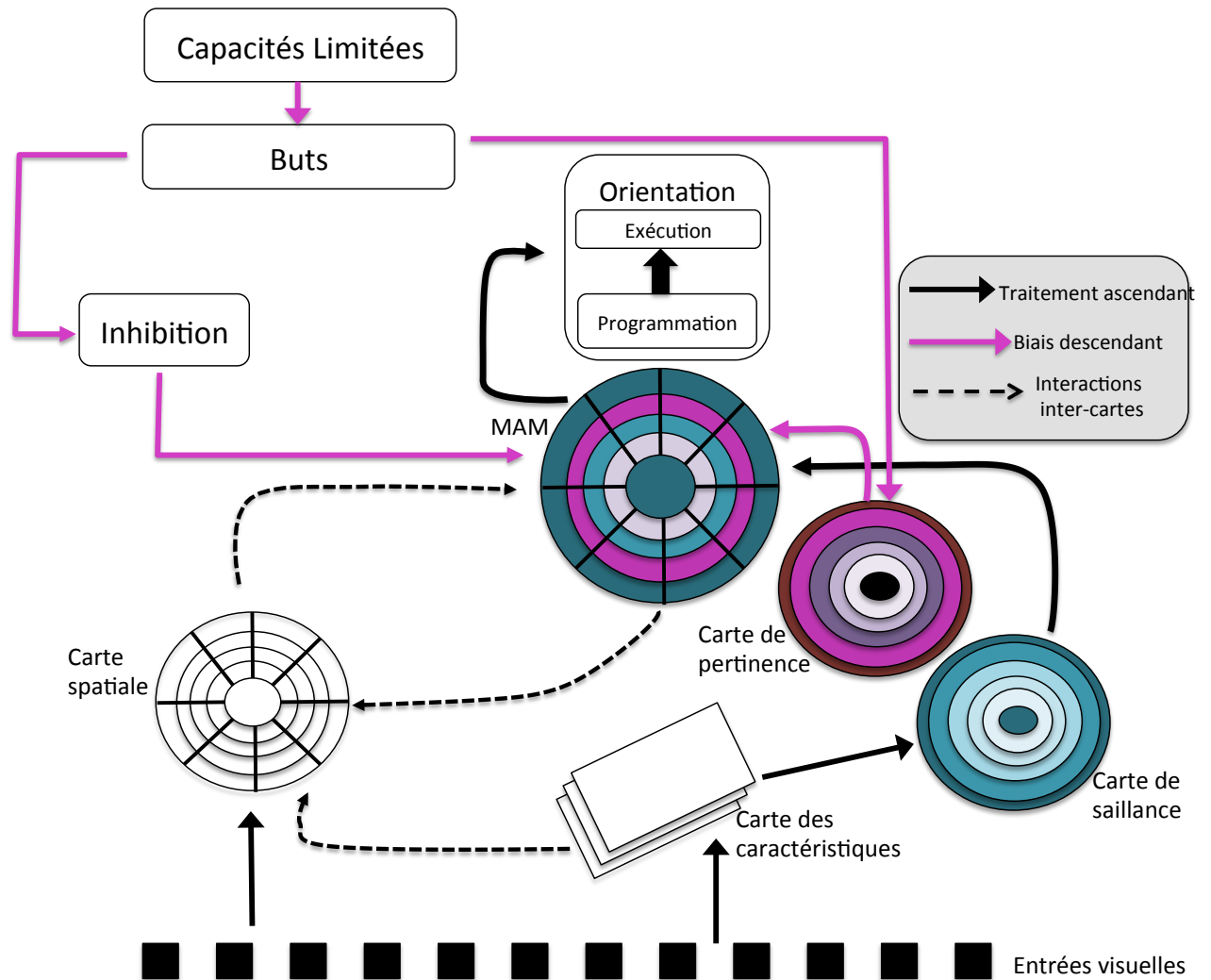


Figure 12. Modèle du Master Activation Map de Michael et al (2006 ; 2007). Une carte MAM combine les résultats des calculs des cartes de pertinence, de saillance et de la carte spatiale des localisations. Le processus d'inhibition, indépendant mais tout aussi important que le processus de sélection, agit directement sur cette MAM pour supprimer l'information qui ne correspond pas aux objectifs de l'individu.

5- Aspects neurofonctionnels de l'inhibition attentionnelle

5.1- Point général sur l'inhibition et ses corrélats neurofonctionnels.

Le cortex préfrontal (CPF) est associé de manière consensuelle aux fonctions exécutives et au contrôle attentionnel (E. K. Miller & Cohen, 2001). En ce qui concerne le mécanisme d'inhibition, Duncan et Owen (2000) ont retrouvé, quel que soit le type de tâche, le recrutement de trois régions spécifiques: le cortex préfrontal dorsolatéral (CPF_{DL}), le cortex préfrontal ventrolatéral (CPF_{VL}, correspondant également à l'appellation « cortex frontal inférieur», impliquant les aires de Brodmann 44, 45 et 47) et le cortex cingulaire antérieur (CCA). Plus récemment Cieslik et al. (2015) ont retrouvé dans leur méta-analyse trois aires

impliquées spécifiquement dans la suppression d'une réponse : l'insula droite, la jonction frontale inférieure, une part du CCA appelée cortex cingulaire moyen et des aires motrices présupplémentaires. La consistance des aires activées malgré les changements de paradigme semble indiquer que les neurones du CPF ne seraient pas spécialisés mais s'adaptent plutôt à l'environnement selon les objectifs volontaires de l'individu (Duncan, 2001). Toutefois, certaines distinctions peuvent être faites entre ces régions. Par exemple, le CCA serait plutôt un index de la détection de conflit : en effet cette région est activée en cas de conflit même lorsque les participant.e.s commettent des erreurs, alors que le CPFDL sous-tendrait la résolution du conflit (Casey et al., 2000). Bien que les études en Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) montrent l'implication de différentes régions et réseaux dans des tâches d'inhibition, les études lésionnelles chez l'homme et le singe indiquent quant à elles plutôt un rôle central du CPFVL droit dans la réussite à des épreuves d'inhibition (Aron, Robbins, & Poldrack, 2004). Le CPVL droit serait ainsi particulièrement impliqué dans la suppression d'une réponse déjà activée ou la suppression d'une action dominante que ce soit pour faire face à des stimulations externes ou par rapport aux objectifs internes des individus (Aron, Robbins, & Poldrack, 2014).

5.2. Implication d'un réseau pariéto-frontal dans l'inhibition attentionnelle

Concernant spécifiquement l'attention sélective visuelle, des études en IRMf indiquent l'implication d'un réseau pariéto-frontal. Le CPF sous-tendrait les processus d'inhibition lorsque des informations sont en conflit alors que le cortex pariétal permettrait l'activation des différentes réponses possibles (Bunge, Hazeltine, Scanlon, Rosen, & Gabrieli, 2002) ou bien l'orientation et la réorientation attentionnelle (Posner & Cohen, 1984; Posner & Rothbart, 2007). L'importance du CPF dans le processus d'inhibition attentionnelle est appuyée par une étude lésionnelle chez l'homme : R.J, un patient atteint spécifiquement au niveau de l'opercule frontal droit parvient à orienter son attention de façon automatique ou volontaire mais est dans l'incapacité de résister à un item saillant mais non-pertinent (Michael et al., 2006). Le cortex pariétal postérieur joue quant à lui un rôle majeur dans l'aspect de réactivation qui suit le processus d'inhibition : de récentes études utilisant conjointement les

techniques de la TMS⁵ et de l'IRMf ont montré que le cortex pariétal postérieur droit serait spécifiquement impliqué dans la sélection d'une cible saillante alors que le cortex pariétal postérieur gauche serait impliqué dans la sélection d'une cible non-saillante (Mevorach, Hodsoll, Allen, Shalev, & Humphreys, 2010; Mevorach, Humphreys, & Shalev, 2009). Une augmentation de l'activation du cortex pariétal postérieur gauche était associée à une diminution des activations des aires visuelles (Mevorach et al., 2010), confirmant l'implication de cette région cérébrale dans le circuit top-down d'inhibition qui permet la modulation des aires visuelles de bas niveau.

Ainsi, le réseau fronto-pariétal dorsal servirait de site de contrôle pour les signaux perceptifs et permettrait la sélection de réponses pertinentes même lorsqu'elles ne sont pas saillantes, grâce à un jeu conjoint d'activation et d'inhibition.

Le CCA est également impliqué dans les conflits perceptifs, même en absence de conflit moteur et serait pour Chen et al (2006) une interface neurale essentielle de l'attention spatiale et exécutive. Selon les mêmes auteurs, le CPFDL serait quant à lui particulièrement activé lors de conflits ayant une composante motrice, toutefois d'autres scientifiques considèrent que le CPFVL droit serait le siège cérébral spécifique permettant la suppression d'une réponse alors que le CPFDL serait plus largement impliqué dans la mémoire de travail et le contrôle volontaire du comportement (Aron et al., 2014).

5.3. Corrélats neurofonctionnels du phénomène d'inhibition-retour

Le phénomène d'inhibition-retour serait sous-tendu par l'interaction de deux réseaux : un réseau antérieur et moteur sous-tendant l'inhibition et un réseau attentionnel permettant la sélection de l'emplacement précédemment inhibé (Mayer, Seidenberg, Dorflinger, & Rao, 2004). La composante inhibitrice du phénomène d'inhibition-retour semble spécifiquement liée à l'activation de la FEF (Chen et al., 2006; Lepsien & Pollmann, 2002). Dans une étude en TMS, la stimulation tardive (juste avant l'apparition de la cible) de la FEF a supprimé le ralentissement habituellement observé après un indice valide, suggérant que la FEF biaiserait l'attention en l'éloignant d'une localisation précédemment indiquée (Ro, Farnè, & Chang, 2003).

⁵ Transcranial Magnetic Stimulation : technique consistant à appliquer une impulsion magnétique qui modifie l'activité des neurones en inhibant leur activité

5.4. Corrélats neurofonctionnels de l'effet d'amorçage négatif

Le phénomène d'amorçage négatif dans une tâche de type Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27), comparé à une situation d'interférence, montre l'implication d'aires cérébrales permettant à la fois la suppression de l'information non-pertinente et la planification du comportement (aires frontales), mais également un processus de récupération mnésique (aires temporales) et une sélection de l'information précédemment inhibée (aire pariétale) (Steel et al., 2001). L'activation du CPFDL lors des essais tests (cible à inhiber en amorce et à réactiver en probe) en comparaison avec des essais contrôle a été retrouvée dans différentes études (Egner & Hirsch, 2005; Rugg, Henson, & Robb, 2003; Ungar, Nestor, Niznikiewicz, Wible, & Kubicki, 2010), toutefois son rôle n'est pas clair et signerait pour certains un processus de suppression de l'information, et pour d'autres un processus de récupération mnésique (Frings & Schneider, 2015). Des études en potentiels évoqués ont quant à elles montré la modulation d'ondes précoces et tardives dans les essais tests comparés à des essais contrôle. Les ondes P1 et N1 sur des sites pariéto-occipitaux auraient une amplitude moins importante dans les essais avec amorçage négatif que dans des essais contrôle (Gibbons, Rammsayer, & Stahl, 2006; Kathmann, Bogdahn, & Endrass, 2006; Ruge & Naumann, 2006), indiquant une moindre saillance du stimulus précédemment inhibé. L'onde N2PC, sur des sites postérieurs et dans l'hémichamp controlatéral à la cible, est plus ample dans les essais test, uniquement lorsque l'attention est dirigée de façon soutenue et volontaire (Ruge & Naumann, 2006). De tels résultats sont retrouvés également sur des sites plus antérieurs (frontaux) avec la N200 (Gibbons, 2006; Ruge & Naumann, 2006). C'est également le cas dans une tâche cognitive plus complexe, adaptée de l'épreuve classique piagétienne de conservation du nombre : le fait de devoir réactiver une heuristique « longueur égale nombre » après qu'elle ait été inhibée entraîne une augmentation de l'amplitude de la N200 (Daurignac, Houdé, & Jouvent, 2006), ce qui confirme que la tâche-piège piagétienne, échouée par les enfants avant 7 ans, nécessite l'inhibition d'une heuristique même chez les adultes, chez qui les régions propres à la détection du conflit (CCA) et à l'inhibition (cortex frontal inférieur droit) sont plus activées lorsque la longueur d'une rangée de jetons ne covarie pas avec la quantité (Leroux et al., 2009).

La P300 est quant à elle retardée dans des tâches spatiales (Kathmann et al., 2006), moins ample dans des tâches de flankers (Cf. Encadré 2, p. 27) (Gibbons, 2009) et plus ample dans des tâches d'identification (Kathmann et al., 2006). Elle pourrait signer le recrutement supplémentaire de ressources attentionnelles pour traiter un stimulus précédemment inhibé

(Kathmann et al., 2006). Pour Groh-Bordin et Frings (2009), la N200 et la P300 indiquent des mécanismes différenciables de l'effet d'amorçage négatif. La N200 est en effet modulée uniquement lorsque la cible en probe apparaît en présence de distracteurs, ce qui souligne son lien avec des phénomènes d'inhibition. En revanche la modulation de la P300 sur des sites pariéto-centraux est retrouvée même si la probe (supprimée en amorce) apparaît seule, et elle serait à mettre en lien avec des processus de récupération mnésique de la réponse effectuée en amorce. Des modulations de composantes plus tardives ont également été observées dans différentes études : une onde négative autour de 400 ms (Gibbons, 2006, 2009; Wagner, Baving, Berg, Cohen, & Rockstroh, 2006) et une composante positive tardive (*late positive component, LPC*) sur des sites frontaux (Behrendt et al., 2010; Gibbons, 2009) qui a été mise en lien avec la perception d'une similarité entre amorce et probe (Behrendt et al., 2010; Frings & Schneider, 2015). Ainsi, les composantes précoces telles la P1, la N1, la N2PC ou la N2 sont le plus souvent discutées en termes d'inhibition d'une information alors que des composantes plus tardives comme la P300, la N400 ou la LPC sont discutées en termes de processus de récupération mnésique ou de sollicitation accrue des ressources attentionnelles (voir pour revue Frings & Schneider, 2015).

6- Transition : objet et groupement, un statut particulier dans les phénomènes de sélection et d'inhibition attentionnelles.

6.1. Le statut particulier de l'objet

Comme nous l'avons vu dans la présentation générale de cette thèse, le début du 20^{ème} siècle a été fortement marqué par les découvertes et théories de la Gestalt, montrant une supériorité du Tout sur les parties, notamment dans la perception visuelle (Köhler, 1929; Wertheimer, 1938). Ces auteurs avaient établi des lois de la perception, montrant que les objets sont perçus comme unités cohérentes, critiquant ainsi les modèles béhavioristes ou associationnistes qui considéraient l'identification de l'objet comme relevant d'une addition des traitements des propriétés le constituant. La nécessité de comprendre, modéliser, théoriser l'attention visuelle a conduit à décomposer ses étapes. Toutefois, les travaux des théoriciens de la Gestalt étaient désormais pris en considération. Si Treisman et Gelade (1980) ont construit une théorie structuraliste, concevant la recherche visuelle par le traitement des caractéristiques des objets, l'importance de l'objet en tant que Tout a aussi été pris en compte

au sein de la FIT. Ainsi, Treisman (1993) proposa une troisième composante à son modèle : aux cartes des caractéristiques et de la localisation, elle ajouta le concept de fichier-objet. Cette idée était largement argumentée par tout un ensemble de données expérimentales confirmant les théories de la Gestalt. Il apparaissait ainsi que le traitement de deux caractéristiques appartenant au même objet était plus rapide que le traitement de deux caractéristiques appartenant à des objets différents (Duncan, 1984), que lorsqu'un objet est indicé, la cible est plus rapidement détectée si elle apparaît au sein de cet objet qu'au sein d'un autre objet (Egly, Driver, & Rafal, 1994), que la performance dans une tâche de discrimination dépendait davantage du nombre d'objets que du nombre de caractéristiques impliquées (Duncan, 1993), que les individus sont capables, après avoir vu des points clignoter, de les identifier et de suivre leur parcours au milieu de distracteurs parfaitement similaires (Pylyshyn & Storm, 1988). De tels résultats, largement répliqués depuis (voir la revue de question de Scolari, Ester, & Serences, 2014), ne pouvaient être expliqués par un modèle ne considérant que les caractéristiques et leur assemblage sur une localisation. Il devenait par ailleurs nécessaire de rendre compte la capacité des individus à détecter, identifier ou reconnaître des objets se déplaçant ou changeant d'angle de présentation. Ainsi, le fichier objet intégré à la FIT correspond à « une structure qui individualise les objets et les maintient dans leur identité malgré les changements et le mouvement (...)» (p. 24, notre traduction). Le fichier-objet exercerait un contrôle attentionnel sur les cartes des caractéristiques et de localisation.

Les objets sont identifiés et reconnus très rapidement : même avec un temps de présentation de 20 ms, les individus sont capables de dire si une photographie contient un animal ou non (Thorpe, Fize, & Marlot, 1996). L'avantage d'un indigage basé sur l'objet (temps de détection plus court si la cible apparaît au sein du même objet plutôt qu'au sein d'un autre objet) est observé même si l'objet n'est pas perçu consciemment (L. J. Norman, Heywood, & Kentridge, 2013). Ces données confirment les théories gestaltistes : l'objet, le Tout, serait bien plus que la somme de ses parties. Cela fait particulièrement sens si on considère le fonctionnement neuronal : comme l'ont souligné Desimone et Duncan (1995) aucun neurone ne code une seule caractéristique, plusieurs dimensions sont prises en compte. Certains neurones codent même des objets complexes, comme des visages, qui sont constitués d'un grand nombre de caractéristiques. Ainsi, dans leur modèle de compétition biaisé, l'objet est mis en avant par rapport à la localisation spatiale, considérée comme une propriété de l'objet parmi d'autres. Ce sont les objets en tant que Tout qui entreraient en compétition, et non leurs caractéristiques (propriétés ou localisation) en elles-mêmes. De nombreuses

données en neuroimagerie ont depuis confirmé que la représentation corticale des objets à ignorer est supprimée (voir Scolari et al., 2014)

Concernant l'inhibition attentionnelle, Tipper (1992) a ardemment défendu l'idée qu'elle serait centrée sur l'objet. Il s'agirait même là d'un mécanisme adaptatif, car lorsqu'un environnement est analysé, c'est plus souvent pour rechercher un objet particulier qu'un emplacement. L'inhibition n'a pas lieu sur une coordonnée rétinienne, sur une pure localisation, mais bien à l'emplacement d'un objet non pertinent. Si, dans des environnements fixes, l'inhibition semble porter sur des localisations, lorsque les objets bougent l'inhibition suit l'objet non-pertinent et non sa localisation initiale, et ce tant dans des paradigmes d'amorçage négatif que dans des paradigmes d'indilage spatial (Tipper, Brehaut, & Driver, 1990; Tipper, Driver, & Weaver, 1991). Toutefois, Tipper reconnaît que la sélection attentionnelle peut nécessiter d'orienter l'attention vers l'objet au sein d'un environnement spatialisé (par exemple, une personne peut savoir qu'elle a rangé un objet donné dans un endroit spécifique, et la compétition est alors biaisée en faveur de cet emplacement). Il décrit deux types d'orientation liés au type d'indice disponible pour trouver un objet donné (indice spatial ou indice défini par les caractéristiques de l'objet), qui dépendraient de deux voies différentes (Tipper et al., 1994), déjà décrites par Mishkin et ses collaborateurs (Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983) : une voie dorsale occipito-pariétale traitant les informations de localisation (voie du « où ») et une voie ventrale occipito-temporale traitant les objets et leurs propriétés (voie du « quoi »). Dans un environnement statique, il a été depuis montré que les indices spatiaux et les indices de caractéristiques interagissent (Soto & Blanco, 2004). Le fait que l'inhibition attentionnelle soit centrée sur un objet a récemment pu être mise en évidence par Lin (2014) : dans son étude, une cible pouvait apparaître à quatre localisations au sein d'un objet ou à quatre localisations au sein d'un autre objet. Si l'indice (par exemple l'emplacement en haut à gauche du premier objet) est non-prédictif et invalide, non seulement un phénomène d'inhibition-retour est observé sur cette localisation, mais également sur la localisation équivalente de l'autre objet. Pour l'auteur, la représentation spatiale serait ainsi elle-même centrée sur l'objet.

Les réseaux de l'inhibition attentionnelle se recouvriraient globalement pour des tâches spatiales et pour des tâches centrées sur l'objet, avec toutefois une plus grande activation du cortex pariétal supérieur pour l'inhibition de localisations et une plus grande implication des gyrus frontaux moyens et inférieurs gauches pour l'inhibition des objets (Zhou & Chen, 2008).

6.2. Les groupements

Dans un espace visuel écologique, les objets ne sont pas seuls dans l'environnement : ils apparaissent par groupes, imbriqués les uns dans les autres. Le Tout est alors une structure composée d'objets (par exemple, un immeuble est composé de fenêtres, de portes etc.). Les théoriciens de la Gestalt ont formulé des règles permettant de savoir comment des unités sont regroupées en structures. Parmi elles, on observe que plus les éléments sont proches (loi de proximité), similaires (loi de similarité), orientés de la même façon (loi de continuité), plus ils sont perçus comme un groupe (Köhler, 1929). Dans la recherche visuelle, Treisman (1982) a montré avec une tâche de type *conjunction* que des objets formant des groupes homogènes sont analysés plus rapidement que s'ils sont dispersés : la recherche devient parallèle au sein de chaque groupe et sérielle entre les groupes. Il y aurait donc bien une primauté du traitement du groupe sur le traitement des parties, comme le suggéraient les théoriciens gestaltistes du début du siècle. De là, elle conclut que « le contraste entre le fait d'attendre des items isolés et le fait d'attendre des groupes d'items est clairement à mettre en lien avec les différences de traitement du niveau global et du niveau local. Quand une configuration globale est attendue, chaque élément local perd son identité, sauf dans la mesure où il contribue à l'identité du tout. » (p.212, notre traduction). Treisman fait là référence à tout un champ d'études du traitement « global/local », qui, à la suite des recherches des gestaltistes, a cherché à comprendre pourquoi et comment le Tout global biaise l'attention, défavorisant ainsi le traitement de ses parties constituantes locales. Le prochain chapitre de cette thèse (Cf. Chapitre « Le biais attentionnel global », p. 63) a pour objectif d'introduire ce champ d'études en insistant particulièrement sur l'interférence suscitée par le niveau global dans le traitement du niveau local, et ainsi de faire le lien avec les modèles de la compétition attentionnelle et le rôle que l'inhibition semble avoir dans la sélection du niveau hiérarchique le moins saillant.

Chapitre 3

LE BIAIS ATTENTIONNEL GLOBAL

RÉSUMÉ : Face à des figures hiérarchisées, c'est-à-dire des formes globales composées d'éléments constitutifs locaux, les adultes traitent plus rapidement l'information structurelle globale que l'information locale et sont ralentis dans la sélection d'une cible locale lorsque les contenus des deux niveaux sont en conflit. Cet effet, dit de « précedence globale », est impacté lorsque le niveau global est rendu moins saillant. Les modèles neurofonctionnels de la perception montrent que le biais global est lié au traitement plus rapide des basses fréquences spatiales véhiculant les informations visuelles structurelles. Toutefois, des dissociations sont fréquemment rapportées entre la sensibilité perceptive à un niveau hiérarchique et la priorisation attentionnelle : même lorsqu'un niveau hiérarchique n'est pas traité plus rapidement que l'autre, il peut dominer la compétition attentionnelle, ce qui se traduit par une interférence asymétrique. Malgré le fait que l'information située à un niveau puisse capturer les ressources attentionnelles, les adultes restent capables de sélectionner l'autre niveau si cela correspond à leurs objectifs. Différentes études suggèrent que la sélection du niveau pertinent nécessiterait l'inhibition du niveau saillant non pertinent.

1- Introduction

Ne vous est-il jamais arrivé, en vous promenant dans une rue que vous empruntez pourtant quotidiennement, d'être soudainement surpris.e par un détail que vous n'aviez pas remarqué jusque-là ? Avez-vous déjà dit bonjour à quelqu'un en pensant, dans un premier temps, qu'il s'agissait d'une personne que vous connaissiez avant de vous rendre compte, dans un second temps, qu'il ne s'agissait en réalité pas du tout d'elle ?

Ce type de phénomènes peut être expliqué au regard des connaissances sur le traitement perceptif global/local. En effet, l'analyse d'une forme globale ou du « *gist* » (aspect essentiel) d'une scène visuelle est menée avant le traitement des détails (Cesarei & Loftus, 2011; Navon, 2003; Oliva & Torralba, 2006). La mémorisation d'une scène visuelle reposerait essentiellement sur cette information globale (Clarke & Mack, 2014; Velisavljević & Elder, 2008). Cette meilleure perception du global pourrait être expliquée par des mécanismes adaptatifs (Hughes, Nozawa, & Kitterle, 1996; Rauschenberger & Yantis, 2001) permettant de ne pas surcharger le système perceptif et mnésique avec un amas de détails non-pertinents. Par ailleurs, comme le soulignent très justement Rauschenberger et Yantis (2001), « il serait adaptatif pour un organisme qui a dirigé son attention à un niveau local de la représentation, de rester sensible à de possibles changements importants à un niveau plus global (...) Un animal qui continuerait de s'intéresser aux tâches d'un guépard camouflé, y compris quand elles commenceraient à former un ensemble cohérent à un niveau plus global, regretterait rapidement cette erreur, allant à l'encontre de l'évolution de son espèce. » (pp. 1251-1252, notre traduction). Toutefois, ce mécanisme adaptatif favorisant la perception globale peut conduire à des erreurs, car parfois elle ne donne pas accès à suffisamment de détails permettant une discrimination efficace (Clarke & Mack, 2014).

Comment la sélection attentionnelle des détails de l'environnement visuel est-elle possible alors que la perception globale semble privilégiée? Au regard des modèles attentionnels décrits précédemment (Cf. Chapitre 1, p. 21), peut-on dire que la globalité de l'information visuelle aurait un poids plus fort sur la carte de saillance, et que la compétition pour l'octroi des ressources attentionnelles serait d'emblée défavorisée pour le traitement local? Un processus de contrôle inhibiteur, tel que décrit au chapitre 3, est-il nécessaire pour supprimer une information globale non-pertinente et sélectionner l'information locale adaptée ?

2- L'effet de précedence globale : définition.

Au début du 20^{ème} siècle, la théorie gestaltiste défendant l'idée d'une supériorité du Tout sur les parties se heurtait à des théories structuralistes cherchant à décrire la perception comme un processus analysant chaque détail et caractéristique et les assemblant ensuite en un ensemble cohérent. Les études réalisées à cette époque conduisaient à des résultats divergents, liés en grande partie à un manque de contrôle expérimental : afin de trancher sur la supériorité du global (groupement ou structure) ou du local (éléments constitutifs de la structure), il aurait fallu en effet pouvoir contrôler la saillance, la familiarité et l'indépendance de chaque niveau. Dans ce but, Navon (1977) s'appuya sur le principe de la tâche Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27), et utilisa des figures dites « hiérarchisées » : une forme structurelle (le niveau global) composée d'éléments constitutifs (le niveau local; par exemple un grand « H » constitué de petit « R », Cf. Figure 13).

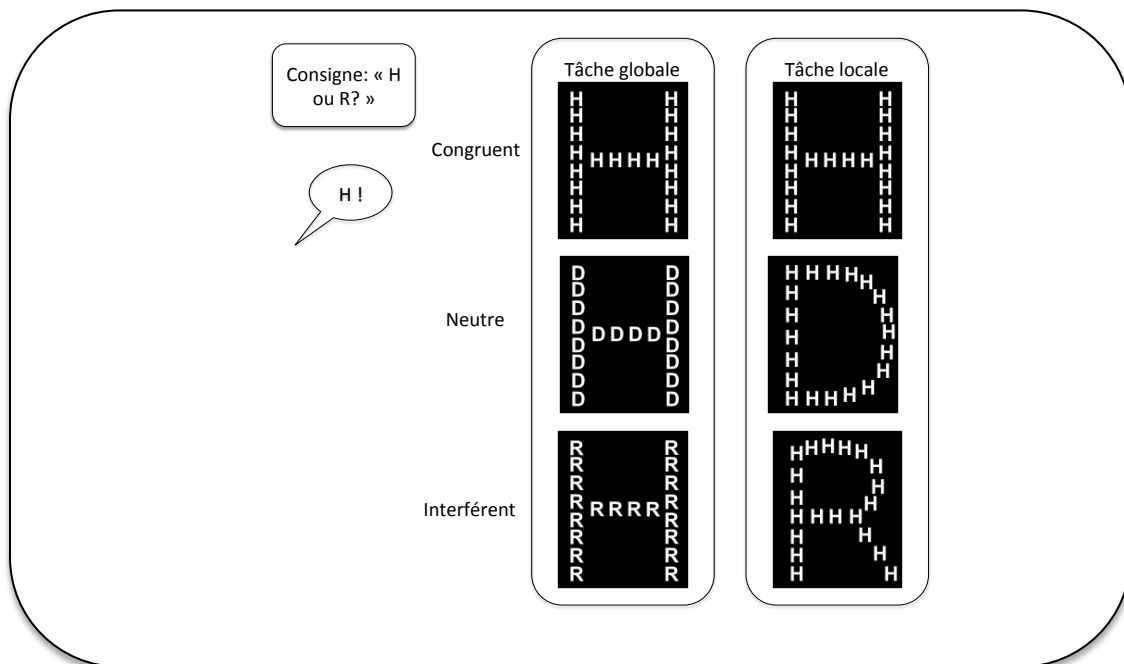


Figure 13. Exemples de figures hiérarchisées inspirées des travaux de Navon (1977). Les participant.e.s doivent focaliser leur attention sur le niveau global ou le niveau local, et décider, par exemple, si la lettre présente à ce niveau est un H ou un R. La lettre présente à l'autre niveau peut être identique (stimulus hiérarchique congruent), non présente dans les consignes de la tâche (stimulus hiérarchique neutre), ou correspondre au deuxième choix de réponse possible (stimulus hiérarchique interférent).

Navon montra d'abord que seule la lettre présente au niveau global peut interférer avec l'identification d'une lettre présentée acoustiquement. Il étudia ensuite spécifiquement le traitement global/local dans la modalité visuelle et révéla l'existence d'un effet de précedence globale, composé de deux aspects : 1- les individus détectent plus rapidement les lettres au

niveau global que les lettres au niveau local : ce phénomène est appelé l' « avantage global »; 2- lorsque les participant.e.s doivent porter leur attention au niveau local, la présence d'une information conflictuelle (stimulus hiérarchique interférent, Cf. Figure 13) au niveau global ralentit leurs réponses, et cette interférence est asymétrique (elle est plus faible ou absente lorsque l'individu traite le niveau global en présence d'une information locale conflictuelle): ce phénomène est appelé l' « interférence globale ». Un tel biais pour le traitement global était également retrouvé dans une expérience supplémentaire de discrimination entre deux figures hiérarchisées, montrant une plus grande capacité des individus à détecter une différence globale qu'une différence locale. Pour Navon, ces résultats, « qui montrent que l'attention ne peut pas être détournée du Tout, suggèrent une interprétation en faveur de l'idée que le traitement global est une étape nécessaire avant une analyse plus détaillée » (p. 371, notre traduction). Ainsi, Navon soulignait bien que le biais perceptif global serait un biais lié à une précedence temporelle de traitement. Toutefois, d'autres études ont montré que l'avantage global ne diminue pas avec l'augmentation des temps de présentation (Andres & Fernandes, 2006; D. Luna, Marcos-ruiz, & Merino, 1995). L'effet d'interférence pourrait être modulé par la durée de présentation, et devenir plus symétrique (Paquet & Merikle, 1984) mais cela n'est pas systématiquement retrouvé (Andres & Fernandes, 2006).

L'effet de précedence globale est très vite apparu robuste et reproductible (Kimchi, 1992). Certains facteurs peuvent toutefois le moduler : ils concernent les caractéristiques psychophysiques des stimuli, et donc la saillance de chacun des niveaux, ou des aspects plus tardifs du traitement, en lien avec les objectifs de la tâche et la signification des stimuli.

3- Contraintes psychophysiques sous-tendant la saillance du niveau global.

Comme le souligne Navon (2003), « le niveau global ne peut être ignoré même lorsque le sujet a pour consigne de focaliser son attention sur le niveau local » (p277, notre traduction). Comme d'autres caractéristiques, telles que le contraste, l'orientation, la couleur (Theeuwes, 1992; Treisman & Gelade, 1980), la forme globale semble capturer l'attention, du moins produire un biais en sa faveur dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. La saillance du groupement serait nécessaire dans la production de l'effet de précedence globale (Han & Humphreys, 1999, 2002; Rauschenberger & Yantis, 2001). En effet, lorsque

ce sont les éléments locaux qui sont rendus les plus saillants, un effet de précedence locale peut être observé (Mevorach et al., 2009).

Quelles propriétés psychophysiques sous-tendent la saillance du niveau global par rapport au niveau local ?

Différentes études ont montré que le biais global évolue en biais local lorsque la taille angulaire augmente (au delà de 6-9° d'angle visuel) (Kinchla & Wolfe, 1979; Lamb & Robertson, 1990). En effet, la taille module la saillance (Michael et al., 2007) et impacte la rapidité du traitement global/local (Enns & Kingstone, 1995), sans toutefois suffire à elle seule à rendre compte de l'effet de précedence globale (Yeari & Goldsmith, 2011). En augmentant la taille des figures, l'excentricité par rapport au point de fixation (vision fovéale) augmente également. En contrôlant ce facteur d'excentricité par la présentation de figures circulaires (des cercles ou des C), l'avantage global demeure quelle que soit la taille des figures (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999; D. Luna et al., 1995; Navon & Norman, 1983). L'interférence globale semble quant à elle plus variable, selon l'excentricité (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999), la taille et le nombre d'éléments locaux (Enns & Kingstone, 1995).

Un autre critère qui semble essentiel dans la production d'un biais global est le respect de la loi de « bonne forme » de la Gestalt, ce qui nécessite que les éléments locaux soient suffisamment nombreux et rapprochés (Lagasse, 1993). Lorsque c'est le cas, l'effet de précedence globale est bien retrouvé, alors qu'il ne l'est plus lorsque les éléments locaux sont moins rapprochés et/ou moins nombreux (Kimchi, 1988; Kimchi, Hadad, Behrmann, & Palmer, 2005; Lagasse, 1993; Martin, 1979; Yovel, Yovel, & Levy, 2001). L'effet de la densité pourrait être différent pour l'avantage global et l'interférence globale, mais il n'existe pas de consensus dans la littérature à ce sujet, certaines études rapportant des effets de la densité sur l'avantage global et d'autres sur l'interférence globale (Enns & Kingstone, 1995; Kimchi, 1988; Lagasse, 1993).

Les lois de la Gestalt stipulent également que les éléments locaux doivent être suffisamment proches et se détacher de l'arrière-plan afin de constituer une forme globale saillante. Ainsi, si les éléments locaux (des flèches ou des triangles) apparaissent sur un fond constitué de symboles « + » de même taille, sur lequel ils sont peu discriminables, l'effet de précedence globale n'est pas retrouvé, et est remplacé par une précedence locale (Han & Humphreys, 1999, 2002). En revanche, en ce qui concerne la loi de similarité, il apparaît que si les éléments sont suffisamment proches, ils peuvent constituer une forme globale signifiante même s'ils sont tous hétérogènes (J. Miller, 1981; Navon, 2003).

Certains auteurs ont considéré que le biais global viendrait d'un défaut d'acuité visuelle en périphérie, retrouvant l'effet de précedence globale avec une présentation périphérique mais dans une moindre mesure, ou pas du tout, avec une présentation centrale (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999; Grice, Canham, & Boroughs, 1983; Lamb & Robertson, 1990). Cela va dans le sens du modèle proposé par Rosenholtz, Huang et Ehinger (2012) stipulant que la perte d'acuité en vision périphérique peut rendre compte du fait que seuls des éléments très saillants ou des groupement d'objets puissent être perçus rapidement. Toutefois, bien qu'une présentation périphérique renforce certainement l'effet de précedence globale, de nombreuses études ont confirmé son existence avec une présentation fovéale (Beaucousin et al., 2013; D. Luna, Merino, & Marcos-Ruiz, 1990; Navon & Norman, 1983; Rauschenberger & Yantis, 2001).

Enfin, la saillance du niveau global par rapport au niveau local semble directement liée au traitement visuel des fréquences spatiales. Le système perceptif peut en effet être comparé à un analyseur de Fourier qui analyse le champ visuel en fréquences spatio-temporelles. Les basses fréquences spatiales (BFS) seraient traitées plus rapidement que les hautes fréquences spatiales (HFS) : ainsi, la catégorisation d'une image hybride, dans laquelle une scène en BFS est superposée à une scène en HFS, se fait principalement sur la scène en BFS lorsque le temps de présentation est court (30ms) et sur la scène en HFS lorsque le temps de présentation est long (150 ms) (Schyns & Oliva, 1994). Différentes études ont montré que les BFS véhiculeraient une information visuelle grossière, permettant l'identification d'une figure globale, alors que les HFS véhiculeraient plus lentement une information visuelle précise favorisant la perception des détails (Hughes et al., 1996; Kauffmann, Ramanoël, & Peyrin, 2014; Shulman, Sullivan, Gish, & Sakoda, 1986; Shulman & Wilson, 1987). C'est ce qui est qualifié de traitement *Coarse-to-Fine* (du grossier vers le précis). En filtrant les BFS d'une figure hiérarchique, l'avantage global et l'interférence globale peuvent disparaître (Badcock, Whitworth, Badcock, & Lovegrove, 1990), voire être remplacés par une précedence locale (Hughes, Fendrich, & Reuter-Lorenz, 1990). La modulation de l'effet de précedence globale par la taille angulaire et par la densité des éléments locaux pourrait être expliquée en termes de fréquences spatiales : par exemple, le fait de réduire la densité des figures hiérarchisées réduit l'amplitude des composantes en BFS (Hughes et al., 1996). Il est toutefois important de noter que le filtrage des BFS n'a pas toujours d'impact sur l'effet de précedence globale (Hübner, 1997; Lamb & Yund, 1993). La meilleure façon de rendre compte de ces résultats divergents est de concevoir deux façons distinctes de traiter le niveau global (Ripoll, Fiere, & Pélissier, 2005) : la première dépendrait des BFS et n'impliquerait pas d'identification des

éléments locaux constituant la forme globale. Dans ce cas, les éléments locaux respectant les lois de la Gestalt constitueraient simplement une texture permettant l'émergence d'une forme globale saillante. L'autre façon d'avoir accès à l'information globale serait plus lente et mise en place lorsque les BFS sont absentes et/ou lorsque les éléments locaux ne respectent pas les lois de proximité ou de bonne forme.

4- Modèles neurofonctionnels et computationnels du traitement global/local et des fréquences spatiales.

Les modèles neurofonctionnels actuels du traitement des fréquences spatiales supposent effectivement l'existence de deux voies, dont l'une traiterait avec une plus grande célérité les informations issues des BFS (Bar, 2004; Bullier, 2001). Chez l'être humain, des études en PE montrent que le niveau global bénéficierait d'un traitement perceptif privilégié par rapport au niveau local, entraînant une plus forte amplitude des ondes précoces postérieures, notamment de la P1 (Boeschoten, Kemner, Kenemans, & van Engeland, 2005; Han, Fan, Chen, & Zhuo, 1997).

Le modèle par itération de Bullier (2001), basé sur des études chez le singe, admet l'existence d'un décalage temporel dans les traitements perceptifs des BFS et des HFS. L'information en BFS, transférée par les neurones magnocellulaires du CGL, semble atteindre, chez le singe, l'aire V1 20 ms avant l'information en HFS transférée par les neurones parvocellulaires du CGL. Ce décalage permet de rendre compte à la fois d'effets *bottom-up* mais aussi d'effets *top-down*. Ainsi, l'information visuelle serait traitée en trois vagues successives. La première vague est ascendante : les BFS (véhiculant l'information globale), accéderaient plus rapidement à des aires de haut-niveau, activant presque immédiatement un réseau pariéto-frontal. Cette première vague ascendante conduirait à une ébauche de reconnaissance de la scène visuelle ou de l'objet et à une préparation de la réponse. Une deuxième vague descendante, véhiculant cette première analyse de la scène, rétro-injecterait par des connexions *feedback* les résultats de cette première ébauche réalisée par les aires de haut-niveau, vers les neurones des aires de bas niveau V1 et V2. Ces connexions *feedback* sont très rapides et convergent très largement, combinant de l'information sur des points éloignés du champ visuel. Cela correspond à la nécessité d'intégrer des informations globales avec des informations locales précises. En effet, cette

vague descendante va rencontrer la troisième vague ascendante transmettant les HFS, traitées par les cellules parvocellulaires, permettant de fournir l'information locale détaillée (Cf. Figure 14).

Ce modèle par vagues successives semble également applicable à l'espèce humaine. En présentant une même scène en BFS puis en HFS ou bien en HFS puis en BFS, et en utilisant des techniques d'IRMf et d'EEG, Peyrin et al. (2010) ont confirmé un traitement *Coarse-to-Fine* chez l'être humain. La présentation d'une première image filtrée en BFS activait des régions de haut-niveau, frontales et temporo-pariétales, associées ensuite, après la présentation de la deuxième image en HFS, à une plus grande activation du cortex occipital dès 200 ms, et d'une plus forte activation de la jonction temporo-pariétale. Lorsque la présentation des images ne suivait pas un ordre *Coarse-to-Fine*, la première image en HFS activait surtout des aires occipitales ainsi que des régions pariétales droites et du CCA, témoignant d'une plus forte mobilisation des ressources attentionnelles. La deuxième image (en BFS) n'entraînait pas une accentuation des activations des aires de bas-niveau. Cette implication très précoce d'aires de haut-niveau dans le traitement visuel, exclusivement lorsqu'une image contient des BFS, a également été retrouvée par Bar et al (2006), qui ont révélé une activation du cortex orbitofrontal plus précoce que l'activation des aires temporales. Il y aurait ainsi un réseau magnocellulaire reliant, par des connexions ascendantes et descendantes, les aires visuelles primaires aux régions ventrolatérales du CPF. Le CPF permettrait de faire des prédictions sur la base d'inférences, en associant les informations en BFS à des éléments déjà connus et rencontrés, afin de faciliter les traitements subséquents (Cf. Figure 14).

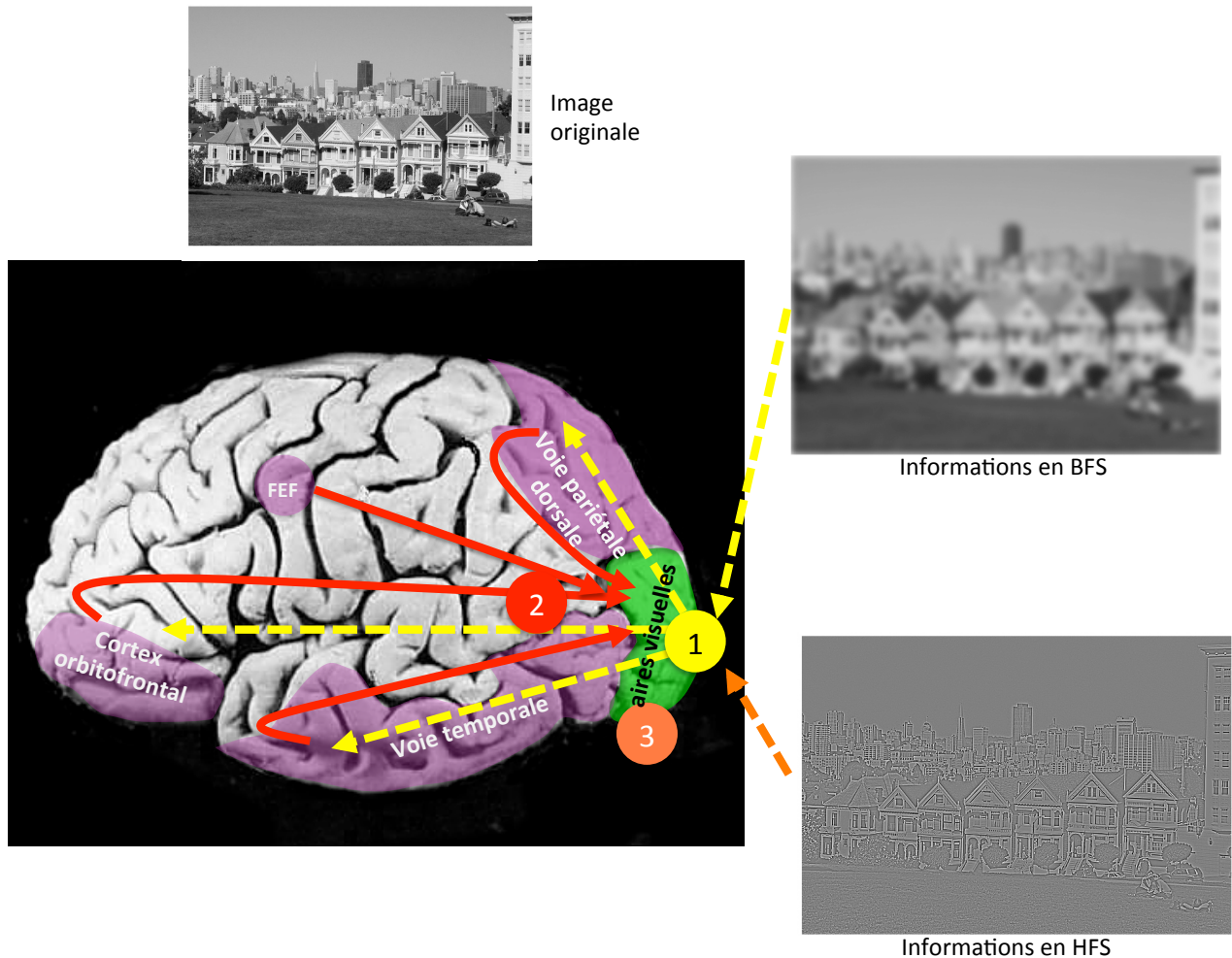


Figure 14. Schématisation du traitement des fréquences spatiales à partir du modèle par itération de Bullier (2001) et des données chez l'être humain de Peyrin et al. (2010) et Bar et al (2006). La scène visuelle originale est représentée par l'image en haut. L'information BF (image en haut à droite) parvient à V1 (en vert) en première (flèche jaune) : c'est la première vague (« 1 »). Puis cette information est traitée par les aires frontales, pariétales et temporales qui amorcent les processus d'identification des informations visuelles. Le signal est ensuite renvoyé aux aires de bas-niveau par des connexions descendantes : c'est la deuxième vague (« 2 », en rouge). Une troisième vague ascendante (« 3 ») portant l'information en HFS (image en bas à droite) parvient à V1 (flèche orange) et son traitement ultérieur va venir confirmer ou infirmer le traitement préalable des informations BF.

Il est à noter toutefois que ce type de modèles fréquentiels a été critiqué (Hegdé, 2008), notamment par la remise en cause d'une plus grande célérité du traitement des BFS par rapport aux HFS et en démontrant qu'un traitement *Fine-to-Coarse* peut être parfois privilégié. Le développement de modèles de la perception basée sur les inférences bayésiennes permet de concevoir les données fréquentielles d'une nouvelle façon : l'organisme, à chaque étape du traitement, adapterait l'analyse des données et les réponses en fonction des informations disponibles, et aussi de ses connaissances antérieures. La suprématie temporelle des BFS sur les HFS serait un code, la plupart du temps adapté (on a le plus souvent besoin d'avoir une idée générale de la scène avant d'en scruter les détails), mais qui pourrait toutefois être modulé. En effet, les connaissances sur la tâche à effectuer et les

attentes des individus impactent la saillance globale et le traitement des fréquences spatiales. Ainsi, lorsque le niveau d'apparition hiérarchique d'une cible est connu, la performance s'améliore et les effets d'interférence s'atténuent par rapport à une situation où le niveau d'apparition de la cible change au cours d'un bloc (Hübner, 2014). Les attentes endogènes des individus modulent leur sensibilité aux fréquences spatiales : le fait de porter son attention vers le niveau local biaise la sélection en faveur des HFS tandis que le fait de porter son attention vers le niveau global biaise la sélection en faveur des BFS (Flevaris, Bentin, & Robertson, 2011; Flevaris, Martínez, & Hillyard, 2014).

Mais que l'on postule un traitement plus précoce des BFS et de l'information globale ou un traitement parallèle des informations en BFS et HFS, se pose la question de leur assemblage en un tout cohérent. En effet, les deux niveaux seraient identifiés séparément : si on demande à des participant.e.s de se focaliser sur un niveau, et qu'on leur présente des objets hiérarchisés très rapidement suivis d'un masque, on observe un phénomène de conjonction illusoire, les individus donnant fréquemment l'identité de la lettre qui était présente à l'autre niveau (Hübner & Volberg, 2005). Les identités des lettres globale et locale seraient ainsi représentées séparément et sans information sur leur niveau respectif, et il serait ensuite nécessaire que l'information d'identité et l'information de niveau soient intégrées pour former une représentation complète de la figure hiérarchique (Hübner, 2014; Hübner & Volberg, 2005). Les modèles fréquentiels ont également postulé une intégration des fréquences spatiales BFS et HFS qui serait effectuée au niveau du lobe temporal (Bar et al., 2006; Peyrin et al., 2010), moins de 100ms après l'apparition d'une image (Kihara & Takeda, 2010). C'est probablement lorsque les identités des formes globales et locales ne correspondent pas, et au moment de cette intégration, qu'il y aurait naissance d'un conflit entraînant des effets d'interférence.

5- Conflit, interférence et compétition entre les niveaux hiérarchiques

Lorsque la saillance du niveau global est élevée, elle reçoit un poids tellement fort sur la carte de la priorisation attentionnelle (Koivisto & Revonsuo, 2004) qu'elle capture l'attention sans que le niveau local ne soit identifié (Ripoll et al., 2005), conduisant à un avantage global et une interférence asymétrique du global sur le local. En revanche, lorsque que le global reçoit moins de poids sur la carte de priorisation, ou que le local en reçoit davantage, les

formes locales seraient identifiées, ce qui conduirait à une interférence plus symétrique (Hübner, 2014). Quelle est la nature du conflit qui entraîne les effets d'interférence ?

5.1- L'interférence globale : un effet post-sémantique

De nombreux auteurs ont supposé une indépendance de l'avantage global et de l'interférence globale (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999; Enns & Kingstone, 1995; Kimchi, 1988; Lamb & Robertson, 1988; Poirel, Pineau, & Mellet, 2008). Ainsi, des temps de réaction plus rapides peuvent être observés pour un niveau hiérarchique, ce qui ne signifie pas que ce soit ce niveau qui entraîne le plus d'interférence (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999).

L'identification semble un prérequis à l'apparition d'une interférence globale. Lorsque la saillance du niveau global n'est pas altérée, un avantage global est retrouvé quelle que soit la signification des figures présentées, en revanche l'interférence globale disparaît si la forme du niveau global n'est pas identifiable (Poirel, Pineau, et al., 2008; Rauschenberger & Yantis, 2001). Dans ce cas, le niveau global a bien été sélectionné de façon prioritaire, produisant un avantage global, mais l'identification subséquente du niveau local n'est pas détériorée par un conflit sémantique. Cela confirme l'idée que l'interférence serait liée à l'identification des objets présents à chaque niveau (Hübner, 2014; Hübner & Volberg, 2005).

5.2- Types de conflit entre deux niveaux hiérarchiques et niveau d'intervention.

Afin de mesurer des effets d'interférence d'un niveau sur l'autre, on peut comparer les performances pour des figures congruentes et interférentes. Néanmoins, dans ce cas, on mesure à la fois des effets d'interférence et de facilitation. C'est pourquoi des figures dites neutres sont utilisées en comparaison de figures interférentes pour mesurer le conflit. Toutefois, différentes études (Beaucousin et al., 2013; Weissman, Giesbrecht, Song, Mangun, & Woldorff, 2003) suggèrent que la lettre hiérarchique neutre serait elle-même conflictuelle. En effet, bien que la forme présente au niveau non-pertinent d'une figure neutre ne corresponde pas à une réponse motrice possible, elle est toutefois perceptivement et sémantiquement en conflit avec la forme présente au niveau pertinent. Weissman et al. (2003) ont ainsi observé en IRMf que le CCA, connu pour son rôle dans la détection d'un conflit perceptif ou cognitif, était plus activé en local à la fois avec des figures interférentes mais également avec des figures neutres, en comparaison aux figures congruentes. La tâche globale, quant à elle, entraînait une augmentation du signal BOLD du CCA uniquement en

situation de conflit moteur. Des résultats allant dans ce sens ont également été observés en EEG : durant la tâche locale, les stimuli neutres et interférents, en comparaison des stimuli congruents, entraînaient une augmentation précoce de l'amplitude N1 sur des sites postérieurs, alors que ce n'était pas le cas durant la tâche globale (Beaucousin et al., 2013). Ainsi, la divergence des données concernant les effets d'interférence pourrait aussi être expliquée par le type de calcul effectué, une soustraction des performances entre une situation neutre et interférente pouvant potentiellement minimiser l'effet d'interférence globale. Par ailleurs, les données obtenues par Weissman et al. (2003) suggèrent différents niveaux de conflits (sémantique et moteur) potentiellement dissociables.

Par ailleurs, le conflit et les effets d'interférence qui en découlent n'auraient cours qu'entre deux niveaux spatialement proches. En effet, en ajoutant un niveau intermédiaire (entre le niveau global et local), Rijpkema, van Aalderen, Schwarzbach et Verstraten (2007) ont montré que l'avantage global augmente avec la globalité de l'objet (le niveau global est traité plus rapidement que le niveau intermédiaire, lui-même traité plus rapidement que le niveau local), tandis que les effets d'interférence n'existent que du niveau global le plus proche (le niveau intermédiaire, mais pas le niveau global, interfère avec le traitement du niveau local). L'avantage global agirait ainsi sur un continuum alors que l'interférence globale serait un phénomène plus dichotomique.

5.3- L'interférence globale et la recherche visuelle.

L'interférence serait un indice de la difficulté de sélection d'une cible, c'est-à-dire de la difficulté à discriminer une cible pertinente au milieu de distracteurs non-pertinents (Stablum et al., 2001). Le paradigme de recherche visuelle permet de distinguer la sélection dans un contexte non-compétitif par l'analyse d'une *baseline* (temps de recherche sans distracteur ou avec un seul distracteur) et la sélection dans un contexte compétitif par l'analyse des pentes de recherche (temps nécessaire pour la détection d'une cible par distracteur ajouté) (Desimone & Duncan, 1995; Treisman, 1993). Dans ce dernier cas, on peut observer une recherche efficiente de la cible (temps de détection constants quel que soit le nombre de distracteur), ou bien une recherche moins efficiente, augmentant linéairement avec le nombre de distracteurs (Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 1994, 2014). Kimchi et al (2005) ont utilisé une tâche de recherche visuelle de type *feature* (la cible se distinguait des distracteurs par une caractéristique primaire, la forme) avec des figures hiérarchisées.

L'analyse de la *baseline* révélait une plus grande rapidité du traitement global en situation de forte densité des figures hiérarchiques (lois de « bonne forme » et de « proximité » respectées) alors que les temps étaient équivalents en global et en local avec une faible densité. Ce résultat confirme la possibilité d'un traitement global à deux niveaux, selon sa saillance (Ripoll et al., 2005). L'analyse des pentes de recherche révélait, quant à elle, une recherche efficiente d'une cible globale en condition de forte densité et d'une cible locale en condition de faible densité, ce qui montre l'impact de la saillance sur la sélection attentionnelle. La recherche locale en forte densité était peu efficiente, avec des pentes de recherche d'environ 30 ms par item ajouté. Ainsi, la sélection du niveau local apparaît sensible à l'interférence de distracteurs globaux, et cela uniquement lorsque ceux-ci sont plus saillants. Et en effet, lorsque des participant.e.s doivent chercher une cible locale, l'apparition d'une forme globale non-pertinente perturbe sa détection, alors que l'apparition d'une forme locale ne perturbe pas une recherche effectuée à un niveau global (Rauschenberger & Yantis, 2001). Ces premiers résultats en recherche visuelle indiquent que le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible constitue un biais dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Toutefois, de nombreuses questions restent en suspens et des études supplémentaires apparaissent nécessaires pour qualifier la façon dont les informations visuelles sont priorisées selon le niveau hiérarchique auquel elles apparaissent (Cf. Perspective de recherche 1). L'Étude 1 qui sera présentée dans cette thèse répondra à cet objectif (Cf. p. 127).

Malgré la saillance perceptive du niveau global, et malgré le fait que la compétition attentionnelle semble biaisée en faveur de la structure par rapport aux éléments de détail, nous restons capables de focaliser notre attention sur des informations locales. Quel est le mécanisme qui rend la sélection attentionnelle locale possible ?

Perspective de recherche 1

Dans l'étude en recherche visuelle de Kimchi et al (2005), la tâche est de type feature (Cf. Chapitre 2, p. 45). La cible se distingue des distracteurs sur la base d'une caractéristique primaire, par sa forme. Au regard des modèles classiques en recherche visuelle (Treisman & Gelade, 1980), une recherche de type pop-out devrait donc être observée, quel que soit le niveau hiérarchique d'apparition de la cible. Toutefois, ce n'est pas le cas lorsque la cible apparaît au niveau local. Cette observation conduit à différentes questions, nécessaires pour qualifier la priorisation d'une information selon son niveau hiérarchique d'apparition lors de la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Est-ce le niveau global qui est avantagé ou plutôt le niveau local qui est désavantagé lors de la recherche visuelle? L'observation d'un traitement moins efficient pour une cible locale est-elle liée à la différence de taille entre les éléments locaux et globaux ou bien véritablement à l'emplacement hiérarchique? Le type de traitement attentionnel mis en jeu lors de la recherche visuelle agit-il sur un continuum (pentes de recherche qui deviennent de plus en plus plates avec l'augmentation de la globalité de la cible) ou de façon dichotomique (recherche moins efficiente pour le niveau local uniquement)? Pour répondre à ces questions, il apparaît nécessaire de mener une étude en recherche visuelle en ajoutant, comme l'ont fait Rijpkema, van Aalderen, Schwarzbach et Verstraten (2007), un niveau intermédiaire. L'ajout d'un niveau intermédiaire permettrait de savoir : 1) si la différence de détection entre une cible globale et une cible locale en recherche visuelle reflète un avantage global ou un désavantage local, 2) dans quelle mesure les processus attentionnels agissent sur un continuum (les pentes de recherche du niveau intermédiaire devraient alors se situer entre celles du niveau global et du niveau local) ou de façon dichotomique (seule la recherche pour le niveau le plus local serait inefficace). La comparaison des résultats pour une recherche visuelle avec des stimuli à 3 niveaux et ceux avec des stimuli à 2 niveaux serait un moyen efficace de contrôler l'impact de la complexité de la figure, de la taille des différents niveaux et de la distance spatiale entre les niveaux. Pour finir, quel est le rôle des connaissances de l'individu sur l'endroit où va apparaître la cible? Dans l'étude de Kimchi et al (2005), les participant.e.s savaient à quel niveau la cible apparaîtrait. Peut-on reproduire pareils résultats en attention divisée (lorsque les participant.e.s ne savent pas par avance à quel niveau hiérarchique la cible va apparaître)?

6- Le rôle de l'inhibition dans la résistance à l'interférence du niveau global

saillant.

Comme il a été décrit au Chapitre 3, l'inhibition est un mécanisme nécessaire pour supprimer un élément saillant afin de sélectionner un élément pertinent mais moins saillant. Est-ce le cas également lorsque nous devons porter notre attention au niveau local, en présence d'une information globale distractive? À ce jour, aucune preuve évidente de l'existence d'un tel processus d'inhibition n'a été démontrée. Toutefois, un ensemble de données semble aller dans ce sens.

Lorsque des participant.e.s sont indicé.e.s à un niveau global, une cible qui apparaît finalement au niveau local est plus rapidement traitée que dans une condition sans indicage ;

en revanche, lorsque l'indigage oriente vers le niveau local, aucun bénéfice n'est ensuite observé si la cible apparaît finalement à un niveau global (Robertson, Egly, Lamb, & Kerth, 1993). Les auteur.e.s de cette étude concluent : « quand les indices prédisent des cibles locales, la région spatiale qui entoure la forme centrale locale est inhibée » (p. 481, notre traduction). Bien que l'existence d'un processus d'inhibition ne soit pas directement démontrée dans cette étude, il semble en effet nécessaire de postuler l'existence d'un tel mécanisme pour rendre compte d'une sélection locale lorsqu'une information globale plus saillante est présente simultanément.

Un autre argument fort, qui semble indiquer l'implication de l'inhibition dans la sélection locale, repose sur l'observation de résultats différents sur l'effet de précédence globale selon la mise en place d'un entraînement incluant ou non l'inhibition. Ainsi, un entraînement intensif sur plus de 10 000 essais, au cours duquel les participant.e.s devaient systématiquement supprimer une information globale distractive, permettait d'annuler l'avantage global, de réduire l'interférence globale et de faire apparaître une interférence locale (Dulaney & Marks, 2007). En revanche, un entraînement intensif basé sur une habitude à détecter des cibles locales n'entraînait pas de réduction de l'effet d'interférence globale (Paquet, 1992).

Une étude en EEG Han, Fan, Chen et Zhuo (1997) semble également indiquer l'implication de processus d'inhibition au cours de la sélection locale, révélant une amplitude plus prononcée de la N200 et de la P300 en situation d'interférence lors du traitement local que lors du traitement global. Or ce complexe N2-P3 est souvent considéré comme un indicateur de l'inhibition ou de la détection de conflit (Daurignac et al., 2006; Eimer, 1993; Enriquez-Geppert, Konrad, Pantev, & Huster, 2010; Heil, Osman, Wiegelmann, Rolke, & Hennighausen, 2000) et sa source semblerait se situer au niveau du CCA (Crottaz-Herbette & Menon, 2006; Huster, Westerhausen, Pantev, & Konrad, 2010).

Afin de démontrer l'existence d'un processus d'inhibition du niveau global saillant dans la sélection locale, il semble nécessaire d'utiliser un paradigme d'amorçage négatif (Houghton & Tipper, 1994; Tipper, 1985, 2001). À notre connaissance, seule une étude du domaine global/local a employé un tel paradigme à ce jour (Stablum et al., 2001). Cette étude avait pour objectif d'appréhender la relation entre l'effet d'interférence et l'effet d'amorçage négatif en observant leur modulation respective par les temps de présentation. Les auteurs ont, au cours de cinq études, retrouvé un effet d'avantage global et d'interférence globale, signant une plus grande difficulté à sélectionner le niveau local, ainsi qu'un effet d'amorçage négatif

plus important en local qu'en global. Les temps de présentation des figures en amorce modulaient l'effet d'amorçage négatif et non l'effet d'interférence, suggérant une certaine autonomie de ces deux effets. Toutefois, plusieurs limites méthodologiques semblent exister dans cette étude. Tout d'abord, les stimuli présentés en probe étaient toujours des items interférents, rendant difficile de distinguer les effets relevant d'un conflit précédemment traité et les effets relevant d'un conflit présent. Ensuite, la constitution des essais test n'est pas claire, puisque les lettres présentes en probe peuvent être différentes ou identiques aux lettres présentées en amorce, à un seul ou aux deux niveaux hiérarchiques. Or, classiquement, pour révéler un effet d'amorçage négatif, seule la réponse à inhiber en amorce doit être la réponse à activer en probe. Au-delà de ces aspects méthodologiques, différentes questions méritent d'être posées afin de confirmer l'existence d'un processus d'inhibition globale dans la sélection globale (Cf. Perspective de recherche 2). L'Étude 2 qui sera présentée dans cette thèse répondra à cet objectif (Cf. p. 158).

Perspective de recherche 2

Lorsque la sélection d'une cible locale est rendue difficile en raison de la présence d'un distracteur global saillant, des effets d'interférence sont observés (Beaucousin et al., 2013; Navon, 1977, 2003; Poirel et al., 2008). La résolution d'un conflit entre la saillance globale et la pertinence locale nécessite-t-elle l'inhibition de la forme globale ? Cette inhibition porte-t-elle uniquement sur un distracteur donné ou bien sur tout le niveau global ? L'utilisation d'un paradigme d'amorçage négatif permettrait de mesurer la présence d'un tel processus d'inhibition (Tipper, 1985, 2001). Toutefois, certaines théories défendent l'idée que l'effet d'amorçage négatif serait dû à des processus de récupération mnésique (Milliken et al., 1998; Neill & Mathis, 1998), liée à la nécessité de produire une réponse différente à un item déjà rencontré. Afin d'écarter ce type d'explication, il faudrait vérifier l'existence d'un effet d'amorçage négatif lorsque les items présentés au cours de la probe ne correspondent pas aux items présentés au cours de l'amorce. Par ailleurs, afin de vérifier que l'amorçage négatif n'est pas la signature d'un ralentissement postérieur au conflit (Verguts, Notebaert, Kunde, & Wühr, 2011), il serait intéressant de contrôler dans quelle mesure un conflit en amorce peut entraîner une amélioration des performances en probe, dans la cas où la lettre à inhiber est la même en prime et en probe (amorçage positif). Enfin, certains auteurs défendent l'idée d'une autonomie relative entre les effets d'interférence et l'effet d'amorçage négatif, qui seraient impactés différemment selon la manipulation de certains facteurs (voir Stablum et al., 2001; Tipper, 2001). Il apparaît ainsi nécessaire de vérifier l'existence d'une corrélation entre la force de l'interférence en amorce et la force de l'effet d'amorçage négatif en probe.

7- Transition : le biais global se construit-il au cours du développement?

Le biais perceptif favorisant la structure globale lors de la compétition attentionnelle est largement observé chez l'adulte et considéré comme un biais adaptatif (Hughes et al., 1996; Rauschenberger & Yantis, 2001). Or, Piaget (1923, 2012) avait défendu l'idée que l'adaptation des organismes à leur environnement se construirait non seulement d'un point de vue biologique, au cours de l'évolution des espèces, mais également au cours du développement de l'individu. Alors que pour Piaget, l'adaptation était considérée comme le moteur de l'émergence des structures logiques de la pensée, il semblerait que les biais, qui permettent d'effectuer des traitements rapides et ainsi d'économiser les ressources du système cognitif, puissent également correspondre à une forme d'adaptation de l'organisme (Pascual-Leone & Goodman, 1979). On peut dès lors se demander si, chez l'enfant, le biais global existe précocement ou s'il se met progressivement en place, permettant ainsi au système cognitif de synthétiser les informations et de ne pas se laisser envahir par l'analyse d'un amas de détails.

Pour Houdé (Houdé, 1995, 2000; Houdé & Leroux, 2009), l'adaptation émergente au cours du développement reposerait essentiellement sur la capacité à activer ou inhiber les stratégies pertinentes ou erronées selon les situations environnementales. Chez l'adulte, nous avons montré qu'en effet la sélection d'une information locale semble nécessiter l'inhibition de l'information structurelle globale. Afin de comprendre comment le traitement global/local se développe chez l'enfant, il apparaît ainsi nécessaire de l'analyser conjointement au développement des processus d'inhibition et de sélection attentionnelles. La deuxième partie de l'Introduction Théorique de cette thèse suivra ainsi cette démarche, avec un chapitre consacré au développement de la sélection et de l'inhibition attentionnelles et un chapitre consacré au développement de l'effet de précedence globale.

PARTIE 2 :

SELECTION / INHIBITION

ATTENTIONNELLES ET PRECEDENCE

GLOBALE : ASPECTS DEVELOPPEMENTAUX

Chapitre 4

LE DEVELOPPEMENT DE LA SELECTION ATTENTIONNELLE SELON LA COMPETITION : QUEL ROLE DE L'INHIBITION ?

RÉSUMÉ : Les différents processus sous-tendant un traitement de haut-niveau sont parfois difficiles à dissocier et la plupart des modèles actuels échouent à s'accorder sur la dissociation ou l'unicité des mécanismes attentionnels, exécutifs ou inhibiteurs au cours du développement. Toutefois, des tâches attentionnelles simples faisant varier le degré de conflit permettent une dissociation entre différentes composantes et révèlent une maturité précoce des capacités attentionnelles d'engagement et d'orientation et plus tardive des capacités de sélection dans un contexte de compétition ou d'interférence. Ce décalage développemental entre des situations sans interférence et avec interférence pourrait être mis en lien avec le développement très progressif de l'inhibition. L'utilisation de paradigmes en amorçage négatif permet de révéler chez l'enfant comme chez l'adulte l'existence de mécanismes inhibiteurs lors de la sélection d'une information peu saillante ou d'une réponse non dominante.

1- L'attention, les fonctions exécutives, l'inhibition : leur développement est-il dissociable ?

Les concepts ne cessent de se multiplier dans le champ scientifique de l'attention et des fonctions exécutives, recouvrant parfois des réalités proches. Les tâches utilisées pour mesurer des fonctions de haut niveau chez l'enfant font pour la plupart appel à un nombre varié de processus, qu'il n'est pas toujours évident de distinguer (Garon, Bryson, & Smith, 2008). En réalité, la plupart des tâches conçues pour révéler l'inhibition font également appel à l'attention sélective, et, de la même façon, la plupart des tâches d'attention sélective se sont intéressées aux situations de compétition, au cours desquelles des mécanismes inhibiteurs interviennent probablement (Harnishfeger, 1995; Neill et al., 1995). Ainsi les tâches qui permettaient originellement d'étudier l'effet de l'interférence sur la sélection attentionnelle (par exemple, la tâche du Stroop, Cf. Encadré 2, p. 27) ont été progressivement transformées pour rendre compte du mécanisme actif de suppression (amorçage négatif) (Tipper, Bourque, Anderson, & Brehaut, 1989). Néanmoins les tâches classiques d'interférence sont elles-mêmes souvent utilisées comme des mesures de l'inhibition.

L'étude du développement de l'enfant permet d'observer des différences de trajectoires développementales, révélant ainsi une certaine autonomie ou au contraire une certaine interdépendance entre des processus cognitifs. Toutefois, à l'heure actuelle, aucun consensus clair n'émerge de ces travaux.

1.1 Un facteur général du contrôle exécutif, proche du concept de superviseur attentionnel ?

Dans certains modèles des fonctions exécutives, malgré l'existence de composantes spécifiques (inhibition, mémoire de travail, flexibilité⁶), un facteur général est parfois révélé (Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003; Miyake et al., 2000). Ce facteur général peut

⁶ « Capacité à basculer entre deux types de traitement incompatibles sur des stimuli d'une même classe » (Chevalier & Blaye, 2008)

être rapproché de concepts issus de modèles classiques de l'attention, comme le système attentionnel superviseur⁷ ou administrateur central⁸ (Baddeley, 1992; D. A. Norman & Shallice, 1986) définis comme un système volontaire permettant de briser les schémas automatiques de réponse ou encore le template attentionnel (Desimone & Duncan, 1995) défini comme un système gérant la compétition et l'octroi des ressources attentionnelles, concepts en réalité très proche de la définition générale des fonctions exécutives donnée par Diamond (2013). Il est important de rappeler qu'avant l'émergence des modèles des fonctions exécutives basées sur les analyses factorielles (Miyake et al., 2000), l'inhibition et l'activation (la sélection) étaient traditionnellement considérées comme les fonctions jumelles de l'attention (Case, 1992; James, 1890). Pour Colombo et Cheatham (2006) l'apparition précoce de l'orientation endogène chez l'enfant est une forme émergente des fonctions exécutives, la prémisses indispensable à l'instauration des fonctions complexes de contrôle. Ce point de vue est aussi celui adopté par Posner et ses collaborateurs, ce qui explique l'utilisation du terme « attention exécutive » dans leurs travaux, désignant l'attention impliquée dans les situations d'interférence, qui se développerait massivement à l'âge scolaire (Posner & Rothbart, 1998, 2007; Rueda, Posner, & Rothbart, 2005).

1.2 L'inhibition, un processus dissociable des autres fonctions exécutives ?

La conception tripartite des composantes exécutives (mémoire de travail, flexibilité, inhibition) et l'idée d'un facteur commun sous-jacent, ne font pas consensus en psychologie du développement. Différentes études (Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006) ont trouvé une absence de corrélation entre les performances des enfants dans des épreuves d'inhibition et leurs performances dans des épreuves permettant une mesure des autres fonctions exécutives du modèle de Miyake (Lehto et al., 2003; Miyake et al., 2000), malgré l'emploi d'épreuves similaires (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Ce type de résultats n'est pas toujours reproduit, et, au contraire, de fortes corrélations ont pu

⁷ Système superviseur attentionnel : dans le modèle de Norman & Shallice (1986), des schémas d'action ou scripts permettent d'engager une réponse dans des situations habituelles. Le système superviseur attentionnel, quant à lui, contrôle l'activation ou l'inhibition de ces schémas, gère les conflits, et permet la programmation d'une réponse dans une situation nouvelle.

⁸ Administrateur central : Dans le modèle de la mémoire de travail de Baddeley (1992), il s'agit de la composante exécutive permettant la mise en place des stratégies et l'intégration des différentes sources d'informations. Ses ressources étant limitées, ce système permet une adaptation selon la demande cognitive de la tâche. Il est directement inspiré du superviseur attentionnel de Norman & Shallice (1986).

être observées entre les capacités en mémoire de travail et l'inhibition (Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006). Enfin, les modèles pourraient être de meilleurs prédicteurs des compétences à un âge donné et pas à un autre : Xu et al (2013) ont ainsi trouvé que les modèles à un facteur expliquent davantage les résultats jusqu'à 12 ans, mais qu'à l'adolescence le modèle tripartite donne les meilleurs résultats. Les divergences observées entre ces différents modèles sont probablement liées à l'impossibilité de trouver des épreuves « pures », et il apparaît illusoire d'espérer qu'un contraste (entre une situation contrôle et une situation test) puisse isoler parfaitement un seul processus.

De plus, les termes employés sont aussi polysémiques. Ainsi lorsqu'on parle d'« inhibition », est-on sûr de ne pas mettre ensemble des processus distincts au cours du développement ?

1.3 L'inhibition, ou LES inhibitions ? Mise en évidence d'un développement différencié selon le type d'inhibition requise.

Howard, Johnson et Pascual-Leone (2014) ont fait la distinction entre deux grands types de modèles du développement de l'inhibition : ceux pour lesquels il n'y a qu'un facteur d'inhibition, et ceux qui en envisagent au moins deux. Différents types de distinction ont été rapportés : par exemple entre l'inhibition automatique et l'inhibition contrôlée, ou encore entre l'inhibition cognitive et la suppression d'une réponse dominante. Chez l'enfant, ce type de distinction prend une nouvelle dimension car l'idée est de rendre compte de trajectoires développementales dissociées. Ainsi, Pascual Leone (1984) a proposé de distinguer : 1) l'inhibition coûteuse, *effortful*, qui est celle mise en place par les enfants dans les tâches piège inventées par Piaget pour supprimer des schèmes trompeurs hautement activés, et dont l'efficacité dépendrait des capacités mentales mûrissant par étapes jusque 15-16 ans, de 2) l'inhibition automatique qui s'applique à des schèmes perceptifs, automatiques, extérieurs à l'attention mentale et qui se développerait précocement. Différentes études ont par la suite vérifié ce type de distinction chez l'enfant, en montrant que l'inhibition *effortful* se développerait jusqu'à l'âge adulte contrairement à l'inhibition automatique qui ne semble pas se développer (Friedman & Miyake, 2004; Lechuga, Moreno, Pelegina, Gómez-Ariza, & Bajo, 2006).

Harnishfeger (1995), quant à elle, propose de distinguer les processus d'inhibition au cours du développement par rapport au contenu sur lequel ils agissent, et distingue ainsi : 1) l'inhibition comportementale définie comme la suppression de réponses motrices

prépondérantes/ préparées/ indicées et permettant l'autorégulation et 2) l'inhibition cognitive ou conceptuelle qui agirait sur les représentations en bloquant les informations, les pensées ou les stratégies non pertinentes.

L'inhibition peut également être distinguée selon le moment d'intervention. On distingue alors 1) la résistance préparatoire à l'interférence, qui permettrait d'empêcher le traitement d'informations non pertinentes et ainsi de préserver les ressources attentionnelles et 2) l'inhibition proactive qui permettrait de supprimer activement les informations prépondérantes qui ont déjà été activées (Bjorklund & Harnishfeger, 1995; Chevalier, 2010; Harnishfeger, 1995; Miyake et al., 2000; Nigg, 2000). Certains modèles combinent ces différentes distinctions : ainsi Nigg (2000) propose-t-il une taxonomie de l'inhibition en huit composantes permettant de rendre compte de dissociations observées dans la pathologie : en plus de la résistance à l'interférence, de l'inhibition cognitive et de l'inhibition comportementale, il propose un sous-type d'inhibition propre aux mouvements oculaires ainsi qu'une inhibition d'ordre motivationnel portant sur les items émotionnels, et des mécanismes inhibiteurs automatiques propres à la sélection attentionnelle : la suppression d'items récemment inspectés (inhibition-retour) et la suppression d'information apparaissant à une localisation inattendue (résistance à la capture attentionnelle).

Ces différents modèles montrent ainsi que la taxonomie des fonctions cognitives originellement effectuée chez l'adulte ne s'applique pas avec autant d'aisance chez l'enfant en développement, et nécessite de questionner les dissociations ou regroupements classiquement effectués.

C'est pourquoi dans les parties suivantes, nous avons choisi de distinguer le développement de la sélection attentionnelle selon le contexte de compétition. Nous montrerons que l'orientation et l'engagement attentionnels sont matures précocement, au début de l'âge scolaire, alors que la sélection dans un contexte de compétition est marquée par un développement plus progressif, qui sera mis en lien avec l'inhibition.

2- La sélection attentionnelle dans un contexte non-compétitif : un développement précoce.

L'apparition de l'attention endogène pourrait être la prémisse indispensable au développement du contrôle cognitif (Colombo & Cheatham, 2006). La première année de vie est marquée par deux périodes cruciales : entre 3 et 6-7 mois, les temps de regard sur des

objets nouveaux décroissent, ce qui signerait un meilleur encodage perceptif corrélé aux performances cognitives ultérieures (Colombo, 1993), puis les temps de regard ré-augmentent entre 6 à 8 mois, ce qui témoignerait de l'apparition de l'attention endogène, c'est-à-dire de la capacité à rester focaliser sur un objet qui a un intérêt particulier.

Durant la période préscolaire, les capacités attentionnelles des enfants augmentent considérablement (Garon et al., 2008). Ainsi, durant le jeu, les enfants développent progressivement une attention focalisée, et l'attention occasionnelle (fixer rapidement un objet sans s'y attarder) diminue entre 26 et 42 mois, ce qui correspond à une période durant laquelle les parents notent de meilleures capacités attentionnelles chez leurs enfants (Ruff, Capozzoli, & Weissberg, 1998). Toutefois, la diminution des erreurs et des temps de réaction dans des tâches attentionnelles simples (par exemple, détecter un lapin sur un écran) se poursuit au-delà de 4 ans. Il faut également prendre en considération le fait que la capacité à soutenir son attention de manière endogène sur une longue période semble particulièrement difficile pour les enfants d'âge préscolaire (Akshoomoff, 2002; Brodeur & Enns, 1997).

De nombreuses études convergent à montrer que les capacités d'orientation exogène de l'attention, vers une cible ou un indice saillant, atteindrait un niveau mature au début de l'âge scolaire, aux alentours de 6-7 ans (Brodeur & Enns, 1997; Enns & Brodeur, 1989; Michael, Lété, & Ducrot, 2013; Wainwright & Bryson, 2002). La capacité à orienter et engager son attention de façon volontaire serait un peu plus tardive (Fisher, 2010), avec un niveau adulte atteint aux alentours de 8 à 10 ans (Brodeur & Enns, 1997; Goldberg, Maurer, & Lewis, 2001).

3- La sélection attentionnelle dans un contexte d'interférence ou de compétition.

3.1 Le développement des capacités de désengagement attentionnel

Les prémisses des capacités de désengagement attentionnel émergeraient elles aussi dans les premiers mois de vie. Ainsi, dès 3-4 mois, l'enfant devient capable de fixer un objet périphérique quand un objet d'intérêt est présenté centralement, c'est-à-dire qu'il peut désengager son attention de cet objet d'intérêt (Frick, Colombo, & Saxon, 1999). Néanmoins, les travaux s'accordent sur le fait que les capacités d'engagement attentionnel se développeraient plus rapidement que les capacités de désengagement (Garon et al., 2008;

Posner & Rothbart, 2007; Posner, Rothbart, & Rueda, 2014). En effet, les enfants de 6 à 8 ans ont plus de difficultés que les adultes pour réorienter leur attention après un indice non-valide (Enns & Brodeur, 1989), et le niveau adulte n'est atteint qu'aux alentours de 10-11 ans (Waszak, Li, & Hommel, 2010).

3.2 Le développement des capacités de sélection dans une situation d'interférence

Juste après que le nourrisson ait développé les prémisses du désengagement attentionnel, qui lui permet d'orienter son attention vers un nouvel objet, l'enfant entre 7 et 10 mois devient capable de garder son regard fixé sur l'objet qui l'intéresse, malgré l'apparition d'autres objets dans son environnement, ce qui signerait l'émergence de la capacité à inhiber la capture attentionnelle (Oakes & Tellinghuisen, 1994). Les capacités d'inhibition d'une réponse dominante émergeraient ainsi dans la première année (Garon et al., 2008), comme en témoigne la capacité des bébés vers 8 mois à inhiber la réponse incorrecte lors de la tâche piagétienne « A-nonB »⁹ (Diamond, 1988; Houdé, 2000). Durant la même tranche d'âge, les bébés de 9 mois commencent à présenter un effet d'amorçage négatif spatial (ralentissement lorsque la cible en probe apparaît à l'emplacement d'un distracteur en amorce), si toutefois l'intervalle entre l'amorce et la probe est suffisamment long (Amso & Johnson, 2005). Ainsi l'émergence d'aptitudes basiques du fonctionnement exécutif se mettraient en place dans la première année (Garon et al., 2008; Posner et al., 2014), en lien avec d'importants changements de la connectivité, de la myélinisation, et de la morphologie cellulaire au niveau du cortex frontal (Huttenlocher & Dabholkar, 1997; Tsekhmistrenko & Chernykh, 2013; Tsekhmistrenko, Vasil'eva, Shumeiko, & Vologirov, 2004).

Bien que les prémisses de l'inhibition attentionnelle apparaissent au cours de la première année de vie, les enfants d'âge préscolaire restent particulièrement sensibles à l'interférence. Par exemple, il a été montré que la présence d'un événement distracteur dans une salle de

⁹ Dans la tâche A-non-B, le bébé entre 6 mois et 1 an est encouragé à chercher un objet caché derrière un cache A. Lorsqu'il est capable de le trouver, l'objet est déplacé sous ses yeux derrière un cache B. Entre 8 mois et 1 ans, l'enfant persévère malgré tout à chercher l'objet derrière le cache A. Pour Piaget, ce comportement montre que l'enfant n'a pas acquis la permanence de l'objet : il ne comprend pas que l'objet continue d'exister lorsqu'il n'est pas visible et qu'il est régi par des lois physiques lui empêchant d'être en même temps à deux emplacements. Toutefois, des tâches proposées aux nourrissons de 5 mois ont montré par l'étude des temps de regard que les bébés ont déjà acquis la permanence de l'objet (Baillargeon, Spelke, & Wasserman, 1985). Ils ne parviendraient simplement pas à faire preuve d'inhibition comportementale, c'est-à-dire à ne pas répéter une action déjà effectuée et qui n'est plus appropriée (Diamond, 1990, 1991; Houdé, 2000).

classe (un film sans signification) impacte fortement les activités nécessitant des ressources attentionnelles chez les enfants de maternelle (Kannass & Colombo, 2007). L'amélioration des performances dans la capacité à résister à des distractions externes pour se concentrer sur une activité va apparaître de façon concomitante avec le développement des capacités d'inhibition motrice et d'autorégulation. Ainsi, entre 3 et 5 ans, les enfants deviennent de moins en moins impulsifs et s'améliorent énormément dans un nombre varié de tâches exécutives (Carlson, 2005; Diamond, 2013; Garon et al., 2008). Dans les tâches de contrôle moteur, une amélioration nette est ainsi constatée entre 3 et 5 ans, signant de meilleures capacités d'autorégulation comportementale (Gerardi-Caulton, 2000). Dans les tâches de type Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27), un développement important des performances est observé à l'âge préscolaire, entre 3 ans et 6-7 ans (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994; Wright, Waterman, Prescott, & Murdoch-Eaton, 2003). De la même façon, une amélioration est observée dans des tâches de type flankers (Cf. Encadré 2, p. 27), les performances dans le traitement d'une cible entourée de distracteurs conflictuels (par rapport au traitement de la cible entourée de distracteurs homogènes) s'améliorant considérablement entre 3 et 4 ans puis entre 7 et 8 ans (Rueda et al., 2005; Rueda, Posner, Rothbart, & Davis-Stober, 2004).

Malgré une amélioration des performances durant la période préscolaire, la capacité à sélectionner une information d'intérêt dans un contexte d'interférence atteindrait un niveau mature bien plus tardivement que les capacités d'engagement et d'orientation attentionnelles dans un contexte non compétitif (Garon et al., 2008; Posner & Rothbart, 2007; Posner et al., 2014). La capacité à résister à la lecture du mot de couleur dans le Stroop continue ainsi à se développer jusqu'à 15 ans (Xu et al., 2013), de même que la capacité à résister aux distracteurs conflictuels dans une tâche de *flankers* (Waszak et al., 2010).

Ce type de résultats, montrant une amélioration importante des performances au début de l'âge scolaire qui se poursuit ensuite plus progressivement jusqu'à la fin de l'adolescence, est largement rapporté dans la littérature (Davidson et al., 2006; Diamond, 2013; B. Luna, 2009; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Sur le plan cérébral, les enfants et adolescents sollicitent comme les adultes le CPFDL et le cortex préfrontal inférieur, avec une extension jusqu'au cortex insulaire, dans les épreuves exécutives (Houdé, Rossi, Lubin, & Joliot, 2010). Toutefois, ces régions semblent se développer très progressivement au cours du développement. Entre 2 et 6 ans, il existe une période de développement important du système antérieur de l'attention (impliquant le cortex préfrontal, les voies dorso-latérales de

l'attention et le CCA), qui pourrait rendre compte de l'amélioration comportementale du contrôle exécutif observée durant cette période (Posner & Rothbart, 2007; Posner et al., 2014; Rueda et al., 2005). Toutefois, la maturation du cortex frontal est très lente et se poursuit jusqu'à 20 ans, avec une progression postéro-antérieure: elle est d'abord atteinte pour le cortex moteur primaire puis s'étend vers les gyri supérieur et inférieur, avec le cortex préfrontal qui atteint un niveau mature en dernier lieu, au début de l'âge adulte (Giedd, 2004; Gogtay et al., 2004). Par ailleurs, la connectivité entre les aires frontales et postérieures continue de s'étendre durant l'adolescence (Casey, Galvan, & Hare, 2005; Khundrakpam et al., 2013). Sur le plan fonctionnel, une dissociation a été rapportée entre le réseau sous-tendant l'inhibition motrice, qui serait mature précocement, et le réseau sous-tendant la détection du conflit et l'inhibition cognitive, qui pourrait varier jusqu'à l'âge adulte (Ordaz, Foran, Velanova, & Luna, 2013). Cette dissociation neurofonctionnelle suit ainsi la dissociation qui a été rapportée d'un point de vue comportemental, avec des capacités d'autorégulation motrice qui se développeraient massivement à l'âge préscolaire alors que les capacités d'inhibition d'ordre conceptuel n'atteignent un niveau adulte qu'à l'adolescence (Harnishfeger, 1995; Houdé, 1995, 2000).

3.3 Conclusion

Les travaux présentés dans cette partie montrent que les capacités d'orientation et d'engagement sélectif de l'attention seraient matures précocement, au début de l'âge scolaire. Toutefois, il serait encore difficile pour les jeunes enfants d'adapter leur engagement attentionnel dans une situation d'interférence, en lien avec une maturation tardive des aires cérébrales impliquées dans le contrôle exécutif. Comme nous l'avons vu chez l'adulte, le degré de facilité avec lequel une cible peut être sélectionnée dépend du rapport entre le signal de la cible et le bruit des distracteurs (Cf. partie «La saillance et la capture attentionnelle», p. 32), c'est-à-dire le rapport entre la saillance de la cible et la saillance des distracteurs. Les paradigmes en recherche visuelle permettent justement de mesurer avec précision l'impact de la compétition sur la sélection attentionnelle selon le degré de saillance de la cible. La prochaine partie sera consacrée au développement des capacités en recherche visuelle, et nous présenterons des études permettant de dissocier le développement des différents processus cognitifs impliqués dans la sélection d'une cible : sensibilité à la saillance, recherche d'un objet lorsque la localisation n'est pas connue, capacités de désengagement et contrôle inhibiteur.

4- Dissocier la sélection d'une cible saillante selon le contexte de compétition: l'intérêt des études en recherche visuelle.

Dès les années 60, Gibson et Yonas (1966) avaient observé que le degré de saillance d'une cible visuelle affectait l'efficacité de sa recherche dès le CE1 et jusqu'à l'âge adulte, mais aucune différence développementale de cet effet n'était alors rapportée. Jusqu'aux années 90, on s'est ainsi peu intéressé à cette thématique de recherche en psychologie du développement.

Récemment, Fisher (2010) a étudié l'impact de la saillance de la cible sur les capacités de poursuite oculaire en manipulant le degré d'hétérogénéité des distracteurs. En effet, une cible est plus saillante lorsqu'elle est entourée de distracteurs identiques (homogènes) que de distracteurs différents (hétérogènes). Elle a montré que les enfants entre 3 et 5 ans ont davantage de difficultés à suivre des yeux une cible lorsqu'elle est en présence de 6 distracteurs hétérogènes que lorsqu'elle est en présence de 6 distracteurs homogènes. Dans une situation où seuls deux distracteurs apparaissent à l'écran, des différences développementales étaient observées : les enfants de 5 ans étaient alors moins perturbés par l'hétérogénéité des distracteurs que les enfants les plus jeunes. Ainsi, comme le soulignaient Gibson et Yonas (1966), la recherche d'une cible peu saillante serait plus coûteuse que la recherche d'une cible saillante quel que soit l'âge. Néanmoins, des différences développementales pourraient être observées selon le degré de compétition attentionnelle, c'est-à-dire selon le nombre de distracteurs apparaissant à l'écran en même temps que la cible.

Les études récentes en recherche visuelle, par l'analyse des pentes de recherche (augmentation des TRs par distracteur ajouté à l'écran), indiquent effectivement que rechercher une cible saillante et rechercher une cible peu saillante n'entraînent pas le même pattern développemental selon le contexte de compétition. Ainsi, lorsque la cible est saillante, c'est-à-dire dans des tâches de type *feature* (Cf. «La « Feature Integration Theory » de Treisman », p. 28), les enfants présentent une recherche efficace dès l'âge de 3 mois (Adler & Orprecio, 2006), avec une vitesse de traitement certes moins rapide que celle des adultes mais un pattern de recherche déjà identique. Gerhardstein et Rovee-Collier (2002) ont également observé dans ce type de tâche l'existence d'une recherche efficace très précoce, rapportant des pentes de recherche constantes entre 1 et 3 ans, puis entre 4 et 26 ans. D'autres auteurs ont montré qu'un développement pouvait avoir lieu dans les tâches de type *feature*, mais qu'il était minime car les pentes de recherche sont déjà faibles dès 6 ans, aux alentours

de 10 ms par distracteur ajouté (Lobaugh, Cole, & Rovet, 1998). L'efficacité précoce de la recherche visuelle lorsque la cible est particulièrement saillante, c'est-à-dire la capacité à détecter cette cible quel que soit le nombre de distracteurs, est massivement rapportée dans la littérature (Donnelly et al., 2007; Dye & Bavelier, 2010; Ruskin & Kaye, 1990; Thompson & Massaro, 1989; Trick & Enns, 1998; Woods et al., 2013). En revanche, pour les recherches complexes, nécessitant de détecter une cible qui diffère des distracteurs par une conjonction de plusieurs caractéristiques (par exemple la forme et la couleur, Cf. La « Feature Integration Theory » de Treisman, p.28), une évolution développementale est rapportée : les pentes de recherche sont plus prononcées chez les enfants de 4 à 7 ans (Donnelly et al., 2007; Thompson & Massaro, 1989) que chez les adultes, et décroissent très progressivement entre 6 et 8 ans, 8 et 10 ans et de 10 ans à l'âge adulte (Trick & Enns, 1998).

Les processus impliqués dans la recherche visuelle apparaissent essentiels à l'âge scolaire : en effet, les performances observées en recherche visuelle corrélaient avec les capacités de lecture des enfants (Casco, Tressoldi, & Dellantonio, 1998). C'est pourquoi différentes études ont cherché à comprendre les processus impliqués dans ces différences développementales observées en recherche visuelle.

Enns et Cameron (1987) ont ainsi étudié (Cf. Figure 15) : 1) les capacités pures de recherche en comparant une situation avec une seule localisation possible de la cible et une situation avec plusieurs localisations possibles ; 2) les capacités de filtrage en comparant une situation où la cible est présentée sans distracteur et une situation où la cible est présentée avec des distracteurs ; 3) l'impact de la réponse qui a été programmée à l'essai précédent (réponse identique ou différente, la deuxième situation entraînant habituellement un ralentissement).

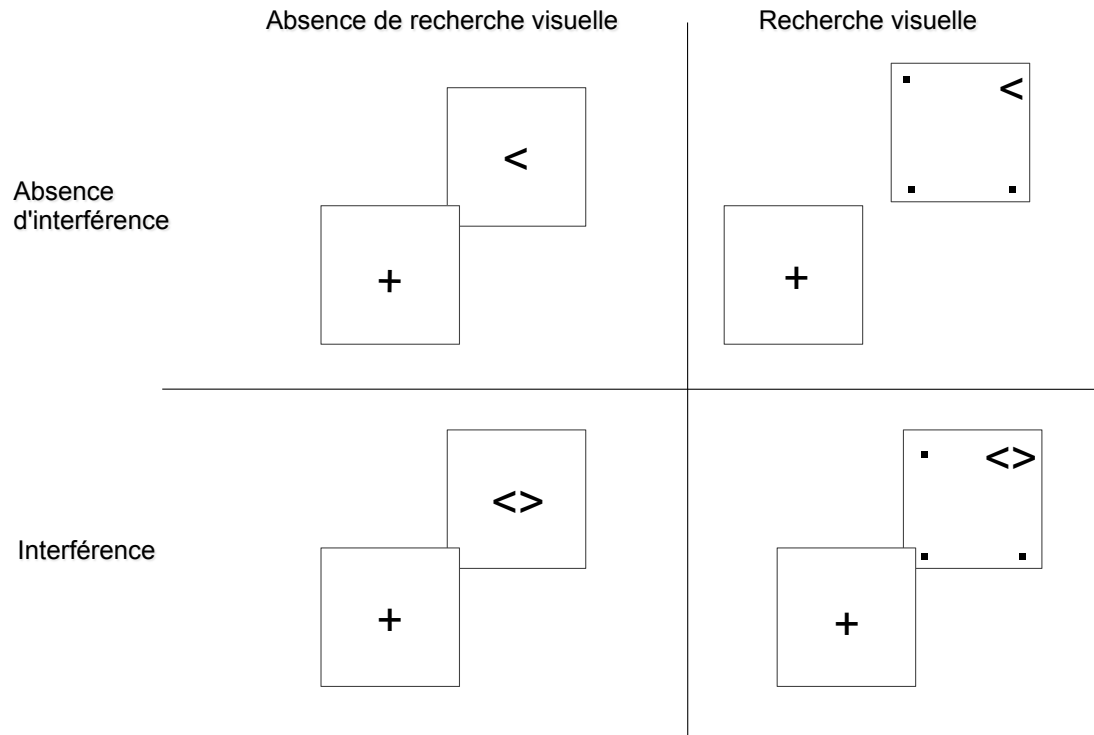


Figure 15. Paradigme proposé par Enns et Cameron (1987). Les participant.e.s devaient indiquer l'orientation d'une cible. Celle-ci pouvait apparaître à une localisation fixe et centrale (absence de recherche visuelle) ou à une localisation variable parmi quatre emplacements possibles (recherche visuelle). Note : les points présents dans chaque quadrant indiquent les emplacements possibles de la cible mais n'étaient pas présents lors de la tâche. La cible pouvait apparaître seule (absence d'interférence), ou avec un distracteur à sa gauche (interférence)

Les auteur.e.s ont montré qu'à tous les âges (4-5 ans, 6-7 ans et à l'âge adulte), ces trois facteurs impactaient les performances et que cet impact devenait moins fort avec l'âge. Les capacités d'orientation n'étaient corrélées ni avec la capacité à résister à des distracteurs ni avec la capacité à résister à la réponse précédemment programmée, qui étaient en revanche corrélées entre elles. Cette première étude révèle une probable dissociation entre, d'une part, la capacité à orienter son attention vers une cible dont la localisation est variable et, d'autre part, l'interférence visuelle et motrice.

Récemment, Michael et al (2013) ont poussé encore plus loin la spécification des différents processus impliqués dans la recherche visuelle et leur rôle dans le développement. Trois expériences ont été proposées à des jeunes de 7 à 20 ans : dans la première, l'item saillant (item entouré) correspondait à la cible dans 50% des cas, dans la deuxième l'item saillant correspondait à la cible dans 100% des cas et dans la troisième l'item saillant correspondait au distracteur dans 100% des cas. Ces différentes expériences contenaient systématiquement une condition contrôle dans laquelle aucun item n'était rendu saillant. Ce protocole leur a permis d'analyser différents processus (Cf. Figure 16) : la sensibilité à la saillance de la cible (en

contrastant la situation où elle est systématiquement saillante avec la condition contrôle où elle ne l'est jamais) ; 2) la capacité des participant.e.s à coordonner la saillance de la cible et sa pertinence (en contrastant la situation où la cible est systématiquement saillante et celle où la cible est aussi souvent saillante que les distracteurs); 3) le coût entraîné par l'inhibition d'un distracteur saillant (en contrastant la situation où le distracteur est systématiquement saillant avec la condition contrôle); 4) les capacités de contrôle inhibiteur (en contrastant la situation où le distracteur est systématiquement saillant et celui où il l'est aussi souvent que la cible).

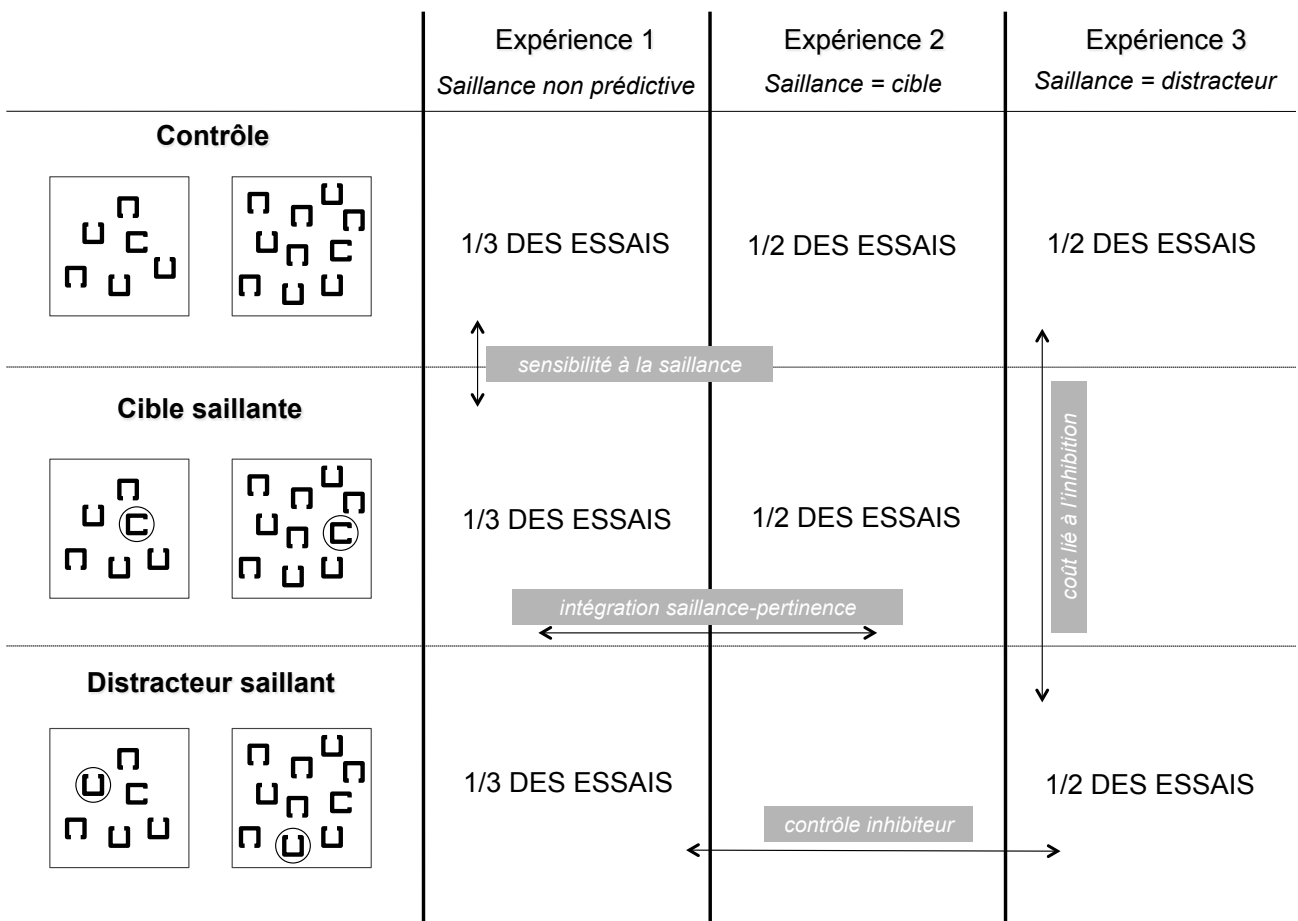


Figure 16. Paradigme proposé par Michael et al (2013). Les participant.e.s devaient détecter la cible ayant une ouverture latérale, qui pouvait apparaître avec 5 ou 9 distracteurs. Dans certaines conditions, un item était entouré, ce qui le rendait saillant. Les auteur.e.s manipulaient au sein de 3 expériences la probabilité avec laquelle la saillance désignait la cible ou bien le distracteur. Les contrastes des pentes de recherche entre ces différentes expériences et conditions permettaient d'isoler des processus sous-tendant l'efficacité de la recherche visuelle (en gris) et d'étudier leur développement entre 7 et 20 ans.

Les résultats ont montré que l'orientation de l'attention vers une cible saillante serait déjà mature dès 7 ans (les pentes de recherche sont plates et n'augmentent plus avec l'âge), ce qui est conforme aux résultats d'études cités plus haut (Adler & Orprecio, 2006; Brodeur & Enns, 1997; Donnelly et al., 2007; Dye & Bavelier, 2010; Enns & Brodeur, 1989; Gerhardstein &

Rovee-Collier, 2002; Ruskin & Kaye, 1990; Thompson & Massaro, 1989; Trick & Enns, 1998; Wainwright & Bryson, 2002). La capacité à intégrer efficacement la saillance et la pertinence de la cible semblait atteindre son niveau mature vers 8 ans, confirmant un léger décalage entre les capacités d'orientation endogène et exogène (Brodeur & Enns, 1997; Fisher, 2010; Goldberg et al., 2001). Les auteurs observaient par ailleurs que, dans la condition où il n'y avait aucun item saillant, les pentes de recherche commençaient à décroître à partir de 9 ans pour être comparables à celles des adultes vers 11 ans. Ainsi, la capacité à désengager son attention d'items compétitifs mais non conflictuels serait mature tardivement, ce qui correspond au résultat obtenu en indiçage spatial par Waszak et al. (2010). Les capacités d'inhibition d'un distracteur saillant n'avaient toujours pas atteint le niveau adulte à 11 ans, et ne montraient pas d'évolution développementale entre 7 et 11 ans. Enfin, la capacité à contrôler l'inhibition devenait efficace entre 9 et 10 ans. L'ensemble de ces résultats a confirmé que les différences développementales tardives observées dans les tâches de recherche visuelle sont essentiellement liées à des processus de type exécutif, et notamment à l'inhibition.

Au-delà du rôle que semble jouer le contrôle inhibiteur dans l'efficacité de la recherche visuelle, il semblerait également que les capacités métacognitives de planification soient en jeu. En effet, les stratégies mises en place par les enfants lors d'une tâche de type *cancellation* (tâche consistant à relier des items cibles entre eux en ignorant les distracteurs) se développent considérablement durant la période scolaire et corrélient avec les performances dans une tâche de type *conjunction* (Woods et al., 2013).

Ainsi, les capacités de sélection d'une cible non-saillante dans un contexte compétitif semblent progresser lentement chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire, en lien avec le contrôle exécutif.

Conclusion

La capacité à rechercher correctement une cible discriminable repose sur des processus très automatisés et pleinement matures au début de l'âge scolaire alors que la détection d'une cible peu discriminable dans l'environnement semble dépendre des capacités d'inhibition, qui, sous le jeu du contrôle endogène, vont permettre la mise en place de stratégies de plus en plus optimisées en recherche visuelle. Toutefois, les paradigmes présentés jusqu'à présent, s'ils permettent de décrire les performances dans des tâches conflictuelles, ne font qu'inférer l'implication du contrôle inhibiteur

sans la mesurer directement. Comme nous l'avons vu chez l'adulte, la seule mesure comportementale permettant de révéler l'inhibition est l'amorçage négatif (Cf. Partie « L'inhibition : un mécanisme permettant de résister à la saillance perceptive. », p. 49) Que nous indiquent les études utilisant ce paradigme chez l'enfant ?

5- Inhiber pour sélectionner une réponse correcte : l'effet d'amorçage négatif au cours du développement.

5.1 L'inhibition mise en évidence dans les tâches attentionnelles.

L'existence d'un effet d'amorçage négatif chez l'enfant a longtemps été questionnée. Ainsi, Tipper et al. (1989) avaient initialement échoué à mettre en évidence un effet d'amorçage négatif chez l'enfant lors d'une tâche de type Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27) alors que l'existence de l'effet d'amorçage négatif était bien révélée lors de tâches spatiales (Tipper & McLaren, 1990). Les auteur.e.s concluaient que l'inhibition spatiale se mettrait en place très tôt, puisqu'observée dans leur tâche dès 5 ans, alors que ce ne serait pas le cas pour des tâches portant sur l'identité des objets.

Aujourd'hui, néanmoins, les études convergent à montrer l'existence précoce de l'effet d'amorçage négatif dans différentes tâches. Ainsi, des effets d'amorçage négatif en tâche Stroop ont pu être retrouvés chez l'enfant dès 5 ans (Frings, Feix, Röthig, Brüser, & Junge, 2007; Pritchard & Neumann, 2004, 2009), s'illustrant par un ralentissement supplémentaire lorsque la couleur de l'encre à sélectionner correspond au mot de couleur à ignorer dans l'amorce précédente. Dans ces études, les enfants présentaient un effet d'interférence plus important que les adultes, mais les effets d'amorçage négatif, une fois ajustés à leur vitesse de traitement, étaient équivalents quel que soit l'âge. Pritchard et Neuman (2011) ont cherché à comprendre la cause de la divergence entre leurs études révélant un effet d'amorçage négatif précoce et les études de Tipper échouant à en révéler l'existence. Dans les études de Tipper, des conditions contrôle étaient présentés aux enfants, alors que ce n'était pas le cas dans les études de Pritchard et Neumann (Cf. Figure 17). Or, ces conditions contrôle étaient constituées d'items peu conflictuels, qui représentaient 50% de la tâche. En comparant systématiquement les deux types de procédure, Pritchard et Neuman (2011) ont montré que

les enfants étaient plus longs pour traiter les items interférents dans une situation où ces items ne sont pas majoritaires, ce qui pourrait minimiser l'effet d'amorçage négatif, calculé par un contraste entre les items interférents classiques et les items interférents avec amorçage négatif. En résumé, l'effet d'amorçage négatif semble plus difficile à mettre en évidence chez les enfants selon le contexte de la tâche, alors que le contexte n'a pas d'impact sur l'existence de cet effet chez l'adulte.

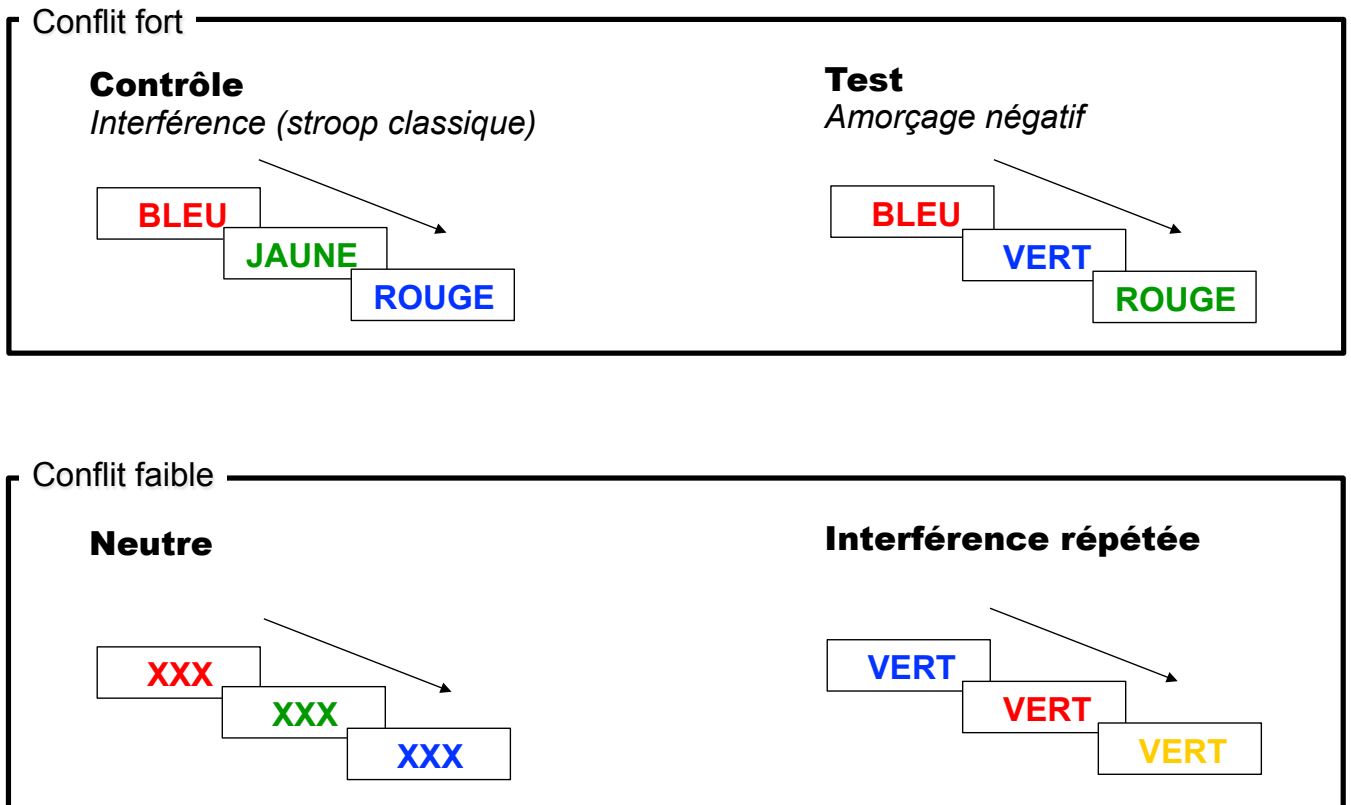


Figure 17. Protocole en amorçage négatif avec une tâche de type Stroop. En haut, les deux conditions contrastées pour le calcul de l'effet d'amorçage négatif. La situation contrôle correspond à une tâche classique interférente dans laquelle il faut répondre par rapport à la couleur de l'encre et ainsi résister à la lecture du nom de couleur. Dans la situation test, le nom de couleur ignoré à l'essai n-1 correspond à la cible « couleur de l'encre » de l'essai n. Un ralentissement dans cette condition par rapport à la condition contrôle illustrerait le coût lié à la levée d'inhibition, permettant ainsi de confirmer que le mot de couleur doit être inhibé lorsqu'il y a interférence. En bas, deux conditions utilisées par Tipper et al. (1989) puis par Pritchard et Neuman (2011). Le fait d'ajouter ces conditions avec un faible conflit dans un protocole expérimental anéantit l'effet d'amorçage négatif chez l'enfant d'âge scolaire (7 ans) mais non chez l'adulte.

L'effet d'amorçage négatif a été révélé chez l'enfant d'âge scolaire dans d'autres tâches que celles de type Stroop (Cf. Encadré 2, p. 27) : les enfants dès 6 ans sont ainsi plus longs lorsqu'ils doivent activer une localisation ou une caractéristique qui vient d'être inhibée (Simone & McCormick, 1999). De la même façon, les enfants dès 5 ans sont plus longs dans des tâches de type *flankers*, lorsque l'item cible partage la même propriété que les distracteurs de l'essai précédent (Pritchard & Neumann, 2004). L'effet d'amorçage négatif dans la tâche

des *flankers*, tout comme pour la tâche du Stroop, ne variait pas avec l'âge et restait ainsi constant de 5 ans à l'âge adulte.

Bien qu'il ne semble pas y avoir de développement de l'effet d'amorçage négatif dans l'ensemble de ces tâches, ces études confirment que la sélection d'une cible non saillante nécessite bien l'inhibition des distracteurs compétitifs, y compris chez les enfants.

L'effet d'amorçage négatif a également été révélé chez les enfants dans des tâches plus complexes. Ainsi, l'effet d'amorçage négatif existe déjà à 3 ans dans une tâche de classement de cartes de Wisconsin. Dans cette épreuve classique, les individus doivent classer des cartes selon un critère, puis ce critère change et il s'agit alors de s'adapter à ce changement et de trouver la nouvelle règle de classement. Dans la version avec amorçage négatif de cette tâche (Chevalier & Blaye, 2008) la caractéristique (par exemple, les figures jaunes) que l'enfant devait ignorer initialement, durant la première règle de classement, devenait ensuite la caractéristique pertinente de la nouvelle règle. Les auteur.e.s, grâce à des conditions contrôle, ont vérifié que les erreurs d'adaptation des enfants étaient bien dues au fait de devoir activer une caractéristique précédemment inhibée (coût lié à la levée d'inhibition) et non au fait de ne plus activer la caractéristique précédemment sélectionnée (désengagement).

Ces différentes études confirment donc le rôle central de l'inhibition lors de la sélection d'une cible ou d'une réponse correcte, et indiquent combien le développement des capacités attentionnelles dans des situations conflictuelles est impacté par la capacité des enfants à inhiber les éléments interférents.

Au-delà de son rôle dans le développement des capacités attentionnelles, l'inhibition est aujourd'hui considérée comme un processus-clé du développement cognitif de l'enfant (Borst et al., 2015; Dempster, 1992; Diamond, 2013; Houdé, 1995, 2000, 2015). Le paradigme d'amorçage négatif permet de confirmer son rôle central dans les performances logiques des enfants.

5.2 L'inhibition comme structure-clé du développement de l'intelligence : l'apport des études en amorçage négatif dans les tâches piagésiennes.

Jean Piaget (Piaget, 1923, 2012; Piaget & Szeminska, 1941), dans sa théorie majeure du développement de l'intelligence, a décrit minutieusement le comportement des enfants selon leur âge face à des problèmes de complexité croissante. La réussite d'un enfant à l'un des ces problèmes était alors considérée comme reflétant l'acquisition de nouvelles connaissances

logiques, basée sur la coordination de connaissances plus anciennes (Cf. Présentation Générale de la Thèse, p. 10).

Toutefois, la méthode classique piagétienne reposait sur des situations au cours desquelles l'enfant était « piégé », c'est-à-dire placé face à une situation dans laquelle une réponse automatique inadaptée entraînait en conflit avec une réponse logique plus coûteuse (Cf. Figure 18). L'échec aux tâches piagésiennes a, dès lors, été réinterprété en termes de difficultés à surmonter l'interférence, et d'immaturation du contrôle inhibiteur (Dempster, 1995; Houdé, 1995, 2000).

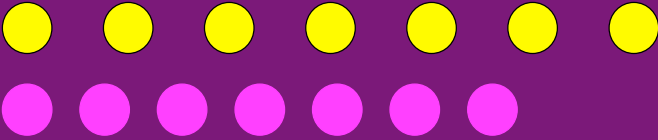
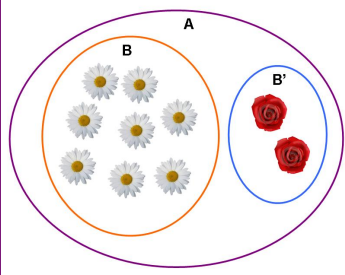
Tâche de conservation	Tâche d'inclusion de classes
Après avoir écarté les jetons du haut sous les yeux de l'enfant : « Y a-t-il plus de jaunes ou plus de violets ? »	« Y a-t-il plus de marguerites ou plus de fleurs ? »
	
<i>Algorithme - comptage</i> : « il y en a pareil car tu n'en as pas ajouté ni enlevé »	<i>Algorithme</i> : « il y a plus de fleurs que de marguerites car les marguerites et les roses sont des fleurs »
<i>Heuristique longueur = nombre</i> : « il y en a plus en haut car c'est plus long »	<i>Heuristique de comparaison perceptive de sous-classes</i> : « il y a plus de marguerites que de fleurs ! »

Figure 18. Illustration des stratégies algorithmiques et heuristiques à l'œuvre dans deux tâches piagésiennes classiques : la tâche de conservation du nombre et la tâche d'inclusion de classes.

Des études en amorçage négatif ont pu confirmer que les enfants d'âge scolaire qui réussissent les tâches piagésiennes inhibent les heuristiques automatiques pour activer la réponse logique (Cf. Figure 18). Les enfants inhibent ainsi l'heuristique « longueur = nombre » pour activer la réversibilité logique dans la tâche piagétienne classique de conservation du nombre (Houdé & Guichart, 2001), ou bien encore la comparaison perceptive de sous-ensembles pour activer la logique d'inclusion de classes (Borst et al., 2013; Perret, Paour, & Blaye, 2003). Ces données en amorçage négatif sont corroborées par des résultats en neuroimagerie (IRMf) qui ont montré l'implication du réseau exécutif dans la réussite aux épreuves piagésiennes. Ainsi, les enfants conservants, qui répondent correctement à la tâche piagétienne de conservation du nombre, présentent des activations plus importantes du réseau attentionnel et exécutif frontopariétal que les enfants plus jeunes qui répondent sur la base de

l'heuristique (Houdé et al., 2011). De plus, le niveau d'activation ou signal BOLD du gyrus frontal inférieur et de l'insula droits (épices de l'inhibition) chez ces enfants est corrélé à leur capacité à résister à une réponse automatique dans la tâche du Stroop (Poirel, Borst, et al., 2012).

Dans ces tâches complexes inspirées des travaux piagétiens, il semblerait que, contrairement aux travaux présentés précédemment, l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif soit plus importante chez les enfants de 10 ans que chez les adultes, même après un contrôle de la vitesse de traitement (Borst et al., 2013a). Il y aurait ainsi une différence dans le pattern développemental de l'effet d'amorçage négatif entre des tâches attentionnelles et des tâches dans lesquelles l'interférence porte sur des stratégies cognitives plus élaborées. Cette différence pourrait illustrer la dissociation rapportée dans de nombreux modèles développementaux entre l'inhibition automatique d'une réponse prépondérante et l'inhibition conceptuelle d'une stratégie inadaptée (Friedman & Miyake, 2004; Lechuga et al., 2006; Nigg, 2000).

6- Conclusion et Transition : saillance perceptive et compétition

attentionnelle, quel impact sur l'ontogenèse du traitement Global / Local ?

Dans ce chapitre, nous avons montré que la sélection attentionnelle d'une cible dépend du contexte de compétition de la tâche et du degré de conflit entraîné par les distracteurs. Dès le début de l'âge scolaire, les enfants semblent capables de sélectionner correctement une cible dans un contexte sans compétition. Lorsque la cible est particulièrement saillante, cette capacité est même observée dès les premiers mois de vie. En revanche, lorsqu'une cible est peu saillante, le degré de compétition dans l'environnement visuel (nombre d'objets présents simultanément) impacte plus fortement la sélection chez les enfants les plus jeunes, et le coût est encore plus prononcé lorsque les distracteurs sont conflictuels, c'est-à-dire lorsqu'ils sont plus saillants que la cible ou lorsqu'ils véhiculent une réponse différente. Ainsi, les différences développementales observées dans les capacités de sélection semblent concerner essentiellement les processus exécutifs. Grâce à l'utilisation de paradigmes en amorçage négatif, le rôle de l'inhibition dans la réussite des enfants dans des situations avec interférence a pu être mis en évidence. Associés aux connaissances concernant la maturation cérébrale, ces résultats semblent indiquer que les difficultés rencontrées par les enfants dans la sélection

d'une cible dans un contexte d'interférence, en comparaison des adultes, soient liées à un plus faible contrôle inhibiteur.

Comme nous l'avons vu chez l'adulte, les formes globales semblent bénéficier d'un traitement privilégié par rapport à leurs parties constituantes locales : la structure globale, plus saillante, interfère ainsi avec le traitement des parties locales (Cf. Chapitre « Le biais attentionnel Global », p. 63). Cette saillance du niveau global existe-t-elle également chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire ? Si oui, au vu des données exposées dans le présent chapitre, on peut se demander si les enfants les plus jeunes sont davantage perturbés par cette interférence à inhiber. Parviennent-ils à sélectionner le niveau hiérarchique qui n'est pas le plus saillant ? Si oui, le coût de cette sélection est-il plus important que chez l'adulte ? Le chapitre suivant présentera l'état actuel des connaissances concernant l'ontogenèse du traitement global-local, avec une première partie consacrée au développement de la saillance du niveau global et une deuxième partie consacrée à la sensibilité à l'interférence globale au cours du développement.

Chapitre 5

L'ONTOGENESE DU TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL

Lorsque les lois d'organisation perceptive peuvent s'appliquer, elles sont dominantes. (...) Lorsque l'organisation perceptive devient difficile ou quasi impossible, alors les lois d'accessibilité des catégories constituent de meilleurs prédicteurs que celles d'organisation

Vurpillot, 1972, p.150.

RÉSUMÉ : L'avantage global mis en évidence chez les adultes apparaît plus variable chez l'enfant durant la période préscolaire et scolaire. Notamment, il est impacté par la manipulation de la densité des éléments locaux. Ainsi, le groupement global serait favorisé lorsque les éléments locaux sont proches, alors qu'au contraire l'individuation des éléments locaux serait favorisée lorsqu'ils seraient plus distants les uns des autres. D'autres facteurs, tels que la complexité de la tâche ou bien la signification du matériel employé, influent sur le biais global chez l'enfant, qui ne semble devenir résistant à ces manipulations qu'aux alentours de 9-10 ans. Par ailleurs, l'interférence entraînée par le niveau le plus saillant sur le niveau le moins saillant est plus importante chez les enfants jusqu'à 10 ans que chez les adultes. Les données développementales explorant la compétition attentionnelle dans le traitement global/local restent toutefois rares, et aucune étude ne semble avoir à ce jour exploré le rôle du contrôle inhibiteur dans la capacité à sélectionner le niveau hiérarchique le moins saillant.

1- Introduction.

Toute personne qui s'est déjà vue offrir un dessin de la part d'un enfant de 3 à 5 ans est en mesure de comprendre le débat qui a marqué le 20^{ème} siècle concernant le développement de la Gestalt. Comme on peut le voir avec la Figure 19, les enfants, durant la période préscolaire, produisent souvent des œuvres formées d'éléments disparates, dans lesquelles les relations spatiales ne sont pas respectées, rendant parfois malaisée l'identification d'une structure.

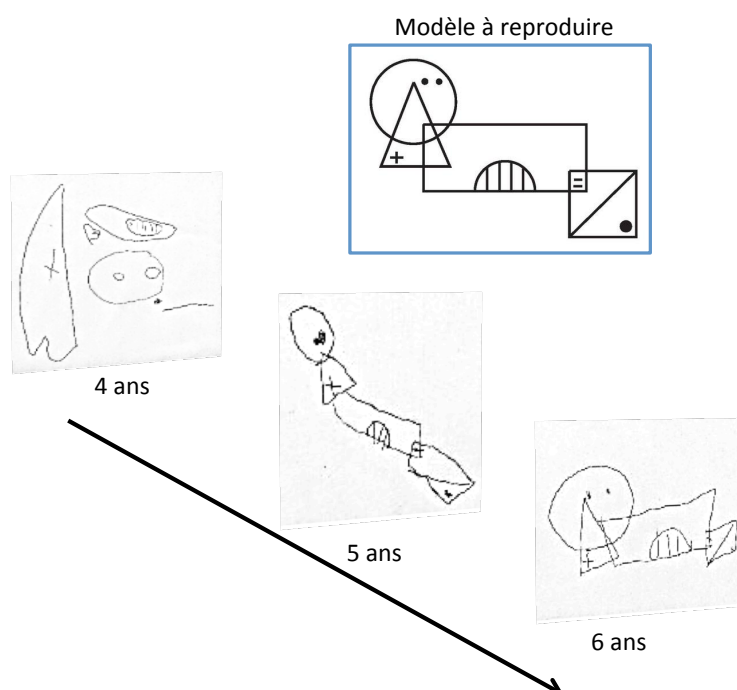


Figure 19. Reproduction d'une figure complexe selon l'âge de l'enfant. Image d'après Lefèvre et al. (2007). Reproduction d'une figure complexe par des enfants d'âge préscolaire. *Enfance*, Vol. 59(2), 127-143.

Pour certain.e.s psychologues du développement, cette juxtaposition de détails sans lien les uns avec les autres illustre le fait que le jeune enfant aurait une perception analytique de son environnement (Cramausse, 1924). Mais à la même époque, on relevait chez le jeune enfant une capacité de reconnaissance de la forme globale sans que les détails ne puissent être identifiés (Binet, 1890; Claparède, 1907, 1925, 1938). Cramausse (1924) considérait que l'ensemble est trop incertain chez le jeune enfant, et il refusait de concevoir l'existence d'un syncrétisme puéril. Toutefois, le syncrétisme, tel que défini par Claparède (1938) « ne réside nullement dans le souci de l'ensemble, ce qui est le cas de la synthèse, mais dans la vision

confuse de cet ensemble. Cette vision confuse n'exclut pas celle des détails, mais ces détails n'occupent pas dans cet ensemble la place, et ne jouent pas le rôle qui leur convient » (Claparède, 1938). Ainsi, l'idée du syncrétisme n'était pas que les enfants ne perçoivent pas les détails mais plutôt que les détails sont mal organisés au sein de l'ensemble, mal intégrés. Cette proposition d'une difficulté d'organisation entre les détails et la structure rejoignait une observation réalisée par Piaget (1923) qui relevait une interdépendance confuse, une simultanéité du tout et des détails chez le jeune enfant.

La vision d'un développement de la perception telle que formulée par Renan ([1890] 1995), linéaire, en trois étapes (syncrétisme, analyse et synthèse), commença à être remise en question tant les études développementales rapportaient des résultats divergents (voir la revue de littérature de Vurpillot, 1972). On commença alors progressivement à réaliser que le type de traitement observé chez les enfants pouvait dépendre des tâches effectuées et de la complexité des figures utilisées. Ainsi, Meili (1931) proposa que l'enfant verrait toujours prioritairement les ensembles, mais que la définition même de l'« ensemble » pourrait varier : parfois, un ensemble structurel est plus facile à percevoir, et les parties sont alors moins bien traitées ; parfois, au contraire, ce sont les petits ensembles qui émergent plus facilement que la structure, et dans ce cas les objets locaux sont mieux perçus. Ce qui ferait défaut à l'enfant serait la capacité de concevoir qu'un objet puisse à la fois être une unité et en même temps une partie d'un ensemble plus structurel (Vurpillot, 1972).

Après la publication des études princeps de Navon (1977) révélant l'effet de précedence globale chez l'adulte, les études en développement ont progressivement abandonné l'idée de trancher sur l'existence du syncrétisme infantin et se sont plutôt attachées à décrire l'émergence de cet effet de précedence globale chez l'enfant.

La plupart des études du développement global/local sont basées sur des épreuves de dessin ou d'appariement, permettant une évaluation écologique chez l'enfant d'âge préscolaire. Ces études permettent de dessiner l'ontogenèse du traitement global/local et de révéler des facteurs susceptibles de l'influencer, que nous évoquerons dans ce chapitre. Nous aborderons dans le chapitre suivant le développement de différents processus cognitifs susceptibles d'être impliqués dans cette ontogenèse (engagement attentionnel, sélection dans une situation conflictuelle, inhibition) et tenterons de comprendre leur influence spécifique dans le traitement global/local.

2- Biais global ou biais local chez l'enfant d'âge préscolaire ?

Bien que des paradigmes adaptés aux nourrissons aient démontré l'existence d'un biais pour le niveau global dès 4 mois (Colombo, Mitchell, Coldren, & Freeseaman, 1991; Frick, Colombo, & Allen, 2000), ce biais semble plus variable durant l'enfance qu'à l'âge adulte.

2.1- Mise en évidence d'un biais global chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire.

Dans une tâche consistant à détecter une différence entre deux figures hiérarchisées apparaissant brièvement (150 ms) (Cf. Figure 20), les enfants dès 6 ans font davantage d'erreurs et sont plus longs pour repérer une différence locale que pour repérer une différence globale (Mondloch, Geldart, Maurer, & de Schonon, 2003). En revanche, les enfants de 14 ans ont des performances similaires à celles des adultes, même lorsque le temps de présentation des items est réduit à 50 ms. Il semblerait ainsi que, lorsque des figures hiérarchisées ont un niveau global particulièrement saillant, l'évolution développementale concernerait essentiellement le niveau local, qui est de mieux en mieux traité jusqu'à atteindre le niveau des adultes entre 10 et 14 ans. Ce type de résultats a été retrouvé avec des tâches de type de Navon (Cf. Figure 20), avec une présentation rapide ou non des figures hiérarchisées (Krupskaya & Machinskaya, 2012; Ozonoff, Strayer, McMahon, & Filloux, 1994; Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999) qui montrent que dès 5 ans les enfants sont plus rapides pour détecter une cible au niveau global qu'au niveau local. Entre 5 et 9 ans, les enfants deviennent progressivement plus rapides pour traiter le niveau local : ainsi, la différence de traitement entre le niveau global et local décroît avec l'âge (Krupskaya & Machinskaya, 2012). Toutefois, ces auteur.e.s rapportent qu'un sous-groupe d'enfants (7 enfants sur 37) de 5 à 6 ans ne parvenait pas à détecter les lettres globales, ce qui indique l'existence de fortes différences interindividuelles au début de l'âge scolaire. Bien que ces études aient trouvé des différences développementales uniquement pour le niveau local, le traitement global pourrait lui aussi continuer à se développer durant la période scolaire. Harrison et Stiles (2009) ont utilisé une tâche d'appariement (Cf. Figure 20) dans laquelle les participant.e.s devaient choisir parmi deux figures celle qui correspondait le plus à une figure témoin, l'une ayant un point commun avec son niveau global et l'autre avec son niveau local. Ils ont montré que, bien que le nombre d'appariements sur la base du niveau global soit majoritaire dès 7 ans, il faut attendre 10 ans pour que les enfants produisent autant de choix globaux que les adultes.

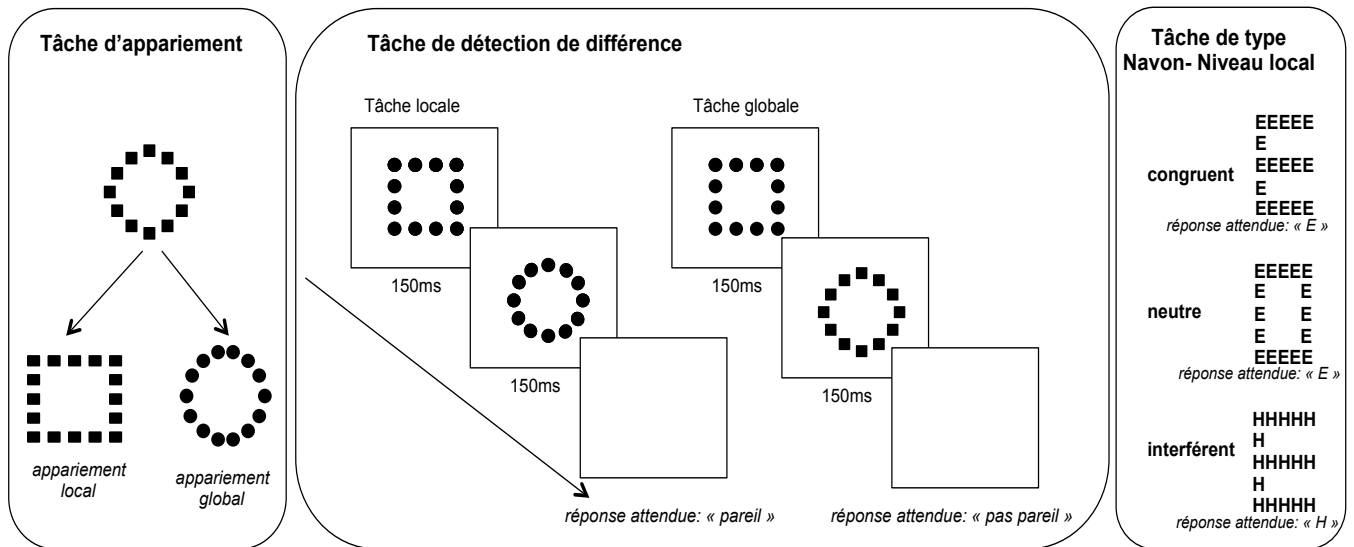


Figure 20. Différentes tâches utilisées chez l'enfant : la tâche d'appariement d'après Harrison et Stiles (2009), la tâche de détection de différence d'après Mondloch et al (2003) et la tâche de type Navon d'après Krupskaya et Machinskaya (2012).

Une étude utilisant une tâche de reproduction graphique de figures hiérarchisées chez l'enfant dès 3 ans s'est penchée sur le degré d'intégration entre les niveaux global et local (Vinter, Puspitawati, & Witt, 2010, Expérience 1). Les réponses intégrées augmentaient considérablement entre 3 et 5 ans pour devenir les réponses majoritaires à 6 ans et constituer la totalité des réponses des enfants de 9 ans. Les réponses non-intégrées (les éléments locaux étaient juxtaposés ou superposés à la forme globale) diminuaient considérablement entre 3 et 4 ans et n'existaient plus chez les enfants de 6 ans. Les enfants de 3 ans reproduisaient souvent (sur la moitié des essais) uniquement les éléments locaux du modèle, et cela était accentué lorsque la présentation était courte (300 ms). Dans ce groupe d'âge, une reproduction de la structure globale sans éléments locaux, bien que plus rare, pouvait aussi être observée, et disparaissait totalement chez les enfants plus âgés. Cette étude démontre que très précocement, dès 4 ans, les enfants peuvent intégrer dans leur production graphique le niveau global et le niveau local lorsque les figures sont simples. En revanche, les enfants de 3 ans éprouvent des difficultés pour intégrer les deux niveaux : ils peuvent les percevoir mais les traiteraient de façon indépendante. Ainsi, le syncrétisme décrit au cours du 20^{ème} siècle semble ne pas être lié à un défaut de perception, comme on pouvait le penser initialement, mais plutôt à une difficulté dans la programmation de réponses lors de tâches complexes nécessitant la coordination de différentes activités cognitives.

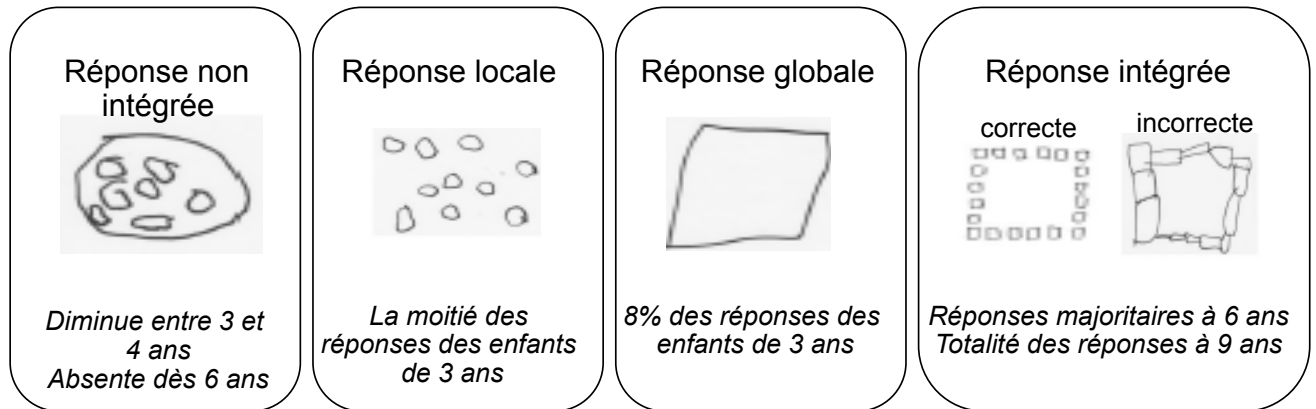


Figure 21. Différents types de reproduction de figures hiérarchisées selon l'âge. Les jeunes enfants de 3 ans produisent majoritairement des réponses non-intégrées, locales et globales. Progressivement leurs réponses deviennent de plus en plus intégrées. Image d'après Vinter, A., Puspitawati, I., & Witt, A. (2010). *Children's spatial analysis of hierarchical patterns: construction and perception*. *Developmental Psychology*, 46(6), 1621-1631.

2.2 Variabilité de la saillance globale à l'âge scolaire et préscolaire

Le biais précoce pour le traitement global n'est pas systématiquement retrouvé. Par exemple, un biais local fort jusqu'à la fin de l'adolescence a été rapporté dans une tâche de type Navon et une tâche d'appariement (Scherf, Behrmann, Kimchi, & Luna, 2009) pourtant très similaires à celles qui ont mis en évidence un biais global précoce (Krupskaya & Machinskaya, 2012; Mondloch et al., 2003; Ozonoff et al., 1994; Plaisted et al., 1999). Seule la taille du niveau global, plus petite dans l'étude de Scherf et al (2009), semblerait pouvoir expliquer cette divergence de résultats (3° de hauteur contre 5 à 13° dans les autres études). De la même façon, dans une tâche de détection de différences dans laquelle deux figures hiérarchisées sont présentées de chaque côté d'un point central jusqu'à ce que l'enfant réponde, un biais local semble dominer jusqu'à la fin de l'âge scolaire (Poirel, Mellet, Houdé, & Pineau, 2008). Le biais global pourrait ainsi émerger précocement tout en restant très variable durant la période scolaire, et serait particulièrement sensible à des modifications de matériel altérant sa saillance. Certains facteurs qui impactent l'existence du biais global chez l'enfant sont connus et ont pu être étudiés spécifiquement.

2.3 Le rôle de la densité dans l'émergence d'un biais global chez l'enfant

Dukette et Stiles (1996) ont montré avec une tâche d'appariement que les enfants dès 4 ans font bien des choix majoritairement globaux lorsque les figures hiérarchisées sont denses, mais que leurs choix deviennent majoritairement locaux si les figures hiérarchisées sont peu

denses. Dans ce cas, une bascule vers le niveau global n'est observée qu'à 6 ans. Ces résultats ont été largement répliqués (Poirel et al., 2011; Poirel, Cassotti, Beaucousin, Pineau, & Houdé, 2012; Poirel, Cassotti, et al., 2012). Le biais global existerait ainsi précocement, mais se renforcerait avec l'âge pour s'étendre à des figures globales moins saillantes.

Par ailleurs, lorsque des figures hiérarchisées sont rendues particulièrement denses, les enfants de 4 ans obtiennent des performances plus faibles dans la reproduction d'élément locaux que lorsque les figures ont une densité habituelle (Dukette & Stiles, 2001). Il semble ainsi que, pour les enfants les plus jeunes, les capacités soient altérées à la fois pour traiter le niveau global de figures hiérarchisées peu denses et en même temps pour traiter le niveau local de figures hiérarchisées particulièrement denses.

La densité des figures est connue pour impacter le traitement global/local chez l'adulte (Enns & Kingstone, 1995; Hughes et al., 1996; Kimchi, 1988; Lagasse, 1993), mais l'ensemble de ces études montre que les enfants d'âge préscolaire seraient plus sensibles encore à la densité du matériel (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Poirel, Cassotti, et al., 2012). Il semble donc important de considérer le développement des processus perceptifs de groupement selon la loi de proximité formulée par les théoriciens de la Gestalt (Wertheimer, 1938).

En effet Burack, Enns, Iarocci et Randolph (2000) ont montré qu'il existe un changement significatif après 6 ans dans la capacité à intégrer des éléments visuels éloignés les uns des autres (Cf. Figure 22). Dans leur tâche, il fallait détecter une forme oblique parmi des formes droites. Toutes les formes étaient constituées de quatre points. L'aspect oblique de la cible pouvait être véhiculé par des points proches ou des points éloignés. Les auteurs ont montré que les enfants de 6 ans avaient plus de difficultés que les adultes pour rechercher des cibles définies par un groupement de points éloignés et que le niveau adulte n'était atteint qu'entre 8 et 10 ans.

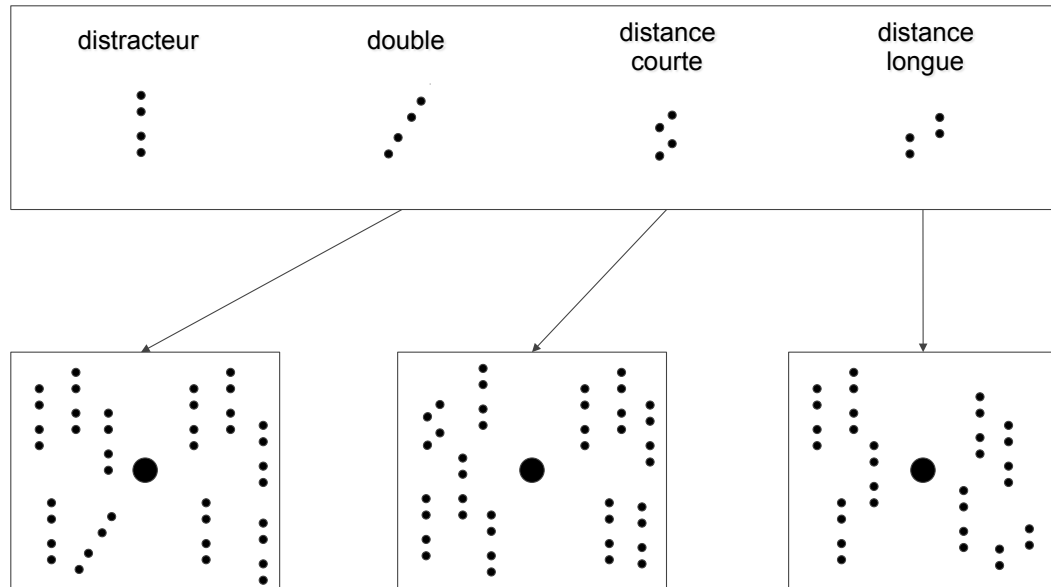


Figure 22. Paradigme proposé par Burack, Enns, Iarocci et Randolph (2000). La cible oblique devait être détectée parmi des distracteurs droits. Cibles et distracteurs étaient composés de 2 paires de 4 points. L'oblicité de la cible pouvait exister à la fois au sein de chaque paire de points et entre les paires de points, ou uniquement au sein de chaque paire (distance courte) ou uniquement entre les paires (distance longue). Les enfants de 6 ans avaient une recherche moins efficace que celle des adultes dans la condition « distance longue ».

Des résultats allant dans le même sens ont été retrouvés dans des études en recherche visuelle consistant à trouver une forme constituée par des fragments locaux, au milieu d'autres éléments distracteurs de même taille (Hadad & Kimchi, 2006; Hadad, Maurer, & Lewis, 2010). Lorsque la distance entre ces fragments est faible, la recherche est efficace dès 5 ans et n'évolue pas avec l'âge. En revanche, lorsque la distance entre les fragments augmente, la recherche devient inefficace à 5 ans et 7 ans. Les enfants de 10 ans et 14 ans obtenaient quant à eux des résultats similaires à celui des adultes, indiquant une recherche efficace pour les fragments éloignés à condition qu'ils soient colinéaires (qu'ils aillent dans la même direction). Ainsi, les enfants plus âgés et les adultes auraient toujours des difficultés pour regrouper des éléments éloignés, mais ils/elles pourraient davantage baser leur groupement sur d'autres lois de la gestalt telle que la colinéarité.

En résumé, les enfants d'âge préscolaire et scolaire ont des difficultés à faire émerger une forme globale signifiante lorsque les éléments sont éloignés, et leurs performances s'améliorent pour atteindre un niveau adulte aux alentours de 10 ans. Ce pattern développemental correspond bien à celui retrouvé pour l'émergence d'un biais global lorsque des figures sont peu denses (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Poirel, Cassotti, et al., 2012).

De façon intéressante, Enns et Girgus (1985) ont révélé chez des enfants de 6-8 ans, en comparaison d'enfants de 9-10 ans et d'adultes, non seulement une difficulté pour grouper

des éléments éloignés mais également une difficulté pour individualiser des éléments proches, ce qui permet de rendre compte des divergences de résultats observées chez les jeunes enfants selon la densité des figures.

2.4 Variabilité du biais global chez le jeune enfant selon la complexité de la tâche et le type de matériel utilisé

L'effet de la densité des figures hiérarchisées sur le traitement global/local semble impacté par la complexité de la tâche et le type de figures hiérarchisées employées (lettres ou formes géométriques).

Dukette et Stiles (2001) ont proposé à des enfants de 4 à 8 ans de reproduire des figures hiérarchisées en copie ou de mémoire, en faisant varier la densité des figures. Lorsque la figure avait une densité habituelle, et conformément à d'autres études (Vinter et al., 2010), les enfants reproduisaient mieux la structure globale que les éléments locaux en copie. Toutefois, ce résultat classique n'était pas retrouvé lorsque les enfants devaient reproduire la figure de mémoire. De la même façon, lorsque la densité était faible, les enfants de 4 à 8 ans étaient meilleurs pour reproduire le niveau local, ce qui va dans le sens d'études présentées plus haut (Dukette & Stiles, 1996; Poirel, Cassotti, et al., 2012), et ce biais local était accentué dans l'épreuve de mémoire par rapport à l'épreuve de copie. Pour les auteures, ces résultats indiquent que la complexité de la tâche impacte le biais global chez le jeune enfant. De plus, les auteures de cette étude ont relevé un effet du type de figures hiérarchisées présentées. En densité faible, que les figures soient des lettres ou des formes géométriques, les adultes étaient aussi performants pour reproduire le niveau global que le niveau local. En revanche, le matériel avait un impact sur les productions des enfants : alors que les enfants de 4-6 ans présentaient un biais local à la fois pour la reproduction de lettres ou de figures géométriques, les enfants de 6-8 ans présentaient quant à eux un biais local uniquement pour les figures géométriques. L'influence du type de matériel sur l'émergence du biais global lors du traitement de figures peu denses a également été observé lors d'une tâche d'appariement (Dukette & Stiles, 1996) : alors que les enfants de 6 ans appariaient des figures peu denses sur la base d'une ressemblance globale pour des lettres, ils basculaient vers un appariement local pour des figures géométriques. Il semblerait ainsi que l'apprentissage de la lecture à 6 ans puisse améliorer les capacités de groupement d'éléments peu denses, en créant une plus grande sensibilité à la signification véhiculée par le niveau global. En effet, lorsque seul

l'item global est signifiant, les enfants privilégient ce niveau dès 5 ans (Poirel, Mellet, et al., 2008).

Récemment, il a été montré que l'apprentissage de la lecture modifie les bases neurales de la perception des fréquences spatiales (Ossowski & Behrmann, in press). Les apprentissages scolaires intenses pourraient ainsi expliquer les changements importants du traitement global/local rapportés dans la littérature au début de l'âge scolaire (Burack et al., 2000; Dukette & Stiles, 1996, 2001; Poirel et al., 2011; Poirel, Cassotti, et al., 2012; Poirel, Mellet, et al., 2008).

2.5 L'émergence d'un biais global « résistant »: données cérébrales anatomiques.

Récemment, des études en Imagerie par Résonance Magnétique anatomique (IRMa) ont recherché chez l'enfant d'âge scolaire les modifications cérébrales impliquées dans l'émergence d'un biais global tel qu'observé chez l'adulte, c'est-à-dire résistant à une faible densité des figures (Poirel et al., 2011, 2014).

Le passage d'un biais local à un biais global dans le traitement de figures de faible densité s'accompagnait chez l'enfant d'une diminution de matière grise dans différentes aires corticales occipitales et pariétales spécialisées dans le traitement global (Poirel et al., 2011) et notamment dans le cortex pariétal postérieur droit impliqué, comme nous l'avons vu, dans la sélection d'une cible saillante (Mevorach et al., 2010, 2009). On observait aussi chez ces enfants une diminution de l'épaisseur corticale occipitale et une augmentation dans les régions frontopariétales gauches (Poirel et al., 2014), ces dernières étant connues pour leur rôle d'intégration entre la saillance et la pertinence des items visuels (Corbetta & Shulman, 2002). Ces résultats suggèrent que le renforcement du biais global chez l'enfant s'accompagne à la fois de phénomènes d'élagage synaptique et d'expansion corticale, sur le plan visuel mais également au niveau des réseaux attentionnels. Dès lors, il apparaît nécessaire de s'interroger sur l'impact du développement des processus de sélection attentionnelle sur l'ontogenèse du traitement global/local car des processus différents (perception, sélection attentionnelle, fonctions exécutives) sont susceptibles de provoquer des différences développementales.

La saillance perceptive du niveau global semble se renforcer durant la période scolaire, mais quel est par ailleurs l'impact du développement des processus de sélection attentionnelle et d'inhibition sur la capacité à sélectionner une cible, notamment lorsqu'elle apparaît au niveau hiérarchique qui n'est pas le plus saillant?

3- Développement des capacités de sélection globale/locale dans des situations d'interférence et de compétition.

Dans la vie quotidienne, il est sans cesse nécessaire de se concentrer sur des détails de l'information visuelle (par exemple pour lire un livre) alors que d'autres informations sont simultanément présentes à un niveau plus global (le bureau sur lequel le livre est posé, la salle de classe avec son tableau, ses décorations, et au delà de la salle de classe, l'extérieur, dont on peut avoir un aperçu à travers la fenêtre...). Une étude récente (Fisher, Godwin, & Seltman, 2014) a justement montré que les enfants d'âge préscolaire font davantage d'erreurs durant des évaluations et sont plus distraits dans une salle de classe abondamment décorée que dans une salle dégagée. L'environnement visuel global semble ainsi perturber les enfants dans leurs apprentissages. Il s'agit là d'un phénomène connu des pédagogues, puisque déjà dans les années 50, Montessori (1949) recommandait d'éviter de placer les jeunes enfants dans des salles de classe à la décoration trop abondante. Comment cela s'exprime-t-il dans des tâches expérimentales en global/local ?

Dans une tâche de reproduction de figures hiérarchisées, Vinter et al (2010) avaient observé que les jeunes enfants produisaient davantage de réponses intégrées lorsque les deux niveaux hiérarchiques du modèle étaient congruents. Dans une deuxième expérience, les auteur.e.s ont proposé une tâche d'appariement dans laquelle un modèle apparaissait à l'écran 300 ms ou 3000 ms, suivi de quatre choix de figures qui respectaient le niveau global ou le niveau local du modèle. Chez les enfants de 3 ans, la présence d'un conflit entre les deux niveaux hiérarchiques du modèle (une forme au niveau global composée d'autres formes au niveau local) conduisait à davantage de choix locaux et, lorsque le niveau global était choisi, la réponse était souvent incorrecte, avec toutefois une progression constatée lors de l'allongement des temps de présentation. L'interférence entre les deux niveaux entraînait également davantage de réponses erronées au niveau local, bien que dans une moindre mesure. Chez ces jeunes enfants, chez qui une reproduction graphique non-intégrée était majoritairement observée, la sensibilité à l'interférence était ainsi plus forte que chez des enfants plus âgés. Le syncrétisme puéril rapporté par différents auteurs du 20^{ème} siècle pourrait ainsi ne pas être le reflet d'un mécanisme perceptif mais plutôt le résultat de la difficulté à sélectionner une information dans un contexte de compétition.

L'utilisation de tâches de type Navon a permis de révéler avec précision l'effet d'un conflit entre les deux niveaux hiérarchiques sur les réponses des enfants. Les études ont rapporté un pattern similaire à celui observé chez l'adulte, avec l'existence, dès 5 ans, d'un effet d'interférence asymétrique, c'est-à-dire plus prononcé du niveau global sur le niveau local par rapport à l'interférence inverse, qui était même parfois absente (Krupskaya & Machinskaya, 2012; Ozonoff et al., 1994; Plaisted et al., 1999). Krupskaya et Machinskaya (2012) ont, de plus, rapporté un phénomène développemental intéressant : chez les enfants de 5 à 7 ans, un ralentissement était observé non seulement dans le traitement de figures interférentes par rapport aux figures congruentes, mais également pour les figures neutres (Cf. Figure 20, p. 107). L'interférence causée par des figures neutres a déjà été rapportée chez les adultes en imagerie cérébrale (Beaucousin et al., 2013; Weissman et al., 2003), mais ce phénomène pourrait être plus prononcé chez les jeunes enfants et ainsi devenir mesurable avec des tâches comportementales. Ce phénomène pourrait s'expliquer par une plus grande sensibilité des enfants à la signification du matériel au niveau non-pertinent. Chez l'adulte, comme nous l'avons vu, la signification du matériel est importante dans l'apparition de l'effet d'interférence (Poirel, Pineau, et al., 2008; Rauschenberger & Yantis, 2001). Cet effet pourrait être plus important encore chez les enfants les plus jeunes. En effet, dans une tâche de détection de différences, Poirel, Mellet et al (2008) ont rapporté que les enfants de 4-5 ans commettent davantage d'erreurs (indiquer que les figures hiérarchisées sont identiques alors que ce n'est pas le cas) dès lors que le niveau non-pertinent (celui où il n'y a pas de différence) est composé de figures signifiantes, que le niveau cible (celui où apparaît la différence) soit lui-même composé ou non d'objets identifiables. En revanche, les enfants de 6 à 9 ans et les adultes ne sont sensibles à la signification du niveau non-pertinent que lorsque le niveau cible n'est pas lui-même un objet identifiable.

Dans une tâche d'appariement, Kimchi et al (2005, Expérience 2) ont étudié le phénomène d'interférence au cours du développement en manipulant la densité des figures hiérarchisées. Les figures hiérarchisées étaient présentées par colonnes, et les participant.e.s devaient indiquer si le niveau global ou local des figures centrales correspondait à celui des colonnes de gauche ou des colonnes de droite. Les essais pouvaient être congruents ou interférents (Cf. Figure 23, en haut). Quand il y avait congruence, les figures hiérarchisées situées d'un côté correspondaient aux figures hiérarchisées centrales à la fois au niveau local et au niveau global tandis que les figures non pertinentes, situées de l'autre côté, n'avaient aucun niveau en commun avec les figures centrales. Quand il y avait interférence, les figures situées d'un côté

correspondaient aux items centraux par leur niveau local et les items situés de l'autre côté correspondaient aux items centraux par leur niveau global. Pour tous les groupes d'âge, l'interférence globale était plus forte que l'interférence locale dans la condition dense et l'interférence locale était plus forte que l'interférence globale dans la condition de faible densité. Quel que soit le niveau qui entraînait l'interférence, celle-ci diminuait entre 5 et 10 ans pour atteindre un niveau adulte.

Ces différentes études indiquent ainsi que les enfants auraient davantage de difficultés que les adultes à sélectionner une cible non-saillante (locale en situation dense et globale en situation peu dense) en présence d'un ou plusieurs distracteurs. Qu'en est-il en recherche visuelle, lorsque l'ensemble des informations entrent en compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles ?

Kimchi et al (2005, Expérience 1) ont fait varier la densité des figures hiérarchisées dans une tâche de recherche visuelle (Cf. Figure 23, en bas), et ont montré qu'à tous les âges (de 5 à 23 ans), le niveau global était traité plus rapidement que le niveau local dans la condition dense, alors que les deux niveaux étaient traités à la même vitesse en condition de faible densité. Toutefois, la recherche était efficace à tous les âges pour le niveau global en forte densité et pour le niveau local en faible densité, et inefficace pour le niveau local en forte densité et le niveau global en faible densité. Cette étude semble ainsi indiquer une possible dissociation entre 1) la sensibilité perceptive qui est en faveur du niveau global en condition dense mais qui disparaît en condition non-dense sans être remplacée par un biais local et 2) la saillance d'une information dans un contexte compétitif. Ce type de distinction avait déjà été suggéré par Mondloch et al (2003), qui montraient qu'à un âge donné, un individu peut traiter plus rapidement un niveau hiérarchique, ce qui ne signifie pas que ce niveau domine la compétition attentionnelle.

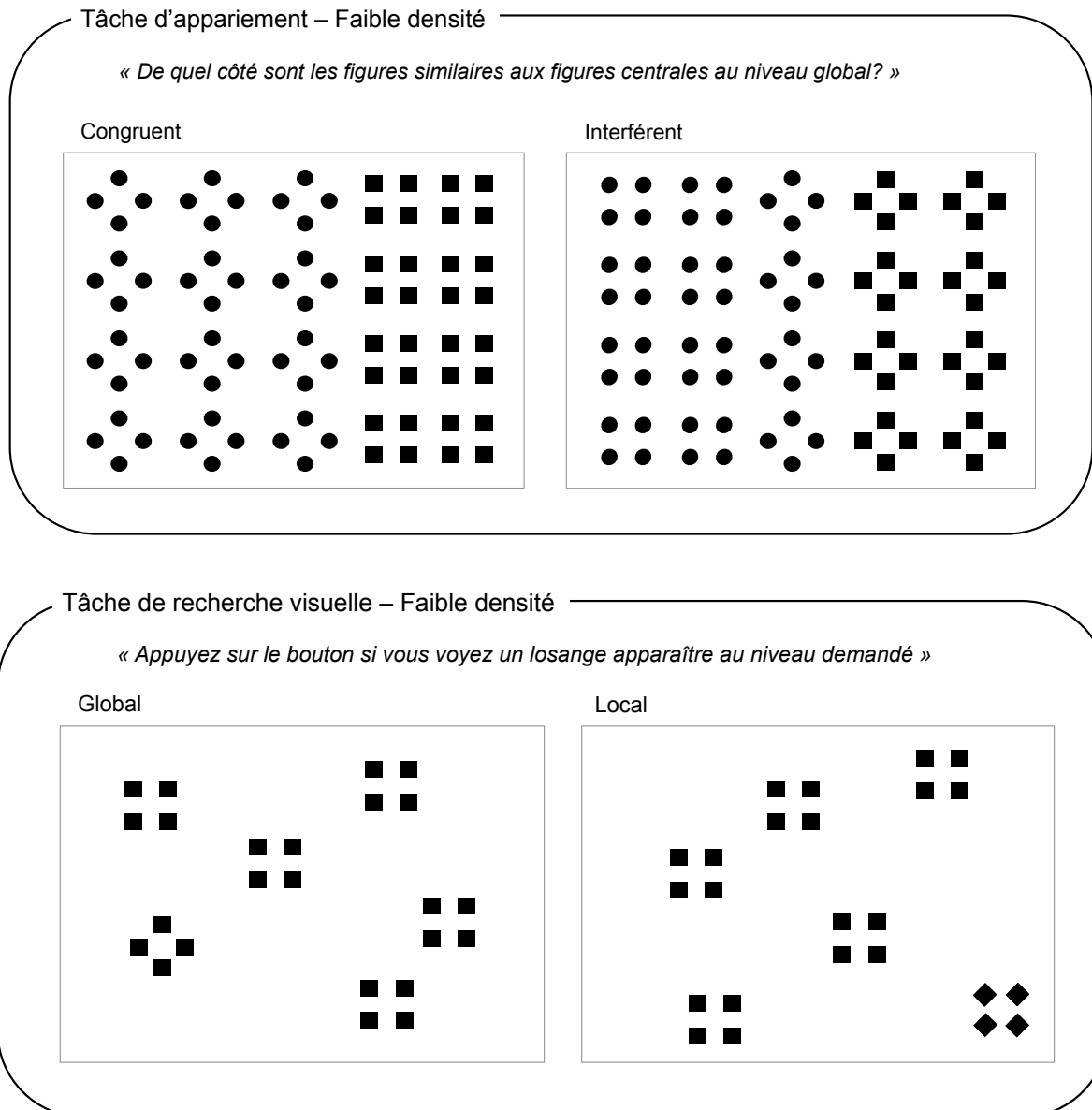


Figure 23. Illustration des conditions de faible densité proposées dans les deux Expériences de Kimchi et al. (2005). Dans la tâche d'appariement (en haut), on voit que, dans la situation congruente, les figures de gauche correspondent aux figures centrales à la fois au niveau global et au niveau local alors que les figures de droite (distracteurs) ne correspondent ni au niveau local ni au niveau global des figures centrales. Dans la situation interférente, il faut choisir les figures de droite dans la tâche globale, mais les figures de gauche (distracteurs) correspondent aux éléments locaux des figures centrales. Le contraste des deux conditions permet de révéler les effets d'interférence. Dans la tâche de recherche visuelle (en bas), il faut détecter un losange soit au niveau local soit au niveau global. Ici, 5 distracteurs sont représentés. Dans l'expérience, il pouvait y en avoir 1, 5 ou 9.

Par ailleurs, Kimchi et al (2005, Expérience 1) ont montré que seules les recherches inefficaces étaient marquées par une amélioration au cours du développement, entre 5 et 10 ans. Comme l'ont souligné les auteur.e.s, lorsqu'une information à un niveau donné est saillante, sa sélection serait automatique et n'évoluerait pas avec l'âge. En revanche, lorsqu'un niveau n'est pas saillant, des processus de haut niveau, exécutifs, sont nécessaires

pour permettre sa sélection, et la mise en place de ces processus s'améliore probablement avec l'âge.

Ces données suscitent de nouvelles questions scientifiques (Cf. Perspective de recherche 3), qui feront l'objet de l'Étude 2 présentée dans cette thèse (p. 158)

Perspective de recherche 3

Les données chez l'enfant d'âge scolaire et préscolaire montrent une plus grande variabilité du biais global, selon les paradigmes et les figures employées, que les données observées chez l'adulte. Toutefois, peu de recherches chez l'enfant ont permis de différencier les effets perceptifs et les effets liés à l'interférence dans l'ontogenèse du traitement global/local. Comme l'ont souligné Mondloch et al. (2003), il pourrait exister une dissociation à un âge donné entre la sensibilité perceptive à un niveau et le fait que ce niveau domine ou non la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. En utilisant chez l'enfant, comme cela a été le cas chez l'adulte, des figures hiérarchisées à 3 niveaux avec une tâche de recherche visuelle, il serait possible d'analyser plus précisément les trajectoires développementales de la sensibilité perceptive (par l'analyse des temps de réponse) et de la dominance attentionnelle (par l'analyse des pentes de recherche). La présence d'un niveau intermédiaire pourrait permettre de dépasser la dichotomie habituelle entre le global et le local en observant précisément comment l'attention se répartit selon le niveau hiérarchique à chaque âge, et si ce processus agit sur un continuum (du global au local ou du local au global), ou de façon plus dichotomique.

Les différentes études présentées dans cette section indiquent que les enfants d'âge préscolaire et scolaire sont plus sensibles à l'interférence causée par le niveau hiérarchique saillant sur la sélection du niveau hiérarchique le moins saillant, en comparaison des adultes. Toutefois, la saillance du niveau global est plus variable chez l'enfant jusqu'à 9-10 ans que chez l'adulte, un biais local pouvant apparaître lorsque les éléments locaux sont peu nombreux et espacés. Une manipulation de la densité des figures hiérarchisées peut ainsi conduire à l'émergence d'une interférence locale. Quel que soit le niveau hiérarchique le plus saillant, il semblerait que son traitement évolue peu avec l'âge. En revanche, la sélection du niveau hiérarchique le moins saillant semble évoluer au cours du développement. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent (Cf. Chapitre 4, p. 82), la sélection d'un élément peu saillant dans un contexte d'interférence nécessiterait l'inhibition des distracteurs plus saillants.

A notre connaissance, aucune étude n'a, à ce jour, utilisé un paradigme d'amorçage négatif pour tester l'inhibition dans une tâche de traitement global/local chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire, alors même que des effets d'interférence entre les niveaux hiérarchiques sont démontrés, et que cette interférence semble plus importante chez les

enfants les plus jeunes. L'Étude 4 présentée dans cette thèse (p. 197) répondra à cet objectif (Cf. Perspective de recherche 4).

Perspective de recherche 4

Comme l'ont révélé Kimchi et al. (2005), les enfants entre 5 et 10 ans ont des difficultés accrues par rapport à leurs aîné.e.s pour sélectionner 1) une cible locale dans un environnement compétitif constitué de figures hiérarchisées denses et 2) une cible globale lorsque les figures hiérarchisées sont peu denses. Les enfants ont-ils besoin d'inhiber le niveau le plus saillant pour sélectionner le niveau pertinent non saillant ?

Un paradigme d'amorçage négatif dans une tâche de sélection globale/locale, contrôlant la saillance respective des niveaux (par une manipulation de la densité des figures) nous permettrait de vérifier que la sélection d'une cible non-saillante repose sur l'inhibition du niveau hiérarchique le plus saillant.

Pour révéler un effet d'amorçage négatif, il est nécessaire de choisir des enfants qui réussissent la tâche. En général, les études développementales en global/local montrent une amélioration des performances vers 6 ans. Dans le but de révéler des différences développementales, il apparaît toutefois nécessaire de choisir des enfants qui n'ont pas encore atteint un niveau de performance adulte, c'est-à-dire avant 9-10 ans.

Les études utilisant ce type de paradigme ont montré que l'effet d'amorçage négatif pouvait rester constant quel que soit l'âge, dans le cas de tâches nécessitant une inhibition automatique, ou être plus important chez les enfants les plus jeunes dans le cas de tâches nécessitant une inhibition plus cognitive. Il serait ainsi intéressant d'observer le pattern développemental de l'effet d'amorçage négatif afin de pouvoir inférer le type d'inhibition mis en jeu dans les tâches en global/local.

4- Conclusion : développement de l'intelligence, Gestalt et inhibition.

L'apparition des mouvements gestaltistes dans la première moitié du 20^{ème} siècle a totalement transformé l'approche scientifique et théorique de la perception (Wertheimer, 1938). Au delà de l'idée majeure de cette théorie considérant une supériorité du Tout sur les parties, la question du lien entre la perception et l'intelligence était posée, rompant ainsi avec la tradition cartésienne considérant la pensée comme dénuée de sensations. La comparaison entre le développement de la pensée scientifique humaine et le développement de la perception chez l'enfant a été formulée par Renan ([1890] 1995), entraînant toute une vague de travaux en psychologie cherchant à comprendre la façon dont l'enfant passe d'une

perception syncrétique à une perception synthétique, dans le but d'y déceler les prémisses de la pensée. Si aujourd'hui, comme nous l'avons vu, ce débat a été progressivement remplacé par l'étude du développement des processus sous-tendant les phénomènes de précedence globale, on peut toutefois le raccrocher à l'état des connaissances actuelles.

Aujourd'hui, l'inhibition est au cœur de beaucoup de modèles du développement cognitif. Dès les années 90, Dempster (1992) l'a désignée comme le processus « phare », sous-tendant le développement cognitif à la fois chez l'enfant mais aussi au cours du vieillissement. Comme le souligne alors Diamond (1991) « le développement cognitif peut être conçu, non pas seulement comme l'acquisition progressive de connaissances, mais aussi comme l'amélioration de l'inhibition des réactions qui empêchent la démonstration de ces connaissances pourtant déjà présentes » (p.67, notre traduction). Houdé (1995, 2000) montrera alors que cette thèse nouvelle de l'inhibition cognitive s'applique aux objets, aux nombres, aux catégories et au raisonnement logique : dans chacun de ces domaines « le développement de la rationalité ne peut se réduire à la substitution majorante de structures nouvelles (...) mais que se développer c'est aussi et souvent inhiber une structure concurrente » (Houdé, 1995, p. 3). Les psychologues du développement ont montré ces dernières années que le contrôle inhibiteur est un prédicteur fiable de la réussite académique et professionnelle (Bailey, 2007; Checa & Rueda, 2011; Lan, Legare, Ponitz, Li, & Morrison, 2011; Lee, Lo, Li, Sung, & Juan, 2015), et même de la santé physique et mentale (Moffitt et al., 2011). De plus, un nombre convergent d'études indique les bienfaits sur les apprentissages d'entraînements à l'inhibition ou bien même d'activités plus globales améliorant les fonctions exécutives (Diamond, 2012; Diamond, Barnett, Thomas, & Munro, 2007; Diamond & Lee, 2011; Houdé, 2007; Houdé & Moutier, 1996; Moutier, Angeard, & Houdé, 2002; Moutier & Houdé, 2003; Rossi, Cassotti, Moutier, Delcroix, & Houdé, 2015; Traverso, Viterbori, & Usai, 2015). Les néo-piagétiens, qui ont cherché à intégrer les données issues des modèles anglo-saxons à la théorie piagétienne, ont placé l'inhibition au cœur de leurs modèles. Dans le cadre de cette thèse, il apparaît particulièrement pertinent de présenter la théorie de Pascual-Leone qui est le seul psychologue du développement à avoir intégré à la fois les propositions théoriques de la Gestalt et l'inhibition dans un modèle du développement de l'intelligence.

Pascual Leone, (Greenberg & Pascual-Leone, 1995; Pascual-Leone, 1984; Pascual-Leone & Goodman, 1979) définit deux niveaux dans sa théorie des opérateurs constructifs : les schèmes et les opérateurs. Les schèmes portent sur des contenus spécifiques, par exemple sur le problème que l'enfant est en train de résoudre alors que les opérateurs sont des ressources plus générales, existantes en dehors des situations spécifiques (Cf. Figure 24).

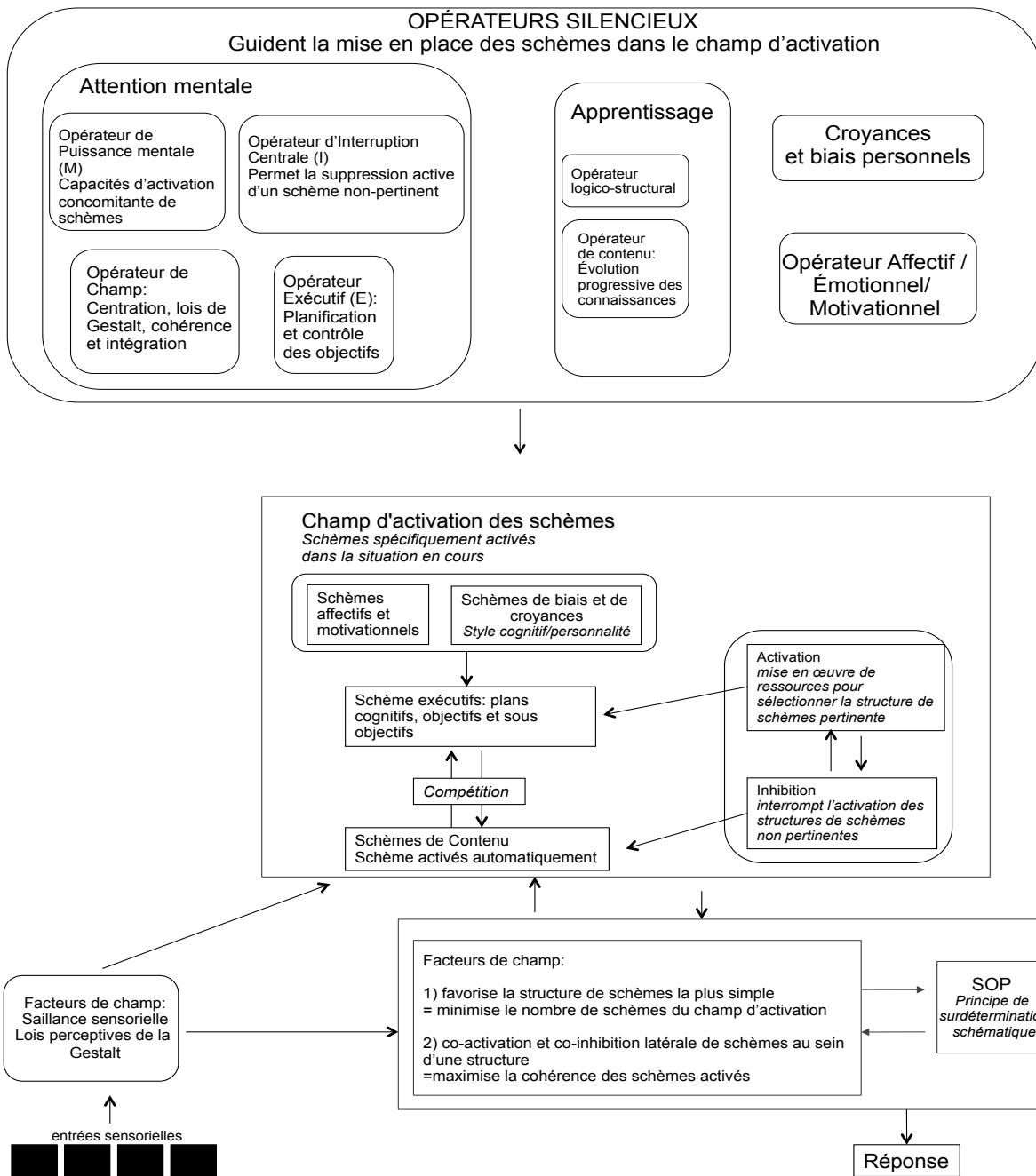


Figure 24. Schématisation du traitement de l'information dans la théorie de Pascual Leone d'après différents articles (Greenberg & Pascual-Leone, 1995; Pascual-Leone, 1984, 1989; Pascual-Leone & Goodman, 1979)

La gestion de l'attention est sous-tendue par quatre opérateurs : la puissance mentale (permettant l'activation de schèmes ou leur maintien en mémoire), l'interruption centrale (permettant l'inhibition de schèmes trompeurs, non pertinents ou automatisés), l'opérateur constitué des schèmes exécutifs disponibles (ensemble de schèmes permettant le contrôle et la planification de la tâche en cours), et l'opérateur de champ. Ce dernier est directement inspiré des travaux de la Gestalt, il intervient à différents niveaux : dès les entrées perceptives, il permet la mise en place des lois de Gestalt, et joue ainsi un rôle dans la saillance attribuée aux informations visuelles. Par ailleurs, l'opérateur de champ veille en permanence à maximiser la cohésion des informations en un Tout en vue d'économiser les ressources cognitives. Il agit sur le champ d'activation des schèmes par des jeux de co-activation et de co-inhibition latérale, automatiques : si un schème reçoit un poids fort, les schèmes qui lui sont proches ou habituellement associés vont être spontanément valorisés alors que les autres schèmes vont être inhibés. Ainsi, l'opérateur de champ valorise l'activation ou l'inhibition d'un ensemble de schèmes. Ces inhibitions et activations latérales ne prennent pas en compte la pertinence des informations et peuvent agir à la fois sur des schèmes corrects ou trompeurs. De plus, le facteur de champ va toujours minimiser le plus possible le nombre de schèmes actifs. Si deux structures de schèmes sont en compétition avec des poids égaux, le facteur de champ privilégiera la structure contenant le moins de schèmes.

Ainsi, dans ce modèle, la Gestalt permet une économie cognitive précieuse, mais peut entraîner l'activation de stratégies trompeuses. C'est dans ce cas que les opérateurs d'Interruption Centrale et de Puissance Mentale permettent, en lien avec les objectifs de l'individu, ses affects et sa personnalité (d'où une grande variabilité interindividuelle), de ne pas être biaisés vers une réponse erronée.

La théorie des opérateurs constructifs a placé les fonctions exécutives au centre du développement et a donné une place prépondérante au contrôle inhibiteur qui permet l'activation des schèmes adaptés. Toutefois, dans ce cadre théorique, le développement de l'enfant est conçu de façon linéaire : les compétences augmenteraient avec l'augmentation quantitative de la capacité mentale. C'est en tous cas sur ce point que Pascual-Leone a fourni le plus de données expérimentales, cherchant à montrer un développement conjoint entre les capacités d'activation des enfants et le développement de leurs aptitudes scolaires ou logiques (Howard et al., 2014). C'est sur ce point que sa théorie a été le plus critiquée. Par exemple, pour Case (1992), ce qui augmente, ce n'est pas tant la capacité mentale, mais plutôt le fait

que les traitements, devenant de plus en plus automatiques, vont solliciter moins d'espace de stockage, ce qui va permettre des opérations de plus en plus complexes.

Le modèle du développement cognitif de Houdé (Borst et al., 2015; Houdé, 1995, 2000; Houdé & Borst, 2014; Houdé & Leroux, 2009) s'affranchit quant à lui totalement de cet aspect linéaire de la conception du temps développemental. S'inspirant des modèles dualistes de la cognition (Kahneman & Frederick, 2002; Kahneman et al., 1982), il conçoit l'inhibition comme le processus permettant le passage d'un Système 1, correspondant aux heuristiques (réponses automatiques, qui peuvent conduire à l'erreur) à un Système 2, basé sur des algorithmes (réponses coûteuses mais correctes). Dans ce modèle, on peut tout à fait concevoir qu'un adulte réussisse moins bien une tâche qu'un enfant : les heuristiques peuvent s'automatiser au cours du développement et biaiser des réponses qui ne l'étaient pas auparavant (Cf. Figure 1, p. 17).

Dans le cadre de l'ontogenèse du traitement global/local, cette proposition est particulièrement intéressante. Comme nous l'avons montré, il semblerait en effet que le biais global se renforce durant l'enfance, jusqu'à environ 10 ans (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Mondloch et al., 2003; Poirel, Cassotti, et al., 2012; Poirel, Mellet, et al., 2008), et devienne progressivement plus hermétique aux transformations liées à la densité ou au type de matériel utilisé. Ce renforcement semble directement lié aux apprentissages scolaires, et notamment à l'apprentissage de la lecture, qui vont le renforcer. N'oublions pas que l'émergence du biais global occupe probablement une fonction adaptative (Hughes et al., 1996; Rauschenberger & Yantis, 2001), permettant au système de ne pas être envahi par un amas de détails peu pertinents. Bien que le biais global semble se renforcer au cours du développement, ce phénomène pourrait dans un même temps s'accompagner d'une amélioration du contrôle inhibiteur, qui permettrait de basculer plus efficacement et rapidement d'un mode global fortement automatique à une sélection plus locale lorsque celle-ci est nécessaire.

Ainsi, le développement de la Gestalt et le développement des processus d'inhibition pourraient être envisagés conjointement dans une conception du développement cognitif de l'enfant : l'un permettrait une économie tant perceptive que structurelle, l'autre permettrait au système de résister aux biais. De l'intégration de ces deux processus pourrait émerger cette fameuse capacité de synthèse, décrite à la fin du 19^{ème} siècle (Renan, [1890] 1995) comme l'aboutissement à la fois du développement perceptif et de la connaissance humaine.

PRÉSENTATION DES OBJECTIFS DE LA THÈSE

SAILLANCE PERCEPTIVE ET INHIBITION : QUEL IMPACT SUR LE DÉVELOPPEMENT DU TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL ?

Le passage [entre un biais global et un biais local] mobilise très probablement des processus attentionnels automatiques ainsi que des mécanismes d'inhibition, essentiels à l'adéquation des comportements et des situations de la vie quotidienne. Néanmoins, il reste encore à déterminer le poids respectif de ces deux composantes chez l'adulte et leur développement chez l'enfant.

Poirel, 2007, p.183.

L'effet de précedence globale (le niveau global est traité plus rapidement que le niveau local et interfère avec lui), est un phénomène largement étudié et documenté depuis quarante ans chez l'adulte. Néanmoins, les processus internes qui le sous-tendent et les facteurs externes capables de le moduler restent encore à ce jour l'objet de nombreuses questions (Cf. Perspective de Recherche 1, p. 76 et Perspective de recherche 2, p. 78). Par ailleurs, le moment auquel émergerait une supériorité du Tout sur les parties chez l'enfant fait l'objet d'importantes controverses depuis près d'un siècle. Bien que la plupart des études actuelles convergent à montrer que les enfants entre 9 et 10 ans traitent les figures hiérarchisées comme les adultes, de profondes divergences sont rapportées dans la littérature en ce qui concerne les enfants d'âge préscolaire et scolaire. Certains travaux rapportent ainsi l'existence d'un biais local chez les jeunes enfants et d'autres l'existence d'un biais global (Cf. L'ontogenèse du traitement global/local, p. 103).

Comme suggéré dans la citation présentée ci-dessus (Poirel, 2007), il devient capital aujourd'hui de différencier l'impact des différents processus impliqués dans le traitement global/local. En effet, la plupart des épreuves employées aujourd'hui dans ce domaine de recherche, et notamment chez l'enfant, font appel à de nombreux processus à la fois perceptifs, attentionnels, exécutifs, ou encore grapho-moteurs, et utilisent des stimuli aux caractéristiques (taille, densité, signification, etc.) très variables. Ainsi, les différences

observées dans la littérature, notamment chez l'enfant, pourraient en réalité être mieux comprises et intégrées grâce à une description plus systématique des différents processus sous-tendant l'effet de précedence globale et des facteurs susceptibles de les influencer (Cf. Perspective de recherche 3 p. 117 et Perspective de recherche 4, p. 118).

Dans le but d'effectuer une telle description, nous avons fait le lien entre l'effet de précedence globale et les modèles de la compétition attentionnelle (Cf. Chapitre 1, La compétition pour l'octroi des ressources attentionnelles., p. 21). Ces modèles montrent qu'en raison d'une capacité limitée de traitement, les informations visuelles entrent en compétition pour afin d'être traitées. Une priorisation des informations est alors effectuée, selon 1) la saillance de la cible, c'est-à-dire sa « distinguabilité » par rapport aux distracteurs, et 2) la pertinence de la cible par rapport aux objectifs de l'individu. Lorsque l'information la plus saillante n'est pas l'information d'intérêt, son inhibition serait nécessaire afin que la cible puisse être correctement sélectionnée.

Notre hypothèse est la suivante : le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible (global ou local) serait une caractéristique influençant le poids de la cible sur la carte des saillances. Par conséquent, le niveau hiérarchique le plus saillant à un âge donné devrait être inhibé pour que la sélection d'une cible pertinente au niveau le moins saillant soit réussie. Deux caractéristiques seraient alors à prendre en considération dans l'étude développementale du traitement global/local : 1) la saillance d'un niveau pourrait varier avec l'âge, ou être sensible différemment selon l'âge à une manipulation des caractéristiques du stimulus ; et 2) les enfants pourraient présenter davantage de difficultés pour sélectionner une cible peu saillante en raison de capacités d'inhibition encore immatures.

Dans notre premier axe de recherche, nous allons nous intéresser à la compétition visuo-attentionnelle globale/locale en utilisant des tâches de recherche visuelle avec des stimuli hiérarchisés à trois niveaux (global, local, intermédiaire). Cet axe nous permettra de définir dans quelle mesure le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible agit comme un biais dans la compétition attentionnelle. Une première étude chez l'adulte nous permettra d'isoler l'impact de ce biais en contrôlant les variables qui covarient habituellement avec lui : la taille des éléments et la distance spatiale entre les niveaux, contrôles qui n'ont jamais été réalisés jusqu'à présent. L'ajout d'un niveau intermédiaire permettra de circonscrire avec plus de précision le fonctionnement de la priorisation attentionnelle : agit-elle de façon continue, du niveau le plus global au niveau le plus local, ou de façon dichotomique ? Dans une seconde

étude menée chez des enfants de 5, 6 et 9 ans, en comparaison avec de jeunes adultes, nous observerons les différences développementales du traitement global/local en distinguant : 1) la sensibilité perceptive, c'est-à-dire la rapidité de traitement aux différents niveaux hiérarchiques et 2) la dominance attentionnelle, c'est-à-dire l'efficacité de la recherche pour chaque niveau (augmentation du temps nécessaire à la détection de la cible par distracteur ajouté).

Dans notre second axe de recherche, nous chercherons à vérifier que l'inhibition du niveau le plus saillant est un processus central dans la sélection attentionnelle du niveau hiérarchique le moins saillant, grâce à un paradigme d'amorçage négatif. Dans une première étude menée chez l'adulte, nous vérifierons que la sélection du niveau local peu saillant nécessite l'inhibition du niveau global lorsque les deux niveaux sont en conflit, et nous opérerons des contrôles afin d'écarter les autres explications théoriques possibles de l'amorçage négatif avancées dans la littérature (Cf. L'inhibition : un mécanisme permettant de résister à la saillance perceptive.) Dans une seconde étude comparative chez l'enfant de 7 ans et l'adulte, nous vérifierons que l'inhibition du niveau saillant est nécessaire quel que soit l'âge. Pour cela, nous manipulerons la densité des figures hiérarchisées, afin d'observer dans quelle mesure la modulation de la saillance du niveau global affecte la sensibilité perceptive de ce niveau et la nécessité de son inhibition, selon l'âge des individus.

L'ensemble de ces travaux, qui s'inscrivent dans le cadre des modèles de la compétition attentionnelle et des théories dynamiques du développement cognitif de l'enfant, nous permettra ainsi de déterminer le poids respectif des biais attentionnels automatiques et de l'inhibition dans le traitement global/local au cours du développement.

**AXE 1 : COMPÉTITION
ATTENTIONNELLE
GLOBALE/LOCALE**

ÉTUDE 1

LE NIVEAU LOCAL, LE GRAND PERDANT DE LA COMPÉTITION ATTENTIONNELLE ?

ÉTUDE CHEZ L'ADULTE EN RECHERCHE VISUELLE AVEC DES FIGURES HIÉRARCHISÉES À 3 NIVEAUX.

RÉSUMÉ : Cette étude explore la façon dont des stimuli hiérarchisés à deux ou trois niveaux (global, intermédiaire et local) sont traités durant une tâche de recherche visuelle. Quatre-vingt quinze adultes ont participé à des tâches de recherche visuelle de type *feature* dans lesquelles ils devaient décider de la présence ou de l'absence d'une cible. En faisant varier le nombre de distracteurs présentés simultanément et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, nous avons montré que la recherche est efficiente lorsque les cibles sont présentées aux niveaux global ou intermédiaire (le temps nécessaire à leur détection reste constant quel que soit le nombre de distracteurs) alors que la recherche est moins efficiente lorsque la cible apparaît au niveau local (le temps nécessaire à sa détection augmente linéairement avec le nombre de distracteurs). Des expériences contrôle ont permis de montrer que ces résultats ne sont liés ni à la différence de taille entre les niveaux hiérarchiques ni à leur distance spatiale. L'ensemble de ces données suggère que le niveau local est toujours désavantagé lors de la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles en comparaison avec les niveaux plus structurels. Ainsi, l'efficacité de la recherche visuelle semble fonctionner de façon dichotomique plutôt que sur un continuum du plus global au plus local. Nous discuterons l'implication de ces résultats pour la perception, la sélection attentionnelle, et le contrôle exécutif.

Cette étude a fait l'objet d'une publication:

Krakowski, C.-S., Borst, G., Pineau, A., Houdé, O., & Poirel, N. (2015). You can detect the trees as well as the forest when adding the leaves: Evidence from visual search tasks containing three-level hierarchical stimuli. *Acta Psychologica*, 157, 131-143.

1. Introduction

Comme nous l'avons vu en Introduction (Cf. Perspective de Recherche 1, p. 76), tous les items présents dans l'environnement visuel entrent en compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles (Desimone & Duncan, 1995). La priorisation d'une information dépend à la fois de sa saillance, c'est-à-dire de ses caractéristiques physiques, et de sa pertinence, c'est-à-dire des objectifs de l'individu (Fecteau & Munoz, 2006; Michael et al., 2007, 2006; Navalpakkam & Itti, 2006; Serences & Kastner, 2014).

Une des propriétés qui semble déterminer la saillance d'un item est le niveau hiérarchique auquel il apparaît. En effet, suite aux travaux des théoriciens de la Gestalt (Wertheimer, 1938) révélant une supériorité du traitement du Tout sur les parties, un grand nombre d'études a montré que le niveau global (structure) est traité plus rapidement que le niveau local (détails) et interfère avec lui (Kimchi, 1992; Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008). L'avantage global (rapidité du traitement global) serait indépendante de l'interférence globale (ralentissement dans le traitement d'une cible locale en présence d'un objet global conflictuel) (Amirkhiabani & Lovegrove, 1999; Poirel, Pineau, et al., 2008; Rijpkema et al., 2007). La plupart des paradigmes utilisés en global/local repose sur des présentations de figures uniques présentées centralement. Qu'en est-il dans une situation de compétition typique des tâches de recherche visuelle où on fait varier la localisation des items et le nombre d'items apparaissant à l'écran? Une première étude utilisant une tâche de recherche visuelle de type *feature* (Kimchi et al., 2005) a montré que le niveau global est traité plus rapidement que le niveau local, et que la recherche globale est efficace, avec la même vitesse de détection quel que soit le nombre de distracteurs, alors que la recherche locale est moins efficace, avec une vitesse de détection qui augmente selon le nombre de distracteurs. Pourtant, dans les tâches de type *feature*, la différence entre cible et distracteurs est basée sur une caractéristique primaire, ce qui entraîne en général une recherche efficace (Treisman, 1993; Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 1994). Le fait que cela ne soit plus le cas lorsque les éléments locaux constituent une structure globale (Kimchi et al., 2005) suggère que le niveau global est plus saillant et interfère avec le traitement local. En effet, l'apparition d'un objet au niveau global perturbe la recherche d'une cible locale alors que l'inverse n'est pas vrai (Rauschenberger & Yantis, 2001).

La présente étude a pour objectif de préciser les processus de sélection attentionnelle à l'œuvre selon le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible. La saillance du niveau global est-elle absolue ou relative ? L'efficacité de la recherche visuelle agit-elle sur un continuum du niveau le plus global au niveau le plus local, ou de façon dichotomique ? Pour répondre à ces questions, il apparaissait nécessaire d'utiliser un troisième niveau intermédiaire, entre le global et le local. En effet, la dichotomie habituelle ne permet pas de trancher entre un avantage global ou un désavantage local dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles et ne permet pas une analyse fine de la façon dont l'efficacité de la recherche visuelle se distribue selon le niveau hiérarchique. Nous avons conduit une expérience utilisant un paradigme de recherche visuelle de type *feature* avec des figures hiérarchiques à trois niveaux (qui contiennent un niveau intermédiaire entre le niveau global et local).

Les différences de niveaux au sein d'une figure hiérarchisée sont accompagnées d'une différence de taille (plus un item est local, plus il est petit). Or, un item petit est moins saillant qu'un item plus grand (Michael et al., 2007). La distance au niveau global évolue également avec la position hiérarchique (le niveau local est plus éloigné du niveau global que ne l'est le niveau intermédiaire). Nous avons donc conduit des expériences supplémentaires permettant de contrôler les facteurs qui covarient avec le niveau hiérarchique : (1) une tâche de recherche visuelle avec des éléments dispersés, ne formant pas une structure globale, et étant de taille équivalente aux éléments locaux de notre expérience principale, et (2) une tâche de recherche visuelle avec des figures à deux niveaux hiérarchiques contenant un niveau local de taille équivalente au niveau intermédiaire de notre expérience principale. Ces contrôles sont importants car ils n'ont pas été effectués précédemment (Kimchi et al., 2005; Rauschenberger & Yantis, 2001), et permettront d'isoler l'effet propre au niveau d'apparition de la cible.

Par ailleurs, différentes études suggèrent que, lorsque les participant.e.s attendent une cible à un niveau particulier, ils/elles peuvent moduler l'effet de précedence globale ou le traitement des fréquences spatiales (Flevaris et al., 2014; Hübner, 2014). Afin de contrôler l'impact des attentes des individus sur l'efficacité de la recherche visuelle, nous avons utilisé deux types de paradigme expérimental, l'un randomisé (la cible pouvait apparaître à chaque essai à un niveau hiérarchique différent), et l'autre par blocs (la cible apparaissait, tout au long d'un bloc d'essais, à un niveau hiérarchique connu des participant.e.s).

Ensemble, ces cinq expériences vont nous permettre de mieux qualifier la compétition entre les niveaux hiérarchiques pour l'octroi de ressources attentionnelles.

Nous faisons les hypothèses suivantes :

1) Dans un contexte sans compétition (pas de distracteur), plus le niveau sera global, plus il devrait être traité rapidement, comme l'ont observé Rijpkema et al (2007) dans une tâche avec des figures à trois niveaux présentées centralement.

2) Dans un contexte avec compétition, la recherche devrait être toujours désavantagée pour le niveau local, c'est-à-dire moins efficace, avec des temps de détection augmentant linéairement avec le nombre de distracteurs. Cela devrait être observé uniquement lorsque les éléments locaux constituent une structure hiérarchique à deux ou trois niveaux, mais pas lorsqu'ils sont isolés et ne forment aucune structure. Les facteurs qui covarient avec le niveau hiérarchique (taille des éléments et distance spatiale entre les niveaux) impactent les processus de sélection attentionnelle (Yeari & Goldsmith, 2011) ; toutefois nous faisons l'hypothèse que la recherche visuelle sera moins efficace même lorsque ces facteurs seront contrôlés. Les attentes des participant.e.s impactent aussi les processus de sélection d'une cible selon le niveau hiérarchique auquel elle apparaît (Flevaris et al., 2014; Hübner, 2014). Toutefois, cela a été observé dans des tâches avec une localisation fixe de la cible (tâche de type Navon). Dans ce type de tâche, les participant.e.s peuvent anticiper la suppression de l'information globale (Dulaney & Marks, 2007), alors que dans les tâches de recherche visuelle, la localisation des stimuli n'est pas fixe, et le traitement local est désavantagé même lorsque le niveau d'apparition de la cible est connu (Kimchi et al., 2005). Nous ne devrions ainsi pas observer de différence sur les pentes de recherche pour une cible locale (augmentation des temps de détection avec le nombre de distracteurs) selon le type de paradigme expérimental employé (randomisé ou par blocs).

3) Dans un contexte avec compétition, l'ajout du niveau intermédiaire devrait permettre de qualifier si l'efficacité de la recherche: a) agit sur un continuum du global au local : la pente de recherche pour le niveau intermédiaire devrait alors être comprise entre la pente plate du niveau global et la pente linéaire du niveau local, ou b) agit de façon dichotomique : la recherche du niveau intermédiaire serait toute aussi efficace que celle du niveau global, et seul le niveau le plus local serait traité de façon moins efficace. Au regard des données de la littérature, nous privilégions cette deuxième possibilité. En effet, le niveau le plus local semble être traité comme une texture permettant l'émergence d'une forme structurelle saillante, et analysé plus tardivement (Ripoll et al., 2005). Le niveau local pourrait ainsi être moins saillant, car traité comme une texture, mais ce ne serait pas le cas du niveau intermédiaire. Or, l'efficacité de la recherche visuelle est dégradée par l'interférence causée

par des distracteurs plus saillants qu'il faut inhiber (Treisman & Sato, 1990). Ainsi, si le niveau local est le moins saillant, les pentes de recherche devraient être plus prononcées. En revanche, le niveau intermédiaire, n'étant pas traité comme une texture, pourrait être aussi saillant que le niveau global et entraîner une recherche efficiente.

4) Concernant les essais avec cible absente, nous devrions observer une recherche sérielle classique (Treisman & Gelade, 1980) : en effet, décider de l'absence d'une cible implique d'analyser tous les items présentés à l'écran, ce qui ne peut pas être effectué de façon préattentive. Toutefois, on peut s'attendre à ce que les pentes de recherche pour les essais avec cible absente soient plus prononcées lorsque la cible est attendue au niveau local que lorsqu'elle est attendue au niveau global ou intermédiaire.

2. Expérience 1

Dans les Expériences 1a et 1b, nous avons utilisé une tâche de recherche visuelle de type *feature* avec des figures hiérarchiques à trois niveaux. Nous avons manipulé (1) le niveau auquel la cible apparaît (local, intermédiaire ou global) et (2) le nombre de distracteurs hiérarchiques présents simultanément à l'écran. Le niveau d'apparition de la cible était randomisé pour l'Expérience 1a et présenté par blocs pour l'Expérience 1b.

Si, comme nous le supposons, les éléments locaux sont désavantagés durant la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles, alors nous devrions observer une recherche moins efficiente uniquement pour les cibles locales (les temps de détection devraient augmenter linéairement avec le nombre de distracteurs) alors que les cibles globales devraient être traitées de façon efficiente (les temps de détection devrait rester constants quel que soit le nombre de distracteurs). Si l'efficacité de la recherche visuelle agit au contraire sur un continuum, les pentes de recherche pour les cibles intermédiaires devraient être comprises entre la pente linéaire du niveau local et la pente plate du niveau global. Au contraire, si l'efficacité de la recherche agit de façon dichotomique, alors les pentes de recherche du niveau intermédiaire devraient être similaires à celles observées pour le traitement d'une cible globale.

Nous ne nous attendons pas à un effet du type de paradigme expérimental sur les pentes de recherche du niveau local. En effet, contrairement aux protocoles dans lesquels une figure cible apparaît toujours à la même localisation, aucune indication spatiale ne peut être utilisée en recherche visuelle pour guider la recherche a priori vers le niveau d'intérêt.

2.1 Méthode de l'Expérience 1 a

Nous avons utilisé des figures hiérarchiques à trois niveaux, chacune étant composée de formes géométriques. Les participant.e.s devaient décider si un carré était présent, à n'importe quel niveau de la figure (Cf. Figure 14). Les participant.e.s répondaient en pressant le bouton gauche d'une souris pour répondre « carré présent » et sur le bouton droit pour répondre « carré absent ». La cible était présente dans la moitié des essais. Une, deux, quatre ou six figures hiérarchisées à trois niveaux étaient présentées simultanément au cours d'un essai. Dans les essais avec une cible présente, seule une des figures hiérarchiques présentées contenait la cible, et celle-ci apparaissait à un seul niveau (au niveau global, intermédiaire ou local). Ainsi, dans les essais avec cible présente, il pouvait y avoir zéro, un, trois ou cinq distracteurs. En considérant le niveau d'apparition de la cible, le ratio entre le nombre de cibles présentes et le nombre de distracteurs était maintenu constant. Dans les essais où la cible était absente, des cercles étaient présentés à tous les niveaux.

- *Participant.e.s*

Vingt-huit volontaires (14 femmes et 14 hommes), tou.te.s étudiant.e.s en psychologie à l'Université Paris Descartes (âge = 21 ± 1.9 ans, moyenne \pm écart-type), ont participé à cette étude. Tou.te.s ont rapporté être droitier.e.s et avoir une vision normale ou correctement corrigée.

- *Stimuli*

La tâche de recherche visuelle était présentée sur un écran d'ordinateur portable de 15 pouces (taux de rafraîchissement : 60 Hz) et fonctionnait sous une application du logiciel E-Prime 2 (Psychology Software Tools). Les participant.e.s étaient assis.e.s à une distance d'environ 60 cm de l'écran. Les éléments locaux remplissaient un rectangle de 0.27° de haut et de 0.20° de large. Les figures géométriques intermédiaires faisaient 1.08° de haut et 0.81° de large et les figures globales faisaient 4.84° de haut et 3.62° de large.

- *Procédure*

Les participant.e.s effectuaient une session d'entraînement de 16 essais et il leur était demandé de répondre aussi rapidement et justement que possible. Ils / elles réalisaient deux blocs de 48 essais comprenant chacun 24 essais avec cible présente (6 essais sans distracteur, 6 avec 1 distracteur, 6 avec 3 distracteurs et 6 avec 5 distracteurs, Cf. Figure 25) et 24 essais

avec cible absente (6 essais par nombre de figures présentes à l'écran, à savoir 1, 2, 4 ou 6 figures hiérarchiques). Les essais étaient présentés de manière randomisée au sein de chaque bloc. Dans les essais avec cible présente, la cible apparaissait aussi souvent au niveau global, intermédiaire ou local (pour un total de 4 essais par croisement de facteurs). Chaque essai commençait avec la présentation d'un écran blanc (500 ± 250 ms) puis les stimuli apparaissaient et restaient à l'écran jusqu'à ce que l'individu ait donné sa réponse. Les temps de réaction (TRs) entre l'apparition des items et la réponse étaient enregistrés. Les essais avec cible absente d'un bloc correspondaient, de par le nombre et la disposition des figures hiérarchisées, aux essais avec cible présente de l'autre bloc. Enfin, les carrés cibles apparaissaient aussi souvent dans chacun des quadrants de l'écran.

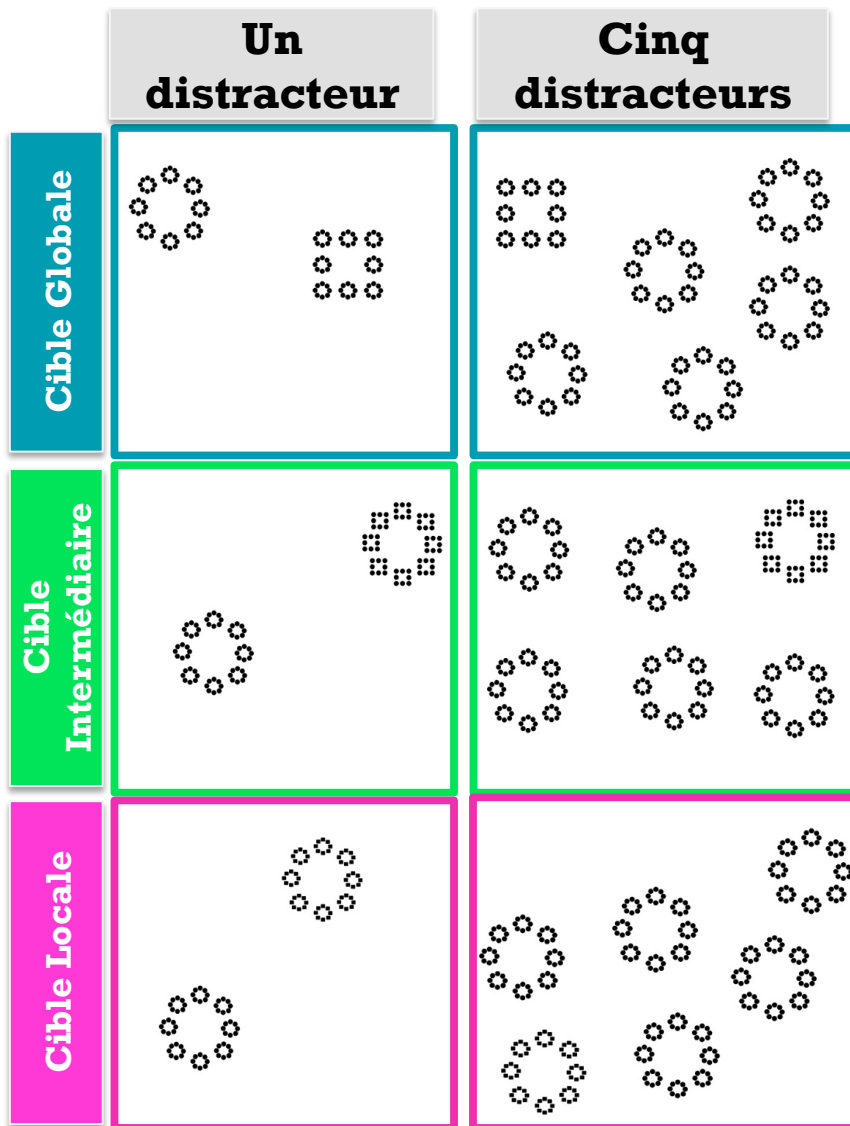


Figure 25. Exemples d'essais avec cible présente. Pour la moitié des essais, la cible (un carré) pouvait apparaître aussi souvent au niveau global (première ligne), au niveau intermédiaire (deuxième ligne) ou au niveau local (troisième ligne). Il pouvait y avoir 0, 1, 3, ou 5 distracteurs à l'écran. La colonne de gauche montre des exemples avec 1 distracteur et la colonne de droite avec 5 distracteurs.

2.2 Résultats de l'Expérience 1a

Les essais avec cible présente et les essais avec cible absente ont été analysés séparément. Les participant.e.s ayant un très bon taux de réponses correctes à cette tâche ($97.6\% \pm 2.8$), seuls les TRs ont été analysés.

Pour les essais avec cible présente, les TRs pour les réponses correctes étaient analysés grâce à une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées comportant 3 modalités pour le niveau d'apparition de la cible (global, intermédiaire, local) \times 4 modalités pour le nombre de distracteurs (0, 1, 3, ou 5).

Pour les essais avec cibles absentes, les TRs pour les réponses correctes étaient analysés avec une ANOVA à mesure répétée avec à une variable composée de 4 modalités pour le nombre de stimuli présentés à l'écran (1, 2, 4 ou 6).

Quand nous avons comparé deux moyennes, nous avons effectué des tests de student (t) et les valeurs des p ont été corrigées pour des comparaisons multiples avec la méthode de Holm-Bonferroni. Finalement, nous avons calculé les régressions linéaires sur les moyennes des TRs afin de déterminer si une recherche visuelle était efficiente ou moins efficiente, et nous avons donné la moyenne de la pente de recherche lorsque le R^2 corrigé était significatif.

- *Essais avec cible présente*

Les TRs augmentaient avec le nombre de distracteurs, $F(3,81) = 18.70, p < .001, \eta_p^2 = .41$ (0 distracteur : 747 ± 175 ms; 1 distracteur : 798 ± 201 ms; 3 distracteurs : 861 ± 271 ms; 5 distracteurs : 912 ± 291 ms). L'effet principal du niveau d'apparition de la cible était significatif, $F(2,54) = 93.15, p < .001, \eta_p^2 = .78$, pour les niveaux global (756 ± 183 ms) et intermédiaire (738 ± 195 ms), traités aussi rapidement l'un que l'autre, $F(1,27) = 0.86, p > .25$, et plus rapidement que le niveau local (996 ± 264 ms), global vs. local : $F(1,27) = 109.11, p < .001, \eta_p^2 = .80$; intermédiaire vs. local : $F(1,27) = 157.04, p < .001, \eta_p^2 = .85$. L'interaction entre le niveau d'apparition et le nombre de distracteurs était également significative, $F(6,162) = 12.45, p < .001, \eta_p^2 = .32$. Comme l'indique la Figure 26, plus précisément, le nombre de distracteurs impactait les TRs au niveau local, $F(27, 3) = 36.55, p < .001, \eta_p^2 = .56$, mais pas au niveau global, $F(27, 3) = 1.42, p = .24$, ni au niveau intermédiaire, $F(27, 3) = 2.04, p = .11$.

Les analyses de régression ont, de plus, révélé une relation entre l'apparition de la cible au niveau local et le nombre de distracteurs, R^2 corrigé = .92, $F = 35.59$, $p < .05$, avec une pente de recherche d'approximativement 76 ms par distracteur ajouté. Une telle relation linéaire n'était retrouvée ni avec le niveau global, R^2 corrigé = .26, $F = 2.07$, $p > .25$, ni avec le niveau intermédiaire, R^2 corrigé = .06, $F = 1.19$, $p > .25$.

Dans la condition où une seule figure hiérarchique était présentée, il n'y avait pas de différence significative entre les niveaux, $F(2,54) = 1.74$, $p = .18$.

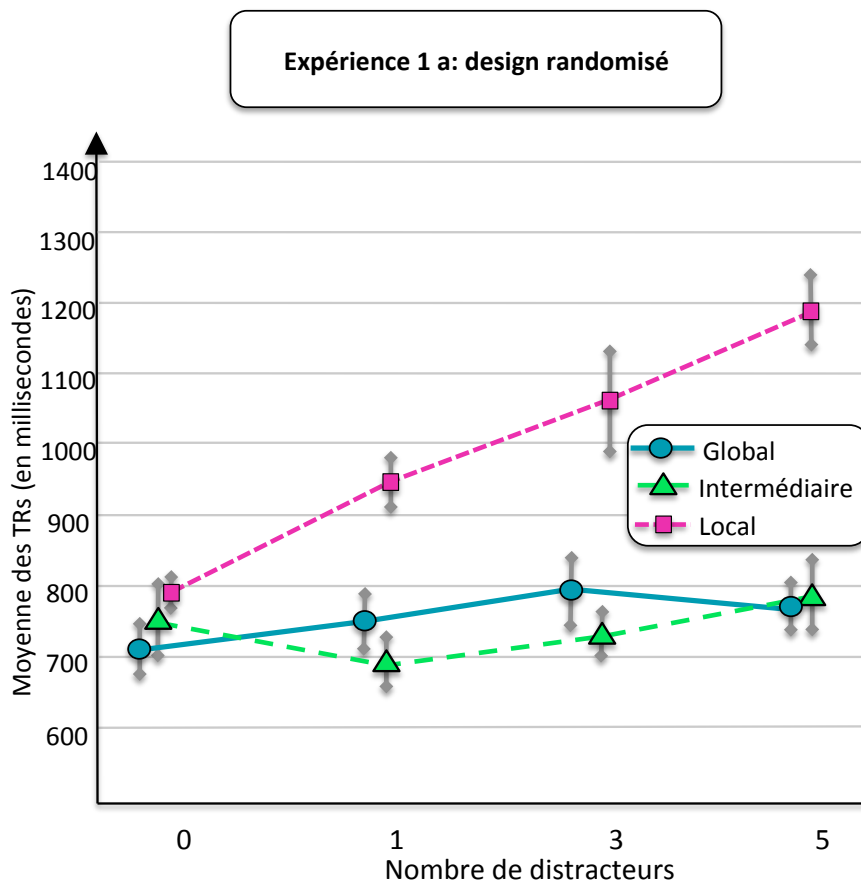


Figure 26. Interaction entre le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible dans les essais avec cible présente de l'Expérience 1a (paradigme expérimental randomisé). Les valeurs des moyennes et des erreurs standards à la moyenne (SEM) sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs n'augmentent pas avec le nombre de distracteurs pour les cibles globales et intermédiaires (recherche efficace) mais augmentent avec le nombre de distracteurs pour les cibles locales (recherche moins efficace).

- Essais avec cible absente

Comme attendu, l'effet principal du nombre de stimuli présentés à l'écran était significatif, $F(3, 81) = 91.13$, $p < .001$, (1: 767 ± 128 ms, 2: 904 ± 206 ms, 4 : 1141 ± 301 , 6: 1325 ± 376) et les analyses de régression ont indiqué que les TRs aux essais avec cible absente suivaient une fonction linéaire selon le nombre de stimuli présents à l'écran, R^2 corrigé = .99, $F = 322.91$, $p < .01$, avec un taux d'approximativement 111 ms par item ajouté (Cf. Figure 27).

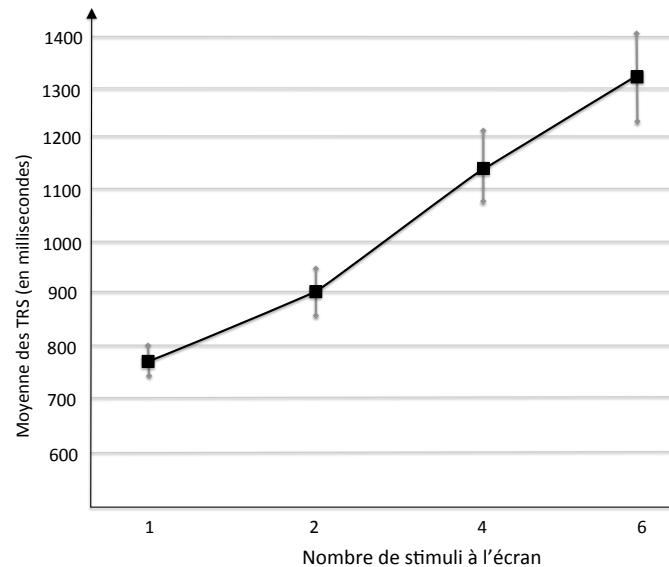


Figure 27. Effet du nombre de stimuli dans les essais avec cible absente de l'Expérience 1a (paradigme expérimental randomisé). Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs augmentent linéairement avec le nombre de stimuli apparaissant à l'écran.

2.3 Méthode de l'Expérience 1b

- *Participant.e.s*

Vingt volontaires (13 femmes et 7 hommes), tou.te.s étudiant.e.s en psychologie à l'Université Paris Descartes (age = 23 ± 6.9 ans) ont participé à cette expérience. Tou.te.s ont reporté être droitier.e.s et avoir une vision normale ou correctement corrigée. Aucun.e participant.e n'avait participé à l'Expérience 1a.

- *Stimuli et procédure*

Le paradigme expérimental de l'expérience était identique à celui de l'Expérience 1a mais les essais étaient divisés en trois blocs, un pour chaque niveau hiérarchique (global ; intermédiaire ; local). L'ordre de ces blocs était randomisé. Une session d'entraînement de 4 essais était réalisée avant chaque bloc. Les participant.e.s était clairement informé.e.s, à l'écrit (écran de consigne) et à l'oral, du niveau hiérarchique auquel la cible était attendue pour chaque bloc.

2.4 Résultats de l'Expérience 1b

- *Essais avec cible présente*

Nous avons répliqué les résultats de l'Expérience 1a en observant une interaction à deux niveaux entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible et le nombre de distracteurs, pour

les réponses correctes, $F(6,114) = 6.92, p < .001, \eta_p^2 = .27$, (Cf. Figure 28). Le nombre de distracteurs impactait les TRs au niveau local, $F(19, 3) = 11.16, p < .001, \eta_p^2 = .37$, et ce résultat était confirmé par une analyse de régression, $R^2 \text{ corrigé} = .83, F = 15.22, p = .06$, (temps de recherche par distracteur ajouté: 50 ms). En revanche, le nombre de distracteurs n'avait pas d'impact sur les TRs au niveau global ou intermédiaire qui étaient traités aussi rapidement l'un que l'autre, $F(1,19) = 1.63, p = .22$.

Dans la condition où seul un stimulus hiérarchisé apparaissait à l'écran, un effet principal du niveau d'apparition de la cible était observé, $F(2,38) = 15.09, p < .001, \eta_p^2 = .44$, montrant un avantage global classique avec le niveau global traité plus rapidement que le niveau intermédiaire (global : 623 ± 69 ms, intermédiaire : 676 ± 88 ms, différence : 53 ms), $t(19) = 2.50, p = .02, d = 1.2$, et le niveau intermédiaire traité plus rapidement que le niveau local (local : 770 ± 90 ms, différence : 94 ms,) $t(19) = 2.93, p = .017, d = 1.3$.

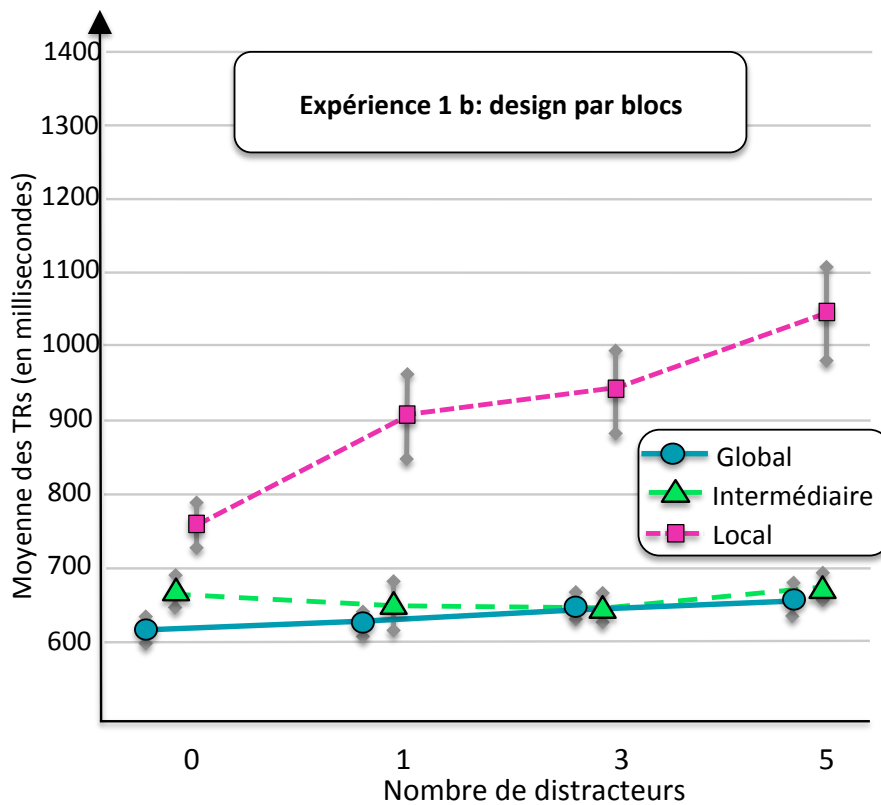


Figure 28. Interaction entre le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible dans les essais avec cible présente de l'Expérience 1b (paradigme expérimental par blocs). Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs n'augmentent pas avec le nombre de distracteurs pour les cibles globales et intermédiaires (recherche efficiente) mais augmentent avec le nombre de distracteurs pour les cibles locales (recherche moins efficiente).

- *Essais avec cible absente*

L'interaction entre le niveau hiérarchique où la cible était attendue et le nombre de stimuli à l'écran était significative pour les réponses correctes, $F(6,114) = 14.7, p < .001, \eta_p^2 = .44$,

(Cf. Figure 29). Les TRs augmentaient davantage avec le nombre de distracteurs lorsque la cible était attendue au niveau local que lorsqu'elle était attendue au niveau global ou intermédiaire, local vs. global: $F(3,57) = 24.27, p < .001, \eta_p^2 = .56$, local vs. intermédiaire: $F(3,57) = 12.50, p < .001, \eta_p^2 = .40$. Aucune différence significative n'était observée sur les TRs entre le fait d'attendre la cible au niveau global et le fait d'attendre la cible au niveau intermédiaire, $F(3,57) = 2.43, p = .07$.

L'analyse de régression indiquait que les TRs pour les essais avec une cible absente suivaient une fonction linéaire selon le nombre de stimuli présents à l'écran, global : R^2 corrigé = .92, $F = 37.08, p < .05$, temps de recherche par distracteur ajouté: 27 ms; intermédiaire : R^2 corrigé = .95, $F = 59, p < .05$, temps de recherche par distracteur ajouté: 50 ms; local : R^2 corrigé = .97, $F = 86.25, p = .01$, temps de recherche par distracteur ajouté: 126 ms).

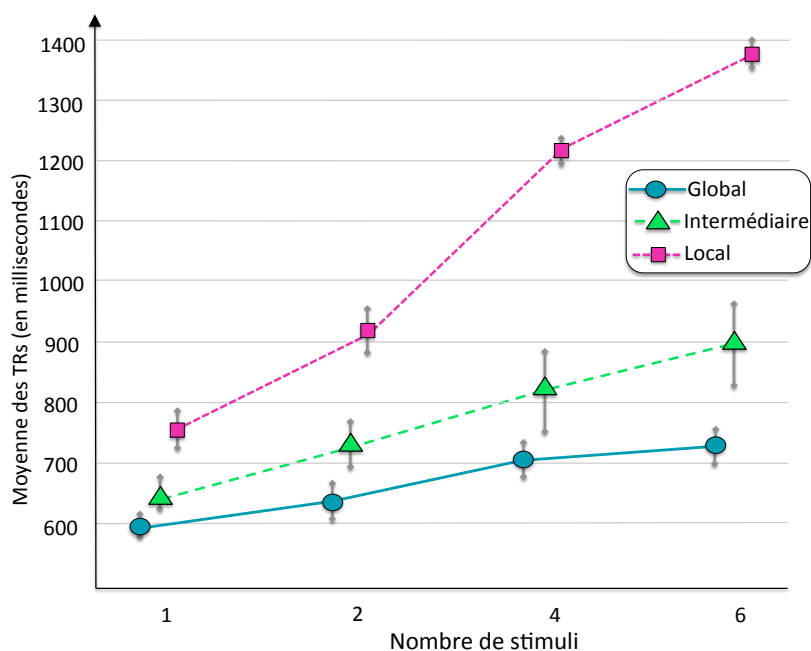


Figure 29. Interaction entre le nombre de stimuli et le niveau hiérarchique auquel la cible est attendue dans les essais avec cible absente de l'Expérience 1b (paradigme expérimental par blocs). Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs augmentent davantage avec le nombre de stimuli lorsque la cible est attendue au niveau local que lorsque la cible est attendue au niveau global ou au niveau intermédiaire.

- Comparaison entre l'Expérience 1a et 1b pour les essais avec cible présente

Un effet principal du type de tâche a été observé, $F(1,46) = 5.87, p = .02, \eta_p^2 = .11$, la tâche avec le niveau bloqué de l'Expérience 1b entraînant des TRs plus rapides (744 ± 204 ms) que la tâche avec une présentation randomisée de l'Expérience 1a (829 ± 246 ms) (Cf. Figure 26, p. 135; Cf. Figure 28, p. 137). Le type de tâche n'interagissait pas avec l'effet du niveau, $F < 1, p > .25$, ni avec l'effet du nombre de distracteurs, $F(3, 138) = 1.65, p = .18$, et l'interaction triple n'était pas significative, $F < 1, p > .25$.

Concernant spécifiquement les essais sans distracteur, le type de tâche n'entraînait pas de différence significative sur les TRs, $F(1,46) = 3.17, p = .08$, et l'interaction entre le type de tâche et le niveau n'était pas non plus significative, $F(2,92) = 1.64, p = .20$.

2.5 Discussion des Expériences 1a et 1b

Le but de ces deux premières expériences était de préciser le fonctionnement de l'efficacité de la recherche visuelle selon le niveau hiérarchique en s'intéressant à la détection et au traitement d'une information intermédiaire (entre le niveau global et le niveau local). Les résultats sont compatibles avec ceux trouvés par Kimchi et al. (2005) et confirment le fait que les cibles globales sont détectées automatiquement, de façon *pop-out* alors que la détection des cibles locales a un coût cognitif : elle devient ainsi plus lente à mesure que le nombre de distracteurs augmente. Ces résultats montrent par ailleurs que la recherche d'une cible intermédiaire est indépendante du nombre de distracteurs, révélant, pour la première fois, que les cibles intermédiaires sont détectées exactement comme les cibles globales durant la recherche visuelle de type *feature*, sans aucune différence significative de TRs entre les deux niveaux. Le type de recherche (efficace ou moins efficace) semble ainsi agir de façon dichotomique par rapport au traitement du niveau le plus local (le niveau le plus local est traité de façon moins efficace, alors que les niveaux plus structurels global et intermédiaire sont traités avec la même efficacité).

Le paradigme expérimental par blocs entraînait des TRs plus rapides que le paradigme expérimental randomisé, toutefois le type de paradigme expérimental n'avait pas d'impact significatif sur les pentes de recherche et la vitesse générale de traitement selon le niveau hiérarchique.

Toutefois, dans une situation sans compétition (pas de distracteur), nous avons retrouvé un avantage global classique tel qu'obtenu par Rijpkema et al. (2007) avec notre paradigme expérimental par blocs (Expérience 1b) uniquement. Les cibles globales étaient en effet détectées plus rapidement que les cibles intermédiaires et les cibles intermédiaires étaient détectées plus rapidement que les cibles locales. Le paradigme expérimental randomisé ne permettait pas, quant à lui, de faire émerger un tel biais global, les trois niveaux hiérarchiques n'étant pas traités de façon significativement différente. Dans les essais où la cible était absente, les TRs augmentaient linéairement avec le nombre de distracteurs. L'expérience 1b avec un paradigme expérimental par blocs a aussi confirmé un traitement plus coûteux

lorsque la cible est attendue au niveau local par rapport à des conditions où elle est attendue à des niveaux plus structurels.

Le fait d'observer une recherche moins efficace pour les cibles locales suggère que le niveau d'apparition de la cible impacte la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles. Toutefois, il est aussi possible que les éléments locaux aient été détectés de façon moins efficace parce qu'ils sont plus petits et plus nombreux alors que les stimuli intermédiaires et globaux sont plus grands et moins nombreux. Nous avons mené différentes expériences contrôlées afin de déterminer si la taille et le nombre de stimuli, plutôt que le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, pouvaient rendre compte des résultats observés.

3. Expérience 2

Dans cette expérience, nous avons utilisé des éléments totalement similaires aux éléments locaux utilisés dans les Expériences 1a et 1b, mais ils ne formaient cette fois-ci aucune structure intermédiaire ou globale : ils étaient dispersés sur l'écran. Si la taille ou le nombre d'éléments des éléments locaux déterminent la façon dont ils sont traités, nous devrions observer une recherche visuelle peu efficace dans cette expérience (les TRs devraient augmenter avec le nombre de distracteurs). Toutefois, si c'est bien la position au sein de la figure hiérarchique, et donc le fait qu'il y ait une compétition attentionnelle des formes structurelles sur les formes locales, qui est responsable de la façon dont les éléments locaux sont traités dans les Expériences 1a et 1b, alors, en supprimant ces facteurs dans l'Expérience 2, nous devrions observer une recherche efficace dans la détection de cibles locales (les TRs ne devraient pas augmenter linéairement avec le nombre de distracteurs).

3.1 Méthode

La méthode utilisée était la même que pour les Expériences 1a&b mais seuls les éléments locaux étaient présentés. Ces éléments ne formaient pas de structure : ils étaient dispersés sur l'écran de présentation, avec un nombre égal d'éléments dans chaque quadrant. Le nombre de cibles locales et de distracteurs locaux était identiques à la condition local des Expériences 1a&b (64, 128, 256, et 384 éléments, dont 64 carrés dans les essais avec cible présente).

- *Participant.e.s*

Vingt volontaires (16 femmes et 4 hommes), tou.te.s étudiant.e.s en psychologie à l'Université Paris Descartes (age = 22.5 ± 5.9 ans) ont participé à cette expérience. Tou.te.s

ont reporté être droitier.e.s et avoir une vision normale ou correctement corrigée. Aucun.e volontaire n'avait participé aux Expériences 1a&b.

- *Stimuli et procédure*

Les éléments locaux et les conditions d'apparition étaient identiques aux Expériences 1a&b. Les participant.e.s réalisaient une session d'entraînement de 5 essais avant la tâche expérimentale. Comme dans la condition locale des Expériences 1a et 1b, 32 essais étaient présentés de façon randomisée : 8 contenant 64 éléments, 8 contenant 128 éléments, 8 contenant 256 éléments, et 8 contenant 384 éléments.

3.2 Résultats

Les essais avec cible présente et avec cible absente ont été analysés séparément. Comme pour les Expériences 1a et 1b, les participant.e.s ont eu un taux de réussite élevé à cette tâche (moyenne du taux de réussite : $98.6 \pm 3.1 \%$). Pour les essais avec cible présente, les réponses correctes ont été analysées avec une ANOVA à mesures répétées avec un facteur à 4 modalités (nombre de distracteurs : 0, 64, 192, 320). Dans les essais avec cible absente, les réponses correctes ont été analysées avec une ANOVA à mesures répétées avec un facteur à 4 modalités (nombre de stimuli présentés à l'écran : 64, 128, 256 ou 384).

- *Essais avec cible présente*

L'ANOVA a montré que les TRs n'augmentaient pas significativement avec le nombre de distracteurs, $F(3,57) = 1.49$, $p = .23$ (0 distracteur : 729 ± 250 ms; 64 distracteurs : 808 ± 274 ms; 192 distracteurs : 734 ± 202 ms; and 320 distracteurs : 728 ± 188 ms) (Cf.

Figure 30).

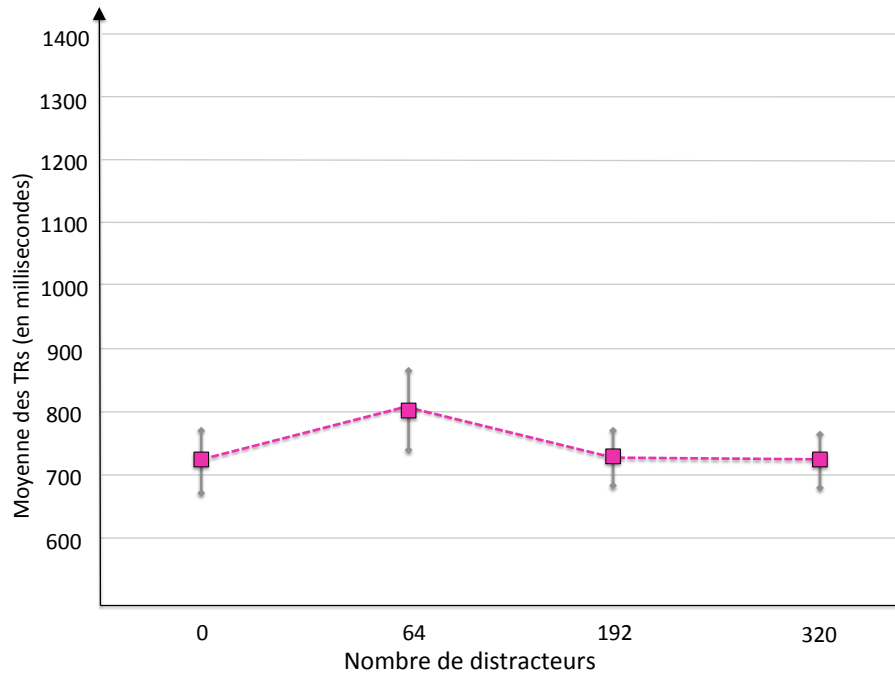


Figure 30. Effet du nombre de distracteurs dans les essais avec cible présente dans l'Expérience 2. Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs n'augmentent pas avec le nombre de distracteurs (recherche efficace) pour des carrés isolés dont la taille est équivalente à celle des éléments locaux des Expériences 1a et 1b.

- *Essais avec cible absente*

Nous n'avons pas retrouvé d'effet principal du nombre de stimuli présentés à l'écran sur les TRs, $F(3, 57) = 1.92, p = .14$ (64 stimuli : 1720 ± 707 ms; 128 stimuli : 1726 ± 750 ms, 256 stimuli : 1580 ± 753 ms, 384 stimuli : 1445 ± 996 ms).

3.3 Discussion de l'Expérience 2.

L'Expérience 2 a été réalisée afin de contrôler dans quelle mesure la taille et le nombre d'éléments pourraient expliquer la recherche peu efficace observée pour les cibles locales des Expériences 1a&b. Dans l'Expérience 2, nous avons ainsi présenté des éléments locaux de la même taille que ceux des Expériences 1a&b, mais qui étaient cette fois dispersés au lieu d'être organisés en structure plus globale. Avec ce nouveau paradigme expérimental, le nombre de distracteurs n'avait plus d'impact significatif sur les TRs. Les petits carrés cibles, présentés au milieu de petits ronds distracteurs, capturaient automatiquement l'attention, contrairement à ce qui avait été observé dans les expériences 1a&b lorsque les mêmes éléments étaient présentés au niveau local d'une figure hiérarchisée. De plus, la moyenne des TRs était comprise entre 700 et 800 ms, ce qui correspond aux TRs moyens observés dans les Expériences 1a&b pour la détection de cibles intermédiaires et globales.

Pour les essais avec cible absente, nous avons observé que les TRs n'augmentaient pas avec le nombre de distracteurs. Ce résultat pourrait être lié à un effet plancher : détecter si le carré était absent pourrait être tellement coûteux (la détection était deux fois plus lente que pour les essais avec cible présente) que le nombre d'items n'affecterait pas les TRs. Il est aussi possible que les participant.e.s aient appliqué une stratégie consistant à grouper ensemble les distracteurs homogènes. L'existence de ce type de stratégies a déjà été décrite dans la littérature (Desimone & Duncan, 1995; Treisman, 1982).

En conclusion, les résultats de l'Expérience 2 permettent de rejeter la possibilité que la taille ou le nombre d'éléments puissent rendre compte de la différence d'efficacité observée dans les Expériences 1a&b entre la recherche au niveau local et la recherche aux niveaux les plus structurels.

Toutefois, la différence dans l'efficacité de la recherche entre le niveau intermédiaire et le niveau local pourrait également être liée à la différence d'éloignement hiérarchique par rapport au niveau global. En accord avec les théories purement spatiales de l'attention, la sélection attentionnelle serait basée sur les localisations spatiales des objets et les relations spatiales entre les éléments. Dans le cadre du modèle du gradient attentionnel (LaBerge & Brown, 1989) on pourrait ainsi faire l'hypothèse que la cible intermédiaire serait traitée de façon plus efficace car plus proche du niveau global saillant, alors que la cible locale serait désavantagée car plus lointaine. Afin de déterminer si la nature de la recherche visuelle (efficace ou moins efficace) est due à la proximité entre la cible et le niveau global, nous avons mené une nouvelle expérience contrôlée.

4. Expérience 3

Dans les Expériences 3a et 3b, nous avons utilisé des stimuli hiérarchisés à 2 niveaux. La taille du niveau local était équivalente à la taille du niveau intermédiaire des Expériences 1a&b, et sa proximité spatiale avec le niveau global était identique. Deux expériences ont été menées, l'une avec un ordre randomisé (Expérience 3a) et une avec un bloc par niveau d'apparition de la cible (Expérience 3b), afin de reproduire les paradigmes expérimentaux respectifs des Expériences 1a et 1b.

Si la proximité hiérarchique avec le niveau global rend compte de la nature de la recherche visuelle (efficace ou moins efficace), alors le traitement du niveau local des Expériences 3a&b devrait être identique au traitement du niveau intermédiaire des Expériences 1a&b, et

les TRs ne devraient pas augmenter avec le nombre de distracteurs (recherche efficiente). Au contraire, si, comme nous en avons fait l'hypothèse, le niveau local est toujours celui qui est désavantagé dans la recherche visuelle et ce quelles que soit la taille et la proximité avec le niveau global, alors les TRs pour les cibles locales devraient augmenter linéairement avec le nombre de distracteurs (recherche moins efficiente), et ainsi différer du traitement des cibles intermédiaires des Expériences 1a&b.

4.1 Méthode de l'Expérience 3a

La méthode de l'Expérience 3a était identique à celle utilisée dans l'Expérience 1a mais les stimuli présentés n'avaient que deux niveaux hiérarchiques, le niveau global ayant la même taille et le même nombre d'éléments que le niveau global des Expériences 1a&b et le niveau local ayant la même taille et le même nombre d'éléments que le niveau intermédiaire des Expériences 1a&b.

Afin de contrôler la possibilité que la recherche globale efficiente observée dans les Expériences 1a&b puisse devenir moins efficiente avec un plus grand nombre de distracteurs présentés à l'écran, nous avons ajouté une valeur au nombre d'items présentés, allant ainsi jusqu'à 8 stimuli. Dans les essais avec cible présente, les carrés apparaissaient au niveau global ou local d'une figure hiérarchisée et il pouvait y avoir 0, 1, 3, 5 ou 7 distracteurs hiérarchisés composés de cercles à la fois au niveau global et au niveau local.

- *Participant.e.s*

Quatorze volontaires (10 femmes et 4 hommes), tou.te.s étudiant.e.s en psychologie à l'Université Paris Descartes (age = 20.57 ± 4.6 ans) ont participé à l'expérience 3a. Tou.te.s ont reporté être droitier.e.s et avoir une vision normale ou correctement corrigée. Aucun.e. volontaire n'avait participé aux Expériences précédentes.

- *Stimuli*

Les éléments locaux présentaient exactement le même degré d'angle visuel que les éléments intermédiaires des Expériences 1a&b et, de la même façon, les figures globales avaient le même degré d'angle visuel que celles des Expériences 1a&b.

- *Procédure*

Les participant.e.s réalisaient d'abord une session d'entraînement de 15 essais. Ensuite, ils/elles réalisaient 4 blocs de 80 essais tests pour un total de 320 essais (160 essais avec une cible présente et 160 essais avec une cible absente). Dans chaque bloc, les essais avec cible présente se divisaient en 8 essais sans aucun distracteur, 8 essais avec 1 distracteur, 8 essais avec 3 distracteurs, 8 essais avec 5 distracteurs et 8 essais avec 7 distracteurs. Pour chacune de ces conditions, la cible apparaissait aussi souvent au niveau global que local. Les essais avec cible présente d'un bloc avaient la même disposition spatiale et le même nombre d'éléments que les essais avec cible absente d'un autre bloc. Dans chaque bloc, la présentation des essais était randomisée. Les conditions d'apparition et la procédure étaient par ailleurs identiques à celles de l'Expérience 1a.

4.2 Résultats de l'Expérience 3a

Les essais avec cible présente et les essais avec cible absente ont été analysés séparément. Comme dans les autres expériences, les participant.e.s avaient un bon taux de réussite ($97.1 \pm 2.2 \%$).

Pour les essais avec cible présente, les TRs pour les réponses correctes ont été analysées avec une ANOVA à mesures répétées à 2 modalités pour le niveau d'apparition de la cible (global ou local) \times 4 modalités pour le nombre de distracteurs (0, 1, 3, 5 ou 7). Pour les essais avec cible absente, les TRs pour les réponses correctes étaient analysés avec une ANOVA à mesures répétées avec un facteur à 5 modalités (nombre de figures hiérarchisées présentes à l'écran : 1, 2, 4, 6 ou 8). Finalement, des régressions linéaires ont été utilisées pour déterminer si la recherche visuelle était efficace ou moins efficace.

- *Essais avec cible présente*

L'ANOVA a montré que les TRs augmentent avec le nombre de distracteurs, $F(4,52) = 12.18$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .48$ (0 distracteurs : 568 ± 95 ms ; 1 distracteur : 590 ± 201 ms ; 3 distracteurs : 611 ± 126 ms ; 5 distracteurs : 611 ± 92 ms ; 7 distracteurs : 646 ± 129 ms). De plus, les résultats montraient un effet du niveau d'apparition de la cible, $F(1,13) = 10.02$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .44$, avec le niveau global (591 ± 104 ms) traité plus rapidement que le niveau local (619 ± 114 ms).

Une interaction significative était retrouvée entre le niveau d'apparition de la cible et le nombre de distracteurs, $F(4,52) = 2.58$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .17$ (Cf. Figure 31). Des analyses post-

hoc ont montré des différences de TRs entre les niveaux global et local dans la condition avec 5 distracteurs, différence de TRs = 51 ms, $t = 3.38$, $p < .01$, $d = .57$, et la condition avec 7 distracteurs, différence de TRs = 61 ms, $t = 2.88$, $p < .05$, $d = .47$.

Les analyses de régression ont révélé une relation linéaire entre les TRs du niveau local et le nombre de distracteurs, R^2 corrigé = 0.92, $F = 44.22$, $p < .01$, avec une augmentation d'environ 14 ms par distracteur ajouté. Une telle relation linéaire n'a pas été retrouvée pour le niveau global, R^2 corrigé = 0.48, $F = 4.63$, $p = 0.12$. Des analyses restreintes au nombre de distracteurs présenté dans les Expériences 1a&b (0, 1, 3, 5) ont montré le même pattern de résultats, cibles locales: R^2 corrigé = 0.998, $F = 884.04$, $p < .01$; cibles globales: R^2 corrigé = 0.01, $F = 0.96$, $p > .25$.

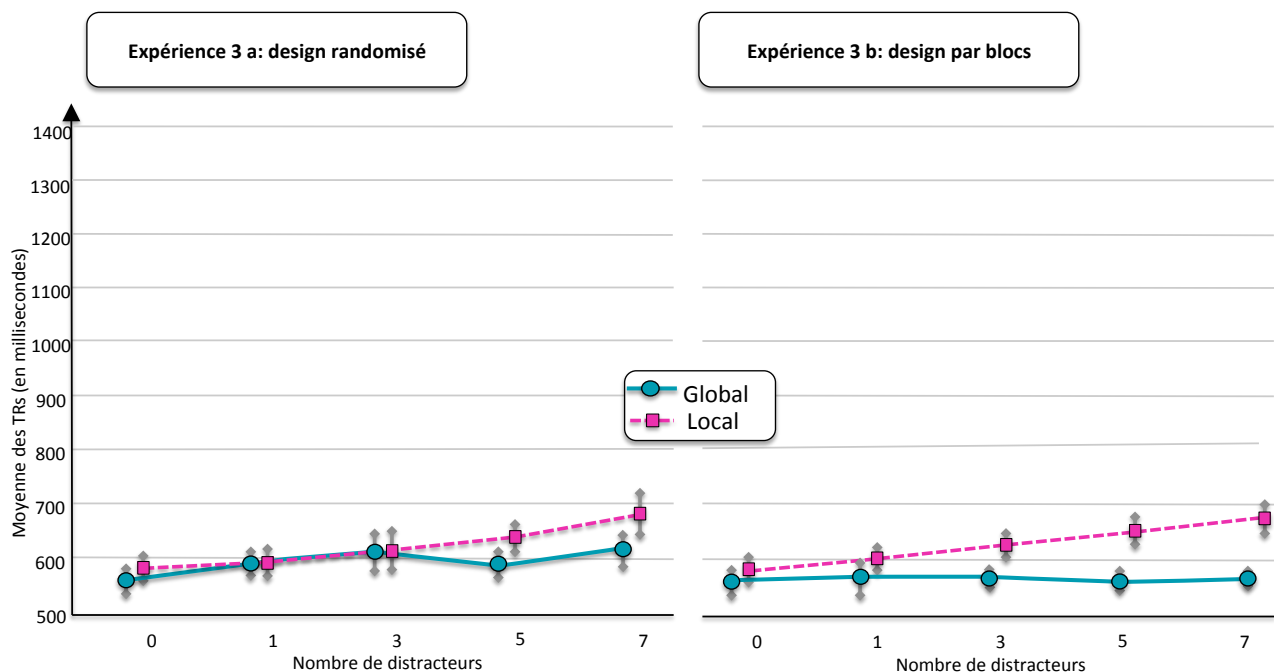


Figure 31. Interaction entre le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible dans les essais avec cible présente de l'Expérience 3a (paradigme expérimental randomisé) à gauche et 3b (paradigme expérimental par blocs) à droite. Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs n'augmentent pas avec le nombre de distracteurs pour les cibles globales (recherche efficace) mais augmentent avec le nombre de distracteurs pour les cibles locales (recherche moins efficace). Le niveau global était traité plus rapidement dans la tâche 3b que 3a, en revanche le type de paradigme expérimental n'avait pas d'impact sur la vitesse de traitement du niveau local et sur l'effet du nombre de distracteurs.

- Essais avec cible absente

L'effet principal du nombre de stimuli était significatif, $F(4, 52) = 12.6$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = .51$ (1 stimulus : 644 ± 139 ms ; 2 stimuli : 632 ± 101 ms ; 4 stimuli : 699 ± 137 ms ; 6 stimuli : 743 ± 137 ms ; 8 stimuli : 772 ± 164 ms). De plus, les analyses de régression ont montré que

les TRs suivaient une fonction linéaire selon le nombre de stimuli, R^2 corrigé = 0.94, $F = 62.86$, $p < .01$, avec un temps de recherche d'environ 21 ms par item ajouté.

4.3 Méthode de l'Expérience 3b

La méthode de l'Expérience 3b était similaire à celle de l'Expérience 3a, mais la cible apparaissait toujours au même niveau hiérarchique au cours d'un bloc, et les participant.e.s en étaient informé.e.s. L'ordre des blocs était randomisé.

- *Participant.e.s*

Treize volontaires (6 femmes, 7 hommes), tou.te.s étudiant.e.s en psychologie à l'Université Paris Descartes (age = 24 ± 5.4 ans) ont participé à l'expérience 3b. Tou.te.s ont reporté être droitier.e.s et avoir une vision normale ou correctement corrigée. Aucun.e volontaire n'avait participé aux expériences précédentes.

- *Stimuli et Procédure*

Le paradigme expérimental était identique à celui de l'Expérience 3a mais les essais étaient divisés en deux blocs, chaque bloc étant consacré à la recherche de la cible à un niveau donné (global ou local). L'ordre des blocs était randomisé. Une session d'entraînement de 6 essais était réalisée avant chaque bloc, et les participant.e.s étaient informé.e.s à l'écrit et à l'oral du niveau hiérarchique d'apparition de la cible.

4.4 Résultats de l'Expérience 3b

- *Essais avec cible présente*

Nous avons répliqué les résultats de l'Expérience 3a en observant une interaction significative sur les réponses correctes entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible et le nombre de distracteurs, $F(4,48) = 8.35$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .41$ (Cf. Figure 31). Le nombre de distracteurs avait un impact sur les TRs au niveau local, $F(4, 48) = 43$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .78$, et ce résultat était confirmé par l'analyse de régression, R^2 corrigé = .99, $F = 582.43$, $p < .001$, avec un temps de recherche par distracteur ajouté de 14 ms. Le nombre de distracteurs n'avait pas d'impact significatif sur le niveau global, $F(4, 48) < 1$, $p > .25$. Les résultats montraient également un effet principal du niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(1,12) = 24.76$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .67$, avec le niveau global (568 ± 78 ms) traité plus rapidement que le niveau local (634 ± 107 ms). Les analyses post-hoc ont révélé des différences de TRs entre les

niveaux global et local dans la condition avec 3 distracteurs, différence de TRs : 63 ms, $t = 3.96, p < .01, d = 2.29$, dans la condition avec 5 distracteurs, différence de TRs : 102 ms, $t = 5.95, p < .001, d = 3.44$, et dans la condition avec 7 distracteurs, différence de TRs : 111 ms, $t = 5.24, p < .001, d = 3.03$.

- *Essais avec cible absente*

Une interaction significative entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible et le nombre de distracteurs était observée pour les réponses correctes, $F(4,48) = 4.1, p < .001, \eta_p^2 = .25$ (Cf. Figure 32). Des analyses de régression ont montré que les TRs des essais avec cible absente suivaient une fonction linéaire selon le nombre d'items présenté à chaque niveau, global : $R^2 \text{ corrigé} = .90, F = 26.51, p < .05$, temps de recherche par distracteur ajouté : 10 ms ; local : $R^2 \text{ corrigé} = .98, F = 218.26, p < .001$, temps de recherche par distracteur ajouté : 21 ms.

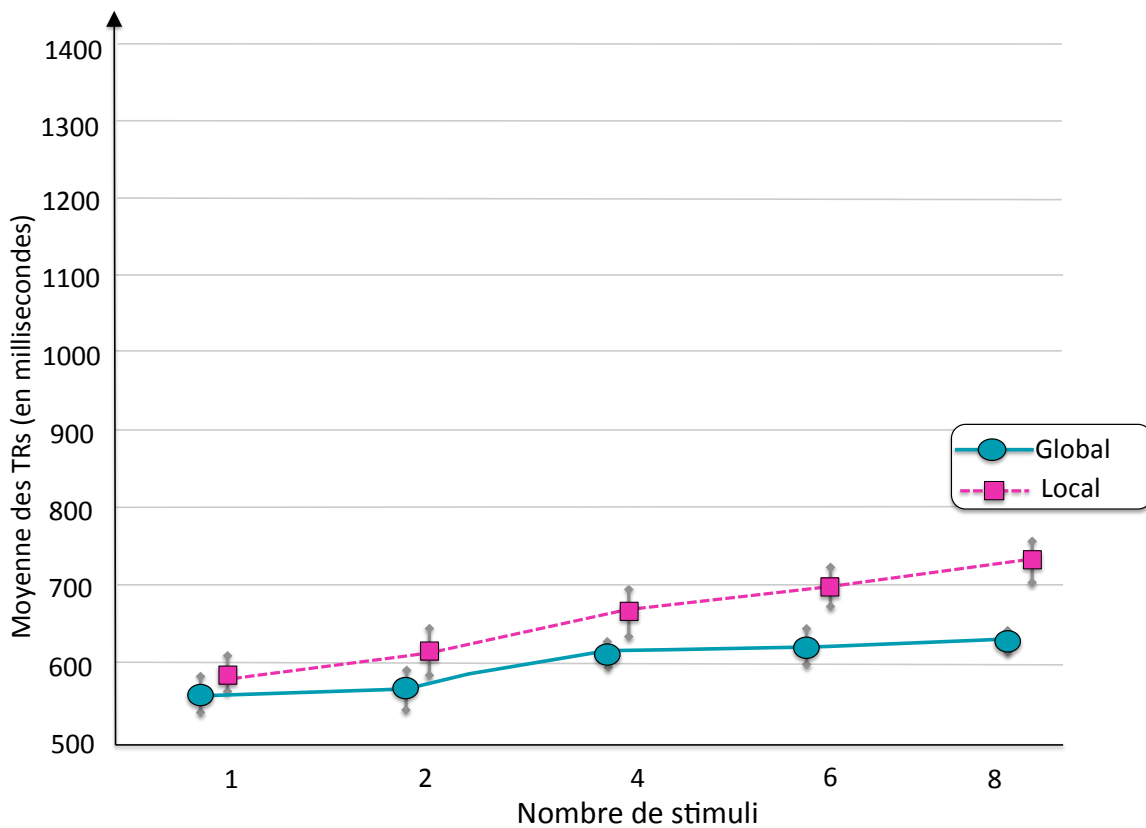


Figure 32. Interaction entre le nombre de stimuli et le niveau hiérarchique auquel la cible est attendue dans les essais avec cible absente de l'Expérience 3b (paradigme expérimental par blocs). Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les TRs augmentent davantage avec le nombre de stimuli lorsque la cible est attendue au niveau local (21 ms par item ajouté) que lorsque la cible est attendue au niveau global (10 ms par item ajouté).

4.5 Comparaison des Expériences 3a et 3b pour les essais avec cible présente

L'effet principal du type de tâche n'était pas significatif, $F < 1, p > .25$, Expérience 3a: 605 ± 110 ms, Expérience 3b : 611 ± 96 ms. Le type de tâche interagissait néanmoins avec le niveau d'apparition de la cible, $F(1,24) = 5.07, p = .034, \eta_p^2 = .17$, révélant un avantage global plus marqué lorsque le niveau était bloqué, différence (TRs global – TRs local) : 29 ms pour l'Expérience 3a et 66 ms pour l'Expérience 3b. Le type de tâche n'interagissait pas avec le nombre de distracteurs, $F(4,96) > 1, p > .25$, et l'interaction triple n'était pas significative, $F(4,96) = 1.08, p > .25$ (Cf. Figure 33).

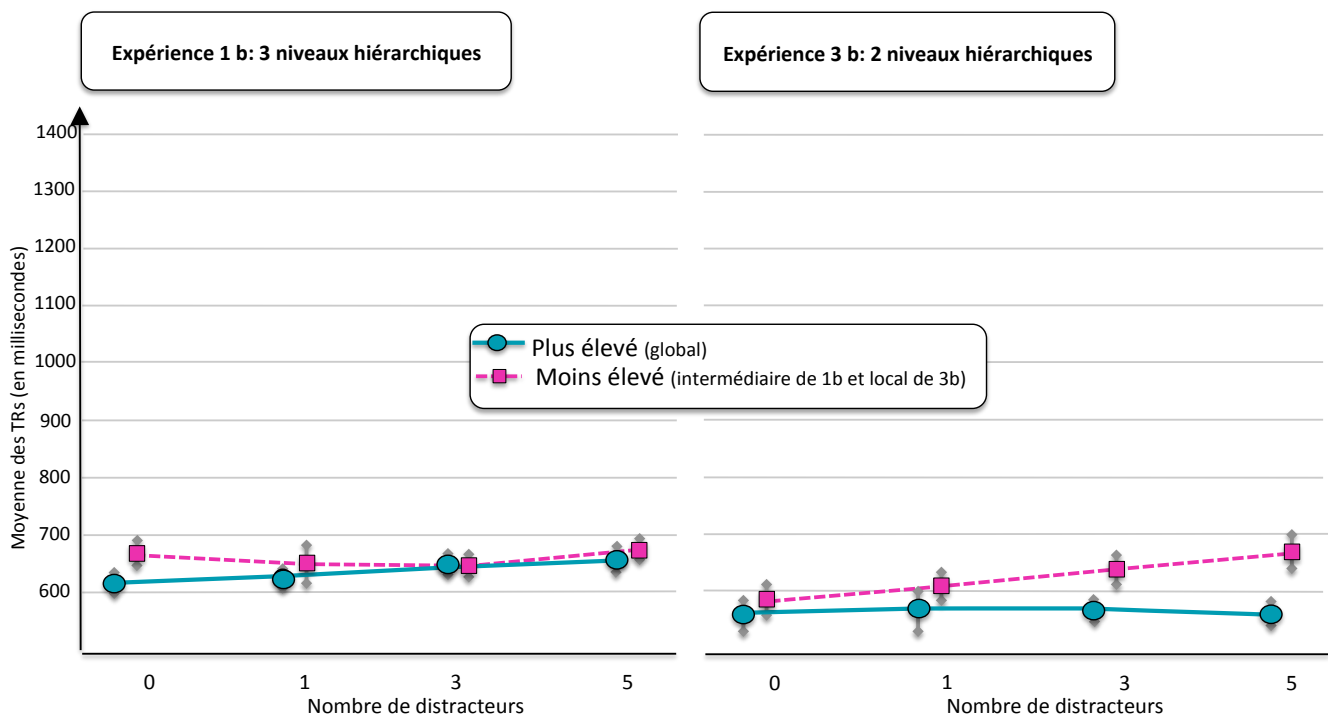


Figure 33. Triple interaction dans les essais avec cible présente entre le type de paradigme expérimental (Expérience 1b avec des figures à 3 niveaux hiérarchiques, à gauche, et Expérience 3b avec des figures à 2 niveaux hiérarchiques, à droite), le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible (élevé : global pour les deux expériences ; moins élevé : éléments de taille équivalente mais situés au niveau intermédiaire pour l'Expérience 1b et au niveau le plus local pour l'Expérience 3b). Les valeurs des moyennes et des SEM sont indiquées pour chaque croisement de variables. Les niveaux les plus élevés des deux expériences ne sont pas traités de façon significativement différente et leur recherche est efficiente alors que les niveaux moins élevés, bien que de taille équivalente, sont traités différemment, la recherche d'une cible intermédiaire est efficiente dans l'Expérience 1b alors que la recherche de la cible locale de l'Expérience 3b est moins efficiente et augmente linéairement avec le nombre de distracteurs.

4.6 Comparaison des Expériences 1b et 3b pour les essais avec cible présente.

Afin de montrer que le niveau local est bien désavantagé durant la recherche visuelle, quelle que soit la taille des stimuli, nous avons comparé le traitement du niveau intermédiaire de l'expérience 1b et le traitement du niveau local de l'expérience 3b, qui sont similaires par leur taille et leur proximité au niveau global. Pour cela, nous avons mené une ANOVA avec 2 facteurs pour le type d'Expérience (1b : figures hiérarchisées à 3 niveaux et 3b : figures hiérarchisées à 2 niveaux), 2 facteurs pour le niveau d'apparition de la cible (niveau élevé : global dans les Expériences 1b et 3b, et niveau moins élevé : intermédiaire de l'Expérience 1b et local de l'Expérience 3b), et 4 facteurs pour le nombre de distracteurs (0, 1, 3, 5). La triple interaction était significative, $F(3, 93) = 3.2, p = .03; \eta_p^2 = .09$, (Cf. Figure 33).

Nous avons également calculé une ANOVA sur les pentes de recherche pour chaque participant.e entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible (élevé ou moins élevé) et le type d'Expérience (1b ou 3b). Les résultats ont montré une interaction significative entre le niveau d'apparition de la cible et le type d'expérience, $F(1, 31) = 7.5, p = .01; \eta_p^2 = .19$. Des tests post-hoc ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les pentes de recherche des niveaux globaux de chaque expérience, $t(31) = 1.74, p = .09$, alors qu'une différence significative était observée entre les pentes de recherche du niveau intermédiaire de l'Expérience 1b et du niveau local de l'Expérience 3b, $t(31) = 2.14, p = .04, d = 0.77$.

4.7 Discussion des Expériences 3a et 3b

Le but principal des Expériences 3a et 3b était de vérifier que la différence d'efficacité observée dans les Expériences 1a et 1b entre la recherche d'une cible intermédiaire et la recherche d'une cible locale n'était pas due ni à la différence de taille entre les deux niveaux, ni à la différence du nombre d'éléments, ni à la différence de distance avec le niveau global, mais bien à la différence de position au sein de la structure hiérarchique.

Dans les essais avec cible présente, et pour nos deux paradigmes expérimentaux, nous avons montré que le niveau global est traité de manière efficace et le niveau local de manière moins efficace. Pourtant, le niveau local de ces nouvelles expériences partageait les mêmes propriétés de taille, de nombre, et de distance au niveau global que le niveau intermédiaire (traité de façon efficace) dans les Expériences 1a et 1b. Nous avons comparé

directement les pentes de recherche du niveau local de l'Expérience 3b et du niveau intermédiaire de l'Expérience 1b, et nous avons montré qu'ils étaient bien traités différemment.

Le paradigme par blocs entraînait des TRs plus rapides pour le traitement global, toutefois le type de paradigme expérimental n'avait pas d'impact significatif ni sur la vitesse de traitement du niveau local ni sur les pentes de recherche. Ce résultat suggère que les connaissances des participant.e.s quant au niveau hiérarchique d'apparition de la cible peuvent avoir un impact sur la détection du niveau le plus saillant mais non sur la détection du niveau le moins saillant. Ce résultat est différent de ce qui a pu être rapporté dans des paradigmes où la localisation spatiale de chaque niveau est connue par avance (Hübner, 2014).

Dans les essais avec cibles absentes, nous avons confirmé l'existence d'un traitement plus coûteux lorsque la cible est attendue au niveau local (21 ms par distracteur ajouté) que lorsqu'elle est attendue au niveau global (10 ms par distracteur ajouté).

Il est important de noter que, conformément à des résultats précédents (Yeari & Goldsmith, 2011), la complexité de la figure hiérarchique (2 vs. 3 niveaux) a un impact évident sur la vitesse de traitement et les pentes de recherche. Rechercher une cible locale au sein d'une figure hiérarchisée à 2 niveaux semble ainsi moins coûteux que rechercher une cible locale au sein d'une figure hiérarchisée à 3 niveaux (la pente de recherche dans l'Expérience 1b était de 126ms par distracteur ajouté, contre 21 ms dans l'Expérience 3b). Néanmoins, nous avons montré que, quelle que soit la complexité de la figure hiérarchique, les TRs augmentent toujours linéairement avec le nombre de distracteurs dans la recherche d'une cible locale.

Les données obtenues dans les Expériences 3a&b montrent que les résultats de l'expérience principale avec des figures à 3 niveaux hiérarchiques sont bien liés aux différences de positionnement de la cible au sein de la figure hiérarchique, et non seulement à des différences de taille, de nombre d'éléments ou de distance au niveau global. Conformément à notre hypothèse, le niveau le plus local semble systématiquement désavantagé dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles.

5. Discussion Générale

L'objectif de cette étude était d'explorer l'impact du niveau hiérarchique d'apparition d'une cible sur l'efficacité de la recherche visuelle. Nous avons utilisé des tâches de recherche visuelle de type *feature* et montré dans les expériences principales (Expériences 1a et 1b) que la recherche d'une cible locale est toujours moins efficace (les TRs augmentent linéairement avec le nombre de distracteurs) que la recherche de cibles à des niveaux plus structurels, global ou intermédiaire (les TRs restent constants quel que soit le nombre de distracteurs). Des expériences contrôle ont par ailleurs démontré que ni la taille, ni le nombre d'éléments ni la distance au niveau le plus global ne peuvent expliquer les résultats obtenus. Ainsi, la recherche devenait efficace lorsque les éléments locaux de l'expérience principale n'étaient plus organisés en une structure hiérarchique (Expérience 2). De plus, lorsque le niveau intermédiaire devenait le niveau le plus local d'une structure hiérarchique, son traitement devenait moins efficace (Expériences 3a et 3b). Ces expériences contrôle permettent d'affirmer que la recherche moins efficace obtenue pour le niveau local est bien liée au positionnement dans la structure hiérarchique : le niveau local serait toujours désavantagé dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles.

5.1 Implications concernant la perception globale/locale

Nous avons montré dans notre étude un avantage global classique (Navon, 1977), et avons confirmé que cet avantage agit de façon continue, du niveau hiérarchique le plus global au niveau hiérarchique le plus local. Ainsi, dans la condition sans distracteur de l'Expérience 1b, la cible globale était détectée plus rapidement que la cible intermédiaire et la cible intermédiaire plus rapidement que la cible locale. Ce résultat est compatible avec celui obtenu par Rijpkema et al. (2007), montrant que l'avantage global augmente avec la « globalité d'une cible ».

Ce résultat va également dans le sens des modèles perceptifs Coarse-to-Fine (Peyrin et al., 2010) qui expliquent le phénomène d'avantage global par une préférence temporelle des BFS, transmettant l'information globale, sur les HFS, transmettant l'information locale (Hughes et al., 1996).

Des résultats en IRMF avec des figures hiérarchiques à trois niveaux (Rijpkema, van Aaldere, Schwarzbach, & Verstraten, 2008) ont montré que chaque niveau hiérarchique

active davantage une région visuelle ayant un champ réceptif lui correspondant. Ainsi, les éléments intermédiaires activent davantage des régions qui contiennent des neurones ayant des champs réceptifs de taille moyenne comparés aux éléments locaux (qui activent davantage des neurones ayant un champ réceptif plus petit) ou des éléments globaux (qui activent davantage des régions visuelles ayant un champ réceptif plus large). Cela pourrait expliquer les différences dans la vitesse de traitement selon le niveau hiérarchique dans un contexte non-compétitif.

Rosenholtz, Huang and Ehinger (2012) ont suggéré, avec un modèle computationnel, que la vision périphérique ne permettrait pas la perception des détails d'une scène alors que les éléments plus globaux pourraient être détectés. Ce modèle est compatible avec l'idée d'une stratégie Coarse-to-Fine des mouvements oculaires en recherche visuelle (Over, Hooge, Vlaskamp, & Erkelens, 2007). Dans ce cadre, les limites de la perception périphérique pourraient expliquer la différence d'efficacité en recherche visuelle selon le niveau hiérarchique, et ainsi rendre compte de la difficulté que nous avons observée lors la détection d'une cible locale, en comparaison avec la détection de cibles plus structurales. Toutefois ces modèles ne permettent pas d'expliquer pourquoi le niveau intermédiaire est traité de manière efficace dans une tâche avec des figures hiérarchiques à trois niveaux et de manière moins efficace avec des figures hiérarchiques à deux niveaux, lorsqu'il devient le niveau le plus local. De plus, la difficulté dans la perception d'éléments locaux ne peut être basée uniquement sur les limites d'acuité de la vision périphérique puisqu'elle est également massivement retrouvée dans la littérature avec des présentations fovéales (Beaucousin et al., 2013; D. Luna et al., 1990; Navon & Norman, 1983; Rauschenberger & Yantis, 2001).

Le réseau cérébral qui sous-tend le traitement perceptif d'un niveau hiérarchique particulier est incontestablement lié à des contraintes physiologiques. La présente étude suggère que ces contraintes perceptives impactent le comportement dans des tâches de recherche visuelle. L'ajout du niveau intermédiaire suggère que les traitements *bottom-up* dans la recherche visuelle fonctionnent sur un continuum du niveau le plus global au niveau le plus local.

Les études avec présentation fovéale ont suggéré que les connaissances des participant.e.s concernant le niveau hiérarchique d'apparition de la cible pouvaient moduler l'avantage global (Flevaris et al., 2014; Hübner, 2014). Toutefois, avec une tâche de recherche visuelle au cours de laquelle la localisation des items visuels change systématiquement selon les essais, nous avons au contraire montré que les connaissances préalables des participants (paradigme expérimental par blocs) renforce l'avantage global (l'avantage global n'était pas

significatif dans notre paradigme expérimental randomisé). Ainsi, connaître le niveau hiérarchique d'apparition de la cible pourrait diminuer l'avantage global dans une situation où la localisation spatiale de la cible est connue mais non lorsque la localisation est inconnue.

5.2 Implications concernant les modèles attentionnels

Bien que nous ayons observé un avantage global typique lorsque les participants devaient traiter une figure hiérarchisée isolée, sans distracteur, notre tâche nous a également permis d'étudier le traitement des différents niveaux dans un contexte de compétition. Dès lors que des distracteurs étaient présents, le niveau global et le niveau intermédiaire étaient traités aussi rapidement l'un que l'autre, que le paradigme expérimental soit par blocs ou randomisé. Ce résultat indique une dissociation entre l'avantage d'un niveau hiérarchique sur les autres dans un contexte non-compétitif (comme c'est le cas dans les tâches de type Navon) et la saillance de ce niveau dans un environnement bruité. Ainsi, comme il a pu être suggéré précédemment, il pourrait exister une distinction entre la sensibilité perceptive à un niveau et le fait que ce niveau domine ou non la compétition pour l'octroi des ressources attentionnelles (Mondloch et al., 2003).

Le but de la présente étude était de définir si l'efficacité de la recherche visuelle agit de façon continue ou dichotomique. Nous avons montré que seule la recherche pour le niveau le plus local d'une structure hiérarchique augmente linéairement avec le nombre de distracteurs (Expériences 1a et 1b, 3a et 3b) alors que la recherche reste constante quel que soit le nombre de distracteurs pour les cibles globales et intermédiaires (Expériences 1a&b). Cela montre que l'efficacité de la recherche agit de façon dichotomique : seuls les stimuli les plus locaux sont traités de façon peu efficace.

Ni un modèle purement structuraliste, ni un modèle purement spatial de l'attention ne pourrait expliquer de tels résultats. Dans les tâches de type *feature* comme celles que nous avons menées, la différence entre cible et distracteurs est basée sur une caractéristique primaire. Dans ce cas, la FIT (Treisman & Gelade, 1980) prédit une recherche efficace de la cible quelle que soit sa localisation. Nous avons montré que des petits carrés sautent en effet aux yeux lorsqu'ils sont entourés de petits ronds (Expérience 2). Toutefois, dès que ces petits carrés sont organisés et inclus en une structure plus globale, leur détection devient moins efficace (Expériences 1a&b), ce qui va à l'encontre du structuralisme perceptif (l'idée que la perception d'un objet résulte du traitement de ses parties). Les théories spatiales de l'attention, qui conçoivent que les ressources attentionnelles sont meilleures au sein d'un

faisceau ou d'un gradient (LaBerge & Brown, 1989; Posner, 1980), ne peuvent pas non plus rendre compte de nos résultats. En effet, nos tâches étaient basées sur la recherche d'un objet (un carré) et aucun indice spatial concernant le lieu d'apparition des cibles n'était donné aux participant.e.s. Pourtant, les cibles globales et intermédiaires étaient détectées rapidement quel que soit leur emplacement. De plus, en contrôlant la taille et la distance entre les niveaux hiérarchiques, nous avons montré que lorsque les objets intermédiaires deviennent les objets les plus locaux d'une structure, la recherche devient moins efficace (Expérience 3a et 3b). La localisation spatiale et la distance spatiale entre les niveaux ne sont ainsi pas suffisantes pour rendre compte de nos résultats. Yeari et Goldsmith (2011) avaient montré que la complexité de la structure hiérarchique (deux ou trois niveaux), ainsi que la différence de taille entre le niveau global et les éléments locaux, affectent les TRs des participant.e.s. Nous avons répliqué ces résultats en montrant que les TRs dans notre tâche à 2 niveaux étaient plus rapides que les TRs dans notre tâche à 3 niveaux. Toutefois, quelle que soit la différence de taille entre le niveau local et le niveau global, et quelle que soit la complexité de la structure, nous avons montré que le niveau local reste désavantagé durant la compétition attentionnelle. Yeari et Goldsmith (2011) concluaient que les modèles de l'attention devraient considérer à la fois les propriétés spatiales et les propriétés d'organisation hiérarchique au sein des objets pour rendre compte efficacement des données comportementales. Nos résultats vont également dans ce sens, et suggèrent que le niveau hiérarchique d'apparition de la cible *per se* impacte l'efficacité de la recherche visuelle.

Différentes propriétés peuvent influencer la priorisation d'une information sur une autre durant la recherche visuelle. De nombreux modèles suggèrent que les informations recevraient des poids différents dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles selon leur saillance, c'est-à-dire leur « distinguabilité » par rapport aux distracteurs (Bundesen, Habekost, & Kyllingsbæk, 2005; Desimone & Duncan, 1995; Fecteau & Munoz, 2006; Koch & Ullman, 1985; Michael et al., 2007, 2006; Vergheze, 2001). Ces poids détermineraient l'efficacité de la recherche visuelle. De nombreux facteurs qui influencent la saillance ont été étudiés (contraste, taille, forme, couleur...). Nos résultats suggèrent que le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible doit être considéré comme l'un des facteurs qui influencent la carte de saillance. En effet, la détection d'une cible locale au milieu de distracteurs crée une compétition moins facile à résoudre que la détection d'une cible globale ou intermédiaire dans le même contexte compétitif. Les distracteurs structurels (globaux ou intermédiaires) semblent ainsi produire davantage d'interférence que les distracteurs locaux.

Toutefois, on peut se demander pourquoi seul le niveau local est traité d'une manière si peu efficiente? Dans l'étude de Kimchi et al (2005), l'efficacité de la recherche globale n'est retrouvée que lorsque les éléments locaux sont suffisamment nombreux et rapprochés, c'est-à-dire uniquement lorsqu'ils répondent aux lois de « bonne forme » et de « proximité spatiale » de la Gestalt (Wertheimer, 1938). Kimchi et Palmer (Kimchi & Palmer, 1982) ont déjà montré que de nombreux et petits éléments sont traités comme une texture alors qu'ils sont considérés comme des unités significatives lorsque leur densité est faible. Dans son modèle, Hübner (2014) suggère que, lorsque les éléments locaux obéissent aux lois de la Gestalt, ils permettent l'émergence d'une forme globale immédiate, identifiée plus rapidement que l'élément local. Or, l'identification est un critère essentiel à l'apparition d'effets d'interférence d'un niveau sur l'autre (Beaucousin et al., 2011; Poirel, Pineau, et al., 2008). Ainsi, le système attentionnel pourrait appliquer un filtre par défaut, conduisant à traiter spontanément les éléments locaux denses comme une texture plutôt que comme des objets significatifs, ce qui pourrait expliquer que leur traitement soit si coûteux en présence de formes plus structurées, et par conséquent plus significatives.

5.3 Implications concernant les fonctions exécutives

Les tâches de recherche visuelle impliquent des processus top-down (Treisman, 1993; Treisman & Sato, 1990; Wolfe, 1994). Notamment, lorsque la détection d'une cible n'est pas *pop-out*, la recherche est guidée par la pertinence, ce qui implique que les distracteurs saillants soient inhibés (Houghton & Tipper, 1994; Koch & Ullman, 1985; Michael et al., 2007, 2006). Des études en global/local ont précédemment suggéré que l'inhibition de l'information globale interférente serait nécessaire pour sélectionner une cible locale (Dulaney & Marks, 2007; Robertson et al., 1993). Par exemple, lorsque l'attention est indicée vers le niveau global, et que la cible apparaît finalement au niveau local, un bénéfice est malgré tout observé (la cible locale est plus rapidement traitée que dans une condition sans indice). En revanche, lorsqu'un indice oriente vers le niveau local et que la cible apparaît finalement au niveau global, un ralentissement des temps de réponse est observé, probablement parce que le niveau global doit être inhibé pour que la sélection locale puisse avoir lieu (Robertson et al., 1993). Les pentes de recherche linéaires que nous avons observées pour le niveau local dans notre étude sont compatibles avec cette idée. L'Étude 3 présentée dans cette thèse a justement pour objectif de démontrer l'existence d'un processus d'inhibition du niveau global saillant dans la sélection de l'information locale moins saillante.

6. Conclusion

La présente étude a montré pour la première fois que l'information intermédiaire (comprise entre les niveaux global et local) entraîne une recherche aussi efficace que celle observée pour l'information globale, alors que l'information la plus locale est traitée de façon moins efficace quelle que soit la taille des éléments ou la distance entre les niveaux hiérarchiques. Ces résultats permettent une analyse plus fine du traitement global/local, en montrant que l'efficacité visuelle agit de façon dichotomique : seuls les éléments les plus locaux sont désavantagés lors de la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles.

ÉTUDE 2

SENSIBILITÉ PERCEPTIVE ET DOMINANCE ATTENTIONNELLE DANS LE TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL AU COURS DU DÉVELOPPEMENT ÉTUDE DÉVELOPPEMENTALE CHEZ DES ENFANTS DE 5 À 9 ANS

RÉSUMÉ : Nous avons proposé une tâche de recherche visuelle avec des figures composées de 3 niveaux hiérarchiques à 112 participant.e.s âgé.e.s de 5 ans, 6 ans, 9 ans et 21 ans. Cette tâche nous a permis: 1) d'identifier le niveau hiérarchique qui est le plus saillant perceptivement à chaque âge (le niveau le plus rapidement détecté) et 2) le degré d'efficacité de la recherche visuelle pour chaque niveau au cours du développement (étude des pentes de recherche, c'est-à-dire de l'augmentation de la vitesse de détection selon le nombre de distracteurs). Les résultats ont montré que le niveau global est le plus saillant à 5 ans, alors qu'à 9 ans et 21 ans les niveaux intermédiaire et global sont aussi saillants l'un que l'autre. De façon intéressante, c'est le niveau intermédiaire qui est le plus saillant à 6 ans, ce que nous proposons de mettre en lien avec l'apprentissage intensif de la lecture durant cette période du développement (la syllabe, intermédiaire entre la lettre et le mot). Par ailleurs, tou.te.s les participant.e.s ont montré une recherche efficace pour les niveaux intermédiaire et global, et une recherche moins efficace du niveau local, avec des temps de réaction qui augmentaient linéairement avec le nombre de distracteurs, suggérant un désavantage local plutôt qu'un avantage global durant la recherche visuelle. Le coût cognitif pour la sélection locale était plus élevé pour les enfants de 5 et 6 ans comparés aux enfants de 9 ans et aux adultes. Les résultats sont discutés en considérant le rôle des apprentissages et du développement du contrôle exécutif.

Ce travail est soumis pour publication, sous le titre:

Krakowski, C.S., Poirel, N., Vidal, J., Roëll, M., Houdé, O. (soumis). The forest, the trees and the leaves: Differences of processing across development.

Developmental Psychology.

1. Introduction

Alors que la plupart des études chez l'adulte s'accordent sur l'existence d'un effet de précedence globale (Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008; Ripoll et al., 2005), les résultats apparaissent beaucoup plus nuancés chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire, selon le type de tâche employée, la taille et la densité des figures ou encore leur signification (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Mevorach et al., 2009; Mondloch et al., 2003; Poirel et al., 2011; Poirel, Mellet, et al., 2008; Scherf et al., 2009). Il apparaît important de distinguer chez l'enfant la sensibilité perceptive de la dominance attentionnelle : les différences de résultats observés dans la littérature pourraient être liées au fait qu'un biais perceptif pour un niveau coexisterait avec une dominance de l'autre niveau pour des traitements subséquents (Mondloch et al., 2003).

Les tâches de recherche visuelle permettent de distinguer la saillance perceptive (par l'analyse de la vitesse de détection) du type de traitement attentionnel nécessaire pour sélectionner la cible dans un contexte compétitif (analyse des pentes de recherche). En utilisant des figures hiérarchisées à deux niveaux en recherche visuelle, Kimchi et al. (2005) ont montré que dès 5 ans, dans des conditions de densité normale, le niveau global est traité de manière efficiente alors que ce n'est pas le cas du niveau local.

Toutefois, à notre connaissance, aucune recherche n'a étudié le traitement global/local avec des figures hiérarchisées à 3 niveaux. Cela permettrait une analyse plus fine, dépassant l'habituelle dichotomie globale/locale. Il est possible d'envisager que certaines études aient montré un biais global et d'autres un biais local chez l'enfant car il pourrait exister, à un âge donné, un biais « entre-deux ».

Dans le but de tracer la trajectoire développementale de la saillance perceptive et de la dominance attentionnelle, nous avons mené notre étude auprès d'enfants de 5 ans, 6 ans et 9 ans et avons comparé les résultats de ces enfants aux résultats obtenus précédemment avec les adultes (Cf. Étude 1, p. 127). Des changements importants du traitement global-local ont été classiquement décrits aux alentours de 6 ans (Dukette & Stiles, 1996; Poirel et al., 2011; Poirel, Mellet, et al., 2008; Vinter et al., 2010) avec un pattern adulte observé autour de 9 à 10 ans (Harrison & Stiles, 2009; Mondloch et al., 2003; Poirel, Mellet, et al., 2008). Nous devrions donc observer des différences développementales entre 5 à 9 ans, avec un changement autour de 6 ans et l'émergence d'un pattern stable similaire à celui des adultes chez les enfants de 9 ans.

2. Méthode

La tâche de recherche visuelle et les résultats du groupe adulte de cette étude étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'Expérience 1a de la première étude présentée dans cette thèse (Cf. Figure 25 p. 133, Figure 34, p. 162).

2.1 Participant.e.s

Vingt-et-un adultes, étudiant.e.s en psychologie à l'université Paris-Descartes (âge = 21 ± 1.9 ans, Moyenne \pm écart-type, 14 femmes et 7 hommes), 17 élèves de CM1 (âge = 9.5 ± 0.6 ans, 10 filles et 7 garçons), 37 élèves de CP (âge = 6.5 ± 0.5 ans, 16 filles et 21 garçons), 30 élèves de Grande Section de Maternelle (âge = 5.4 ± 0.8 ans, 19 filles et 11 garçons), scolarisé.e.s dans des écoles publiques maternelles et élémentaires de Caen et de Paris ont participé à cette expérience avec l'accord des inspecteurs d'Académie et le consentement signé des parents. La vision des participant.e.s était rapportée comme étant normale ou correctement corrigée.

2.2 Stimuli et procédure

La tâche, les stimuli et la procédure étaient identiques à ceux de l'Expérience 1a présentée dans la première étude de cette thèse (Cf. Étude 1, p. 127). Pour rappel, les participant.e.s devaient décider le plus rapidement et le plus correctement possible si un carré était présent ou non à l'écran en pressant le bouton approprié (un bouton pour « carré présent» et un autre bouton pour « carré absent»). La cible pouvait apparaître au niveau global, intermédiaire ou local d'une figure hiérarchisée présentée seule ou en présence d'une, de trois ou de cinq figures hiérarchisées distractrices (formes hiérarchisées composées uniquement de cercles, Cf. Figure 25 p. 133).

Les enfants effectuaient dans un premier temps 16 essais d'entraînement. Durant la partie expérimentale, ils/elles effectuaient une tâche constituée de deux blocs de 48 essais chacun, avec une pause entre les deux blocs. La durée totale de l'expérience n'excédait pas 10 minutes afin d'éviter la fatigue et la distractibilité des plus jeunes participant.e.s.

3. Résultats

Pour les essais avec cible présente, nous avons analysé les taux de réponses correctes et les TRs pour les réponses correctes grâce à une analyse de variance (ANOVA) mixte avec 3

modalités croisées pour le niveau hiérarchique d'apparition de la cible (global, intermédiaire ou local) × 4 modalités croisées pour le nombre de distracteurs (0, 1, 3 ou 5) × 4 modalités emboîtées pour l'âge (5 ans, 6 ans, 9 ans et 21 ans)

Pour les essais avec cible absente, nous avons analysé les taux de réponses correctes et les TRs des réponses correctes grâce à une ANOVA mixte avec 4 modalités croisées pour le nombre de figures hiérarchisées apparaissant à l'écran (1, 2, 4 ou 6) × 4 facteurs emboîtés pour l'âge (5 ans, 6 ans, 9 ans et 21 ans)

Lors de la comparaison directe de deux moyennes, nous avons calculé des tests de student. Toutes les valeurs p de ces tests ont été corrigées pour les comparaisons multiples avec la méthode de Bonferroni. Nous avons aussi calculé des tests de tendance linéaire pour les TRs.

3.1 Taux de réussite

- *Essais avec cible présente*

Tous les groupes d'âge ont répondu au-dessus du niveau du hasard, enfants de 5 ans : $t(29) = 12.62, p < .001, d = 4.69$; enfants de 6 ans : $t(36) = 18.02, p < .001, d = 6.01$; enfants de 9 ans : $t(16) = 56.95, p < .001, d = 28.48$; adultes : $t(27) = 62.68, p < .001, d = 24.13$.

Les taux de réussite augmentaient avec l'âge, $F(3,108) = 13.77, p < .001, \eta_p^2 = .28$ (enfants de 5 ans : $81.25 \pm 24.36\%$, enfants de 6 ans : $87.16 \pm 21.32\%$, enfants de 9 ans : $96.69 \pm 6.66\%$, adultes : $96.35 \pm 6.38\%$). L'effet principal du niveau hiérarchique d'apparition de la cible était significatif, $F(2,216) = 40.2, p < .001, \eta_p^2 = .27$. Les niveaux global ($94.25 \pm 8.6\%$) et intermédiaire ($95.76 \pm 9.04\%$) entraînaient des performances équivalentes, $t(111) = 1.54, p > .25, d = .29$ et supérieures à celles observées pour le niveau local ($77.96 \pm 27.27\%$), intermédiaire vs. local : $t(111) = 7.58, p < .001, d = 1.43$; global vs. local : $t(111) = 25.98, p < .001, d = 4.93$.

Comme indiqué dans la Figure 34, une interaction entre l'âge et le niveau d'apparition de la cible était observée, $F(6, 216) = 7.2, p < .001, \eta_p^2 = .17$. Le taux de réussite était plus faible au niveau local qu'aux niveaux intermédiaire et global pour les enfants de 5 ans (global = $91.88 \pm 9.45\%$; intermédiaire = $90 \pm 14.18\%$; local = $61.88 \pm 30.77\%$), global vs. intermédiaire : $t(29) = 0.77, p > .25$; local vs. intermédiaire : $t(29) = 5.21, p < .001, d = 1.93$; local vs. global: $t(29) = 5.19, p < .001, d = 1.93$, et pour les enfants de 6 ans (global = $93.75 \pm 10.42\%$; intermédiaire = $95.61 \pm 6.4\%$; local = $72.13 \pm 29.81\%$), global vs. intermédiaire : $t(36) = 1, p > .25$; local vs. intermédiaire : $t(36) = 5.01, p < .001, d = 1.67$; local vs. global

: $t(36) = 4.77, p < .001, d = 1.59$, tandis que les enfants plus âgés et les adultes présentaient un taux d'erreurs équivalent quel que soit le niveau (enfants de 9 ans : global = $97.06 \pm 5.47\%$; intermédiaire = $99.63 \pm 1.52\%$; local = $93.38 \pm 9.24\%$, toutes les comparaisons deux à deux indiquent un $p > .25$; adultes : local = $93.53 \pm 8.42\%$; intermédiaire = $99.78 \pm 1.18\%$; global = $95.76 \pm 5.6\%$, toutes les comparaisons deux à deux indiquent un $p > .25$). Les taux de réussite changeaient avec l'âge uniquement pour le niveau local : ils étaient équivalents pour les enfants de 5 ans et de 6 ans, $t(65) = 1.38, p > .25$, qui réussissaient moins bien la tâche que les enfants de 9 ans ou les adultes, 5 ans vs. 9 ans : $t(43) = 4.1, p < .001, d = 1.25$; 5 ans vs. adultes : $t(54) = 5.26, p < .001, d = 1.43$; 6 ans vs. 9 ans : $t(50) = 2.86, p < .001, d = 0.81$; 6 ans vs. adultes : $t(61) = 3.68, p < .001, d = .94$; 9 ans vs. adultes : $t(41) = .05, p > .25$. Il est important de souligner que, malgré la différence de réussite selon l'âge au niveau local, les plus jeunes participant.e.s répondaient bien au-dessus du niveau du hasard en local, enfants de 5 ans : $t(29) = 2.11, p = .04, d = 0.78$; enfants de 6 ans : $t(36) = 4.51, p < .001, d = 1.5$.

Dans un contexte sans compétition (condition sans distracteur), cette interaction était également observée, $F(3,108) = 7.95, p < .001, \eta_p^2 = .18$.

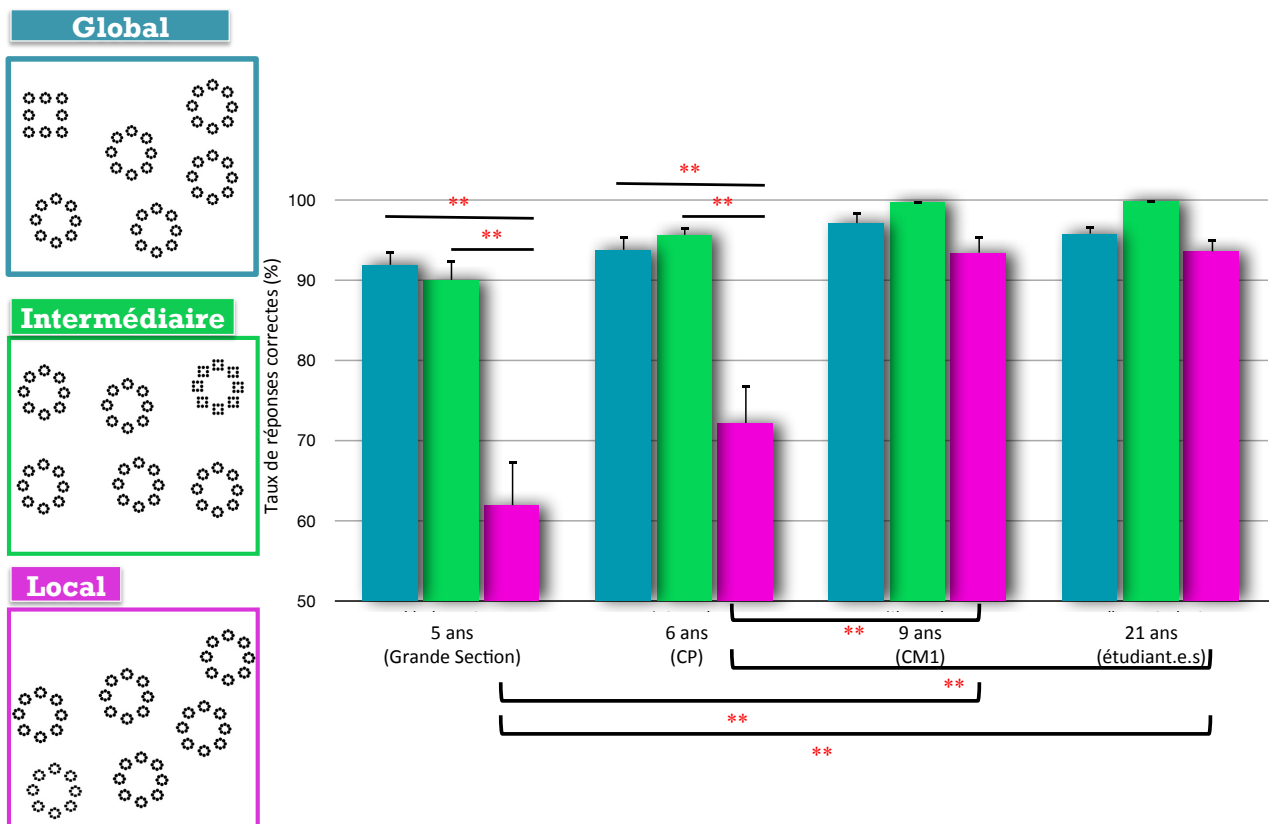


Figure 34 Interaction sur le taux de réponses correctes entre l'âge et le niveau d'apparition hiérarchique de la cible lors des essais avec cibles présentes. La moyenne et l'erreur standard à la moyenne (SEM) sont représentées pour chaque croisement de variables. Les enfants de 5 et 6 ans faisaient davantage d'erreurs au niveau local qu'au niveau global et intermédiaire. Une telle différence n'était pas observée chez les participant.e.s de 9 et 21 ans, qui réussissaient mieux la tâche au niveau local que les enfants de 5 et 6 ans. Les test t corrigés en Bonferroni sont représentés. ** $p < .01$.

- *Essais avec cible absente*

Les participant.e.s avaient un taux de réussite élevé et les résultats ont seulement indiqué une tendance liée à l'âge, $F(3,108) = 2.56, p = .06$ (enfants de 5 ans : $95.28 \pm 7.85 \%$, enfants de 6 ans : $96.23 \pm 6.47 \%$, enfants de 9 ans : $96.32 \pm 8.07 \%$, et adultes : $98.88 \pm 6.08 \%$).

3.2 Temps de réponse

Nous avons analysé les TRs uniquement pour les participant.e.s ayant obtenu au moins 50% de réponses correctes dans chaque condition. Notre échantillon a ainsi été réduit pour les enfants de GSM (15 participant.e.s, 5.8 ± 0.6 ans ; 10 filles et 5 garçons) et pour les enfants de CP (28 participant.e.s, 6.5 ± 0.4 ans ; 13 filles et 15 garçons).

- *Essais avec cible présente*

L'effet principal de l'âge sur les TRs était significatif, $F(3,84) = 74.56, p < .001, \eta_p^2 = .73$ (enfants de 5 ans: 2160 ± 713 ms; enfants de 6 ans: 1642 ± 636 ms; enfants de 9 ans: 1104 ± 342 ms; adultes: 829 ± 246 ms).

L'effet principal du nombre de distracteurs était aussi significatif, $F(3,252) = 3.6, p < .001, \eta_p^2 = .18$ (0: 3710 ± 100 ms ; 1: 4067 ± 147 ms ; 3: 4151 ± 205 ms ; 5: 4487 ± 313 ms) et interagissait avec le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(6,504) = 5.17, p < .001, \eta_p^2 = .06$ (Cf. Figure 35). Ainsi, le nombre de distracteurs n'interagissait ni avec le niveau global, $F(3,177) = 2.2, p = .09$, ni avec le niveau intermédiaire, $F(3,177) = 1.8, p = .15$, et il n'y avait pas de différence significative entre ces deux niveaux selon le nombre de distracteurs, $F(3,252) < 1, p > .25$. En revanche, le nombre de distracteurs interagissait avec le niveau local, $F(3,177) = 19.44, p < .001, \eta_p^2 = .25$, et une interaction significative entre le niveau local et le niveau global était observée selon le nombre de distracteurs, $F(3,252) = 8.74, p < .001, \eta_p^2 = .09$, ainsi qu'entre le niveau local et le niveau intermédiaire, $F(3,252) = 7.29, p < .001, \eta_p^2 = .08$. Des tests de tendance ont montré un effet linéaire de nombre de distracteurs sur les TRs au niveau local, $F(1,59) = 49.53, p < .001$, le test de tendance linéaire expliquant 95.05 % de la variance, avec une pente de recherche de 93 ± 96 ms par distracteur ajouté.

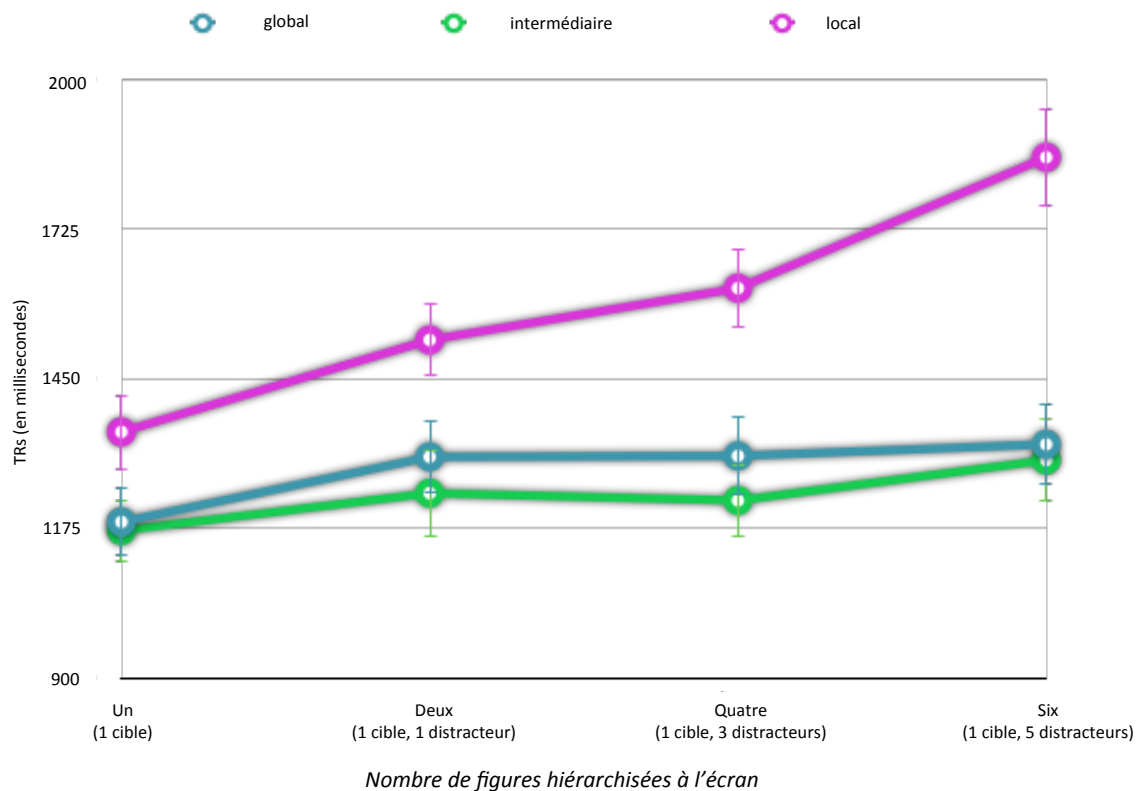


Figure 35. Interaction sur les TRs entre le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible lors des essais avec cibles présentes. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Pour tous les participants, les cibles locales étaient détectées de façon peu efficiente (les TRs augmentaient linéairement avec le nombre de distracteurs) alors que les cibles globales et intermédiaires étaient détectées de façon efficiente (les TRs étaient constants quel que soit le nombre de distracteurs).

L'effet principal du niveau d'apparition de la cible était significatif, $F(2,168) = 55.6$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .40$. Le niveau global (1282 ± 580 ms) et le niveau intermédiaire (1234 ± 586 ms) étaient traités aussi rapidement, $t(87) = 1.48$, $p = .14$, et plus rapidement que le niveau local (1586 ± 644 ms), global vs. local : $t(87) = 8.02$, $p < .001$, $d = 1.72$; intermédiaire vs. local : $t(87) = 10.16$, $p < .001$, $d = 2.18$. Dans un contexte sans compétition (pas de distracteur) l'effet principal du niveau était également observé avec un pattern de résultats similaire, $F(2,168) = 9.137$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .10$. Le niveau d'apparition de la cible interagissait également avec l'âge, $F(6,168) = 55.6$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .11$. Par conséquent, nous avons calculé des ANOVAs pour chaque groupe d'âge, révélant un effet différencié du niveau d'apparition de la cible selon l'âge (Cf. Figure 36).

Concernant les enfants de 5 ans, $F(2,28) = 5.83$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .29$, le niveau intermédiaire (2107 ± 634 ms) était traité aussi rapidement que le niveau global (1985 ± 400 ms), $t(14) =$

1.02, $p > .25$, et que le niveau local (1958 ± 400 ms), $t(14) = 10.16$, $p = .15$, tandis que le niveau global était traité plus rapidement que le niveau local, $t(14) = 3.62$, $p = .008$, $d = 1.93$.

Concernant les enfants de 6 ans, $F(2,54) = 25.5$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .49$, le niveau intermédiaire (1396 ± 309 ms) était traité plus rapidement que le niveau global (1579 ± 490 ms), $t(27) = 2.63$, $p = .04$, $d = 1.01$, et le niveau global plus rapidement que le niveau local, 1952 ± 473 ms, $t(27) = 8.22$, $p < .001$, $d = 3.16$.

Concernant les enfants de 9 ans, $F(2,32) = 39.42$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .71$, le niveau global (1042 ± 301 ms) et le niveau intermédiaire (1016 ± 267 ms) étaient traités aussi rapidement l'un que l'autre, $t(16) = 0.87$, $p > .25$, et plus vite que le niveau local (1252 ± 265 ms) ; global vs. local : $t(16) = 6.13$, $p < .001$, $d = 3.07$; intermédiaire vs. local : $t(16) = 10.98$, $p < .001$, $d = 5.49$.

Le même pattern de résultat était observé chez les adultes, $F(2,54) = 93.15$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .78$, avec les niveaux global (755 ± 134 ms) et intermédiaire (737 ± 157 ms) traités aussi rapidement l'un que l'autre, $t(27) = 0.93$, $p > .25$, et plus vite que le niveau local, 995 ± 175 ms ; global vs. local : $t(27) = 10.45$, $p < .001$, $d = 4.02$; intermédiaire vs. local : $t(27) = 12.53$, $p < .001$, $d = 4.82$.

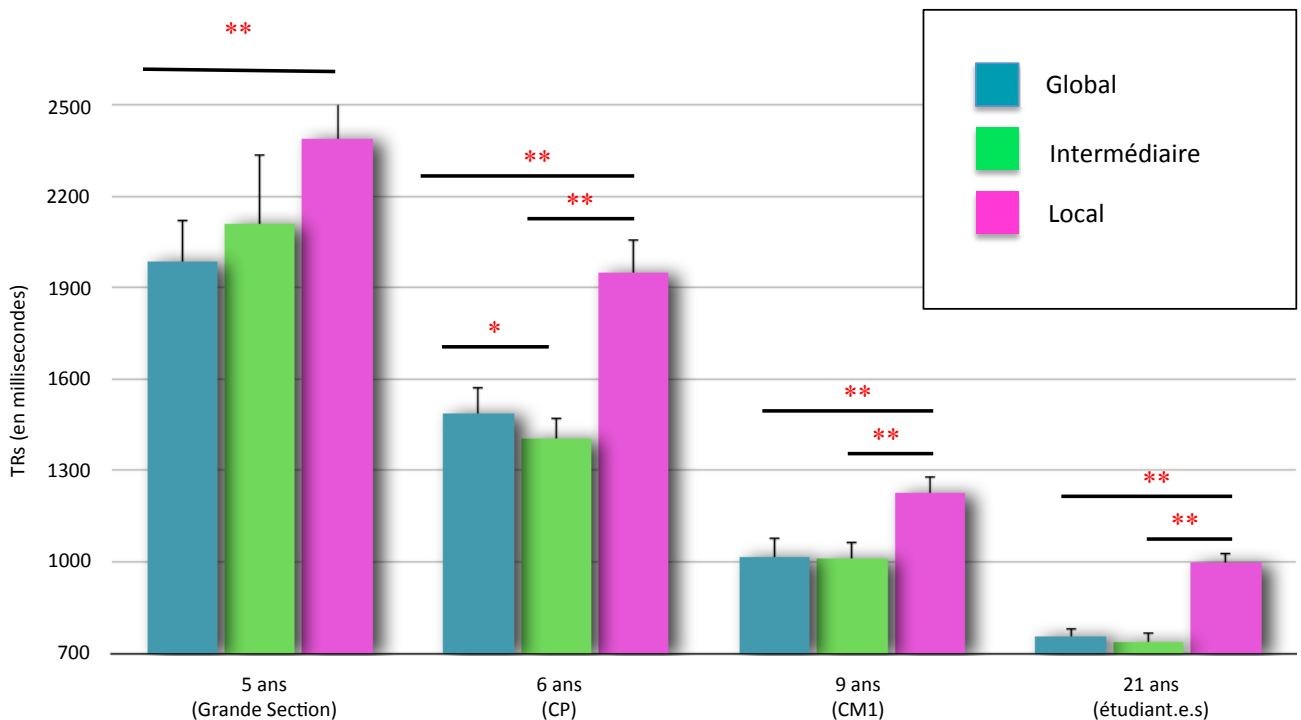


Figure 36. Interaction sur les TRs entre le nombre de distracteurs et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible lors des essais avec cibles présentes. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Pour tous les participant.e.s, les cibles locales étaient détectées de façon peu efficace (les TRs augmentaient linéairement avec le nombre de distracteurs) alors que les cibles globales et intermédiaires étaient détectées de façon efficace (les TRs étaient constants quel que soit le nombre de distracteurs). Les tests corrigés en Bonferroni sont représentés. * $p < .05$. ** $p < .01$

Par ailleurs, dans la condition sans distracteur (pas de compétition), nous avons également observé une tendance à l'interaction entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible et l'âge, $F(6,168) = 1.83, p = .09$, l'effet du niveau d'apparition de la cible n'étant pas significatif chez les adultes, $F(2,54) = 1.74, p = .18$, et les enfants de 9 ans, $F(2,32) = 1.63, p = .21$, mais étant significatif chez les enfants de 5 ans, $F(2,28) = 3.22, p = .05$, et les enfants de 6 ans, $F(2,54) = 3.86, p = .03$ (Cf. Tableau 1).

Nous avons également vérifié que l'interaction décrite plus haut entre l'âge et le niveau d'apparition hiérarchique était également significative lorsqu'on isolait uniquement les conditions avec compétition, c'est-à-dire avec 1 à 5 distracteurs présentés simultanément à la cible. Dans ce cas, l'interaction entre l'âge et le niveau d'apparition hiérarchique était bien significative, $F(6,168) = 2.9, p = .01, \eta_p^2 = .09$, avec des résultats similaires à ceux rapportés plus haut (Cf. Tableau 1). Enfin, la triple interaction de l'âge \times le nombre de distracteurs \times le niveau hiérarchique d'apparition de la cible n'était pas significative, $F < 1, p > .25$.

	sans distracteur				1 à 5 distracteurs			
	5 ans	6 ans	9 ans	adultes	5 ans	6 ans	9 ans	adultes
global	1801	1432	1020	715	2047	1629	1050	769
intermédiaire	1919	1300	998	747	2170	1428	1023	734
local	2220	1609	1108	780	2443	2067	1301	1068
ANOVA	.05	.03	ns	ns	.04	<.01	<.01	<.01
comparaison post-hoc	global vs. local	inter vs. local			global vs. local	global vs. local inter vs. local inter vs. global	global vs. local inter vs. local	global vs. local inter vs. local
valeur p corrigée	$p < .01$	$p < .01$			$p = .04$	$p = .02$ $p < .01$ $p < .01$	$p < .01$ $p < .01$	$p < .01$ $p < .01$

Tableau 1. Interaction entre l'âge et le niveau hiérarchique sur les TRs dans la condition sans distracteur (baseline, à gauche) et dans la condition avec 1 à 5 distracteurs (sillance perceptive en situation de compétition, à droite). Les moyennes sont indiquées pour chaque croisement de variables, et la valeur de p indiquée pour les tests post-hoc est corrigée pour les comparaisons multiples avec la méthode de Bonferroni.

- *Essais avec cible absente*

Les TRs diminuaient avec l'âge, $F(3,84) = 27.79, p < .001, \eta_p^2 = .50$; enfants de 5 ans : 2553 ± 866 ms ; enfants de 6 ans : 2164 ± 1015 ms ; enfants de 9 ans : 1479 ± 760 ms ; adultes : 1034 ± 342 ms. L'effet principal du nombre de stimuli était également significatif, $F(3,252) = 114.89, p < .001, \eta_p^2 = .58$, les TRs augmentant avec le nombre de figures hiérarchisées (1 figure : 1336 ± 606 ms ; 2 figures : 1568 ± 742 ms ; 4 figures : 1991 ± 301 ms ; 6 figures : 2335 ± 375 ms). Le nombre de distracteurs interagissait avec l'âge, $F(9,252) = 4.75, p < .001, \eta_p^2 = .15$ (Cf. Figure 37). En effet, l'effet du nombre de distracteurs était significatif pour chaque groupe d'âge, enfants de 5 ans : $F(3,42) = 29.66, p < .001, \eta_p^2 = .68$; enfants de 6 ans : $F(3,81) = 33.39, p < .001, \eta_p^2 = .55$; enfants de 9 ans : $F(3,48) = 20.59, p < .001, \eta_p^2 = .56$; adultes : $F(3,81) = 91.13, p < .001, \eta_p^2 = .77$, et les tests de tendance ont révélé une relation linéaire entre les TRs et le nombre de distracteurs pour chacun des groupes (la tendance linéaire expliquait : 95.05% de la variance chez les enfants de 5 ans, avec une pente de recherche de 277 ± 155 ms pour chaque stimulus ajouté ; 99.66% de la variance pour les enfants de 6 ans, avec une pente de recherche de 240 ± 180 ms ; 98.28% de la variance pour les enfants de 9 ans, avec une pente de recherche de 172 ± 142 ms ; 99.06% de la variance chez les adultes, avec une pente de recherche de 172 ± 142 ms ; 99.06%). Une ANOVA unifactorielle complémentaire sur les pentes de recherche a révélé un effet principal de l'âge, $F(3,84) = 6.21, p < .001, \eta_p^2 = .18$. Les pentes de recherche étaient significativement réduites chez les adultes comparées à celles observées chez les enfants de 5 ans : différence = 166 ms, $t(41) = 5.08, p = .002, d = 1.42$, et de 6 ans : différence = 129 ms, $t(54) = 3.6, p = .005, d = 0.97$.

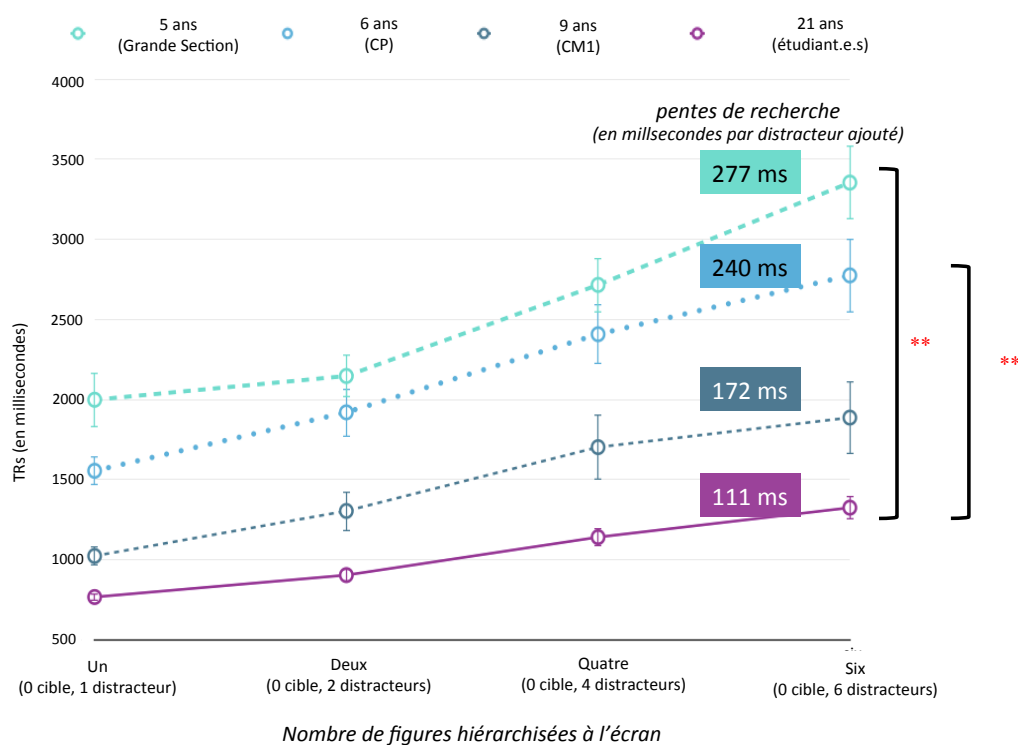


Figure 37 Interaction sur les TRs entre l'âge et le nombre de figures hiérarchisées apparaissant simultanément à l'écran dans les essais avec cible absente. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les TRs nécessaires pour répondre que la cible est absente augmentent avec le nombre de stimuli. Toutefois, les pentes de recherche ont montré que la tâche était plus difficile pour les participant.e.s les plus jeunes (5 et 6 ans) que pour les adultes, les enfants de 9 ans ayant des pentes de recherche comprises descriptivement entre les deux. Les test t corrigés en Bonferroni sont représentés. $**p < .01$

4. Discussion

Cette étude avait pour objectif d'explorer le développement de la capacité à détecter une cible à un niveau hiérarchique spécifique (global, intermédiaire ou local). L'idée était de différencier la vitesse de détection d'une cible (sensibilité perceptive) et le type de traitement attentionnel mis en place (efficacité de la recherche visuelle). En présentant des figures hiérarchisées complexes, avec plus de deux niveaux, l'idée était de dépasser la dichotomie habituelle entre le niveau global et le niveau local afin de pouvoir mesurer avec plus de finesse le développement du traitement de figures hiérarchisées. Les résultats ont montré : 1) des différences développementales dans la sensibilité perceptive entre les niveaux global et intermédiaire, le niveau local étant toujours le niveau le moins saillant quel que soit l'âge et 2) un pattern de développement stable pour le traitement attentionnel, avec des recherches efficaces et qui n'évoluent pas avec l'âge (TRs constants quel que soit le nombre de distracteurs à l'écran) pour les niveaux global et intermédiaire, et des progrès développementaux dans la détection du niveau local, qui était toutefois traité de façon peu efficace (TRs qui augmentaient avec le nombre de distracteurs) à tous les âges.

Premièrement, nos résultats ont montré que les cibles locales étaient moins saillantes que les cibles globales et intermédiaires, dès 5 ans et jusqu'à l'âge adulte, avec des TRs plus lents en comparaison des autres niveaux hiérarchiques, et davantage d'erreurs pour les enfants les plus jeunes (5 et 6 ans). Nous avons par conséquent répliqué les résultats d'études précédentes montrant l'existence d'un biais global chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire (Dukette & Stiles, 1996; Harrison & Stiles, 2009; Kimchi et al., 2005; Krupskaya & Machinskaya, 2012; Mondloch et al., 2003; Ozonoff et al., 1994; Plaisted et al., 1999). Bien que nos résultats aient montré, dans tous les groupes d'âge (de 5 à 21 ans), un désavantage dans la détection d'une cible au niveau local, nous avons observé des différences de traitement avec l'âge entre les niveaux structurels (global et intermédiaire). Les adultes et les enfants de 9 ans traitaient le niveau intermédiaire aussi rapidement que le niveau global, ce qui va dans le sens d'études précédentes indiquant que les enfants de 9 et 10 ans ont des biais perceptifs similaires à celui des adultes (Harrison & Stiles, 2009; Mondloch et al., 2003; Poirel, Mellet, et al., 2008). Le plus jeune groupe, à la fin de la cinquième année, présentait un biais global : la détection des cibles globales était plus rapide que celle des cibles locales, et la vitesse de détection des cibles intermédiaires était descriptivement comprise entre les deux. Mondloch et al. (2003) avaient déjà trouvé une sensibilité accrue au niveau global chez des enfants d'âge préscolaire qu'elles avaient mise en lien avec une moins bonne acuité et une amélioration de la sensibilité aux contrastes après 5 ans (Leat, Yadav, & Irving, 2009). Un résultat particulièrement intéressant a été observé chez les enfants de 6 ans : le niveau intermédiaire était traité plus rapidement que le niveau global et ce pattern de résultats n'était observé pour aucun des autres groupes d'âge de cette étude. La sixième année est communément considérée comme décisive dans le développement du traitement global-local (Dukette & Stiles, 1996; Poirel et al., 2011; Poirel, Mellet, et al., 2008; Vinter et al., 2010). C'est un âge où il a été rapporté d'importantes différences interindividuelles : dans une tâche d'appariement, certains enfants de 6 ans présentent ainsi un biais plutôt global et d'autres un biais plutôt local (Poirel et al., 2011, 2014). Ces importantes différences individuelles pourraient en réalité souligner que la sensibilité perceptive à cet âge précis est en faveur d'un niveau intermédiaire, entre le global et le local. Il faut noter que les enfants de 6 ans commencent tout juste l'école primaire et donc l'apprentissage intensif de la lecture, dont on sait qu'il modifie les bases neurales de la perception (Ossowski & Behrmann, in press). Des corrélations entre les performances dans des tâches de recherche visuelle et l'habilité à lire ont déjà été démontrées (Casco et al., 1998). De plus, une étude antérieure avait révélé une dissociation dans le traitement global/local entre des lettres et des figures géométriques, avec

un pattern de traitement identique à celui des adultes dès 6 ans pour les lettres mais pas pour les formes géométriques (Dukette & Stiles, 1996). Les auteures avaient justifié cette dissociation chez l'enfant par l'apprentissage de la lecture, et le fait que l'enfant acquiert à cet âge une expertise dans le traitement des lettres. Dans notre étude, les élèves de CP n'avaient qu'un an de plus que les élèves de maternelle, et pourtant le niveau le plus saillant n'était pas le même pour les deux groupes. C'est pourquoi ce changement semble lié à la capacité de lecture nouvellement acquise des élèves de CP, modifiant les biais perceptifs dans le traitement des figures hiérarchisées. En France, la méthode syllabique est prédominante dans l'enseignement de la lecture. L'ONL (Observatoire National de la Lecture) et l'IGEN (Inspection Générale de l'Éducation Nationale) ont souligné l'importance de la méthode syllabique dans leur rapport (2005): « il est indispensable qu'en grande section et en début de CP les maîtres introduisent les activités qui conduisent à segmenter les énoncés en syllabes et inversement à reconstituer des mots par association de syllabes, à reconnaître des syllabes identiques dans des contextes différents, à supprimer ou ajouter des syllabes dans des énoncés, à inverser des syllabes, à transporter des syllabes d'un mot dans un autre, etc. » (p. 23). Les élèves de CP de notre étude ont ainsi été habitués à porter leur attention sur les syllabes : or, si l'on considère le mot comme un tout global et la lettre comme le niveau le plus local dans le mot, la syllabe correspondrait à un niveau intermédiaire. Cet apprentissage syllabique renforcé pourrait donc expliquer pourquoi le niveau intermédiaire était le plus saillant, uniquement chez les élèves de CP. Cette interprétation a aussi été spontanément proposée par les enseignant.e.s de l'école à qui nous exposons les résultats en fin d'année pour les recherches expérimentales (dont celle-ci) menées avec leurs classes.

Ensuite, nos résultats ont montré un pattern développemental stable du traitement attentionnel des figures hiérarchisées : à tous les âges, les participant.e.s ont traité les cibles globales et intermédiaires de façon efficiente (avec des TRs équivalents quel que soit le nombre de distracteurs) et les cibles locales de façon moins efficiente (les TRs augmentaient linéairement avec l'augmentation du nombre de distracteurs à l'écran). Ces résultats ont répliqué les données de Kimchi et al. (2005) tout en permettant une description plus fine du fonctionnement de l'efficiency de la recherche visuelle selon le niveau hiérarchique. En intégrant un troisième niveau intermédiaire, nous avons été en mesure de confirmer l'existence d'un désavantage local plutôt que d'un avantage global durant une tâche de recherche visuelle de type *feature*, dès l'âge de 5 ans. Il a communément été montré que les tâches de type *feature* entraînent une recherche efficiente (Donnelly et al., 2007; Dye &

Bavelier, 2010; Gerhardstein & Rovee-Collier, 2002; Treisman & Gelade, 1980; Woods et al., 2013). Cette étude confirme que la position hiérarchique a un impact sur l'efficacité de cette recherche : les niveaux structurels (global et intermédiaire) sont traités de façon efficace, alors que ce n'est plus le cas pour les cibles locales.

Bien que le type de traitement (efficace pour les cibles globales et intermédiaires et moins efficace pour les cibles locales) semble rester constant durant le développement, nos résultats ont montré une amélioration avec l'âge dans la détection des cibles locales. Diriger son attention vers le niveau local semblait ainsi plus coûteux pour les jeunes participant.e.s. Le pattern développemental que nous avons observé rejoint bien les observations de Kimchi et al (2005) qui montraient des améliorations au cours du développement uniquement dans le traitement attentionnel du niveau le moins saillant. Ainsi, les enfants de 5 et 6 ans de notre étude oubliaient plus souvent les cibles locales que les adultes et les enfants de 9 ans (Cf. Figure 34, p. 162). L'autorégulation motrice et l'impulsivité des enfants progressent énormément à l'âge préscolaire (Carlson, 2005; Diamond, 2013; Garon et al., 2008; Gerardi-Caulton, 2000), et une forte amélioration dans les tâches du Stroop et des *flankers* est constatée au début de la période scolaire (Gerstadt et al., 1994; Rueda et al., 2005, 2004; Wright et al., 2003), indiquant une amélioration de l'attention exécutive chez les enfants entre 6 et 8 ans (Posner & Rothbart, 2007) qui deviennent de plus en plus efficaces pour ignorer rapidement et avec succès des stimuli non pertinents. Les enfants de 5 et 6 ans de la présente étude semblent ainsi avoir répondu de manière très impulsive lorsque les cibles apparaissaient au niveau local, ne prenant pas la peine de les chercher minutieusement. Une autre interprétation possible serait d'envisager que les enfants ne percevaient pas le niveau local, en lien avec une acuité encore immature (Leat et al., 2009). Néanmoins, dans ce cas, les enfants auraient probablement répondu soit aléatoirement, soit systématiquement « cible absente ». Or, le taux de réponses correctes dans les essais où la cible apparaissait au niveau local était significativement supérieur au niveau du hasard. C'est pourquoi nous proposons que le nombre important d'erreurs observé à 5 et 6 ans dans le traitement du niveau local résulterait de difficultés d'ordre exécutif. L'implication du contrôle inhibiteur dans le traitement global/local sera par conséquent explorée dans une autre étude développementale de cette thèse (Cf. Étude 4, p.197).

Par ailleurs, chez les plus jeunes enfants qui réussissaient la tâche, nous avons observé des pentes de recherche plus prononcées dans les essais avec cible absente (Cf. Figure 37, p. 168). Ce résultat pourrait s'expliquer de trois façons : 1) les jeunes enfants présenteraient des

difficultés accrues de désengagement attentionnel. En effet, explorer tous les items présents à l'écran nécessite de passer de l'un à l'autre rapidement, c'est-à-dire de désengager puis réengager son attention. Or le désengagement attentionnel mature tardivement, comme cela a pu être souligné dans de précédentes études (Michael et al., 2013; Waszak et al., 2010), 2) les jeunes enfants présenteraient des difficultés à inhiber les formes structurelles saillantes pour explorer toutes les formes locales. En effet, les niveaux global et local étaient traités de façon efficiente dans les essais avec cible présente, y compris chez les enfants les plus jeunes. Les difficultés constatées chez les plus jeunes dans les essais avec cible absente pourraient ainsi être liées à leur difficulté à sélectionner le niveau local en présence de niveaux hiérarchiques plus saillants, 3) les jeunes enfants manqueraient de stratégies métacognitives de planification permettant d'organiser efficacement la recherche sérielle, comme cela a été montré dans une précédente étude (Woods et al., 2013). Ces trois causes possibles interviennent probablement conjointement dans l'expression de ce résultat, et suggèrent dans tous les cas une amélioration des performances en recherche visuelle avec l'augmentation des capacités exécutives et de désengagement attentionnel.

Les données de cette expérience confirment par ailleurs, comme le suggérait Mondloch et al (2003) qu'il est possible d'observer une dissociation entre le niveau hiérarchique le plus saillant perceptivement et celui qui domine la compétition attentionnelle. Par exemple, les niveaux global et intermédiaire sont tous les deux traités de façon efficiente, néanmoins les enfants de 6 ans traitent plus rapidement le niveau intermédiaire.

Il est toutefois important de noter que la ligne développementale du traitement global/local dessinée dans cette étude est propre à une tâche de recherche visuelle (la localisation de la cible n'est pas connue et le contexte est compétitif) avec des figures hiérarchisées dont le niveau structurel est saillant (éléments denses). En effet, d'autres études ont rapporté un biais local chez les enfants d'âge préscolaire (Poirel et al., 2011, 2014; Poirel, Cassotti, et al., 2012; Vinter et al., 2010), voire même plus tardivement (Scherf et al., 2009). Toutefois, ces travaux et les résultats de la présente étude ne sont pas nécessairement incompatibles : en effet, les processus mis en jeu dans les différentes tâches utilisées chez l'enfant (appariement de figures, reproduction de dessin, détection de différences...) sont variés : l'avantage pour le traitement structurel (global et intermédiaire) que nous avons observé dans une tâche simple de détection pourrait ainsi très bien évoluer vers un biais plus local lors de traitements plus complexes impliquant l'identification, la comparaison ou la copie de figures, qui renforcent peut-être une analyse du niveau local chez l'enfant. De plus, le type de matériel utilisé semble

également impacter les performances : par exemple, la densité des figures hiérarchisées a un impact sur la saillance du niveau global (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Kimchi et al., 2005), et cela d'autant plus que les enfants sont jeunes. Nous explorerons l'impact de la densité des figures hiérarchisées sur le traitement global/local dans une prochaine étude en développement (Cf. Étude 4, p. 197).

Montessori (1949) soulignait les effets nocifs d'une surabondance des décorations dans les salles de classe. Fisher et al. (2014) ont démontré qu'en effet, les environnements visuels dans les salles de classe sont le plus souvent très riches et contiennent parfois trop de sources de distraction, ce qui peut avoir une influence sur la capacité des enfants à engager leur attention vers la tâche pertinente. La présente étude a ainsi révélé un coût cognitif plus important chez les enfants âgés de 5 à 6 ans en comparaison des adultes pour focaliser leur attention sur les détails de l'information visuelle, confirmant la nécessité d'éviter des sources de distraction provenant du niveau global. Des applications pédagogiques pourraient être proposées au regard de ces résultats. Par exemple, lorsqu'il est demandé aux enfants de porter leur attention sur des détails (comme une lettre ou un mot sur un tableau rempli d'informations) il serait approprié de les aider avec des points de repère visuels. Il serait également intéressant d'utiliser les capacités précoces de groupement des informations visuelles en organisant les contenus pédagogiques en structures clairement identifiables. Dans une société dans laquelle les environnements numériques de type écrans vont devenir de plus en plus importants dans les apprentissages, il semble ainsi essentiel d'aider les enfants à focaliser leur attention sur les informations visuelles pertinentes lorsqu'elles apparaissent simultanément à l'écran avec des informations non-pertinentes.

5. Conclusion

La présente étude a révélé, grâce à l'utilisation d'une tâche de recherche visuelle avec des figures composées de trois niveaux hiérarchiques, qu'une cible n'est pas détectée avec la même rapidité au cours du développement selon sa localisation hiérarchique (globale, intermédiaire ou locale). Les enfants de 9 ans présentaient un pattern similaire aux adultes, avec une saillance générale de la structure (à la fois le niveau global et le niveau intermédiaire) alors que les enfants de 5 ans montraient un avantage global (le niveau global était traité plus rapidement que le niveau local et la vitesse de traitement du niveau

intermédiaire était comprise entre les deux). Enfin, le niveau intermédiaire était le plus saillant pour les enfants de 6 ans, suivi par le niveau global puis le niveau local, ce qui suggère que l'apprentissage de la lecture impacte la saillance des items. Bien que des travaux supplémentaires soient nécessaires pour confirmer cette hypothèse, nous avons suggéré un lien entre la saillance du niveau intermédiaire à 6 ans et le fait que les enfants français apprennent à lire essentiellement avec la méthode syllabique au CP (niveau intermédiaire de la syllabe par rapport à la lettre et au mot). Par ailleurs, les résultats ont montré un pattern stable de développement du traitement attentionnel global/local dans un contexte compétitif. Les enfants dès 5 ans traitaient l'information visuelle (aux niveaux global et intermédiaire) de façon efficiente alors que les détails locaux étaient désavantagés durant la compétition pour les ressources attentionnelles. Bien que les adultes et les enfants de 9 ans présentent également un traitement local peu efficient, le coût cognitif nécessaire à la sélection d'une cible locale semble décroître avec l'âge (réduction du taux d'erreurs locales et des pentes de recherche dans les essais où la cible est absente), probablement en lien avec le développement exécutif. Ces données pourraient avoir des implications pédagogiques concernant l'organisation du matériel visuel présenté aux enfants.

**AXE 2 : L'INHIBITION, UN
PROCESSUS AU CŒUR DU
TRAITEMENT GLOBAL-LOCAL**

ÉTUDE 3

MISE EN ÉVIDENCE DE L'INHIBITION DU NIVEAU GLOBAL LORS DE LA SÉLECTION D'UNE INFORMATION LOCALE
ÉTUDE EN AMORÇAGE NÉGATIF CHEZ L'ADULTE.

RÉSUMÉ : De nombreuses données indiquent que le traitement de l'information locale est ralenti en présence d'une information globale conflictuelle. Dans cette étude, nous avons cherché à savoir si l'inhibition de l'information globale est nécessaire pour sélectionner une information locale pertinente. Pour cela, nous avons utilisé un paradigme d'amorçage négatif, seule mesure comportementale permettant de révéler la trace d'un tel processus d'inhibition. Les résultats des trois expériences de cette étude démontrent, pour la première fois, que le niveau global véhiculant une information distractive est bien inhibé lors de la sélection locale, alors que l'inverse n'est pas vrai. Grâce aux différentes expériences de cette étude, nous avons pu montrer que les théories expliquant l'effet d'amorçage négatif par la récupération mnésique ou le ralentissement post-conflit ne peuvent rendre compte de nos résultats, et que l'effet d'amorçage négatif que nous avons observé est bien la signature du contrôle inhibiteur nécessaire à la suppression de l'information saillante globale. Ces données ont des implications directes pour les modèles de la reconnaissance visuelle et les modèles attentionnels.

Cette étude a fait l'objet d'une publication:

Poirel, N., **Krakowski, C.-S.**, Sayah, S., Pineau, A., Houdé, O., & Borst, G. (2014). Do you want to see the tree? Ignore the forest: Inhibitory control during local processing: A negative priming study of local-global processing. *Experimental Psychology*, 61(3), 205-214.

1. Introduction

Comme nous l'avons montré dans notre étude précédente en recherche visuelle (Cf. Étude 1, p. 127), il semblerait que l'information locale soit toujours défavorisée dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles lorsqu'elle apparaît en présence d'informations plus structurales. De nombreuses études ont suggéré que l'information globale, particulièrement saillante, serait identifiée automatiquement (Kimchi, 1992; Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008; Ripoll et al., 2005), ce qui nécessiterait sa suppression lors de la sélection locale quand les contenus présents aux deux niveaux hiérarchiques sont en conflit (Beaucousin et al., 2013; Dulaney & Marks, 2007; Mevorach et al., 2010; Stablum et al., 2001; Weissman et al., 2003). Toutefois, aucune étude n'a véritablement démontré : 1) que l'inhibition est nécessaire dans le traitement d'une figure hiérarchisée lorsque l'information locale et globale sont en conflit et 2) que le contrôle inhibiteur varie bien selon le niveau hiérarchique vers lequel l'attention est dirigée (global ou local).

Nous avons donc adapté une tâche de type Navon pour créer un paradigme d'amorçage négatif. L'effet d'amorçage négatif, correspondant à un ralentissement des réponses à une cible qui était précédemment un distracteur, illustrerait le coût cognitif lié à la levée d'inhibition (Borst, Poirel, Pineau, Cassotti, & Houdé, 2012; Houdé, 2001; Houdé & Guichart, 2001; Tipper, 2001).

Conformément à l'effet de précedence globale, nous faisons l'hypothèse que l'inhibition serait nécessaire lors de la sélection locale mais pas lors de la sélection globale car l'information globale interfère avec l'information locale alors que l'information locale interfère peu avec le traitement global.

Dans le cadre d'une présentation successive de deux stimuli (une amorce puis une « probe »), la logique de cette étude est la suivante : si une lettre globale distractrice doit être inhibée lors de la présentation de l'amorce afin que le traitement local soit possible, alors l'identification de cette même lettre présentée au niveau local lors de la présentation de la probe sera ralentie. En revanche, l'inhibition d'une information locale n'apparaissant pas nécessaire pour traiter l'information globale, l'identification de la lettre globale en probe ne devrait pas être ralentie lorsqu'une lettre identique a été présentée précédemment au niveau distracteur local en amorce.

Enfin, les participant.e.s qui ont été les plus ralenti.e.s par les distracteurs globaux en amorce devraient avoir besoin de mettre en œuvre davantage d'inhibition pour traiter les cibles locales. Dans ce cas, l'amplitude de l'effet d'interférence en amorce devrait être corrélée avec l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif en probe, uniquement pour la tâche locale (interférence globale) et non pour la tâche globale (interférence locale).

2. Expérience 1

2.1 Méthode

La tâche était présentée sur un écran d'ordinateur portable de 15 pouces (taux de rafraîchissement : 60 Hz) et fonctionnait sous une application du logiciel E-Prime 2 (Psychology Software Tools). La distance à l'écran était d'environ 60 cm. Tous les éléments locaux remplissaient un rectangle de 0.5° sur 0.4° de large. Les éléments globaux faisaient 5.2° de haut et 4.4° de large. Quarante-sept volontaires, étudiant.e.s de l'Université Paris Descartes (40 femmes et 7 hommes, moyenne d'âge: 21.7 ans, 45 droitier.e.s), ayant une vision normale ou correctement corrigée, ont participé à cette expérience. À chaque essai, deux figures hiérarchisées étaient présentées séquentiellement, (Cf. Figure 38). La première figure servait d'amorce, et la seconde de probe. Pour chaque figure hiérarchisée (amorce et probe), les participant.e.s devaient indiquer, en pressant sur le bouton adapté le plus rapidement et correctement possible, si la lettre apparaissant au niveau cible était un « H » ou un « R ». Deux types de figures hiérarchisées pouvaient être présentés : des figures neutres contenant les lettres A, D, F, K, P, T, V ou Z au niveau non-pertinent ou des figures conflictuelles dans lesquelles la lettre présente au niveau non-pertinent correspondait à une des réponses possibles de la tâche (H si la cible était un R et R si la cible était un H).

Chaque participant.e devait porter son attention soit au niveau global, soit au niveau local des figures hiérarchisées. Trois types d'essais étaient utilisés : des essais contrôle, des essais test et des essais *filler* (« de remplissage ») (Cf. Figure 38). Dans les essais test, une figure hiérarchisée présentant un conflit potentiel au niveau non pertinent était présentée en amorce alors que ce même niveau représentait une lettre neutre en probe. La lettre distractive apparaissant au niveau non-pertinent en amorce devenait la lettre cible apparaissant au niveau pertinent en probe. Dans les essais contrôle, les figures hiérarchisées présentées en amorce et en probe étaient neutres et les réponses attendues n'étaient pas les mêmes en amorce et en

probe. Afin d'éviter que les participant.e.s ne puissent élaborer des stratégies de réponse, des essais *filler* ont été ajoutés. Dans ces essais, contrairement aux essais contrôle et test, la réponse motrice était identique en amorce et en probe (« H » puis « H » ou « R » puis « R »), et des stimuli conflictuels étaient présentés en probe.

Chaque participant.e réalisait 48 essais (16 essais test, 16 essais contrôle et 16 essais filler). Dans chaque essai, un point de fixation était présenté durant 750 ms. Une lettre hiérarchisée apparaissait ensuite au centre de l'écran durant 40 ms (amorce), suivie par un écran blanc de 1500 ms. La seconde lettre hiérarchisée était ensuite présentée au centre de l'écran durant 40 ms, suivie d'un point de fixation qui restait à l'écran jusqu'à ce que le/la participant.e ait donné sa réponse. Un masque visuel était présenté 3 secondes entre chaque essai afin d'éviter tout transfert entre la probe d'un essai et l'amorce de l'essai suivant. Les participant.e.s réalisaient 4 essais d'entraînement au début de l'expérience.

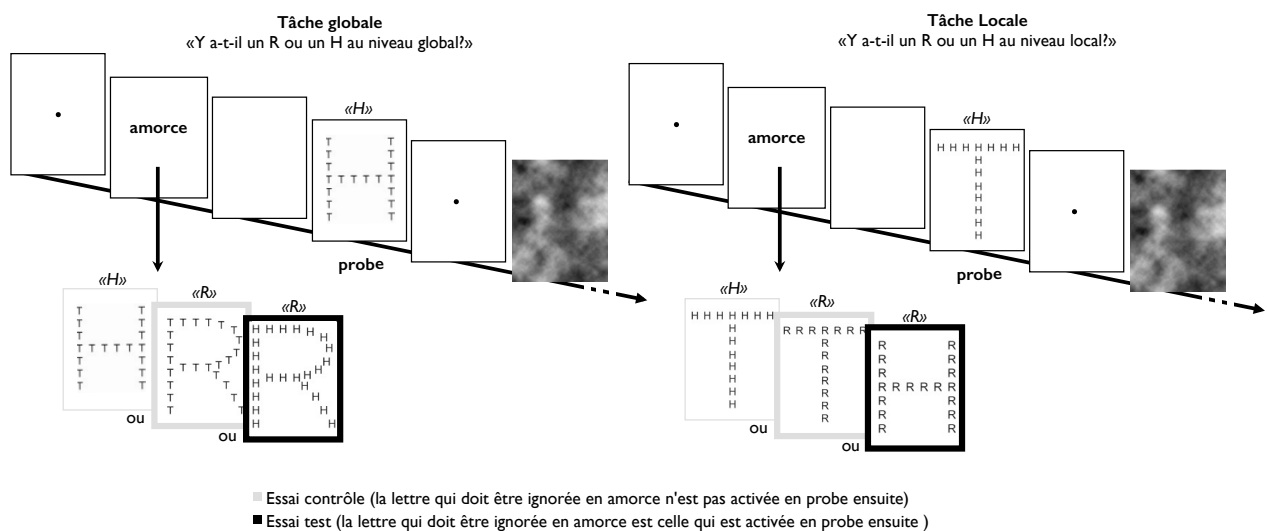


Figure 38. Paradigme expérimental de l'Expérience 1. Les participant.e.s devaient prêter attention au niveau global (à gauche) ou local (à droite) et décider si un H ou un R apparaissait au niveau demandé. Les probe étaient toujours constituées de figures hiérarchisées neutres (la lettre au niveau non-pertinent ne correspondait pas à une réponse possible). En revanche, le type de figure hiérarchisée présentée en amorce était manipulé : figure neutre, figure conflictuelle (la lettre au niveau non-pertinent correspond à la lettre cible qui devra ensuite être sélectionnée en probe), figure « filler » (permettant de contrebalancer l'ordre des items et le type de réponses pour éviter la mise en place de stratégies).

2.2 Résultats

Nous avons conduit deux ANOVA mixtes, une sur le taux de réponses correctes et une sur les TRs pour les réponses correctes, avec 2 modalités emboîtées pour le niveau hiérarchique d'apparition de la cible (global ou local) × 2 modalités croisées pour le type d'essai (contrôle ou test). Lorsque nous avons comparé deux moyennes, nous avons calculé des tests de

student, et corrigé les valeurs de p pour des comparaisons multiples avec la méthode Bonferroni. Enfin, nous avons calculé des corrélations entre l'amplitude de l'effet d'interférence sur les amorces et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif sur les probes.

- *Résultats en amorce*

L'ANOVA sur les TRs a révélé que les participant.e.s traitaient les lettres globales (540 ± 19 ms) plus rapidement que les lettres locales (645 ± 17 ms), $F(1, 45) = 8.41, p = .006, \eta_p^2 = .16$, et identifiaient la lettre cible plus rapidement dans les essais contrôle (586 ± 20 ms) que dans les essais test (596 ± 20 ms), $F(1,45) = 6.51, p = .01, \eta_p^2 = .13$. Nous avons observé une interaction entre le niveau hiérarchique et le type d'essai, $F(1, 45) = 4.04, p = .05, \eta_p^2 = .08$: les participant.e.s identifiaient plus lentement les lettres locales dans les essais test (lettres hiérarchiques interférentes : 654 ± 24 ms) que dans les essais contrôle (lettres hiérarchiques neutres : 636 ± 23 ms), $t(22) = 3.47, p = .004, d = .16$, indiquant une forte interférence du niveau global non-pertinent lors de la sélection d'une cible locale. Quand les participant.e.s prêtaient attention aux lettres globales, les TRs étaient équivalents dans la condition test (541 ± 27 ms) et contrôle (538 ± 28 ms), $t < 1$, indiquant une absence d'interférence du niveau local non-pertinent lors de la sélection d'une cible globale.

L'ANOVA sur le taux de réponses correctes n'a pas révélé d'effet significatif du niveau hiérarchique, $F(1, 45) = 3.29, p = .07$. Un effet principal du type d'essai a en revanche été trouvé, $F(1, 45) = 4.14, p = .05, \eta_p^2 = .08$, avec davantage de réponses correctes pour les essais contrôle ($95.6 \% \pm 0.8$) que pour les essais test ($93.1 \% \pm 1.2$). L'interaction entre le niveau hiérarchique et le type d'essais était significative, $F(1,45) = 5.01, p = .03, \eta_p^2 = .10$, caractérisée par davantage de réponses locales correctes aux essais contrôle ($95.7 \% \pm 1$) qu'aux essais tests ($90.2 \% \pm 2.3$), $t(22) = 2.51, p = .04, d = .70$, indiquant un effet d'interférence du niveau global non-pertinent sur la sélection locale allant dans le même sens que les résultats obtenus avec les TRs. D'un autre côté, les participant.e.s répondaient tout aussi correctement à une cible globale dans la condition test ($95.8 \% \pm 0.8$) que dans la condition contrôle ($95.6 \% \pm 1.1$), $t < 1$.

- *Résultats en probe*

Les résultats de l'ANOVA sur les TRs ont montré que les participant.e.s traitaient les lettres globales (480 ± 15 ms) plus rapidement que les lettres locales (569 ± 14 ms), $F(1,45) = 9.71, p = .003, \eta_p^2 = .18$, et identifiaient les lettres cibles plus rapidement dans les essais contrôle (520 ± 15 ms) que dans les essais test (528 ± 17 ms), $F(1,45) = 4.32, p = .04, \eta_p^2 =$

.09. Une interaction significative entre le niveau hiérarchique et le type d'essais a été trouvée, $F(1, 45) = 23.10, p < .0001, \eta_p^2 = .34$: les lettres locales ont été identifiées plus lentement durant les essais test (583 ± 20 ms) que durant les essais contrôle (555 ± 20 ms), $t(22) = 4.56, p = .0004, d = .29$, reflétant un effet d'amorçage négatif typique. En revanche, les lettres globales étaient identifiées aussi rapidement durant les essais test (474 ± 21 ms) que durant les essais contrôle (485 ± 20 ms), $t(23) = 2.07, p = .10$ (Cf. Figure 39). Ainsi, les participant.e.s qui devaient traiter le niveau local identifiaient la lettre-cible locale plus lentement en probe lorsqu'elle correspondait à la lettre présentée durant l'amorce au niveau global (qui devait être ignoré). Cet effet n'était pas présent lorsque les participant.e.s devaient traiter la lettre au niveau global.

Enfin, l'ANOVA sur le taux de réponses correctes n'a pas révélé d'effet du niveau, $F < 1$, du type d'essai, $F < 1$, ni d'interaction entre le niveau et le type d'essai, $F(1,45) = 1.36, p = .25$. Les participant.e.s répondaient très justement dans toutes les conditions (essais test en global : 94.5 ± 1.2 % de réponses correctes, essais contrôle en global : 95.6 ± 1 %, essais test en local : 96.5 ± 1 %, essais contrôle en local : 95.1 ± 1.1 %). Ces résultats sur le taux de réponses correctes suggèrent que l'effet d'amorçage négatif révélé sur les TRs au niveau local n'est pas la conséquence d'un ajustement entre la vitesse et la justesse de la réponse (*speed-accuracy tradeoff*).

- Essai contrôle (la lettre qui doit être ignorée en amorce n'est pas activée en probe ensuite)
- Essai test (la lettre qui doit être ignorée en amorce est celle qui est activée en probe ensuite)

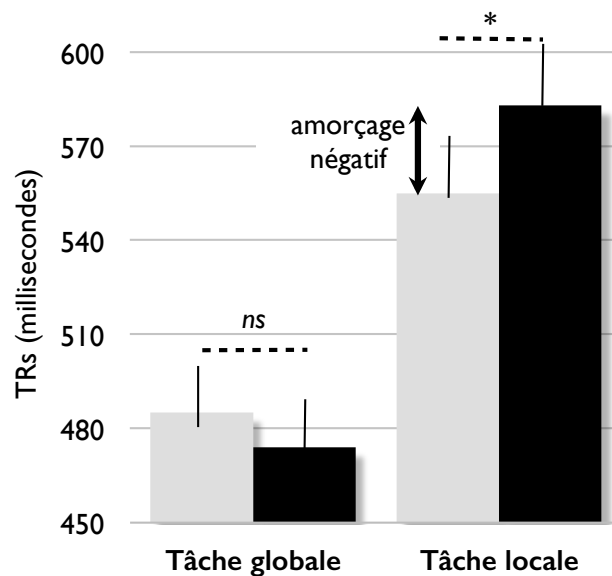


Figure 39. Interaction entre le niveau hiérarchique (global ou local) et le type d'essais (contrôle ou test) sur les TRs pour les réponses correctes en probe. Les moyennes et les erreurs standard à la moyenne (SEM) sont représentées pour chaque croisement de variables. Lors du traitement d'une même figure neutre en probe, un ralentissement était observé dans la tâche locale lorsque la cible correspondait au distracteur qui avait dû être inhibé précédemment au niveau global. Ce ralentissement correspondait à un effet classique d'amorçage négatif.

- *Analyses corrélationnelles*

Afin de savoir si l'effet d'amorçage négatif qui a été mis en évidence durant le traitement du niveau local en probe était la signature du contrôle inhibiteur nécessaire pour résister à l'interférence de l'information globale en amorce, comme cela est suggéré par l'analyse des TRs et du taux de réponses correctes, nous avons examiné les corrélations entre l'amplitude de l'effet d'interférence et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif dans les deux groupes de participant.e.s (global et local). Pour chaque participant.e, nous avons calculé : 1) un score d'interférence en soustrayant la moyenne des TRs (pour les réponses correctes) sur les essais contrôle en amorce de celle sur les essais test en amorce, 2) un score d'amorçage négatif en soustrayant la moyenne des TRs (pour les réponses correctes) sur les essais contrôle en probe de celle sur les essais test en probe. Conformément à nos hypothèses, les scores d'interférence étaient corrélés aux scores d'amorçage négatif chez les participant.e.s qui devaient traiter l'information locale, $r(21) = .43, p = .04$, mais aucune corrélation n'était trouvée chez les participant.e.s devant traiter l'information globale, $r(22) = .15, p = .48$.

2.3 Discussion

Conformément aux données classiques observées dans la littérature (Dulaney & Marks, 2007; Hughes et al., 1996; Kimchi, 1992; Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008), nous avons trouvé un effet de précéence globale en amorce. Tout d'abord, les participant.e.s étaient plus rapides pour identifier les lettres au niveau global qu'au niveau local. Ensuite, les lettres globales interféraient avec l'identification des lettres locales, mais les lettres locales n'avaient pas d'impact significatif sur l'identification des lettres globales. Comme nous en avions fait l'hypothèse, l'effet d'amorçage négatif n'a été mis en évidence que lorsque les participant.e.s devaient identifier la lettre locale. De plus, l'amplitude de l'effet d'interférence en amorce était corrélée à l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif en probe, uniquement dans la tâche locale. L'ensemble de ces résultats suggère que lorsque les informations locale et globale sont en conflit l'une avec l'autre, l'information globale doit être inhibée pour que la sélection locale soit possible, mais en revanche l'information locale ne doit pas être inhibée pour sélectionner l'information globale. Ces données semblent confirmer, dans le traitement global-local, l'idée que l'information la plus saillante bénéficie d'un traitement privilégiée dans la compétition pour l'octroi de ressources attentionnelles (Fecteau & Munoz, 2006; Koch & Ullman, 1985; Theeuwes, 2010) et qu'elle doit être inhibée pour sélectionner une information moins saillante (Houghton & Tipper, 1994; Treisman & Sato, 1990).

Toutefois, de nombreuses théories ont proposé des explications alternatives de l'effet d'amorçage négatif, qui est alors considéré comme l'expression d'un conflit entre une information qui est à la fois ancienne et nouvelle (Milliken et al., 1998) ou comme un transfert de traitement inadapté entre l'amorce et la probe (Neill & Mathis, 1998). Afin de montrer que ces théories ne peuvent à elles seules rendre compte de nos résultats, nous avons mené une expérience additionnelle. L'idée principale de cette expérience est de savoir si un effet d'amorçage négatif peut être retrouvé même lorsque les items en amorce et en probe ne sont pas identiques, à partir du moment où un conflit a bien eu lieu entre les deux niveaux hiérarchiques en amorce.

3. Expérience 2

Un paradigme similaire à celui de l'Expérience 1 a été utilisé dans l'Expérience 2, mais un nouveau type d'essai a été ajouté (essai de contrôle du conflit, Cf. Figure 40). Dans les essais de contrôle du conflit, des figures hiérarchisées conflictuelles étaient présentées durant les amorces, suivies en probe par des figures hiérarchisées neutres. Toutefois, contrairement aux essais test, les lettres présentées au niveau non-pertinent en amorce n'étaient pas identiques aux lettres cibles de la probe. Afin de créer ce type d'essai, nous avons donc rajouté une nouvelle lettre dans les choix de réponses possibles des participant.e.s. Ainsi, les participant.e.s devaient identifier si la lettre présentée au niveau hiérarchique d'intérêt était un « H », un « R » ou un « K ».

Si l'effet d'amorçage négatif révélé dans l'Expérience 1 reflète l'inhibition d'une information conflictuelle présentée au niveau global non-pertinent (que cette information soit ou non celle qui doit être activée ensuite en probe), alors les participant.e.s devraient être ralenti.e.s en probe dans les essais de contrôle du conflit par rapport aux essais contrôle dans la tâche locale. Les données de la littérature montrent que l'information globale saillante serait identifiée automatiquement durant la sélection locale (Beaucousin et al., 2011; Poirel, Pineau, et al., 2008; Ripoll et al., 2005). On peut donc faire l'hypothèse suivante : lorsque le niveau non-pertinent global correspond à une réponse possible, l'inhibition du niveau global serait initiée afin d'éviter une réponse incorrecte durant le traitement local. Dans ce cas, les TRs devraient être ralentis en probe à la fois dans les essais de contrôle du conflit et dans les essais test par rapport aux essais contrôle (effet d'amorçage négatif) dans la tâche locale mais non dans la tâche globale. De plus, si l'effet d'amorçage négatif reflète l'inhibition du niveau

global non-pertinent durant la sélection locale, alors l'amplitude de l'effet d'interférence en amorce devrait être corrélée à l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif en probe à la fois pour les essais de contrôle du conflit et les essais test.

3.1 Méthode

Trente-deux volontaires, étudiant.e.s de l'Université Paris Descartes (15 femmes et 17 hommes, moyenne d'âge: 20.5 ans, 24 droitier.e.s), ayant une vision normale ou correctement corrigée, ont participé à cette nouvelle expérience. Aucun de ces volontaires n'avait participé à l'Expérience 1.

Les conditions d'apparition des items étaient identiques à celles de l'Expérience 1. Deux groupes de participant.e.s étaient constitués : l'un devait identifier la lettre globale, l'autre la lettre locale. Contrairement à l'Expérience 1, trois réponses étaient possibles : les participant.e.s devaient indiquer le plus vite et le plus justement possible pour chaque figure hiérarchisée si la lettre apparaissant au niveau cible était un « R », un « H » ou un « K » en appuyant sur un des trois boutons de réponse du boîtier.

Quatre types d'essais étaient présentés : contrôle, contrôle du conflit, test, et filler (Cf. Figure 40). Les essais contrôle, test, et filler étaient identiques à ceux de l'Expérience 1. Dans les essais de contrôle du conflit, une figure hiérarchisée interférente servait d'amorce (par exemple, durant la tâche locale, un « K » global composé de « R » au niveau local, Cf. Figure 40, à droite), et une figure hiérarchisée neutre était présentée ensuite en probe (par exemple, un « T » global composé de « H » au niveau local, Cf. Figure 40). La lettre cible en probe n'était pas identique à celle présentée au niveau non-pertinent en amorce.

Chaque participant.e réalisaient 72 essais (18 essais contrôle, 18 essais de contrôle du conflit, 18 essais test et 18 essais filler), suivant la même procédure expérimentale que celle de l'Expérience 1. Les participant.e.s réalisaient 8 essais d'entraînement au début de l'expérience.

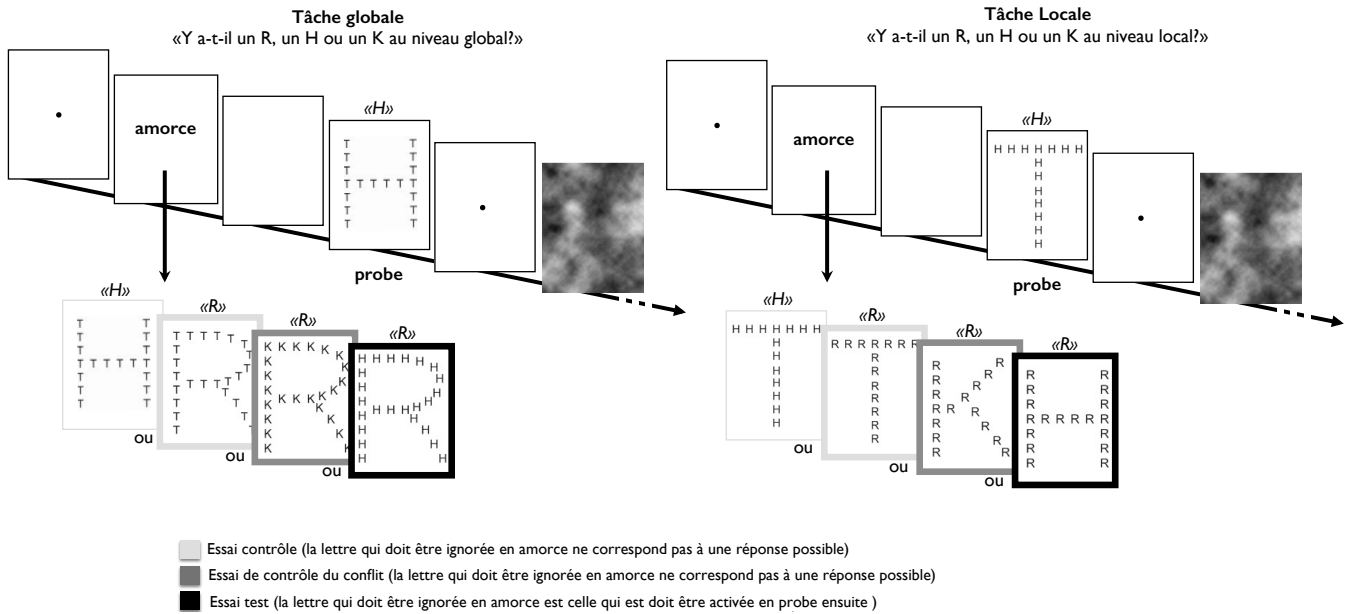


Figure 40. Paradigme expérimental de l'Expérience 2. Les participant.e.s avaient trois choix de réponse et devaient décider si un H, un R ou bien un K apparaissait au niveau demandé. Par rapport à l'Expérience 1, une condition expérimentale a été ajoutée : la condition de contrôle du conflit dans laquelle l'amorce contenait une lettre conflictuelle au niveau non pertinent, qui, contrairement à la condition test, n'était pas identique à la lettre qui devait être sélectionnée en probe au niveau pertinent.

3.2 Résultats

Deux ANOVA mixtes ont été réalisées à la fois pour les amorces et pour les probes: une sur les TRs pour les réponses correctes et une sur le taux de réponses correctes, avec 2 modalités emboîtées pour le niveau hiérarchique (global ou local) x 3 modalités croisées pour le type d'essai (contrôle, contrôle du conflit ou test). Des comparaisons planifiées ont été réalisées pour les tests post-hoc.

- Résultats pour les amorces

L'ANOVA sur les TRs pour les réponses correctes a révélé que les participant.e.s traitaient les lettres globales (578 ± 21 ms) plus rapidement que les lettres locales (691 ± 21 ms), $F(1, 30) = 14.54$, $p = .0006$, $\eta_p^2 = .33$, et les participant.e.s identifiaient la lettre cible plus rapidement dans les essais contrôle (615 ± 16 ms) que dans les essais de contrôle du conflit et les essais test (645 ± 17 ms et 644 ± 17 ms, respectivement), $F(2, 60) = 3.14$, $p = .05$, $\eta_p^2 = .10$. L'interaction du niveau hiérarchique et du type d'essai tendait à être significative, $F(2, 60) = 2.68$, $p = .07$, $\eta_p^2 = .08$. Les participant.e.s identifiaient les lettres locales plus lentement dans les essais de contrôle du conflit (712 ± 23 ms) et dans les essais test (706 ± 24 ms) que dans les essais contrôle (653 ± 23 ms, $p = .01$, $d = .56$ and $p = .02$, $d = .50$, respectivement),

révélant une interférence forte du niveau non-pertinent global lors de la sélection de l'information locale. Toutefois lorsque les participant.e.s devaient porter attention aux lettres globales, les TRs étaient équivalents pour identifier la lettre cible globale dans les essais contrôle (576 ± 23 ms), les essais de contrôle du conflit (577 ± 24 ms) et les essais test (581 ± 24 ms, toutes les valeurs de $p > .05$), révélant une absence d'interférence du niveau non-pertinent local sur la sélection d'une cible globale. Une ANOVA additionnelle incluant le genre des participant.e.s n'a révélé aucune différence significative entre les hommes et les femmes sur les TRs, $F(1, 28) = 1.57, p = .22$, et une absence d'interaction avec les autres variables expérimentales (toutes les valeurs de $p > .05$).

L'ANOVA réalisé sur le taux de réponses correctes n'a révélé aucun effet principal du niveau hiérarchique, $F < 1$, ni du type d'essai, $F < 1$, et aucune interaction entre le niveau hiérarchique et le type d'essai, $F(2,60) = 2.62, p = .09$.

- *Résultats pour les probes*

L'ANOVA sur les TRs pour les réponses correctes a révélé que les participant.e.s traitaient les lettres globales (549 ± 24 ms) plus rapidement que les lettres locales (667 ± 24 ms), $F(1,30) = 12.78, p = .001, \eta_p^2 = .30$. L'effet principal du type d'essai n'était pas significatif (599 ± 16 ms, 614 ± 17 ms, et 611 ± 19 ms pour les essais contrôle, de contrôle du conflit et test, respectivement), $F(2,60) = 1.10, p = .34$. L'interaction entre le niveau x le type d'essai était significative, $F(2, 60) = 3.24, p = .04, \eta_p^2 = .10$; les lettres locales étaient identifiées plus lentement dans les essais de contrôle du conflit (679 ± 25 ms) et dans les essais test (680 ± 27 ms) que dans les essais contrôle (643 ± 22 ms, $p = .009, d = .37$, et $p = .05, d = .34$, respectivement), reflétant un effet d'amorçage négatif typique à la fois dans les essais test et dans les essais de contrôle du conflit. Toutefois, les TRs entre les essais contrôle (555 ± 23 ms), de contrôle du conflit (549 ± 25 ms) et test (541 ± 27 ms) n'étaient pas significativement différents durant la tâche globale (toutes les valeurs de $p > .05$). Ainsi, les participant.e.s identifiaient la lettre locale plus lentement si une lettre pertinente pour la tâche (associée à une des réponses possibles) avait été présentée auparavant au niveau global en amorce, même si cette lettre conflictuelle globale n'était pas identique à la lettre cible locale de la probe. Cet effet n'était pas retrouvé dans le traitement global (Cf. Figure 41). Une ANOVA supplémentaire incluant le genre n'a révélé aucune différence de TRs entre les hommes et les femmes en probe, $F(1, 28) = .12, p = .73$, et pas d'interaction avec les autres facteurs expérimentaux (toutes les valeurs de $p > .05$).

L'ANOVA sur le taux de réponses correctes n'a pas montré d'effet principal significatif du niveau hiérarchique, $F < 1$, ou du type d'essai, $F < 1$, ni de l'interaction entre le niveau et le type d'essai, $F(2, 60) = 1.17, p = .32$.

- *Analyses corrélacionnelles*

Lorsque les participant.e.s devaient traiter l'information locale, une corrélation était retrouvée dans les essais de contrôle du conflit entre l'amplitude de l'effet d'interférence en amorce (soustraction, pour chaque participant.e, de la moyenne des TRs pour le traitement des figures neutres des items contrôle à la moyenne des TRs pour le traitement des figures interférentes dans les essais de contrôle du conflit) et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif en probe (soustraction, pour chaque participant.e, de la moyenne des TRs pour le traitement des figures neutres des items contrôle à la moyenne des TRs pour le traitement des figures neutres dans les essais de contrôle du conflit), $r(14) = .69, p = .003$. Une telle corrélation était également retrouvée pour les essais tests), $r(14) = .71, p = .002$. En revanche, une telle relation entre l'amplitude de l'effet d'interférence et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif n'était pas retrouvée pour la tâche globale dans les essais de contrôle du conflit et les essais test, $r(14) = -0.33, p = .22$ et $r(14) = .16, p = .56$ respectivement.

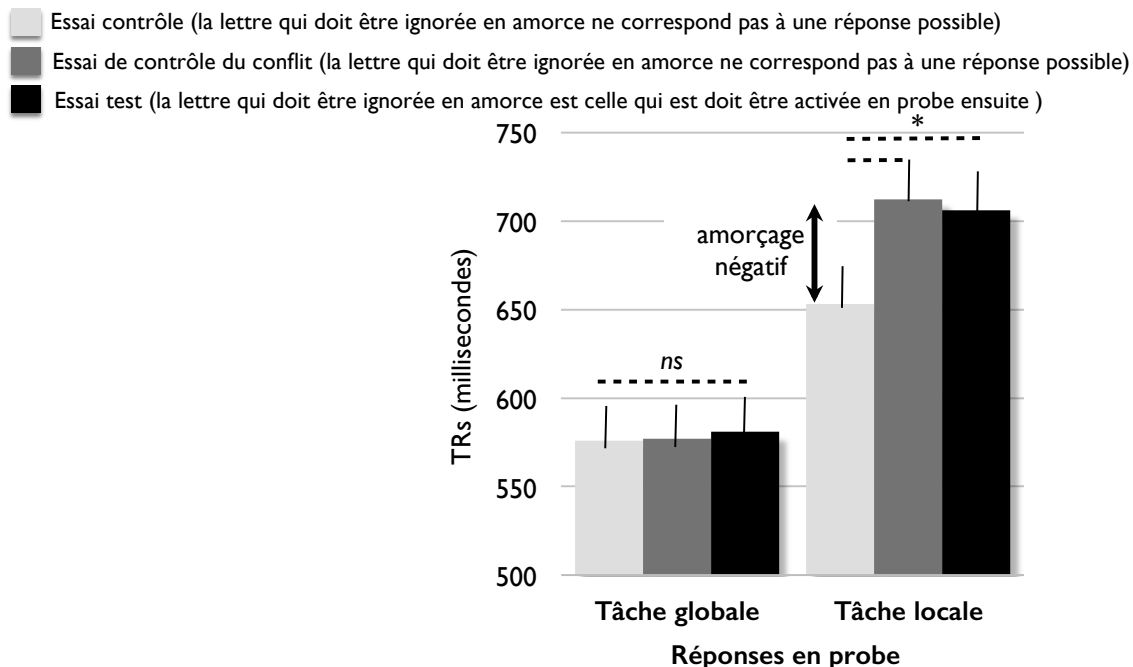


Figure 41. Interaction entre le niveau hiérarchique (global ou local) et le type d'essai sur les TRs pour les réponses correctes en probe. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. La sélection globale n'est pas significativement différente selon le type d'items présenté en amorce ; en revanche, un ralentissement est observé au niveau local dès lors qu'un conflit a eu lieu en amorce (essai test et essai de contrôle du conflit). Ce ralentissement correspond à un effet classique d'amorçage négatif.

3.3 Discussion

Les résultats de l'Expérience 1 montrant un effet classique de précedence globale en amorce et effet d'amorçage négatif en probe lors de la sélection locale ont été répliqués.

En amorce, les participant.e.s présentaient un avantage global, le niveau global étant traité plus rapidement que le niveau local, ainsi qu'une interférence globale, l'identification des lettres locales étant ralentie en présence d'une lettre globale conflictuelle (c'est-à-dire d'une lettre correspondant à l'une des deux autres réponses motrices possibles). En probe, comme dans l'Expérience 1, un ralentissement était observé dans l'identification d'une lettre locale lorsque celle-ci avait été présentée durant l'amorce au niveau global. Néanmoins, cette nouvelle expérience a montré que l'effet d'amorçage négatif n'est pas spécifique à cette situation.

En effet, l'effet d'amorçage négatif dû à l'inhibition de l'information présente au niveau global était observé dès lors qu'un conflit était présent en amorce entre le niveau global et le niveau local (essais de contrôle du conflit), même lorsque la lettre locale en probe n'était pas la lettre présentée en amorce au niveau global non-pertinent. Enfin, dans les deux conditions, l'amplitude de l'effet d'interférence était fortement corrélée à l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif dans la tâche locale, mais pas dans la tâche globale. L'ensemble de ces résultats suggère que l'information présente au niveau hiérarchique global doit être inhibée afin de sélectionner l'information locale, alors que l'inhibition du niveau local ne serait pas nécessaire pour sélectionner le niveau global.

Les données obtenues dans cette nouvelle expérience invalident une explication de l'effet d'amorçage négatif dans notre tâche en termes de récupération mnésique (Frings & Schneider, 2015; Milliken et al., 1998; Neill & Mathis, 1998). En effet, l'amorçage négatif est observé dans la sélection locale même lorsque la lettre à activer n'est pas celle qui a dû être inhibée auparavant. Ainsi, l'effet que nous avons observé semble bien résulter d'une inhibition du niveau global (en tant que tel) en cas de conflit.

Toutefois, on pourrait suggérer que les participant.e.s sont ralenti.e.s dans l'identification des lettres locales en probe, non pas parce qu'il leur a fallu inhiber la lettre globale conflictuelle, mais tout simplement parce qu'un conflit a été traité alors que ce n'est pas le cas dans les essais contrôle. Ainsi, l'effet d'amorçage négatif que nous avons observé dans les Expériences 1 et 2 pourrait simplement refléter un effet de ralentissement postérieur au conflit, qui a déjà été rapporté dans la littérature (Verguts, Notebaert, Kunde, & Wühr, 2011). Ainsi, traiter une figure conflictuelle pourrait augmenter le doute des participant.e.s quant à

leur réponse en amorce, ce qui, en retour, pourrait affecter le temps nécessaire pour traiter les figures hiérarchisées présentées en probe.

Nous avons donc conduit une troisième expérience afin de savoir si cette explication alternative pourrait rendre compte de l'effet d'amorçage négatif observé dans les tâches locales des Expériences 1 et 2.

4. Expérience 3

Dans l'Expérience 3, nous avons utilisé un paradigme similaire à celui utilisé dans l'Expérience 2 mais cette fois-ci, des figures hiérarchisées conflictuelles étaient présentées en amorce à la fois pour les essais contrôle et pour les essais test (Cf. Figure 42). Dans les essais test, la probe était également une figure hiérarchisée conflictuelle alors que dans les essais contrôle, la probe était cette fois-ci une figure hiérarchisée neutre. Dans les essais test, les lettres conflictuelles présentées au niveau non-pertinent en probe étaient identiques aux lettres conflictuelles présentées au niveau non-pertinent en amorce (par exemple, dans la tâche locale l'amorce pouvait être un K global constitué de H locaux puis la probe un K global constitué de R locaux : il faut donc donner une réponse « H » puis une réponse « R » mais la lettre conflictuelle « K » présentée au niveau non-pertinent global reste identique en amorce et en probe, Cf. Figure 42, à droite). Dans les essais contrôle, en revanche, une telle répétition n'existait pas puisque la lettre présentée au niveau non-pertinent en probe ne correspondait à aucune réponse possible (figure hiérarchisée neutre). Il est important de noter que, tout comme dans l'Expérience 2, la lettre cible présentée en probe au niveau pertinent n'était pas la même que celle présentée en amorce, que ce soit dans les essais contrôle ou dans les essais test.

Si l'effet d'amorçage négatif mis en évidence dans les Expériences 1 et 2 reflète bien l'inhibition de l'information conflictuelle présentée au niveau global non-pertinent, alors les participant.e.s devraient être plus rapides durant les probe dans les essais test que dans les essais contrôle, particulièrement durant la tâche locale. En effet, si la lettre à inhiber au niveau global en amorce est à nouveau présentée au niveau non-pertinent en probe (essais test), alors on devrait observer un effet d'amorçage positif reflétant un effet facilitateur sur les probe, en comparaison à une situation dans laquelle une lettre neutre est présentée au niveau non-pertinent (essais contrôle). Cet effet d'amorçage positif devrait conduire à traiter la figure hiérarchisée conflictuelle plus rapidement que la figure hiérarchisée neutre en probe. D'un

autre côté, si les effets d'amorçage négatif ont lieu en raison d'un ralentissement post-conflit, alors l'identification de la lettre au niveau local en probe ne devrait pas être plus rapide après un item conflictuel. De plus, étant donné que des figures hiérarchisées conflictuelles étaient présentées en amorce à la fois dans les essais test et contrôle (Cf. Figure 42), le coût attentionnel devrait être le même dans les deux types d'essais. Si c'est le cas, les TRs devraient être plus longs en probe sur les essais test (figure hiérarchisée conflictuelle) que sur les essais contrôle (figure hiérarchisée neutre) dans la tâche locale en raison d'un effet d'interférence globale.

4.1 Méthode

Vingt-six volontaires, étudiant.e.s de l'Université Paris Descartes (15 femmes et 11 hommes, moyenne d'âge: 21.4 ans, 23 droitier.e.s), ayant une vision normale ou correctement corrigée, ont participé à cette nouvelle expérience. Aucun.e de ces volontaires n'avait participé aux Expériences 1 et 2.

Les conditions d'apparition étaient identiques à celles de l'Expérience 2. Deux groupes de participant.e.s ont été constitués : l'un devait identifier la lettre globale, l'autre la lettre locale. Comme dans l'Expérience 2, trois réponses motrices étaient possibles : les participant.e.s devaient identifier le plus rapidement et le plus correctement possible si la lettre présentée au niveau cible était un « R », un « H » ou un « K » (Cf. Figure 42).

Trois types d'essais ont été manipulés : des essais test, contrôle et *filler*. Dans les essais contrôle, une figure hiérarchisée conflictuelle servait d'amorce (par exemple, un « K » global constitué de « H » locaux, Cf. Figure 42, à droite) et une figure hiérarchisée neutre servait de probe (par exemple, dans la tâche locale, un « T » global composé de « R » au niveau local). Dans les essais test, une figure hiérarchisée conflictuelle était utilisée comme amorce et une figure hiérarchisée conflictuelle était aussi présentée en probe (par exemple un « K » global constitué de « R » en local, Cf. Figure 42). Dans les essais test la lettre cible présentée au niveau non-pertinent était la même à la fois en amorce et en probe. Comme dans les Expériences 1 et 2, les essais *filler* permettaient des enchaînements différents de réponses motrices et de stimuli par rapport aux essais test et contrôle, afin d'empêcher les participant.e.s de développer des stratégies dans leurs choix de réponse.

Chaque participant.e réalisait 54 essais (18 essais contrôle, 18 essais test et 18 essais *filler*) suivant la même procédure expérimentale que celles utilisées dans les Expériences 1 et 2. Les participant.e.s réalisaient quatre essais d'entraînement au début de l'expérience.

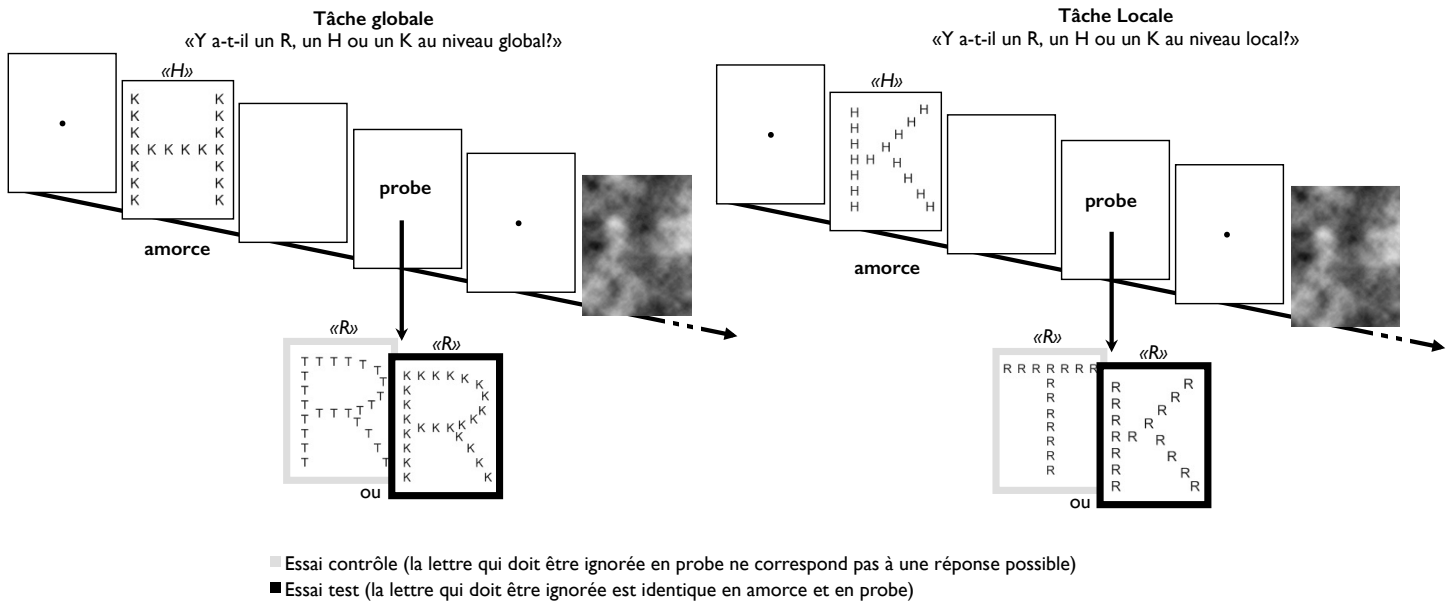


Figure 42. Paradigme expérimental de l'Expérience 3. Dans les essais test, une figure hiérarchisée interférente était présentée en probe et la lettre à ignorer au niveau non-pertinent était la même en amorce et en probe. Dans les essais neutres, une figure hiérarchisée neutre était présentée en probe.

4.1 Résultats

Deux ANOVA mixtes ont été réalisées à la fois pour les amorces et pour les probes: une sur les TRs pour les réponses correctes et une sur le taux de réponses correctes, avec 2 modalités emboîtées pour le niveau hiérarchique (global ou local) x 2 modalités croisées pour le type d'essai (contrôle ou test). Lors de la comparaison de deux moyennes, des tests *t* ont été réalisés en post-hoc avec une correction de type Bonferroni des valeurs de *p* pour les comparaisons multiples.

- *Résultats en amorce*

L'ANOVA sur les TRs pour les réponses correctes a révélé que les participant.e.s traitaient les lettres globales (656 ± 20 ms) plus rapidement que les lettres locales (817 ± 32 ms), $F(1, 24) = 9.17, p = .005, \eta_p^2 = .28$. Il n'y avait pas d'effet principal significatif du type d'essai (749 ± 30 ms, et 726 ± 32 ms pour les essais contrôle et les essais test, respectivement), $F(1,24) = 3.21, p = .09$ et l'interaction entre le niveau hiérarchique et le type d'essai n'était pas significative, $F(1, 24) = .23, p = .63$.

L'ANOVA sur le taux de réponses correctes n'a pas révélé d'effet principal significatif du niveau, $F < 1$, du type d'essai, $F < 1$, et pas d'interaction significative entre le niveau hiérarchique et le type d'essai, $F < 1$.

- *Résultats en probe*

L'ANOVA sur les TRs pour les réponses correctes a révélé que les participant.e.s traitaient les lettres globales (566 ± 17 ms) plus rapidement que les lettres locales (747 ± 36 ms), $F(1,24) = 10.36$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .30$, et identifiaient les lettres cibles plus rapidement dans les essais test (642 ± 33 ms) que dans les essais contrôle (671 ± 35 ms), $F(1,24) = 6.17$, $p = .02$, $\eta_p^2 = .21$. Une interaction significative a été trouvée entre le type de niveau et le type d'essai, $F(1, 24) = 5.80$, $p = .02$, $\eta_p^2 = .20$: les lettres locales étaient identifiées plus lentement dans les essais contrôle (777 ± 52 ms) que dans les essais test (718 ± 52 ms), $t(12) = 3.01$, $p = .01$, $d = 1.14$, reflétant un effet typique d'amorçage positif. D'un autre côté, les TRs dans les essais contrôle (566 ± 21 ms) et les essais test (565 ± 28 ms) durant le traitement global étaient équivalents, $t(12) = .06$, $p = .95$ (Cf. Figure 43). Ainsi, les participant.e.s identifiaient la lettre locale plus rapidement si la lettre à ignorer au niveau global était identique à celle ignorée en amorce. Cet effet n'était en revanche pas présent durant la tâche globale.

L'ANOVA sur le taux de réponses correctes n'a pas révélé d'effet principal significatif du niveau, $F < 1$, du type d'essai, $F < 1$, et pas d'interaction significative entre le niveau hiérarchique et le type d'essai, $F < 1$.

- Essai contrôle (la lettre qui doit être ignorée en probe ne correspond pas à une réponse possible)
- Essai test (la lettre qui doit être ignorée est identique en amorce et en probe)

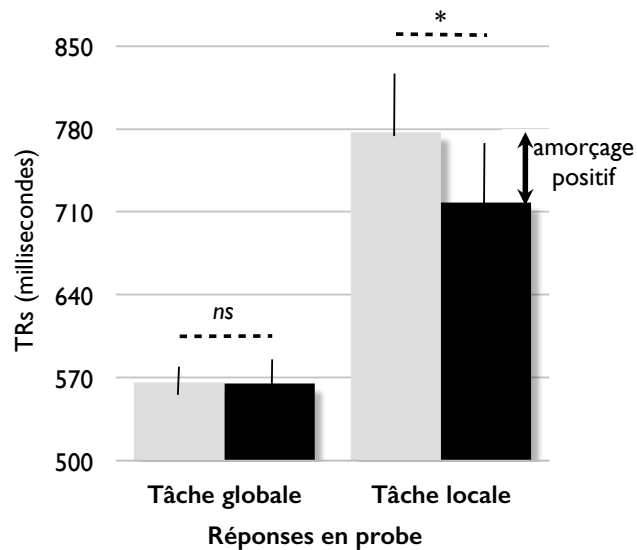


Figure 43. Interaction entre le niveau hiérarchique (global ou local) et le type d'essai sur les TRs pour les réponses correctes en probe. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. La sélection globale n'est pas significativement différente selon le type d'items présenté en amorce ; en revanche, le traitement du niveau local est accéléré lorsque le distracteur global est identique en amorce et en probe. Cette accélération correspond à un effet classique d'amorçage positif.

4.2 Discussion

Les données de l'Expérience 3 ont montré un avantage global classique sur les amorces, caractérisé par des TRs plus rapides durant la tâche globale que durant la tâche locale. Conformément à nos hypothèses, les TRs en amorce étaient équivalents pour les essais test et les essais contrôle, étant donné que des figures hiérarchisées conflictuelles étaient présentes pour les deux types d'essais. En revanche, en probe, un effet d'amorçage positif était bien trouvé, avec des TRs plus rapides dans les essais test (pour lesquels l'information globale non-pertinente était la même qu'en amorce) que dans les essais contrôle (dans lesquelles l'information globale non pertinente était une lettre neutre). Cet effet d'amorçage positif suggère que l'inhibition de l'information globale non pertinente en amorce a facilité son inhibition subséquente en probe. Ce type de résultat a déjà été rapporté dans la littérature (Borst et al., 2012). Ainsi, les résultats de l'Expérience 3 invalident l'explication de l'effet d'amorçage négatif observé dans les Expériences 1 et 2 en termes de ralentissement post-conflit et confirme que cet effet est bien la trace d'un processus d'inhibition d'une information globale conflictuelle lors de la sélection attentionnelle locale.

5. Discussion générale

Des paradigmes d'amorçage négatif ont été utilisés dans cette étude afin de déterminer si l'inhibition du niveau global est nécessaire lors de la sélection attentionnelle du niveau local. Différents travaux avaient auparavant suggéré que l'inhibition est nécessaire au traitement d'une cible locale en présence d'une information globale conflictuelle (Dulaney & Marks, 2007; Han et al., 1997; Robertson et al., 1993; Stablum et al., 2001; Weissman et al., 2003). Toutefois, aucune n'avait vérifié l'existence de cet effet avec un paradigme d'amorçage négatif, mesure la plus fine et classique de l'inhibition.

Tout d'abord, nous avons observé un effet de précédence globale durant les amorces, constitué d'un avantage global (le traitement global était plus rapide que le traitement local) et d'une interférence globale (le traitement global interférait avec la sélection des éléments locaux). Nous avons ainsi répliqué des résultats classiquement observés dans la littérature (Beaucousin et al., 2013; Kimchi, 1992; Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008).

De plus, les résultats obtenus ont montré que durant les probes, la présentation d'une même figure hiérarchisée neutre entraîne des temps de réponse variables selon le type de figures hiérarchisées traitées auparavant en amorce (figures hiérarchisées neutres ou conflictuelles, Cf. Figure 39, p. 181 ; Figure 41, p. 187). Plus spécifiquement, nous avons observé un ralentissement du traitement local lorsque la figure hiérarchisée neutre en probe était précédée d'une figure hiérarchisée conflictuelle dans laquelle la lettre globale non-pertinente correspondait à la cible locale de la probe (Expérience 1) ou bien correspondait à une des autres réponses motrices possibles (Expérience 2). Nous avons, de plus, retrouvé une corrélation entre l'amplitude de l'effet d'interférence en amorce et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif en probe. Cela suggère que, dans notre étude, l'effet d'amorçage négatif serait bien la trace de l'inhibition nécessaire pour supprimer l'information globale distractive.

Par ailleurs, nous avons mis en évidence un effet de facilitation (amorçage positif) lorsque la lettre distractive globale était la même en probe et en amorce (Expérience 3).

En revanche, conformément à nos hypothèses, le niveau local n'entraînait pas d'effet d'interférence ni d'effet d'amorçage négatif ou positif dans la sélection d'une lettre globale. Avec tous ces contrôles expérimentaux, nos résultats confirment donc que l'information globale doit être inhibée pour traiter l'information locale lorsque les contenus des deux

niveaux sont en conflit, alors qu'aucun processus d'inhibition de la lettre locale n'apparaît nécessaire pour sélectionner l'information globale.

Il a largement été montré dans la littérature que, lorsque le niveau global est particulièrement saillant, son identification est automatique (Bar et al., 2006; Boucart & Humphreys, 1992; Hübner, 2014; Krakowski, Borst, Pineau, Houdé, & Poirel, 2015; Poirel, Pineau, et al., 2008; Ripoll et al., 2005). Le pattern de résultats que nous observons va dans ce sens, confirmant que l'influence de l'information globale est irrépessible. De plus, dans le cas où le contenu global est pertinent pour la tâche (la lettre globale est associée à une des réponses possibles), nos résultats suggèrent qu'il est nécessaire de l'inhiber pour sélectionner l'information locale.

Il apparaît par ailleurs important de souligner que les données obtenues dans l'Expérience 2 de cette étude montrent que nos résultats ne peuvent pas être expliqués par des théories de récupération mnésique de l'effet d'amorçage négatif (Milliken & Joordens, 1996; Neill & Kahan, 1999; Neill & Mathis, 1998) mais bien par la théorie du contrôle inhibiteur (Houdé, 2001; Houghton & Tipper, 1994; Tipper, 2001). En effet, les théories de récupération mnésique suggèrent que le ralentissement propre à l'effet d'amorçage négatif serait dû à un conflit lié à la nécessité de produire une réponse différente de celle précédemment mise en place pour le même item. Nous avons au contraire montré que l'inhibition est nécessaire lors de la sélection locale dès lors que le niveau global saillant est porteur d'une information pertinente pour la tâche (associée à l'une des réponses possibles), même lorsque cette information n'est pas répétée en probe. Cette observation appuie l'idée que l'effet d'amorçage négatif observé dans les Expériences 1 et 2 de la présente étude reflète bien le coût de la levée d'inhibition, inhibition mise en place durant l'amorce pour supprimer l'information globale conflictuelle.

Ces nouvelles données comportementales peuvent avoir des implications directes pour les modèles cérébraux de la reconnaissance visuelle (Bar et al., 2006; Bullier, 2001; Hegdé, 2008; Peyrin et al., 2010). Par exemple, le modèle « *Coarse to Fine* » suggère que les informations globales, véhiculées principalement par des basses fréquences spatiales permettent une première analyse perceptive des entrées visuelles qui, ensuite, guide l'analyse subséquente de l'information locale (conduite par les hautes fréquences spatiales) (Bullier, 2001; Peyrin et al., 2010). L'identification rapide du contenu global pourrait ainsi interférer

avec les informations plus lentes et détaillées véhiculant le contenu local. Nos données suggèrent que lorsque les informations locales et globales sont en conflit, le contrôle inhibiteur permet de réduire le feedback issu de l'identification globale afin de permettre au système visuel de traiter l'information locale.

Ces données ont également une portée pour les modèles attentionnels, confirmant que la saillance perceptive et la pertinence de l'information ont un impact sur la capture attentionnelle. En effet, le niveau global ne perturbe le traitement local que lorsque son contenu est pertinent pour la tâche, et non lorsqu'il forme une lettre neutre, sans importance pour les objectifs de l'individu. Ces données sont cohérentes avec les modèles actuels de la détection du signal (Navalpakkam & Itti, 2006; Verghese, 2001), ainsi qu'avec le modèle attentionnel de la compétition biaisée suggérant que les ressources attentionnelles sont modulées à la fois par des processus bottom-up et top-down (Desimone & Duncan, 1995). Nos résultats vont également dans le sens du modèle du *Master Activation Map* (Michael et al., 2007, 2006). En effet, ce modèle suggère que le contrôle inhibiteur permettrait de réduire le poids d'une information saillante et non-pertinente, et que l'inhibition n'aurait lieu qu'une fois cette information identifiée. Nos résultats confirment que le niveau global saillant est bien identifié avant d'être inhibé.

Une piste intéressante pour les recherches futures serait de faire varier la saillance respective des deux niveaux hiérarchisés et de mesurer la conséquence de cette manipulation sur l'effet d'amorçage négatif. En effet, lorsque la saillance du niveau global est altérée, par exemple par une manipulation de la taille angulaire (Kinchla, Solis-Macias, & Hoffman, 1983), de l'excentricité (Navon & Norman, 1983) ou de la densité (Mevorach et al., 2010, 2009), l'effet d'interférence d'un niveau hiérarchique sur l'autre peut devenir plus symétrique. Une forte accentuation de la saillance locale peut même entraîner des effets d'interférence inversés, le contenu local interférant alors avec la sélection globale et non le contraire (Mevorach et al., 2010, 2009). Nous avons manipulé la saillance dans une étude développementale, qui sera présentée dans la suite de ce manuscrit (Cf. Étude 4, p. 197).

ÉTUDE 4

IMPACT DE LA SAILLANCE SUR LE CONTRÔLE INHIBITEUR LORS DU TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL

ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE LES ENFANTS DE 7 ANS ET LES ADULTES

RÉSUMÉ : Lorsque nous devons sélectionner une cible dans notre environnement, il apparaît nécessaire d'inhiber les informations distrayantes plus saillantes présentes simultanément. Le niveau global de l'information visuelle apparaît plus saillant que le niveau local chez l'adulte. Les enfants sont quant à eux particulièrement sensibles à la densité des figures hiérarchisées : ils présentent un biais global précoce avec des figures hiérarchisées denses et un biais global plus tardif avec des figures de faible densité. Nous avons mesuré l'impact de la densité des figures hiérarchisées sur l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif, chez 84 adultes et 64 enfants de 7 ans. Lorsque les figures hiérarchisées étaient denses, l'effet d'amorçage négatif était identique chez l'enfant et l'adulte, même après avoir considéré la vitesse de traitement, indiquant pour les deux groupes d'âge la nécessité d'inhiber la forme globale saillante pour sélectionner les éléments locaux. En revanche, des différences développementales étaient observées dans le traitement de figures hiérarchisées moins denses : l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif ne changeait pas chez l'adulte (inhibition du niveau global) alors qu'elle était inversée chez l'enfant, qui ne présentait plus d'effet amorçage négatif lors de la sélection locale et qui, en revanche, présentait une amplitude plus importante de l'effet d'amorçage négatif lors de la sélection globale (inhibition du niveau local). Par ailleurs, aucun avantage sur la rapidité du traitement n'était observé en faveur du niveau global ou du niveau local lorsque les figures étaient peu denses, et pourtant une priorisation de l'information globale chez les adultes et locale chez les enfants semblait avoir lieu. L'ensemble de ces données permet de rendre compte des divergences observées dans la littérature et invite à prendre en considération la saillance des niveaux hiérarchiques et les possibles dissociations entre la sensibilité perceptive d'un niveau et sa priorisation attentionnelle afin de rendre compte le plus précisément possible de l'ontogenèse du traitement global-local.

Article en préparation : **Krakowski, CS.**, Vidal, J., Borst, G., Houdé, O., Poirel, N. Ignoring the forest to detect the trees: same need of inhibitory control in children and adults when the forest is dense, and reversed pattern in children when the forest is decimated.

1. Introduction

Comme nous l'avons vu dans l'Étude 2, les enfants dès 5 ans semblent traiter les niveaux hiérarchiques structurels de façon prioritaire par rapport aux éléments de détails. Toutefois, contrairement aux adultes, les enfants à l'âge préscolaire et au début de l'âge scolaire, montraient des difficultés accrues lors de la sélection d'une cible locale, faisant davantage d'erreurs et étant davantage ralentis lorsque le nombre de distracteurs augmentait. Dans notre conclusion, nous supposons que cette difficulté des jeunes enfants pouvait être liée à de moins bonnes capacités à inhiber les figures structurelles saillantes. Toutefois, l'implication du processus d'inhibition lors du traitement global/local n'a, à notre connaissance, jamais été explorée chez l'enfant. C'est pourquoi nous avons souhaité employer le même paradigme d'amorçage négatif que chez l'adulte auprès d'enfants d'âge scolaire (Cf. Étude 3, p. 176).

Par ailleurs, les résultats rapportés dans la littérature apparaissent très divergents concernant l'émergence du biais global chez l'enfant d'âge préscolaire et scolaire. Il est parfois rapporté un biais global précoce (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Krupskaya & Machinskaya, 2012; Mondloch et al., 2003; Plaisted et al., 1999), parfois un biais global tardif, n'émergeant qu'aux alentours de 6 ans (Poirel et al., 2011; Poirel, Cassotti, et al., 2012; Poirel, Mellet, et al., 2008). Une façon d'expliquer la variabilité de ces résultats consiste à postuler que les enfants seraient plus sensibles que les adultes à la manipulation de la saillance du niveau global. Ainsi, lorsque des figures hiérarchisées sont de plus faible densité, les jeunes enfants pourraient présenter un biais local, alors que ce ne serait plus le cas lorsque les éléments sont suffisamment proches pour maximiser l'effet de « bonne forme » (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Kimchi et al., 2005; Mondloch et al., 2003). La densité impacte également le traitement global/local chez l'adulte (Lagasse, 1993; Martin, 1979), mais dans une moindre mesure que chez l'enfant. L'adulte pourrait, contrairement aux jeunes enfants, s'appuyer sur d'autres lois (comme la colinéarité) de la Gestalt que celle de proximité afin de faire émerger une forme globale saillante. En revanche, les enfants auraient tendance à segmenter les informations locales lorsqu'elles sont distantes les unes des autres, ce qui entraînerait alors un biais local (Burack et al., 2000; Enns & Girgus, 1985).

Nous avons donc repris le paradigme présenté dans l'étude précédente (Cf. Étude 3, p. 176), en faisant varier la densité des figures hiérarchisées, chez l'adulte et chez l'enfant de 7 ans. Nous avons choisi des enfants de cette tranche d'âge car l'étude des effets d'amorçage négatif nécessite, par construction expérimentale, de comparer des temps de réaction pour des réponses correctes. Or, comme nous l'avons vu dans notre première étude développementale

(Cf. Étude 2, p. 158), les enfants d'âge préscolaire font beaucoup d'erreurs au niveau local. Une amélioration des performances et l'émergence d'un biais global plus résistant aux changements de densité sont classiquement rapportées au début de l'âge scolaire (Dukette & Stiles, 2001; Poirel et al., 2011; Poirel, Cassotti, et al., 2012; Vinter et al., 2010). Toutefois, dans l'idée de pouvoir observer des différences développementales entre les enfants et les adultes, il apparaissait nécessaire de choisir des enfants n'ayant pas atteint le niveau de performances des adultes, c'est-à-dire avant 9-10 ans (Hadad & Kimchi, 2006; Hadad et al., 2010; Poirel, Mellet, et al., 2008).

Nos hypothèses sont les suivantes :

Avec des figures hiérarchisées denses, les enfants de 7 ans devraient présenter un avantage global et une interférence globale similaires à ceux des adultes. De plus, il a été montré que l'effet d'amorçage négatif reste constant avec l'âge dans des épreuves de type Stroop faisant appel à une inhibition automatique (Pritchard & Neumann, 2004, 2009). Dans notre étude, les enfants de 7 ans devraient donc présenter un effet d'amorçage négatif d'amplitude similaire à celui des adultes lors du traitement d'une cible locale.

Avec des figures hiérarchisées non-denses, la saillance du niveau global devrait être diminuée chez les enfants, et dans une moindre mesure chez les adultes. Cela pourrait altérer l'effet de précedence globale chez les adultes, et le supprimer ou l'inverser en faveur du niveau local chez les enfants de 7 ans. De plus, l'inhibition attentionnelle est nécessaire pour supprimer une information distractive uniquement lorsque celle-ci est plus saillante que la cible, qu'elle soit globale ou locale (Mevorach et al., 2010, 2009). On peut donc faire l'hypothèse qu'en diminuant la saillance du niveau distracteur global, l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif lors de la sélection locale sera diminuée chez les adultes. Chez les enfants, cet effet d'amorçage négatif pourrait même s'inverser, signant l'inhibition de l'information locale, devenue la plus saillante, lors de la sélection globale.

2. Méthode

2.1 Participant.e.s

Au total, 148 personnes ont été volontaires pour participer à cette étude : 84 adultes (23.94 ± 2.62 ans, 50 femmes, 34 hommes, 79 droitier.e.s), étudiant.e.s à l'Université Paris Descartes et 64 enfants ($7.47 \pm 0,51$ ans, 31 filles, 33 garçons, 57 droitier.e.s), élèves de CP et CE1 recruté.e.s dans deux écoles publiques parisiennes, avec l'accord de l'inspecteur de l'Académie de Paris et le consentement signé des parents.

Des participant.e.s n'ont pas été inclus.e.s dans les analyses statistiques pour les raisons suivantes : l'expérience a été interrompue sur la demande du/ de la participant.e (1 enfant), les consignes n'étaient pas comprises ou une inattention massive était observée durant la tâche (4 enfants), le taux d'erreurs observé durant la tâche était supérieur à 50% (2 enfants, 1 adulte), les temps de réaction étaient supérieurs à 2 écarts-types de la moyenne du groupe d'âge (10 enfants, 7 adultes).

2.2 Stimuli

Comme pour les expériences présentées précédemment (Cf. Étude 3, p.176), la tâche consistait à décider si la lettre présentée au niveau-cible était un « H » ou un « R ». Deux types de figures hiérarchisées ont été utilisés pour cette expérience : 1) des figures hiérarchisées neutres, contenant des lettres qui n'étaient pas pertinentes pour la tâche « A », « D », « F », « K », « T » ou « V » au niveau qui devait être ignoré (c'est-à-dire le niveau global dans la tâche locale et le niveau local dans la tâche globale), 2) des stimuli hiérarchiques interférents, contenant des lettres pertinentes pour la tâche à réaliser au niveau hiérarchique qui devait être ignoré : « H » lorsque la cible était un « R » et « R » lorsque la cible était un « H ».

Les lettres locales mesuraient 0.5° de hauteur et 0.4° de largeur et les lettres globales mesuraient 5.2° de hauteur et 4.4° de largeur. Pour la condition de densité standard, le niveau global était composé de 15 à 24 lettres locales éloignées d'environ 1 millimètre les unes des autres. Pour la condition en densité faible, le niveau global était composé de 7 à 12 lettres locales éloignées d'environ 7 millimètres les unes des autres (Cf. Figure 44).

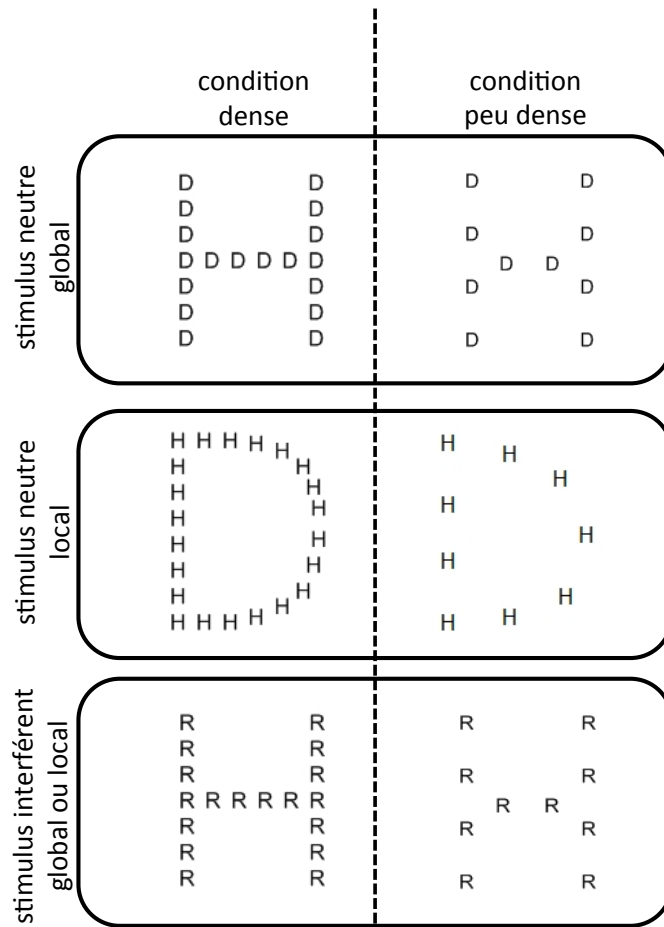


Figure 44 Figures hiérarchisées utilisées pour manipuler la densité. A gauche : condition dense, à droite : condition peu dense. Les figures peu denses sont composées de deux fois moins d'éléments locaux, qui sont par conséquent 7 fois plus éloignés les uns des autres. Les figures hiérarchisées peuvent être neutres (deux premières lignes) : dans ce cas, la lettre au niveau non-pertinent n'est pas une lettre associée à une réponse motrice, ou interférentes (dernière ligne) : dans ce cas la lettre au niveau non-pertinent est associée à une réponse motrice différente de la cible.

Les conditions présentées étaient identiques à celles de la première expérience de l'Étude 2. Pour rappel, deux figures hiérarchisées apparaissaient de manière séquentielle à chaque essai : une en amorce puis une en probe. Dans la condition test, l'amorce était constituée d'une lettre hiérarchisée interférente et la probe d'une lettre hiérarchisée neutre. De plus, la lettre qui devait être ignorée au niveau non-pertinent en amorce était ensuite celle qui devait être activée au niveau cible de la probe. Dans la condition contrôle, l'amorce et la probe étaient des lettres hiérarchisées neutres (Cf. Figure 44). Afin de contrôler le conflit moteur qui existait dans la condition test, la cible de l'amorce et la cible de la probe de la condition contrôle correspondaient à des réponses motrices différentes. Dans la condition *filler* (condition non incluse dans les analyses statistiques), la réponse motrice était contrebalancée afin d'éviter que les participant.e.s ne puissent mettre en place des stratégies liées à la

procédure : la cible était identique en amorce et en probe (« H » et « H » ou « R » et « R ») et les figures hiérarchisées pouvaient être neutres ou interférentes, en amorce et en probe.

2.3 Procédure

Chaque participant.e, pour chaque groupe d'âge, était assigné.e à une condition de densité (lettres denses ou non-denses) et à un niveau hiérarchique (tâche globale ou locale).

La procédure de cette tâche d'amorçage négatif était globalement identique à celle que nous avons présentée chez l'adulte (Expérience 1 de l'Étude 3) mais adaptée à des passations chez les enfants les plus jeunes. L'expérience commençait ainsi par un entraînement moteur de trois essais avec *feedback* dans lequel une seule lettre, de taille équivalente aux lettres globales ou locales selon le groupe du/de la participant.e, apparaissait au centre de l'écran (« H » ou « R »). Les participant.e.s apprenaient à appuyer avec chaque index sur le bouton approprié en réponse à la lettre cible : le bouton gauche du pad pour le « H » et le bouton droit pour le « R ».

Un entraînement au test était ensuite proposé. Il comprenait trois essais avec *feedback*, au cours duquel il était demandé aux participant.e.s d'identifier la lettre présente à un niveau hiérarchique (global ou local), le plus rapidement et le plus justement possible. Cet entraînement pouvait être répété une seconde fois lorsque les enfants ne parvenaient pas à répondre correctement.

Chaque essai expérimental commençait par une croix de fixation centrale ayant une durée moyenne de 750 ms. Puis, la première figure hiérarchisée apparaissait durant 40 ms, suivie par un écran blanc qui restait jusqu'à ce que le/la participant.e ait donné sa réponse. Ensuite, une nouvelle croix de fixation apparaissait au centre de l'écran durant 700 ms, suivie par la seconde figure hiérarchisée qui restait à l'écran pendant 40 ms et était ensuite remplacée par une croix de fixation jusqu'à la réponse du / de la participant.e. Un masque visuel était ensuite affiché à l'écran durant 3000 ms.

Chaque participant.e effectuait un total de 36 essais (12 essais par condition) avec une pause au milieu de l'expérience.

3. Résultats.

Deux ANOVA mixtes ont été réalisées pour les amorces et pour les probes, séparément: une sur le taux de réponses correctes et une sur les TRs pour les réponses correctes, avec 3 facteurs emboîtés : l'âge des participant.e.s (enfants de 7 ans et adultes), le niveau hiérarchique (global ou local), la densité (dense ou non dense) et 1 facteur croisé à deux modalités pour le type d'essai (contrôle ou test). Ces ANOVAs ont ensuite été décomposées en ANOVAs spécifiques permettant d'analyser des interactions simples ou triples. Lors de la comparaison de deux moyennes, des tests *t* ont été réalisés en post-hoc avec une correction de type Holm-Bonferroni des valeurs de *p* pour les comparaisons multiples. Les TRs *outliers*, supérieurs à 2 écarts-types de la moyenne des TRs dans chaque condition, ont été exclus pour chaque participant.e.

3.1 Taux de réussite pour les amorces

Les enfants (94.48 ± 7.59 %) comme les adultes (94.45 ± 0.86 %) ont répondu au-dessus du niveau du hasard, enfants: $t(63) = 108.66, p < .001, d = 27.38$; adultes: $t(83) = 174.21, p < .001, d = 38.24$.

Ni l'effet du niveau hiérarchique, ni l'effet du groupe n'avait d'impact significatif sur le taux de réponses correctes ($F < 1$).

Le taux de réponses correctes variait significativement selon la densité, $F(1, 140) = 4.91, p = .028, \eta_p^2 = .034$. Cet effet de la densité était toutefois modulé par l'âge des participant.e.s, $F(1, 140) = 11.08, p = .001, \eta_p^2 = .073$, la densité ayant un impact chez les enfants, $t(62) = 3.21, p = .004, d = 0.82$, avec le niveau dense (97.19 ± 0.29 %) mieux réussi que le niveau moins dense (91.94 ± 10.37 %), mais pas chez les adultes, $t(82) = 0.94, p = 0.35$ (dense : 94.32 ± 2.32 % ; non dense : 94.12 ± 0.22 %). Par ailleurs, l'effet de la densité n'interagissait pas significativement avec le type de condition, $F(1, 140) < 1$, et une tendance à l'interaction était observée avec le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(1, 140) = 3.3, p = .07$, montrant une meilleure réussite dans la condition dense (96.55 ± 4.67 %) que non dense (92.73 ± 3.08 %) en global, $t(71) = 2.44, p = .03$, alors qu'aucune différence n'était observée en local, $t(73) = .01, p > .25$ (dense : 94.96 ± 6.68 , non-dense : 93.33 ± 7.26).

L'effet principal de la condition était également significatif, $F(1, 140) = 4.86, p = .03, \eta_p^2 = .034$, les lettres hiérarchisées neutres de la condition contrôle ($95.31 \pm 6.03 \%$) entraînant une meilleure réussite que les lettres hiérarchisées interférentes de la condition test ($93.48 \pm 8.14 \%$). Toutefois, cet effet n'interagissait pas significativement avec les autres variables (tous les $F < 1$).

3.2 Temps de réponse pour les amorces

La vitesse d'identification variait avec l'âge, $F(1, 140) = 223.82, p < .001, \eta_p^2 = .62$, les enfants étant plus lents (942.05 ± 205.10 ms) à répondre que les adultes (576.24 ± 113.67 ms).

L'effet principal de la densité était également significatif, $F(1, 140) = 3.76, p = .05, \eta_p^2 = .03$, la condition dense (750.82 ± 251.03 ms) entraînant des TRs plus lents que la condition non-dense (714.61 ± 228.37 ms).

L'effet principal du niveau hiérarchique d'apparition de la cible était également significatif, $F(1, 140) = 12.62, p < .001, \eta_p^2 = .08$, le niveau global entraînant des TRs plus rapides (687.26 ± 216.28 ms) que le niveau local (780.33 ± 255.86 ms).

Enfin, l'effet de la condition n'était pas significatif, $F(1, 140) < 1$. Toutefois, nous avons observé une tendance à l'interaction entre la condition, l'âge et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(1, 140) = 2.70, p = .10$ (Cf. Figure 45), l'interaction entre la condition et le niveau d'apparition hiérarchique étant significative chez les adultes, $F(1, 80) = 5.04, p = .03, \eta_p^2 = .06$, la figure hiérarchisée interférente étant traitée plus lentement (622.44 ± 109.22 ms) que la figure hiérarchisée neutre (601.11 ± 110.64 ms) dans la tâche locale, $t(41) = 0.57, p = .002, d = 0.18$, mais pas dans la tâche globale, $t(41) = 3.24, p = .57$ (figure hiérarchisée interférente : 542.09 ± 104.95 ms, figure hiérarchisée neutre 539.30 ± 108.95 ms), alors que l'interaction entre la condition et le niveau d'apparition hiérarchique n'était pas significative chez les enfants, $F(1, 60) = 0.92, p = .34$. Le niveau global (885.83 ± 161.71 ms) était toutefois traité plus rapidement chez les enfants que le niveau local (994.86 ± 226.34 ms), $F(1, 60) = 5.05, p = .03, \eta_p^2 = .08$.

Les autres interactions triples et l'interaction quadruple n'étaient pas significatives (tous les $F > 1$).

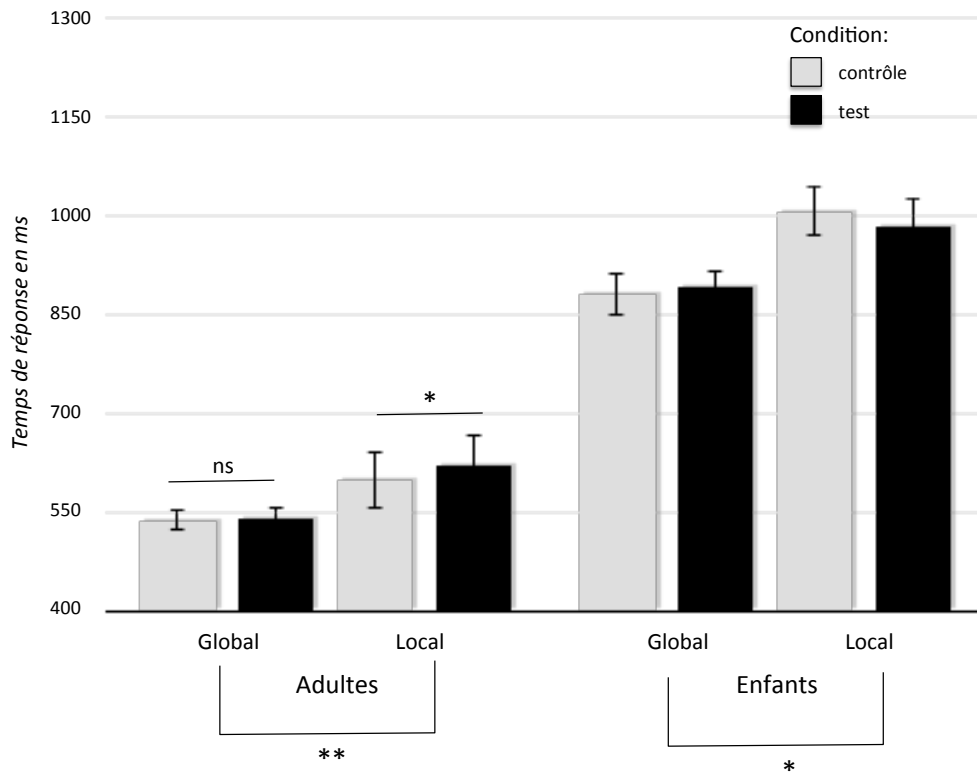


Figure 45 Temps de réponse en amorce. Un effet de précedence globale est retrouvé chez l'adulte, avec le niveau global traité plus rapidement que le niveau local, et une interférence du niveau global lors du traitement local. Chez l'enfant, l'avantage global est bien retrouvé mais le niveau hiérarchique n'interagit pas avec le type de condition. Les moyennes et les SEM (erreur standard à la moyenne) sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni son représentés, * $p < .05$, ** $p < .01$.

3.3 Taux de réussite pour les probes

Les enfants ($94.4 \pm 7.48 \%$) comme les adultes ($94.69 \pm 6.03 \%$) ont répondu au-dessus du niveau du hasard, enfants: $t(63) = 57.51, p < .001, d = 14.49$; adultes: $t(83) = 83.07, p < .001, d = 18.24$.

Aucun des effets principaux n'était significatif (tous les $p > .20$).

Une interaction significative était toutefois retrouvée entre la condition et le niveau, $F(1, 140) = 4.95, p = .03$, la condition contrôle étant mieux réussie en global (96.26 ± 4.74) qu'en local (93.94 ± 7.14), $t(146) = 2.32, p = .04, d = 0.38$ alors que la différence n'était pas significative pour la condition test, $t(146) = 0.40, p > .25$ (global : 94.32 ± 7.86 , local : 94.81 ± 6.77).

3.4 Temps de réponse pour les probes

La quadruple interaction entre la condition, l'âge, la densité, et le niveau hiérarchique d'apparition de la cible était significative $F(1, 140) = 5.36, p = .02, \eta_p^2 = .04$ (Cf. Figure 51). Nous l'avons donc décomposée en plusieurs ANOVAs, d'abord pour chaque condition de densité, puis pour chaque groupe d'âge.

3.5 Densité

Dans la tâche dense, un avantage global classique était observé, $F(1, 77) = 20.96, p < .001, \eta_p^2 = .21$, et cet avantage global n'était pas significativement différent entre les deux groupes d'âge $F(1, 77) = 2, p = .16$. Le type de condition interagissait avec le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(1, 77) = 16.65, p < .001, \eta_p^2 = .18$, révélant un effet classique d'amorçage négatif avec la condition test (756.56 ± 209.79 ms) traitée plus lentement que la condition contrôle (733.04 ± 209.32 ms) dans la tâche locale, différence : 32.44 ms, $t(41) = 3.66, p = .001, d = 1.14$ mais pas dans la tâche globale, différence : -10 ms, $t(39) = 1.32, p = .19, d = 0.78$ (test : $592.36.04 \pm 190.79$ ms, contrôle : 602.36 ± 185.73 ms) (Cf. Figure 46). La triple interaction entre l'âge, la condition et le niveau hiérarchique n'était pas significative, $F(1, 77) < 1$.

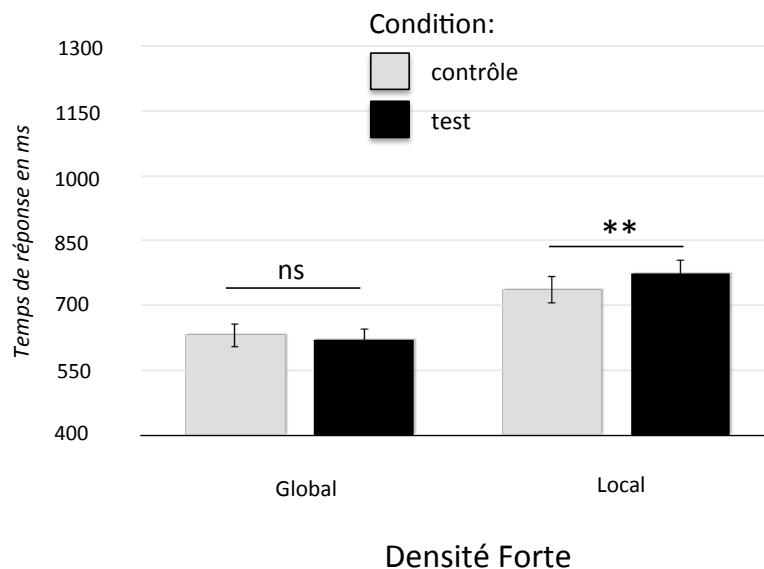


Figure 46 Interaction entre le niveau et la condition en densité forte : un effet d'amorçage négatif classique est retrouvé dans la tâche locale mais pas dans la tâche globale. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, ** $p < .01$.

Dans la tâche non-dense, en revanche, la triple interaction entre l'âge, la condition et le niveau hiérarchique était significative, $F(1, 63) = 4.68, p = .03, \eta_p^2 = .07$. Au niveau global, l'effet de la condition n'était pas le même selon l'âge, $F(1, 31) = 6.37, p = .02, \eta_p^2 = .17$, l'effet d'amorçage négatif étant plus important chez les enfants (36 ± 71.49 ms) que chez les adultes (-20 ± 56.91 ms). Toutefois, une fois corrigée pour les comparaisons multiples, la différence entre la condition contrôle et la condition test n'était pas significative chez les enfants (contrôle : 782.62 ± 116.37 , test : 818.62 ± 135 ms, $t(14) = 1.95, p = .14$) ni chez les adultes (contrôle : 535.84 ± 58.53 , test : 515.46 ± 54.42 ms, $t(17) = 1.51, p > .25$). En revanche au niveau local, l'effet de la condition n'était pas significativement différent selon l'âge des participant.e.s, $F < 1$ (enfants : contrôle : 851.42 ± 153.87 , test : 828 ± 152.78 ms, différence : -23 ms ; adultes : contrôle : 515.16 ± 105.82 ms, test : 523.84 ± 80.72 ms, différence : 8.68) (Cf. Figure 47). Il est par ailleurs important de noter qu'aucun avantage global n'était observé, la différence entre les deux niveaux hiérarchiques n'étant pas significative, $F < 1$ et n'interagissant pas avec le groupe d'âge, $F < 1$.

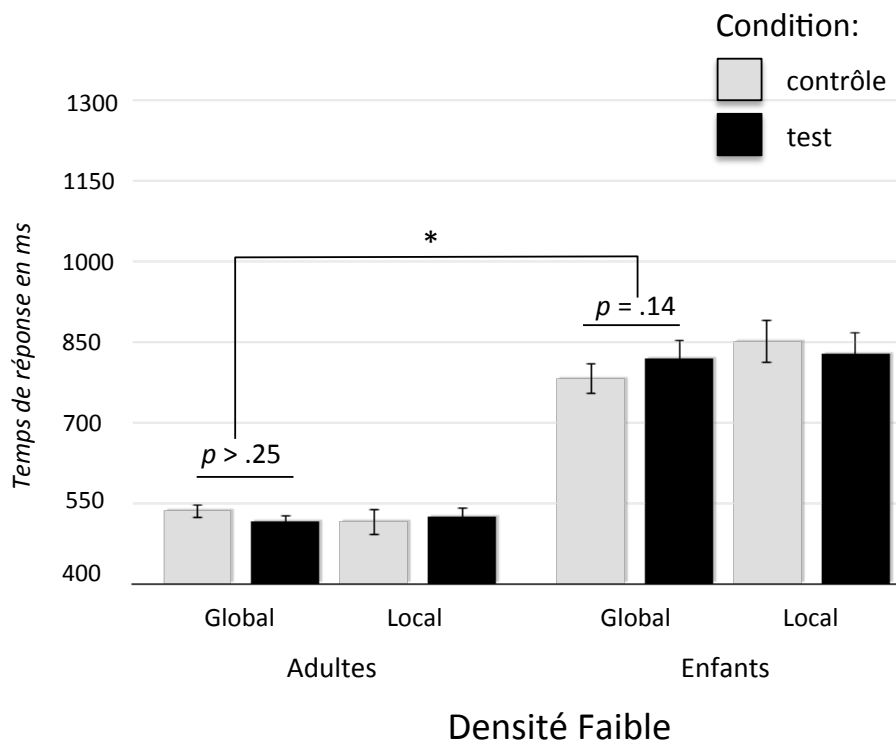


Figure 47 Interaction entre l'âge des participant.e.s, le niveau, et la condition lorsque les figures ont une faible densité. Les enfants présentent un effet d'amorçage négatif plus fort au niveau global que les adultes, alors que les deux groupes d'âge ne se distinguent pas sur leur traitement du niveau local dans cette condition. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les tests t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, * $p < .05$.

3.6 Âge

Chez les adultes, l'impact du niveau hiérarchique, $F(1, 80) = 4.74, p = .03, \eta_p^2 = .06$, était modulé par la densité des figures, $F(1, 80) = 6.23, p = .01, \eta_p^2 = .07$. Pour la tâche dense, un avantage global classique était retrouvé avec le niveau local (569.3 ± 95.56 ms) traité plus lentement que le niveau global (479.69 ± 101.35 ms), différence : 90 ms, $t(45) = 3.12, p = .006, d = .93$ alors que pour la tâche non-dense, le niveau local (519.5 ± 85.18 ms) n'était pas traité à une vitesse significativement différente du niveau global (525.65 ± 48.83 ms), différence : -6.15 ms $t(35) = 0.27, p > .25$ (Cf. Figure 48).

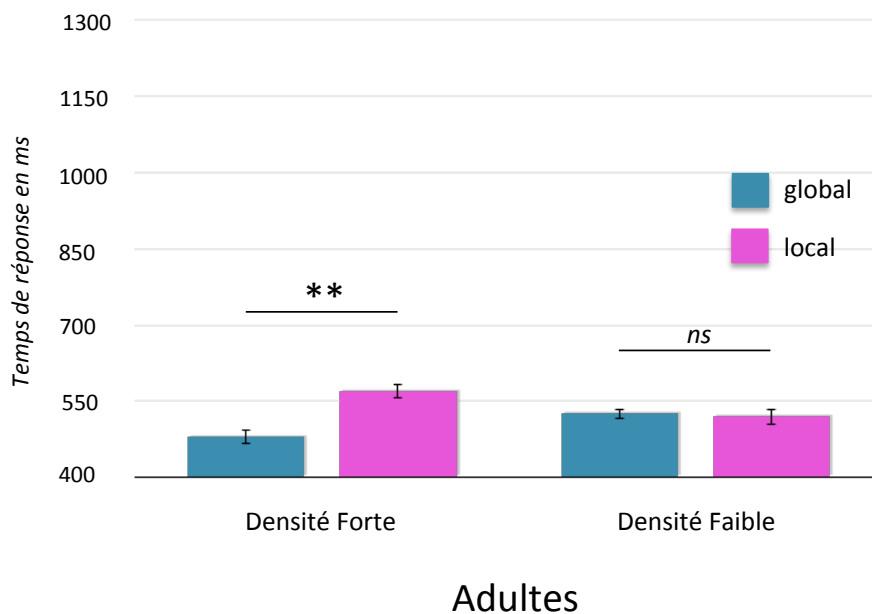


Figure 48 Interaction entre la densité et le niveau hiérarchique chez l'adulte : un avantage global classique est retrouvé lorsque la densité est forte mais pas lorsque la densité est faible. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, ** $p < .01$.

Quelle que soit la densité, le niveau hiérarchique d'apparition de la cible interagissait avec le type de condition, $F(1, 80) = 9.35, p = .003, \eta_p^2 = .10$ (Cf. Figure 49), la condition contrôle (537.16 ± 101.72) étant traitée plus rapidement que la condition test (556.38 ± 93.63) au niveau local, révélant un effet classique d'amorçage négatif, différence : 19.23 ms, $t(41) = 2.14, p = .04, d = .67$. Au niveau global, en revanche, un effet inverse était observé, la condition test (491.86 ± 87.62) étant traitée plus rapidement que la condition contrôle (506.92 ± 88.08), différence : -15.05 ms, $t(41) = 2.33, p = .05, d = .73$

La triple interaction entre la densité, le niveau hiérarchique et la condition n'était pas significative $F < 1$.

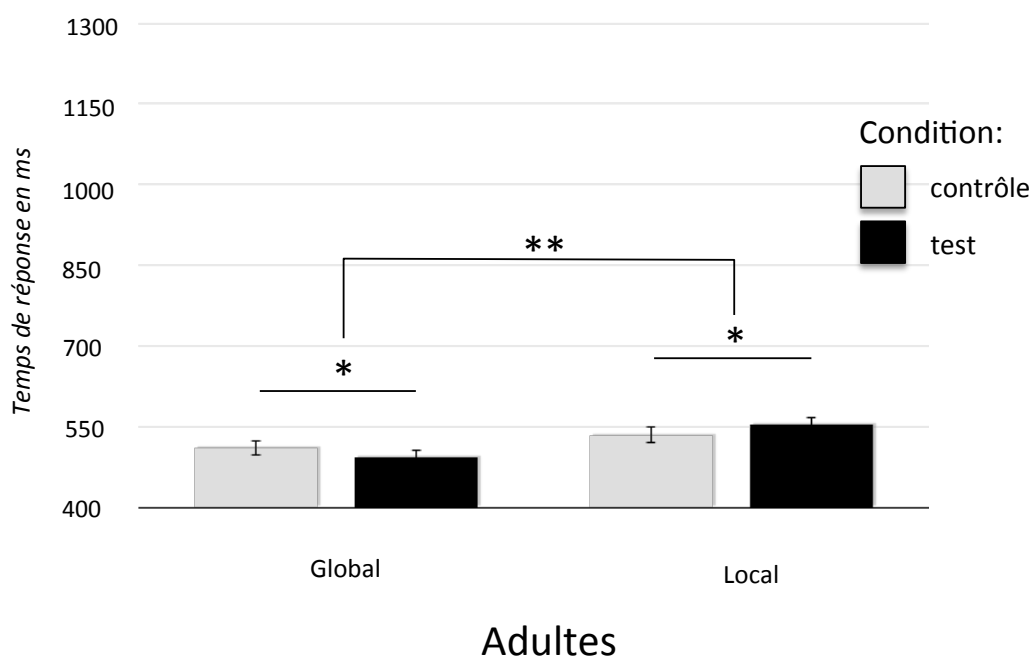


Figure 49 Interaction entre le niveau hiérarchique et la condition chez l'adulte : en local, un effet d'amorçage négatif classique est observé, la condition test étant traitée plus lentement que la condition contrôle. Au niveau global, un effet inverse est observé, et la condition test est traitée plus rapidement que la condition contrôle. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, * $p < .05$, ** $p < .01$.

En revanche, chez les enfants de 7 ans, la triple interaction entre la densité, le niveau hiérarchique et la condition était significative, $F(1, 60) = 7.22, p = .009, \eta_p^2 = .11$ (Cf. Figure 50).

Le niveau hiérarchique avait un impact sur le type de condition dans la situation dense, $F(1, 32) = 4.91, p = .03, \eta_p^2 = .13$, la condition test (966 ± 185) étant traitée plus lentement que la condition contrôle (920 ± 183) dans la tâche locale, $t(17) = 2.68, p = .03, d = 1.30$ alors qu'aucune différence significative n'était observée dans la tâche globale, $t(15) = 0.48, p > .25$. En revanche, le niveau hiérarchique n'avait pas d'impact significatif sur le type de condition dans la situation de faible densité mais une tendance à l'interaction était observée, $F(1, 28) = 2.79, p = .11$, la condition contrôle (783 ± 116 ms) tendant à être plus rapidement identifiée que la condition test (819 ± 135 ms) en global, différence : 36 ms, $t(14) = 1.95, p = .14$, alors que ce n'était pas le cas dans la tâche locale, différence : -23 ms, $t(14) = 0.77, p > .25$.

La densité des figures hiérarchisées avait ainsi un impact sur le type de condition dans la tâche locale, $F(1, 31) = 4.32, p = .05, \eta_p^2 = .12$, révélant un effet d'amorçage négatif plus élevé en densité forte (contrôle : 920 ± 183 , test : 966 ± 185 , différence : 46 ms, $t(17) = 2.68$,

$p = .03$, $d = 1.3$) qu'en densité faible (contrôle : 851 ± 154 , test : 828 ± 153 , différence : 23 ms, $t(14) = 0.77$, $p > .25$). La densité n'avait en revanche pas d'impact significatif sur le type de condition dans la tâche globale, bien qu'une tendance soit observée, $F(1, 29) = 3.05$, $p = .09$, avec un effet d'amorçage négatif tendant à être plus élevé en densité faible (contrôle : 783 ± 116 , test : 819 ± 135 , différence : 36 ms, $t(14) = 1.95$, $p = .14$) que forte (contrôle : 778 ± 139 , test : 770 ± 112 , différence : -8 ms, $t(15) = 0.48$, $p > .25$) (Cf. Figure 50).

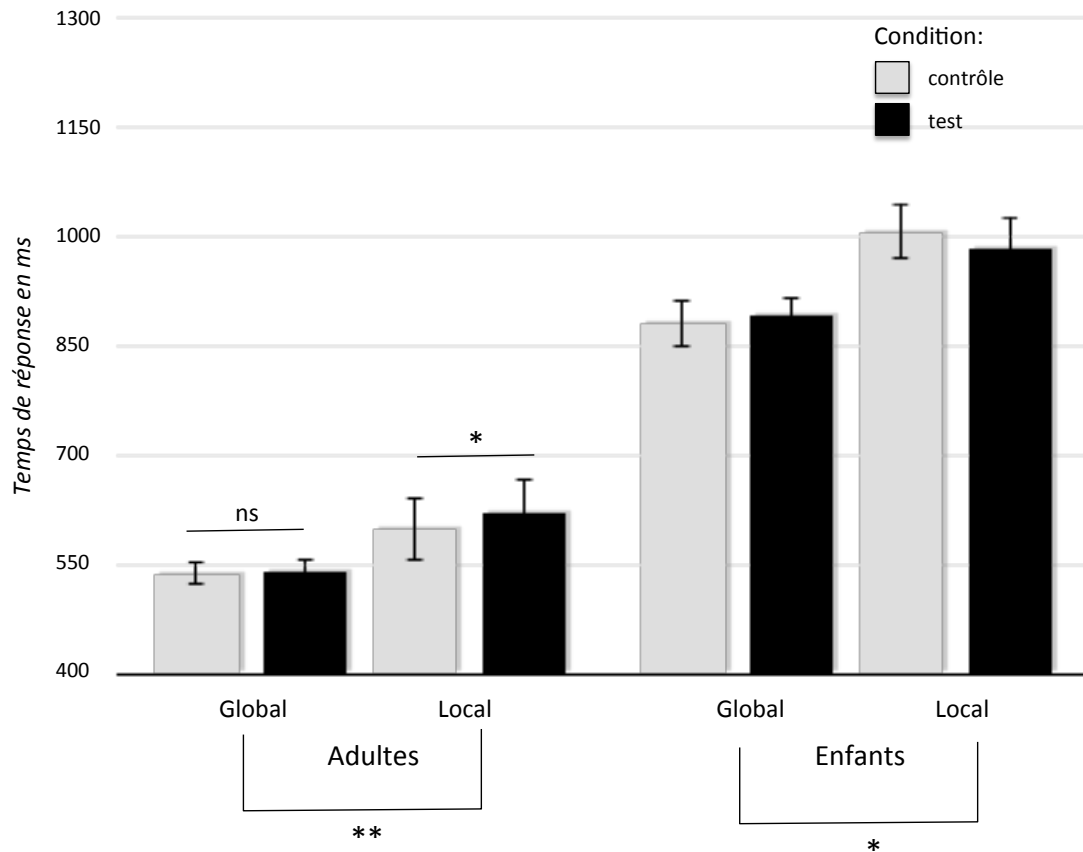


Figure 50. Triple interaction chez l'enfant entre la densité des figures, le niveau hiérarchique et le type de condition. En local (à droite), les enfants présentent un effet classique d'amorçage négatif en densité forte (la condition test est traitée moins rapidement que la condition contrôle) alors que ce n'est pas le cas en densité faible. Au niveau global (à gauche), les enfants tendent à présenter un effet d'amorçage négatif plus fort en densité faible qu'en densité forte. Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, * $p < .05$.

3.7 Résumé des résultats principaux

Afin de pouvoir visualiser la quadruple interaction entre l'âge, la condition, la densité et le niveau hiérarchique, nous avons calculé un score d'amorçage négatif pour chaque participant.e et dans chaque condition, en soustrayant les TRs de la condition contrôle aux

TRs de la condition test. Le graphique présenté ci-dessous permet ainsi un résumé général des résultats majeurs obtenus sur les TRs en probe.

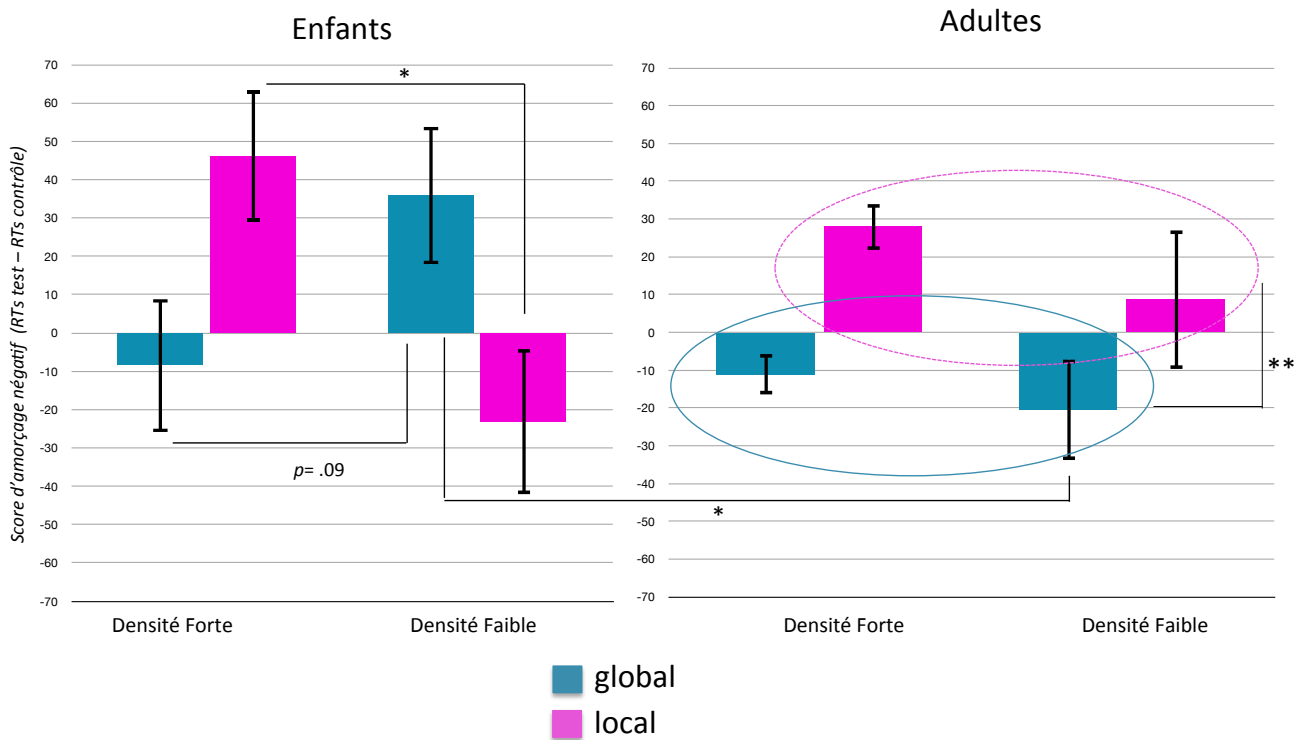


Figure 51 Triple interaction entre l'âge, la densité, le niveau hiérarchique sur le score d'amorçage négatif (consistant à soustraire les TRs de la condition contrôle aux TRs de la condition test). Les moyennes et les SEM sont représentées pour chaque croisement de variables. Les test t corrigés en Holm-Bonferroni sont représentés, * $p < .05$, ** $p < .01$.

3.8 Contrôle de l'effet d'amorçage négatif selon la vitesse de traitement

Afin de vérifier que les différences ou ressemblances entre les enfants et les adultes dans l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif ne sont pas liées à des différences développementales dans la vitesse de traitement, nous avons ramené le score d'amorçage négatif en pourcentage de la vitesse générale observée en probe, pour chaque participant.e.

Ainsi, l'effet classique d'amorce négatif que nous avons observé dans les deux groupes d'âge pour le traitement d'une cible locale dans la tâche dense, n'était pas significativement différent pour les enfants ($5.06 \pm 7.61 \%$) et les adultes ($5.15 \pm 5.65 \%$) même une fois la vitesse de traitement contrôlée, $t(39) = .04, p > .25$.

La différence d'amplitude de l'effet d'amorçage négatif que nous avons observé entre les enfants et les adultes pour le traitement d'une cible globale dans la tâche non-dense restait significative une fois la vitesse de traitement contrôlée, $t(31) = 2.43, p = .02, d = .87$ (adultes : $-3.8 \pm 10.38 \%$, enfants : $4.33 \pm 8.5 \%$).

3.9 Corrélations entre l'effet d'interférence en amorce et l'effet d'amorçage négatif en probe.

Pour chaque participant.e et dans chaque condition, nous avons calculé un score d'amorçage négatif ainsi qu'un score d'interférence (temps nécessaire pour traiter la figure hiérarchisée neutre soustrait au temps nécessaire pour traiter la figure hiérarchisée interférente, en amorce).

Toutes conditions confondues, la corrélation entre le score d'amorçage négatif et le score d'interférence était significative, $r = .18$, $t(147) = 2.21$, $p = .03$. Ainsi, lorsque le score d'interférence augmentait, le score d'amorçage négatif augmentait également.

Toutefois, des analyses sur chaque groupe et dans chaque condition ont révélé que la corrélation entre les deux scores n'était significative que dans la tâche locale avec des figures denses (Cf. Tableau 2).

	dense						non dense					
	global			local			global			local		
	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
enfants	16	0,29	0,28	18	0,50	0,03	15	-0,46	0,08	15	0,30	0,28
adultes	24	0,02	0,49	23	0,19	0,04	18	0,05	0,84	19	0,03	0,90
total	40	0,27	0,10	41	0,43	0,01	33	-0,24	0,19	34	0,25	0,15

Tableau 2 : Corrélations entre l'effet d'interférence et l'effet d'amorçage négatif, dans chaque condition et pour chaque groupe d'âge. L'effet d'amorçage négatif augmente significativement avec le score d'interférence dans la tâche locale avec une forte densité.

6. Discussion

Cette étude en amorçage négatif avait pour objectif de déterminer si les enfants de 7 ans, âge auquel le biais global est installé mais pas encore identique à celui des adultes, doivent inhiber le niveau hiérarchique conflictuel le plus saillant pour sélectionner une cible apparaissant au niveau hiérarchique le moins saillant. Pour cela, nous avons modulé la densité des figures hiérarchisées (et donc la saillance du niveau global).

Tout d'abord, en amorce, nous avons observé un effet de préférence globale classique chez l'adulte : le niveau global était traité plus rapidement que le niveau local et lorsque les

contenus présents aux deux niveaux étaient en conflit, le niveau global interférait avec la sélection locale, alors que l'inverse n'était pas vrai. Nous avons ainsi répliqué de nombreuses données de la littérature (Kimchi, 1992; Navon, 1977; Poirel, Pineau, et al., 2008). En revanche, chez l'enfant de 7 ans, un avantage global était bien observé, mais le niveau global n'interférait pas avec la sélection locale. Ce résultat pourrait être expliqué à la lumière des données rapportées récemment par Krupskaya et Machinskaya (2012), montrant que les adultes présentent un effet d'interférence uniquement avec des figures hiérarchisées conflictuelles alors que les enfants entre 5 et 7 ans présentent un effet d'interférence à la fois pour des figures hiérarchisées conflictuelles et des figures neutres. En effet, la lettre neutre au niveau non-pertinent, bien que ne correspondant à aucune réponse motrice possible dans la tâche, pourrait interférer perceptivement et sémantiquement avec la lettre cible, ce qui a été confirmé également chez l'adulte avec des études en imagerie cérébrale (Beaucousin et al., 2013; Weissman et al., 2003).

Bien que la lettre neutre ait pu interférer dans une certaine mesure avec les réponses des enfants, il est important de rappeler que la lettre conflictuelle présente au niveau non-pertinent ne devient la lettre à sélectionner durant la probe qu'au cours des essais test, alors que dans les essais contrôle, la lettre à sélectionner n'a pas été présente en amorce. Ainsi, le contraste de traitement des lettres hiérarchisées neutres en probe selon le type d'items traités précédemment en amorce, permettant de révéler la trace de l'inhibition mise en place durant le conflit, reste pertinente y compris chez les enfants. De plus, comme nous le verrons, une corrélation entre l'effet d'interférence et l'effet d'amorçage négatif a bien été retrouvée chez les enfants dans certaines conditions, suggérant ainsi que l'échec à révéler un effet d'interférence en amorce pourrait être lié à une plus grande variabilité interindividuelle.

Par ailleurs, en amorce, la densité des figures hiérarchisées avait, conformément à nos hypothèses, un impact sur les temps de réponse à tous les âges et également sur le taux d'erreurs chez les enfants, indiquant un traitement plus facile des figures respectant les lois gestaltistes de proximité et de bonne forme. L'impact de la densité sur le traitement d'une figure hiérarchisée avait déjà été mis en évidence dans de nombreux travaux, tant chez l'adulte que chez l'enfant (Dukette & Stiles, 1996, 2001; Enns & Girgus, 1985; Kimchi, 1988; Kimchi et al., 2005; Lagasse, 1993), et la présente étude réplique ainsi ces résultats.

Concernant le traitement des probes, les résultats obtenus ici ont révélé pour la première fois l'existence d'un effet d'amorçage négatif chez l'enfant de 7 ans comparable à celui des

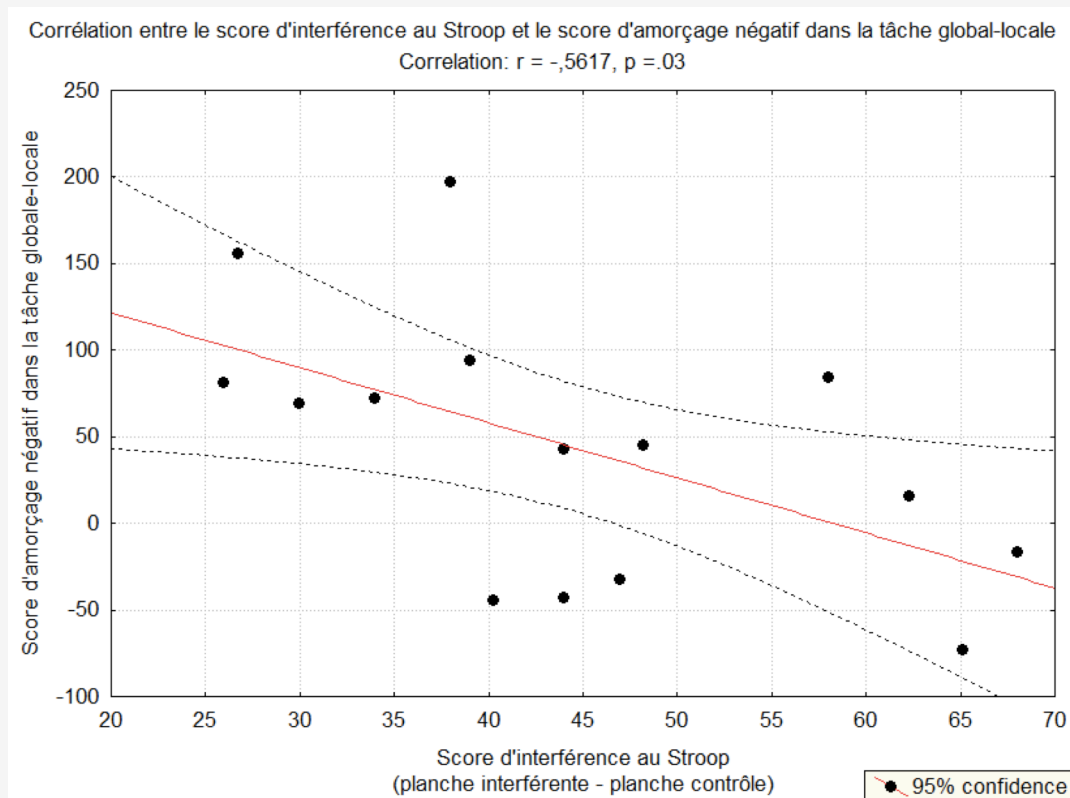
adultes, même lorsque la vitesse de traitement est contrôlée, quand les figures hiérarchisées étaient denses et que la cible locale devait être sélectionnée. Ainsi, lorsque la cible locale en probe correspondait à la lettre qui avait été inhibée au niveau global en amorce, un ralentissement était observé, révélant le coût associé à la levée d'inhibition. De plus, dans les deux groupes d'âge, cet effet d'amorçage négatif était corrélé à l'effet d'interférence. Ainsi, plus le niveau global interférait avec la sélection de la cible locale en amorce, plus le coût associé à la levée d'inhibition en probe était important. Certaines études ont déjà montré une amplitude de l'effet d'amorçage négatif similaire entre les enfants et les adultes (Frings et al., 2007; Pritchard & Neumann, 2004, 2009, 2011). Toutefois, un effet d'amorçage négatif plus important chez les enfants que chez les adultes a déjà été rapporté dans une tâche cognitive plus complexe (Borst et al., 2013), confirmant l'idée d'une dissociation entre une inhibition automatique, mature précocement au cours de la vie, et une inhibition cognitive qui se développerait plus progressivement (Friedman & Miyake, 2004; Howard et al., 2014; Lechuga et al., 2006). Il est suggéré dans la littérature que l'inhibition requise dans une tâche de type Stroop serait automatique (Pritchard & Neumann, 2004, 2009). Or, il semblerait que l'amplitude du score d'amorçage négatif rapportée dans notre étude lors de la tâche locale en forte densité corrèle avec les performances à la tâche classique du Stroop chez les enfants d'âge scolaire (Cf. Données complémentaires 1). Au regard de l'ensemble de ces données, il semble que l'inhibition requise pour ignorer le niveau global et sélectionner le niveau local soit automatique et apparaisse précocement au cours du développement.

Données complémentaires 1

Quinze enfants (7.6 ± 0.55 ans, 7 filles et 8 garçons, 14 droitier.e.s) ayant effectué la tâche locale avec des figures denses ont également réalisé une tâche de type Stroop. L'amplitude de l'effet d'amorçage a été corrélée avec le score d'interférence en secondes au Stroop (TRs pour la planche interférente, à gauche, avec la couleur de l'encre à nommer différente du mot de couleur – TRs pour la planche contrôle, à droite, contenant des carrés de couleur à nommer).



Les résultats indiquent une corrélation négative entre les deux scores, $r = -.56$, $t(14) = 2.45$, $p = .03$, $d = 1.31$. De plus, une corrélation entre le score d'interférence en amorce et le score d'amorçage négatif en probe pour la tâche globale/locale était bien retrouvée dans ce groupe, $r = .55$, $t(14) = 2.37$, $p = .03$, $d = 1.27$. Ce résultat montre ainsi que plus l'enfant est lent pour réactiver une information qui vient d'être inhibée (inhibition forte), meilleur est son score à la lecture de la planche interférente du Stroop. En effet, les enfants sont particulièrement ralentis pour la planche interférente du Stroop lorsqu'ils se trompent (lisent le mot de couleur) et se reprennent. On peut donc penser que l'enfant qui inhibe fortement la réponse non-pertinente lors d'un conflit parvient plus efficacement à supprimer la lecture du mot, et est ainsi plus performant lors de la tâche Stroop.



Toutefois certains aspects du traitement global-local pourraient émerger plus lentement au cours du développement. Ainsi, nos résultats sur les probes ont montré des effets développementaux dans le traitement global/local lorsque les figures hiérarchisées étaient peu denses, c'est-à-dire lorsque la saillance du niveau global était diminuée.

Tout d'abord, chez les adultes, l'effet d'amorçage négatif, présent dans le traitement local et non dans le traitement global, n'était pas significativement différent entre la tâche avec des figures non-denses et la tâche avec des figures denses. Toutefois, l'avantage global, qui était bien présent lors du traitement des probes avec les figures denses disparaissait lors du traitement des figures peu denses. Ainsi, nous avons confirmé que la diminution de la saillance d'une cible globale peut bien avoir un impact sur la rapidité de son traitement, y compris chez l'adulte. Il a déjà été suggéré, au vu de certains résultats contradictoires de la littérature, que le biais global pourrait émerger à diverses étapes du traitement : lorsque sa saillance est forte, son émergence est d'ordre perceptif, en lien avec le traitement des basses fréquences spatiales. Le niveau global peut également être dominant sur le plan attentionnel chez l'adulte, avec une allocation prioritaire des ressources, même lorsque ses caractéristiques psychophysiques ne sont pas plus saillantes que celles du niveau local (Ripoll et al., 2005). Ainsi, nous retrouvons bien ici une dissociation entre la rapidité de traitement du niveau global qui diffère selon la densité des figures hiérarchisées, et les effets liés à l'interférence et à l'inhibition qui ne diffèrent pas avec la densité des figures.

Chez les enfants de 7 ans, de la même façon, l'avantage global n'était pas retrouvé en probe avec des figures peu denses. En revanche, contrairement aux adultes, l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif tendait à s'inverser : alors qu'un effet d'amorçage négatif était retrouvé au niveau local avec des figures denses, cet effet n'existait plus avec des figures peu denses. De plus, le niveau global tendait à être traité plus lentement après une amorce conflictuelle qu'après une amorce neutre, et l'amplitude de cette différence entre les conditions de la tâche globale était plus forte chez les enfants que chez les adultes, même après un contrôle de la vitesse générale de traitement. Ainsi, bien que les enfants de 7 ans aient déjà acquis un biais global solide avec des figures denses, il semblerait que ce biais soit moins résistant que chez l'adulte à des manipulations de saillance. En effet, lorsque le niveau global devenait moins saillant, les enfants d'âge scolaire semblaient traiter la lettre conflictuelle locale en amorce, ce qui entraînait un coût lors de sa réactivation en probe au niveau global. En revanche, lorsque l'attention était portée vers le niveau local, les enfants ne semblaient pas avoir besoin d'inhiber la lettre globale conflictuelle pour sélectionner la cible.

Il est toutefois important de rappeler que, dans les tâches avec des figures de faible densité, aucune corrélation entre l'effet d'interférence en amorce et l'effet d'amorçage négatif en probe n'était retrouvée chez l'enfant et chez l'adulte.

Ces résultats concernant le traitement des figures hiérarchisées peu denses vont dans le sens d'études antérieures qui ont montré que l'enfant peut présenter un biais vers le niveau global très jeune, tout en basculant vers un traitement privilégié du niveau local lorsque les figures sont peu denses (Dukette & Stiles, 1996, 2001). L'enfant privilégierait le groupement lorsque des éléments suivent la loi gestaltiste de proximité et la segmentation lorsque les éléments sont plus espacés (Burack et al., 2000; Enns & Girgus, 1985). Différents travaux ont montré que le biais global s'installerait de façon plus résistante aux alentours de 6 ans pour atteindre un niveau adulte aux alentours de 10 ans (Dukette & Stiles, 1996; Poirel et al., 2011; Poirel, Mellet, et al., 2008). Ainsi, les enfants qui ont été inclus dans la présente étude se trouvaient, à 7 ans, exactement au cœur de ce changement. Cela peut expliquer pourquoi, en condition de faible densité, les enfants ne présentaient pas un avantage vers le niveau local, tout en restant sensibles à son contenu lors de la sélection globale. Nos résultats révèlent ainsi une dissociation entre la vitesse de traitement, qui n'est biaisée en faveur d'aucun niveau hiérarchique, et les processus sous-jacents d'inhibition du niveau local mis en œuvre pour permettre une sélection globale efficiente. La trace de cette inhibition semble pouvoir être révélée par l'utilisation d'un paradigme d'amorçage négatif, alors qu'elle ne transparait pas nécessairement lors de la mesure d'effets d'interférence. Les résultats de la présente étude, comme ceux exposés dans l'Étude 2 vont dans le sens d'une dissociation entre la sensibilité perceptive d'un niveau hiérarchique et sa priorisation attentionnelle, conformément à l'hypothèse formulée par Mondloch et al. (2003). Nous répliquons ainsi des données de Kimchi et al. (2005) qui ont observé, dans une tâche de recherche visuelle avec des figures peu denses, que le niveau local n'était pas traité plus rapidement que le niveau global, alors que la recherche était plus efficiente au niveau local qu'au niveau global chez l'enfant dès 5 ans.

Nos travaux permettent ainsi de concevoir que, chez des enfants d'âge scolaire, des résultats divergents puissent être rapportés dans la littérature, certains montrant la persistance d'un biais local et d'autres au contraire l'existence d'un biais global similaire à celui des adultes. Comme nous l'avons vu, ces divergences pourraient être liées à la saillance respective des niveaux hiérarchiques, mais également aux processus cognitifs impliqués dans chaque tâche.

L'ensemble de ces données sont compatibles avec une conception dynamique du développement (Houdé, 1995, 2000, 2015; Siegler & Jenkins, 1989), concevant l'existence de plusieurs traitements ou stratégies possibles à un âge donné, qui entreraient en compétition. Ainsi, le biais global pourrait être dominant dans certaines tâches au début de l'âge scolaire, mais la sensibilité au niveau local pourrait néanmoins rester plus forte que chez les adultes, nécessitant alors d'être inhibée.

7. Conclusion

Cette étude en amorçage négatif a permis de montrer que l'enfant de 7 ans, tout comme l'adulte, doit bien inhiber une information globale conflictuelle et saillante afin de sélectionner l'information locale pertinente. Lorsque le niveau global était saillant (figures hiérarchisées denses), l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif était ainsi identique à 7 ans et à l'âge adulte, confirmant que l'inhibition requise dans le traitement d'une cible non-saillante serait automatique et mature précocement. Cette étude a également montré que la sélection et l'inhibition attentionnelles sous-tendant le traitement global/local sont impactées par une diminution de la densité des figures hiérarchisées (et donc de la saillance globale). Lorsque les figures hiérarchisées sont moins denses, les adultes ne présentent plus d'avantage global en probe; toutefois l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif lors du traitement local (inhibition du niveau global) reste similaire à celle observée lors du traitement de figures hiérarchisées denses. Chez l'enfant de 7 ans, en revanche, l'amplitude de l'effet d'amorçage tendait à s'inverser : l'inhibition du niveau global n'était plus observée lors de la sélection locale, alors que l'amplitude de l'effet amorçage négatif pour la sélection globale (inhibition du niveau local) était plus importante que chez l'adulte. Ces données permettent de rendre compte des résultats divergents rapportés dans la littérature en insistant sur la nécessité de considérer la saillance des niveaux hiérarchiques ainsi que les processus cognitifs engagés dans chaque tâche lors de l'étude de l'ontogenèse du traitement global/local.

DISCUSSION

ROLE DE LA SAILLANCE ET DE L'INHIBITION DANS LE DEVELOPPEMENT DU TRAITEMENT GLOBAL/LOCAL UNE CONCEPTION DYNAMIQUE ET NON LINEAIRE.

1- Résumé des objectifs et des principaux résultats obtenus.

Ce travail de thèse consistait à mettre en rapport l'effet de précedence globale, au cours du développement, avec les modèles de la compétition attentionnelle et de l'inhibition. Pour cela, nous avons cherché à montrer, dans un premier axe de recherche, que le niveau hiérarchique d'apparition d'une cible (global, intermédiaire, local) impacte le poids de sa saillance lors de la recherche visuelle. Nous avons ensuite caractérisé le développement de cette compétition visuo-attentionnelle globale/locale en distinguant les différences liées à la sensibilité perceptive (quel niveau est traité le plus rapidement au cours du développement) et celles liées à la priorisation attentionnelle (la recherche est-elle efficace ou moins efficace ?). Dans un second axe de recherche, nous avons cherché à montrer que, quel que soit l'âge, le niveau hiérarchique le plus saillant doit être inhibé pour que le niveau hiérarchique le moins saillant puisse être sélectionné.

Les résultats du premier axe de recherche montrent qu'en effet, le niveau hiérarchique impacte la compétition visuelle : le niveau local est toujours désavantagé durant la compétition, avec une recherche peu efficace, alors que les niveaux plus structurels (global et intermédiaire) « sautent aux yeux » quel que soit le nombre de distracteurs présentés à l'écran. Ces résultats étaient maintenus même après un contrôle des facteurs qui covarient habituellement avec le niveau hiérarchique (taille des éléments aux différents niveaux et distance spatiale entre les niveaux). Une étude développementale nous a permis de répliquer de tels résultats chez l'enfant dès 5 ans. Toutefois, des différences développementales concernant la sensibilité perceptive étaient rapportées selon l'âge : alors que les adultes et les enfants de 9 ans traitaient aussi rapidement les niveaux global et intermédiaire, et plus lentement le niveau local, les enfants de 5 ans présentaient quant à eux une sensibilité accrue

au niveau global (le niveau global était traité plus rapidement que le niveau intermédiaire et le niveau intermédiaire plus rapidement que le niveau local) et les enfants de 6 ans étaient particulièrement sensibles au niveau intermédiaire (le niveau intermédiaire était traité plus rapidement que le niveau global et le niveau global plus rapidement que le niveau local), ce que nous avons interprété comme un effet lié à l'apprentissage syllabique de la lecture (les syllabes étant le niveau intermédiaire entre les lettres et les mots). Par ailleurs, les enfants les plus jeunes de 5 et 6 ans faisaient de nombreuses erreurs lors de la sélection du niveau local, ce que nous avons interprété en termes de difficultés d'inhibition de l'information globale et intermédiaire, en mettant en lien nos résultats avec l'impulsivité comportementale et les plus faibles capacités d'inhibition motrice rapportées à ces âges. Enfin, les pentes de recherche visuelle des enfants de 5 et 6 ans étaient plus prononcées lorsqu'aucune cible n'était présente à l'écran, ce que nous avons mis en lien avec les difficultés de désengagement attentionnel, d'inhibition et de planification de la recherche visuelle rapportés à ces âges.

Les résultats du second axe de recherche ont permis de montrer que le niveau hiérarchique le plus saillant doit être inhibé afin que le niveau le moins saillant puisse être sélectionné. Dans une première étude chez l'adulte, nous avons montré l'existence d'un effet d'amorçage négatif lors du traitement local mais non lors du traitement global, c'est-à-dire l'existence d'un ralentissement lors du traitement d'une lettre hiérarchisée neutre lorsque celle-ci était précédée d'une lettre hiérarchisée conflictuelle (par rapport à une situation contrôle où elle était précédée d'une lettre hiérarchisée neutre). Nous avons montré que cet effet d'amorçage négatif était bien lié à l'inhibition du niveau global conflictuel lors du traitement de la cible locale, et non à une récupération mnésique ou à un ralentissement post-conflit, théories alternatives à l'inhibition pour interpréter l'effet d'amorçage négatif. Enfin, nous avons montré l'existence d'une corrélation entre l'amplitude de l'effet d'interférence causée par le niveau global en amorce et l'amplitude de l'effet d'amorçage négatif subséquent, indiquant que l'inhibition requise dépend de la force du conflit. Dans une deuxième étude développementale, nous avons montré l'existence d'un effet d'amorçage négatif d'amplitude identique lors du traitement du niveau local chez l'enfant de 7 ans en comparaison des adultes, même après un contrôle de la vitesse générale de traitement. Ce résultat indique que l'inhibition du niveau global le plus saillant est bien nécessaire pour sélectionner le niveau local moins saillant, y compris chez les enfants. De plus, ce résultat suggère que ce type d'inhibition serait automatique (ou déjà automatisée) car elle n'évoluerait pas avec l'âge. Dans cette même étude, nous avons modulé la saillance du niveau global en faisant varier la

densité des figures hiérarchisées. Lors du traitement de figures hiérarchisées de faible densité (peu d'éléments locaux, ce qui diminue la saillance globale), nous avons montré que l'effet d'amorçage négatif ne différait pas significativement chez les adultes alors que les enfants de 7 ans présentaient un pattern inversé, avec un effet d'amorçage négatif plus important dans la tâche globale (inhibition locale). De façon intéressante, les adultes et les enfants ne présentaient pas d'avantage perceptif pour l'un ou l'autre niveau lors du traitement de figures peu denses : les processus d'inhibition qui sous-tendent la sélection d'un niveau hiérarchique pourraient ainsi être indépendants de la vitesse de traitement observée à ce niveau.

L'ensemble de ces données suggère des variations de sensibilité perceptive aux différents niveaux hiérarchiques selon l'âge. Toutefois, quel que soit le niveau le plus rapidement traité, la sélection du niveau le moins saillant nécessiterait l'inhibition du niveau le plus saillant. Cela explique pourquoi les enfants très jeunes commettent davantage d'erreurs lors de la sélection du niveau le moins saillant : leurs plus faibles capacités d'inhibition préfrontale ne leur permettraient pas de sélectionner correctement le niveau pertinent.

2- Au-delà de la dichotomie globale/locale

L'ensemble des travaux menés dans le cadre de cette thèse confirme que l'avantage global habituellement observé chez les adultes dépend de la saillance de ce niveau, permettant ainsi de rendre compte de l'effet de précedence globale au travers des modèles de la compétition attentionnelle. La prévalence du Tout sur les parties ne peut exister, en effet, que si les lois perceptives de la Gestalt, permettant le groupement, sont respectées. Si ce n'est plus le cas, une diminution, voire une absence de l'avantage global (condition de faible densité de l'Étude 4) voire même une bascule vers un avantage local (Mevorach et al., 2009), peuvent être observés. Différents facteurs modulent le groupement d'éléments en une structure saillante. Dans cette thèse, nous avons modulé la saillance globale par la densité des figures, mais d'autres facteurs, comme par exemple les filtrages en hautes ou basses fréquences spatiales (Hübner, 1997; Hughes et al., 1996; Lagasse, 1993; Lamb & Yund, 1993; Peyrin et al., 2010) ou la colinéarité (Hadad & Kimchi, 2006) peuvent impacter les capacités de groupement.

Ainsi la carte des caractéristiques des objets, décrite dans de nombreux modèles (Koch & Ullman, 1985; Michael et al., 2006; Navalpakkam & Itti, 2006; Treisman & Gelade, 1980;

Wolfe, 2014) pourrait prendre en considération les lois de la Gestalt : si celles-ci sont respectées, le niveau global recevrait un poids fort sur la carte des saillances. A mesure que les différents facteurs facilitant le groupement seraient détériorés, la saillance globale deviendrait moins forte jusqu'à atteindre un seuil de « bascule » auquel le niveau local serait celui qui reçoit le poids le plus fort sur la carte des saillances.

Au cours du développement, nous avons montré, conformément à des études précédentes dans lesquelles les stimuli présentent des densités faibles (Dukette & Stiles, 1996, 2001) que les enfants au début de l'âge scolaire sont plus sensibles à des manipulations de la densité que les adultes. Ces études précédentes avaient rapporté qu'à partir de 6 ans, les enfants deviennent plus sensibles à ces manipulations. Nous avons montré dans cette thèse, en étudiant les processus sous-jacents à la sélection attentionnelle globale, que les enfants de 7 ans restent plus sensibles au contenu présent au niveau local que les adultes lorsque les figures hiérarchisées sont de faible densité. Au regard de ces résultats, et au vu des divergences rapportées dans la littérature chez l'enfant, nous proposons qu'au cours du développement, le seuil de bascule entre un biais global et un biais local pourrait varier. Ce seuil de bascule ne serait pas équivalent entre les individus (différences interindividuelles) et, autour de ce seuil, des dissociations pourraient être observées entre l'avantage perceptif d'un niveau, l'interférence causé par ce niveau, et la nécessité d'inhiber ce niveau pour sélectionner l'autre plus pertinent (Cf. Figure 52).

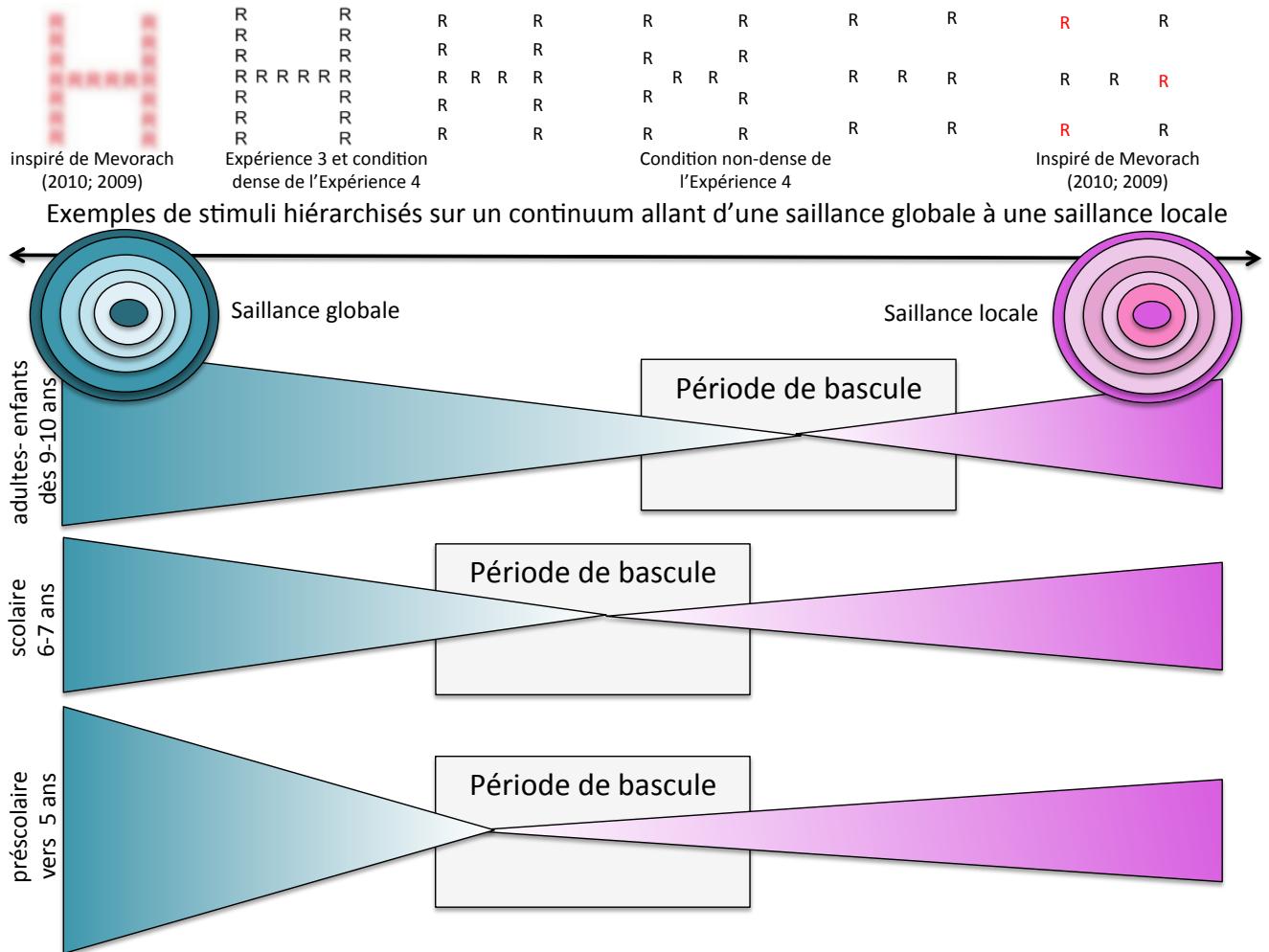


Figure 52. Proposition hypothétique des variations de la période de bascule d'un biais global à un biais local selon l'âge et en fonction de la saillance respective des niveaux hiérarchiques. En haut, des exemples de figures hiérarchisées avec une saillance variant sur un continuum du plus global au plus local. Les figures extrêmes sont inspirées de Mevorach (2010, 2009), qui permettent l'observation chez l'adulte d'un effet de précedence globale pour celle la plus à gauche et d'un effet de précedence locale pour celle la plus à droite, avec des activations inversées du cortex pariétal postérieur selon le niveau . La 2^{ème} figure en partant de la gauche est celle employée dans les Études 1 et 4 de cette thèse (condition dense) et la 4^{ème} figure celle employée dans la condition de faible densité de l'Étude 4. Le biais global serait plus résistant (bascule plus tardive) chez l'adulte et l'enfant à partir de 9-10 ans que chez les enfants les plus jeunes. Par ailleurs, dans la période de bascule (carrés grisés), des différences interindividuelles pourraient être observées ainsi que des dissociations entre la sensibilité perceptive et la dominance attentionnelle. Par exemple, chez les enfants de 7 ans, aucun avantage local n'est observé avec le 4^{ème} stimulus mais l'effet d'amorçage négatif reste plus fort dans la tâche globale (inhibition locale) que locale (inhibition globale). De plus, la force d'activation d'un niveau pourrait varier avec l'âge (taille des bases des triangles) : par exemple, nous avons montré que les enfants de 5 ans ont un biais renforcé pour le niveau global lorsque les figures sont denses par rapport aux autres groupes d'âge (Étude 2 de cette thèse).

Au-delà des manipulations de la saillance des figures hiérarchisées, cette thèse a également révélé des différences nuancées au cours du développement grâce à l'ajout d'un troisième niveau intermédiaire, entre le niveau global et local. Avec des figures hiérarchisées denses, le traitement local était défavorisé et les niveaux structurels global et intermédiaire « sautaient au yeux » dans tous les groupes d'âge, de 5 à 9 ans. Néanmoins, des différences développementales ont émergé dans le traitement de ces niveaux structurels : le niveau global

était traité plus rapidement à 5 ans, alors qu'ensuite l'enfant traitait plus rapidement le niveau intermédiaire à 6 ans, pour finalement présenter une vitesse équivalente pour les niveaux global et intermédiaire dès 9 ans. Ainsi, la dichotomie, peut-être trop simpliste, entre un niveau global et un niveau local, semble masquer des différences de traitement spécifiques aux niveaux qui créent du sens dans une scène visuelle, à savoir les niveaux structurels. En ajoutant ce troisième niveau, il est intéressant d'observer des différences de traitement non linéaires, qui semblent pouvoir être impactées par les apprentissages scolaires, comme nous l'avons suggéré pour expliquer le biais vers les informations intermédiaires des enfants de CP, période forte d'apprentissage de la lecture avec la méthode syllabique (Cf. Figure 53). Ce point de recherche reste à explorer. Dans le modèle développemental post-piagétien de Pascual-Leone (Pascual-Leone, 1984; Pascual-Leone & Goodman, 1979), les opérateurs silencieux liés aux apprentissages peuvent impacter l'activation des schèmes au cours du traitement de l'information, ce qui pourrait rendre compte de ces variations fines que nous avons constatées entre les enfants de 5 ans scolarisés en maternelle et les enfants de 6 ans scolarisés au CP. Dans le contexte du modèle dynamique et non-linéaire de Houdé (Borst et al., 2015; Houdé, 1995, 2000, 2015; Houdé & Borst, 2014; Houdé & Leroux, 2009), on peut comprendre cet effet de la manière suivante : l'apprentissage constituerait un contexte particulier capable de moduler l'amplitude d'activation d'un schème spécifique de traitement. Par exemple, dans le domaine de la créativité, des différences dans la puissance d'un effet de fixation (le fait de rester fixer sur des connaissances habituelles et limitées pour trouver une solution à un problème) ont pu être observées selon les parcours universitaires suivis par les individus (Agogué, Poirel, Pineau, Houdé, & Cassotti, 2014).

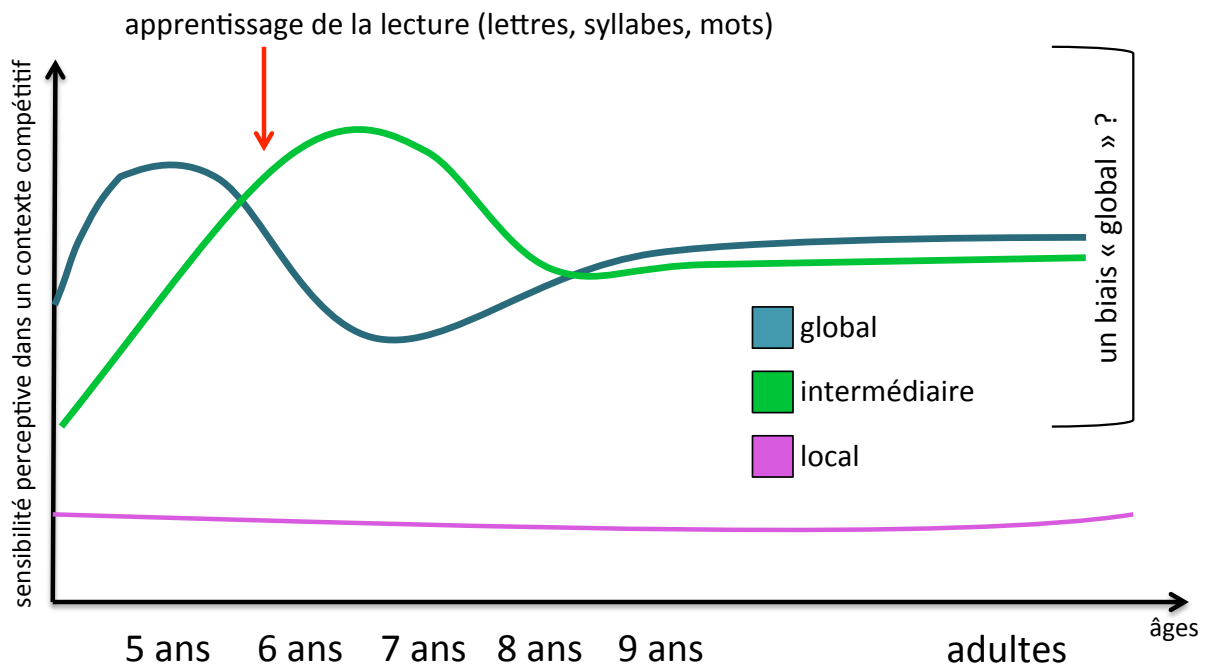


Figure 53 Que se cache-t-il derrière un « biais global » ? Mise en évidence d'un développement non linéaire de la sensibilité perceptive dans un contexte de compétition (présence de distracteurs à l'écran) grâce à l'ajout d'un niveau intermédiaire (en vert) entre le niveau global (en bleu) et local (en rose). Les apprentissages scolaires pourraient ainsi avoir un impact sur cette sensibilité perceptive.

3- Le syncrétisme puéril: une réinterprétation en termes d'activation / inhibition.

Dans notre premier axe de recherche, nous avons montré que les enfants de 5 et 6 ans commettent beaucoup d'erreurs en comparaison des enfants de 9 ans et des adultes lorsque la cible apparaît au niveau local peu saillant, et nous avons interprété ce résultat par un plus faible contrôle exécutif chez les enfants les plus jeunes. Cette hypothèse semble confirmée par les résultats obtenus dans notre second axe de recherche. En effet, nous avons montré que l'inhibition du niveau le plus saillant conflictuel est nécessaire, chez les enfants de 7 ans comme chez les adultes, pour que la sélection du niveau le moins saillant soit efficace. Ces données peuvent être interprétées dans le cadre d'un modèle dynamique et non linéaire du développement (Borst et al., 2015; Houdé, 1995, 2000, 2015; Houdé & Borst, 2014; Houdé & Leroux, 2009) : le niveau hiérarchique le plus activé à un âge donné correspondrait ainsi à un traitement plus automatisé (« heuristique »), qui, lorsqu'il n'est pas adapté à la tâche, doit être inhibé pour que le niveau moins automatique mais pertinent (algorithme), soit activé (Cf. Figure 54).

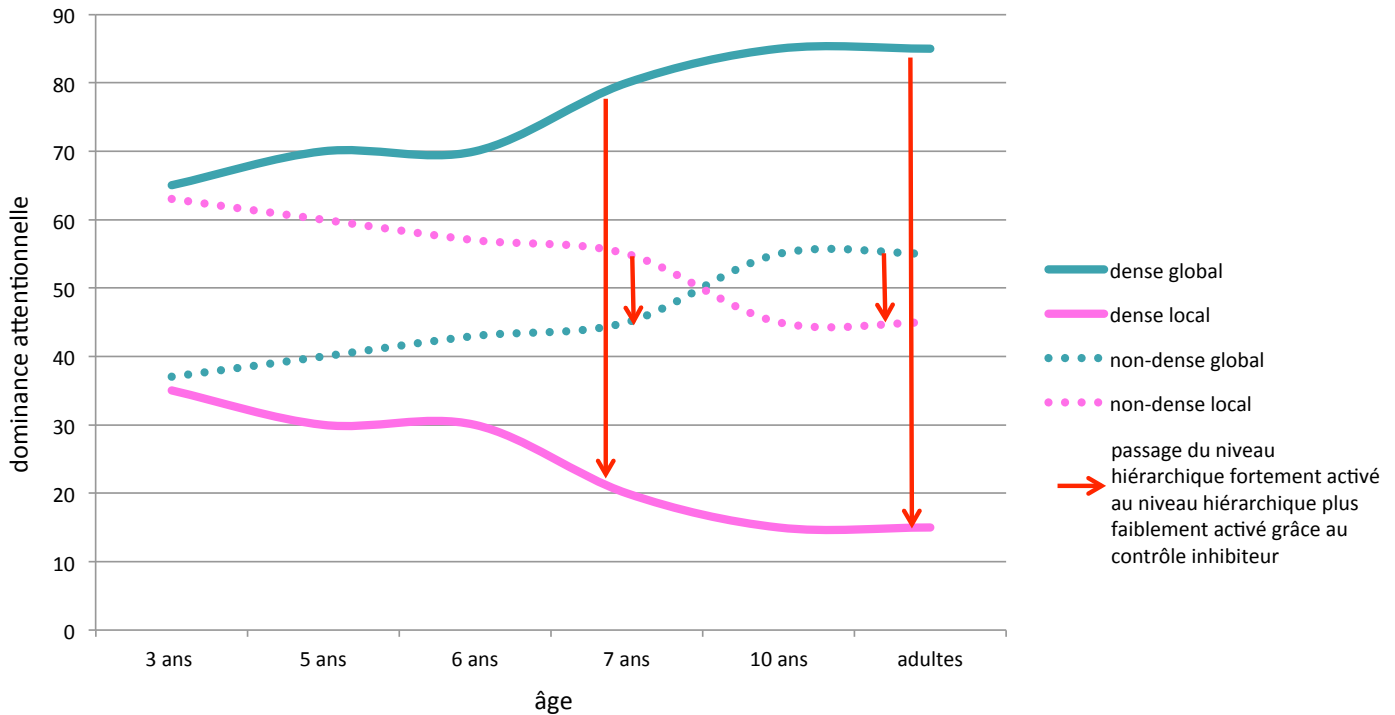


Figure 54 Proposition théorique basée sur l'activation et l'inhibition des niveaux hiérarchiques selon l'âge et la densité des figures hiérarchisées. L'idée est la suivante : à un âge donné, une dominance locale peut coexister avec une dominance globale selon la densité des figures. Dès 7 ans, l'important écart entre la dominance globale et locale pour les figures denses conduit à inhiber la forme globale pour traiter la forme locale. Pour les figures peu denses, l'écart d'activation entre les deux niveaux est plus faible, chez l'enfant comme chez l'adulte, ce qui pourrait expliquer l'absence d'avantage local ou global sur la vitesse de traitement et d'effets d'interférence malgré la présence d'un processus d'inhibition.

Ce modèle conçoit également que différentes stratégies coexistent à un âge donné, ce qui rejoint nos observations : une stratégie globale pour des figures denses pourrait ainsi coexister avec une stratégie locale pour des figures de faible densité, ce qui rendrait compte des résultats divergents observés dans la littérature à un même âge du développement. De façon intéressante, ce modèle nous permet également de rendre compte des dissociations que nous avons pu observer entre 1) l'effet de précedence d'un niveau (plus grande rapidité de son traitement et interférence avec le traitement de l'autre niveau), et 2) l'inhibition de ce niveau. En effet, dans la condition dense, nous avons observé à la fois un effet de précedence globale et un processus d'inhibition du niveau global conflictuel pour la sélection locale. En revanche, dans la condition de faible densité, aucun avantage perceptif ni effet d'interférence n'était observé, pourtant les adultes devaient toujours inhiber le niveau global pour sélectionner le niveau local et les enfants de 7 ans le niveau local pour sélectionner le niveau global. Notre interprétation est la suivante : la saillance des figures hiérarchisées non-denses que nous avons employées serait à la frontière du seuil de bascule entre le biais global et le biais local (Cf. Figure 52, p. 223). Ainsi, le niveau global serait plus activé chez les adultes que le niveau local, mais l'écart d'activation entre ces deux niveaux serait faible, ne produisant pas

d'avantage perceptif ou d'effet d'interférence mesurables par des temps de réaction. Toutefois, l'inhibition du contenu apparaissant au niveau global resterait bien nécessaire. De la même façon, le niveau local serait plus activé chez les enfants de 7 ans que le niveau global, mais là encore l'écart d'activation entre ces stratégies serait faible, produisant une dissociation entre l'effet de précédence locale et la nécessité sous-jacente d'inhibition locale au cours de la sélection globale (Cf. Figure 53, p. 225).

Nous avons montré avec des figures denses que la capacité des enfants de 7 ans à inhiber une réponse heuristique globale pour gérer l'interférence du conflit entre le niveau global et local corrélait avec leurs performances au Stroop. Cela suggère que l'incapacité à inhiber une réponse non pertinente mais automatisée pourrait conduire à commettre davantage de réponses impulsives erronées. Ainsi, les enfants les plus jeunes de 5 ans et 6 ans dans l'Étude 2 de l'Axe 1 commettraient davantage d'erreurs dans la tâche locale en raison d'une incapacité à inhiber les niveaux structurels les plus saillants. Dès lors, il semble que les données rapportées dans la littérature à l'âge préscolaire puissent être réinterprétées en termes de déficit du contrôle inhibiteur. Le syncrétisme puéril (Claparède, 1925, 1938), décrit classiquement comme une vision confuse de l'ensemble, ne serait pas lié à une incapacité à percevoir les détails, mais plutôt comme l'incapacité d'intégrer différents niveaux hiérarchiques (Piaget, 1961; Vinter et al., 2010). Notre proposition est alors la suivante : l'intégration des deux niveaux nécessite la capacité de percevoir et se représenter le niveau le plus saillant tout en étant capable de l'inhiber pour que le niveau moins saillant soit également pris en considération. Si les enfants les plus jeunes, de 3 à 4 ans ont tendance à n'avoir qu'une représentation du détail ou de la structure, c'est qu'ils manqueraient du contrôle exécutif nécessaire à ce type d'opérations. Lorsqu'ils y parviennent, la trace de cette difficulté originelle d'intégration reste mesurable par la signature du processus d'inhibition telle que nous l'avons révélée avec nos tâches en amorçage négatif (Étude 4). Cette proposition théorique devra néanmoins s'enrichir de nouvelles données afin de spécifier avec davantage d'exactitude le fonctionnement de la sélection et de l'inhibition globale/locale au cours du développement. Dans ce but, un projet en électro-encéphalographie haute-densité (256 canaux) au LaPsyDÉ est en cours chez l'adulte avec notre paradigme d'amorçage négatif : l'étude des potentiels évoqués impliqués dans l'effet d'amorçage négatif nous donnera ainsi des indications sur le déroulement temporel de cet effet et les aires cérébrales utiles à sa mise en œuvre (Perspective 1).

Par ailleurs, nous souhaiterions poursuivre nos études sur la relativité du biais global/local : l'effet d'amorçage négatif peut-il être diminué, augmenté, inversé à la fois selon l'âge et en fonction de la saillance de chaque niveau? Lorsque des figures comportent plus de deux niveaux, quel niveau doit être inhibé pour permettre la sélection locale ? Que se passe-t-il lorsqu'un conflit est ajouté dans une tâche de recherche visuelle globale/locale ? (Perspective 2)

Enfin, tout au long de cette thèse, nous avons posé l'idée d'une interdépendance entre la perception et les mécanismes cognitifs d'inhibition permettant d'activer les stratégies logiques (algorithmes). La perception aurait une influence (parfois trompeuse) sur les conceptions logiques et l'intelligence pourrait quant à elle moduler la perception par un contrôle top-down. Un de nos projets en cours consiste à se questionner sur le lien entre les heuristiques perceptives et logiques: le biais global est-il impliqué dans l'heuristique « longueur = nombre » (tendance à penser que la rangée la plus longue est celle qui contient le plus d'éléments, Cf. Figure 18, p. 99) qui doit être inhibée pour que la tâche logico-mathématique piagétienne de conservation soit réussie (Borst et al., 2012; Daurignac et al., 2006, 2006; Houdé, 1997; Houdé & Guichart, 2001; Poirel, Borst, et al., 2012) (Perspective 3, p. 117) ?

ÉTUDES EN COURS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

1- **Perspective 1. Amorçage négatif global/local : une étude en potentiels évoqués (étude en cours)**

Afin de préciser la chronométrie de l'effet d'amorçage négatif, nous avons débuté un projet en électroencéphalographie (EEG) haute densité (256 canaux). Quinze volontaires, droitier.e.s, étudiant.e.s en Psychologie à l'Université Paris Descartes, ont participé à cette étude, et les données sont à l'heure actuelle en cours de traitement (des analyses préliminaires seront présentées ici). Le protocole était constitué de deux sessions d'une demi-heure, une pour la tâche globale et l'autre pour la tâche locale (ordre contrebalancé entre les sujets), avec une semaine à un mois de délai entre les deux enregistrements EEG. La tâche était identique à celle présentée dans l'Étude 3 de cette thèse (Expérience 1) mais le nombre d'essais était augmenté, avec 96 essais par conditions (fillers, contrôle et test), pour répondre aux contraintes de l'EEG qui nécessite un grand nombre de répétitions des stimuli avant moyennage afin de faire émerger les potentiels évoqués.

Méthode EEG

Le signal de l'électroencéphalogramme (EEG) a été recueilli au moyen d'un casque HydroCel Geodesic Sensor Net (Electrical Geodesics Inc., Eugene, Oregon, USA, Cf. Figure 55) composé de 256 électrodes incluses dans de petites éponges imbibées d'une solution saline (chlorure de potassium). Le signal EEG était enregistré de façon continue et amplifié (amplificateur DC, Net Amps 300, EGI) puis numérisé à une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz. Durant l'enregistrement, une référence au niveau du vertex était utilisée et l'impédance des électrodes ne dépassait pas 100 kilo-Ohms (conformément aux recommandations de ce système). Les mouvements et clignements oculaires étaient enregistrés grâce à des paires d'électrodes incluses directement dans le casque et recouvrant le visage.

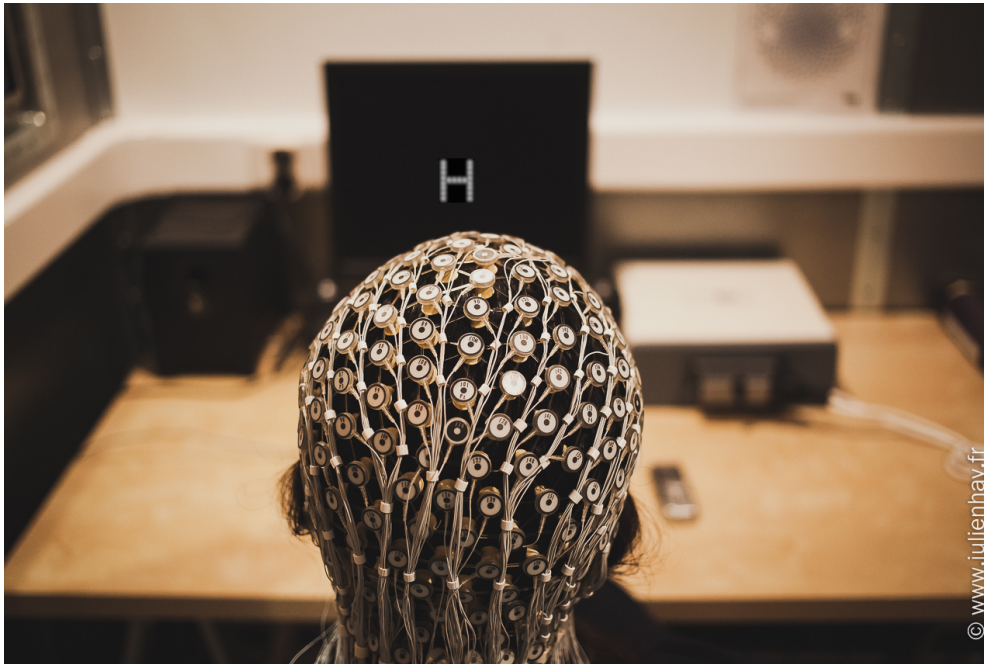


Figure 55 Dispositif EEG haute-densité utilisé dans le Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant (LaPsyDÉ). Le casque HydroCel Geodesic Sensor Net est posé directement sur la tête du sujet et contient 256 électrodes reliées à l'amplificateur.

Le signal a ensuite été filtré selon la bande de fréquence 0.1 Hz à 30 Hz puis segmenté selon la fenêtre temporelle choisie : entre -200 et 800 ms autour de l'apparition du stimulus. Seuls les essais contrôle et test pour lesquels les participant.e.s avaient répondu correctement à la fois en amorce et en probe et pour lesquels les temps de réponse étaient supérieurs à 160 ms ont été conservés. Les segments ainsi obtenus ont été répartis en 4 catégories à la fois pour la tâche globale et pour la tâche locale : neutre (essais contrôle en amorce), interférente (essais test en amorce), contrôle (essais contrôle en probe) et amorçage négatif (essais test en probe).

Dans un second temps, les artefacts ont été détectés selon les critères suivants : signaux d'amplitude supérieure à 200 μV , clignements oculaires supérieurs à 140 μV et mouvements oculaires supérieurs à 100 μV . Les électrodes ayant un taux de segments artefactés supérieur à 20% sur l'ensemble des essais et les segments comportant plus de 25 électrodes artefactées ont été rejetés des analyses. Dans les segments conservés, le signal des électrodes comportant des artefacts a été interpolé à partir du signal des électrodes voisines. Les mouvements oculaires restants ont été corrigés au moyen d'un outil spécifique d'EGI Net Station, Ocular Artifact Removal (Gratton, Coles, & Donchin, 1983).

Pour tou.te.s les participant.e.s et dans toutes les conditions, les essais restants ont été moyennés, puis le signal a été transformé en fonction d'une référence moyenne calculée *off-*

line, et enfin une correction de la ligne de base a été opérée à partir des 200 ms précédant l'apparition du stimulus à l'écran.

Deux participant.e.s (1 femme et 1 homme) ont été exclu.e.s des analyses en raison d'un très grand nombre d'artefacts dans l'EEG essentiellement dus à des mouvements oculaires (42% et 85% de rejet). Pour les participant.e.s restant.e.s (7 femmes, 6 garçons, 23 ± 4 ans) en moyenne $16 \pm 7\%$ des essais ont été rejetés.

Pour finir, la grande moyenne (moyenne du groupe) a été calculée pour chaque condition expérimentale. À partir de ce signal moyen présentant une succession de déflexions positives et négatives, nous avons pu identifier les fenêtres de latence et distributions topographiques des potentiels évoqués d'intérêt. Nous avons ensuite sélectionné des petits groupes d'électrodes correspondant aux sites d'enregistrement de l'amplitude maximale de l'onde concernée:

-En amorce, la P3 (326 ± 58 ms), avec une amplitude maximale (2.84 ± 2.1 μ V) sur des électrodes pariéto-occipitales

-En probe, la P1 (110 ± 12 ms), avec une amplitude maximale (2.76 ± 1.88 μ V) sur les électrodes occipitales

-En probe, la N2 (309 ± 67 ms), avec une amplitude maximale (-2.41 ± 2.3 μ V) sur des électrodes fronto-centrales

Résultats comportementaux

Les temps de réponse, pour les amorces et pour les probes, des 13 participant.e.s retenu.e.s dans cette étude ont été analysés grâce à deux ANOVAs à 2 modalités pour le niveau hiérarchique d'apparition de la cible (global, local) \times 2 modalités pour la condition (contrôle, test).

En amorce, nous avons observé un effet principal du niveau, $F(1,12) = 57.46$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .80$, avec un avantage du global (442 ± 65 ms) sur le local (563 ± 59 ms). Le type de condition n'entraînait pas de différence significative sur les temps de réponse, $F(1,12) = 2.42$, $p = .014$.

En probe, l'ANOVA a révélé un effet principal du niveau, $F(1,12) = 46.97$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .80$, avec un avantage du global (442 ± 65 ms) sur le local (563 ± 59 ms). Nous avons aussi trouvé un effet principal de la condition, $F(1,12) = 4.62$, $p = .05$, $\eta_p^2 = .23$, avec un avantage de la condition neutre (498 ± 88 ms) sur la condition interférente (506 ± 86 ms).

L'interaction entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible et la condition tendait à être significative, $F(1,12) = 2.95$, $p = .11$, $\eta_p^2 = .20$, une différence entre la condition neutre (457 ± 53 ms) et interférente (471 ± 48 ms) étant significative au niveau local, $t(12) = 3.25$, $p = .007$, $d = 1.88$ mais pas au niveau global, $t(12) < 1$ (neutre : 388 ± 54 ms, interférente : 391 ± 53 ms).

Résultats EEG

Pour chacun des ces potentiels évoqués d'intérêt, des ANOVAs ont été calculées pour l'amplitude et la latence, avec 2 modalités pour le niveau hiérarchique (global, local) \times 2 modalités pour la condition (contrôle, test) \times 2 modalités pour la latéralité hémisphérique (gauche, droite).

- P3 – Prime

L'analyse de l'amplitude du signal a révélé un effet principal significatif du niveau hiérarchique d'apparition de la cible, $F(1,12) = 10.75$, $p = .007$, $\eta_p^2 = .47$, le niveau global (3.1 ± 2.1 μ V) entraînant une plus grande amplitude que le niveau local (2.6 ± 2 μ V). L'effet principal de la latéralité des électrodes était également significatif, $F(1,12) = 12.05$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .50$, l'amplitude du signal étant plus importante sur l'hémisphère gauche (2.1 ± 1.6 μ V) que de droite (3.6 ± 2.3 μ V). Nous avons observé une interaction triple entre le niveau, la condition et la latéralité (Cf. Figure 56), $F(1,12) = 5.07$, $p = .04$, $\eta_p^2 = .30$. Des analyses complémentaires ont montré que l'interaction entre le niveau hiérarchique et la condition était significative sur les électrodes situées à gauche, $F(1,12) = 9.33$, $p = .01$, $\eta_p^2 = .44$, mais pas sur les électrodes situées à droite, $F(1,12) < 1$. Sur les électrodes de gauche, l'amplitude était moins importante pour le niveau global en condition neutre (2.1 ± 1.8 μ V) qu'en condition interférente (2.5 ± 2.5 μ V), $t(12) = 2.30$, $p = .041$, $d = 1.3$ et une tendance au pattern inverse était observée pour le niveau local, avec une amplitude plus importante pour la condition neutre (1.9 ± 1.5 μ V) que pour la condition interférente (1.6 ± 1.6 μ V), $t(12) = 1.94$, $p = .076$, $d = 1.12$.

L'analyse de la latence du signal a révélé un effet principal significatif de la condition, $F(1,12) = 20.35$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .63$, le pic d'amplitude étant plus précoce dans la condition interférente (318 ± 55 ms) que neutre (333 ± 60 ms). Un effet principal de la latéralité a également été retrouvé, $F(1,12) = 10.13$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .46$, le pic d'amplitude était plus précoce sur les électrodes de droite (340 ± 59 ms) que de gauche (310 ± 53 ms).

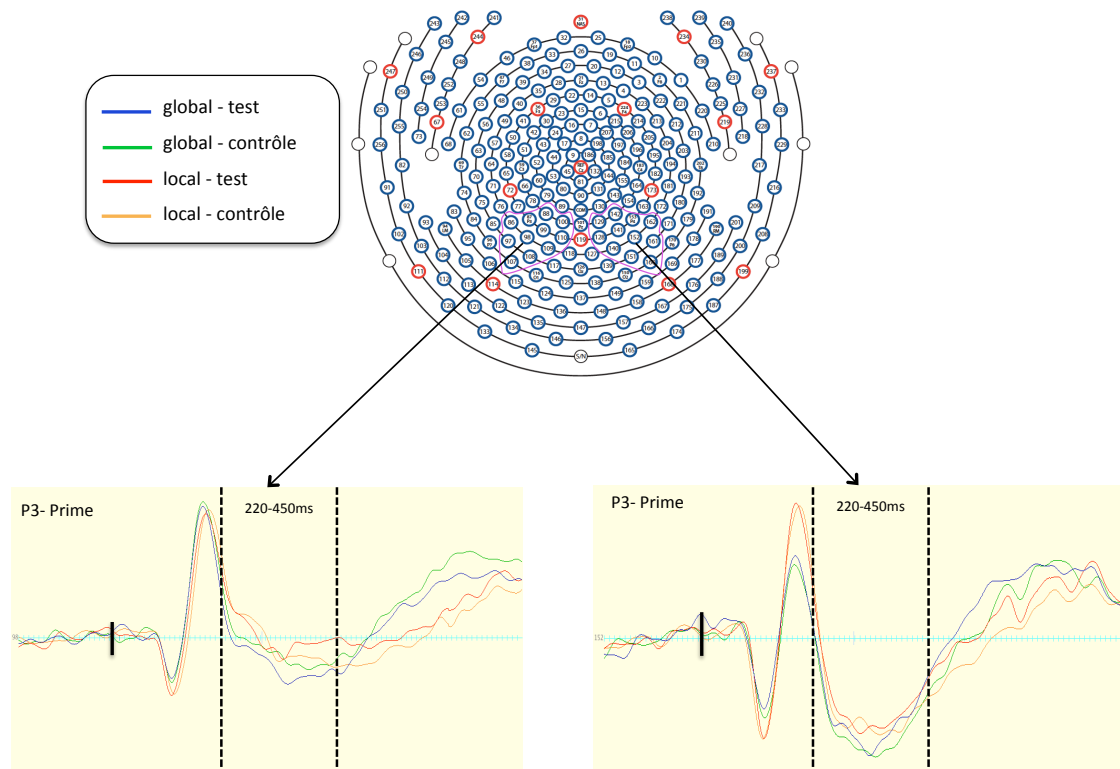


Figure 56 Représentation du signal de la P3 en pariéto-occipital en amorce. Le cluster d'électrodes retenus pour les analyses est entouré en violet et le signal présenté en bas est extrait d'une électrode représentative de ce cluster. On voit que l'amplitude de la P3 est plus importante à droite qu'à gauche. A gauche, l'amplitude est plus importante dans la condition test (figure interférente) que contrôle (figure neutre) en global alors que le contraire est observé en local.

- P1 – Probe

L'analyse de l'amplitude du signal a révélé une interaction entre la condition et la latéralité des électrodes, $F(1,12) = 5.09$, $p = .04$, $\eta_p^2 = .30$, révélant une différence tendant à être significative entre les conditions contrôle ($2.1 \pm 1 \mu\text{V}$) et test ($2.2 \pm 1.1 \mu\text{V}$) sur les électrodes de gauche, $t(12) = 1.74$, $p = .10$ et pas sur les électrodes de droite, $t(12) < 1$ (contrôle : $3.4 \pm 2.2 \mu\text{V}$; test : 3.3 ± 2) (Cf. Figure 57).

Par ailleurs, nous avons calculé les corrélations sur des scores d'amplitude (différence entre la condition test et la condition contrôle) entre la P3 observée en amorce et la P1 subséquente observée en probe. Pour le niveau local, une corrélation négative significative a été retrouvée sur les électrodes de gauche, $r = -.68$, $t(12) = 3.08$, $p = .01$, $d = 1.78$, indiquant que plus la différence d'amplitude était forte entre les conditions sur la P3 en amorce, moins la différence était importante sur la P1 subséquente de la probe. Une telle corrélation n'était pas observée sur les électrodes de droite, ni au niveau global ($t < 1$).

L'analyse de la latence du signal a révélé un effet principal de la condition, $F(1,12) = 6.23$, $p = .03$, $\eta_p^2 = .34$, le pic d'amplitude étant plus tardif dans la condition contrôle (112 ± 2 ms) que dans la condition test (108 ± 1 ms).

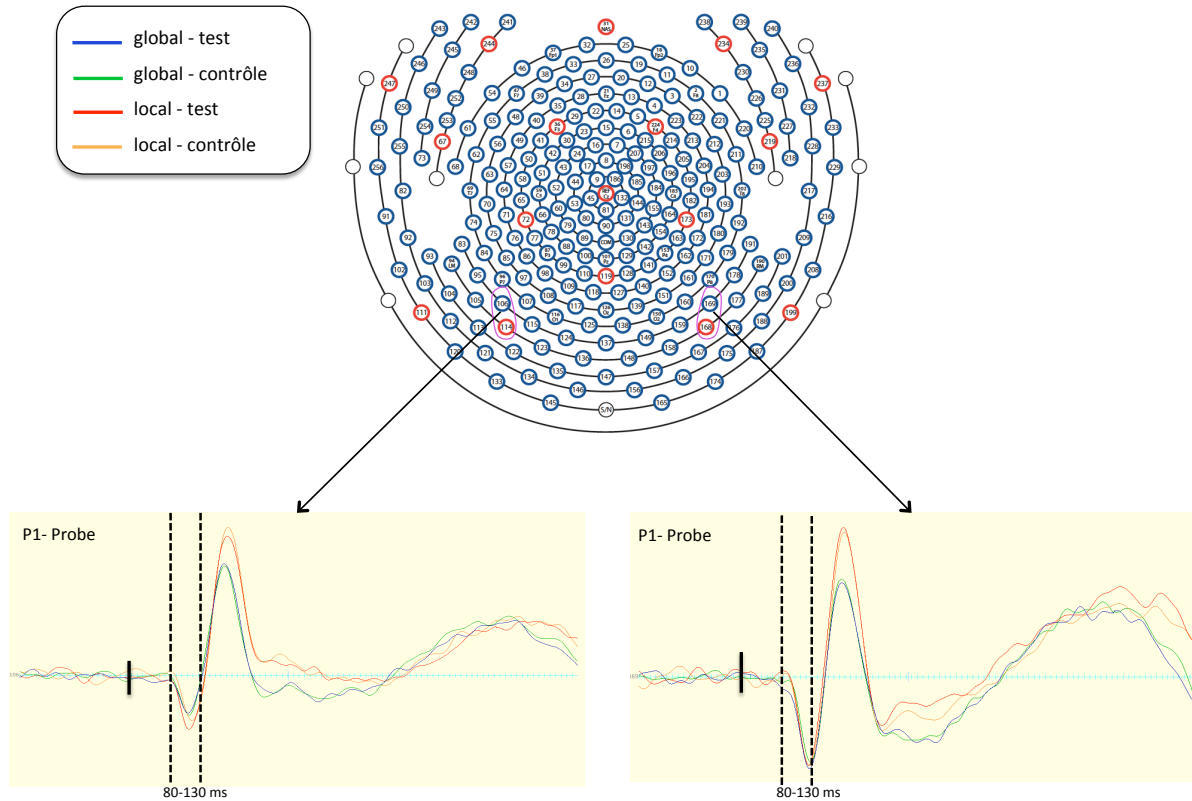


Figure 57 Représentation du signal de la P1 en occipital en probe. Le cluster d'électrodes retenus pour les analyses est entouré en violet et le signal présenté en bas est extrait d'une électrode représentative de ce cluster. A gauche uniquement, l'amplitude du signal est plus importante dans les conditions test que contrôle.

- N2- Probe

L'analyse de l'amplitude de l'onde N2 a révélé un effet principal significatif de la latéralité, $F(1,12) = 28.67$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .70$, l'amplitude étant plus grande sur les électrodes de gauche ($-2.7 \pm 2.10 \mu\text{V}$) que de droite ($-1.7 \pm 1.9 \mu\text{V}$). Une triple interaction entre le niveau hiérarchique d'apparition de la cible, la condition et la latéralité était observée, $F(1,12) = 5.55$, $p = .04$, $\eta_p^2 = .32$, révélant une interaction tendant à être significative sur les électrodes de gauche entre le niveau hiérarchique et la condition, $F(1,12) = 3.65$, $p = .08$, $\eta_p^2 = .23$, mais pas sur les électrodes de droite, $F(1,12) < 1$. A gauche, la différence entre le niveau global ($-3.1 \pm 2.5 \mu\text{V}$) et local ($-2.3 \pm 1.7 \mu\text{V}$) pour la condition test tendait à apparaître, $t(12) = 1.74$, $p = .11$, $d = 1$ mais pas pour la condition contrôle, $t(12) < 1$ (global : $-2.9 \pm 2.4 \mu\text{V}$; local : $-2.6 \pm 1.8 \mu\text{V}$ (Cf. Figure 58).

L'analyse de la latence de l'onde N2 a révélé un effet principal de latéralité $F(1,12) = 15.73, p = .002, \eta_p^2 = .57$, le pic d'amplitude étant plus précoce à droite (294 ± 68 ms) qu'à gauche (325 ± 62 ms). Une triple interaction entre la latéralité, le niveau d'apparition hiérarchique, la condition tendait aussi à apparaître $F(1,12) = 3.25, p = .10, \eta_p^2 = .21$, l'interaction entre le niveau et la condition n'était pas observée à gauche $F(1,12) < 1$ mais une tendance était retrouvée à droite $F(1,12) = 3.2, p = .09, \eta_p^2 = .21$, aucune différence significative selon la condition n'étant retrouvée pour le niveau local à droite, $t(12) < 1$ (contrôle : 294 ± 71 ms ; test : 295 ± 74 ms) alors qu'une tendance au niveau global était retrouvée à droite entre la condition contrôle (281 ± 53 ms) et test (308 ± 77 ms), $t(12) = 1.89, p = .08, d = 1.1$

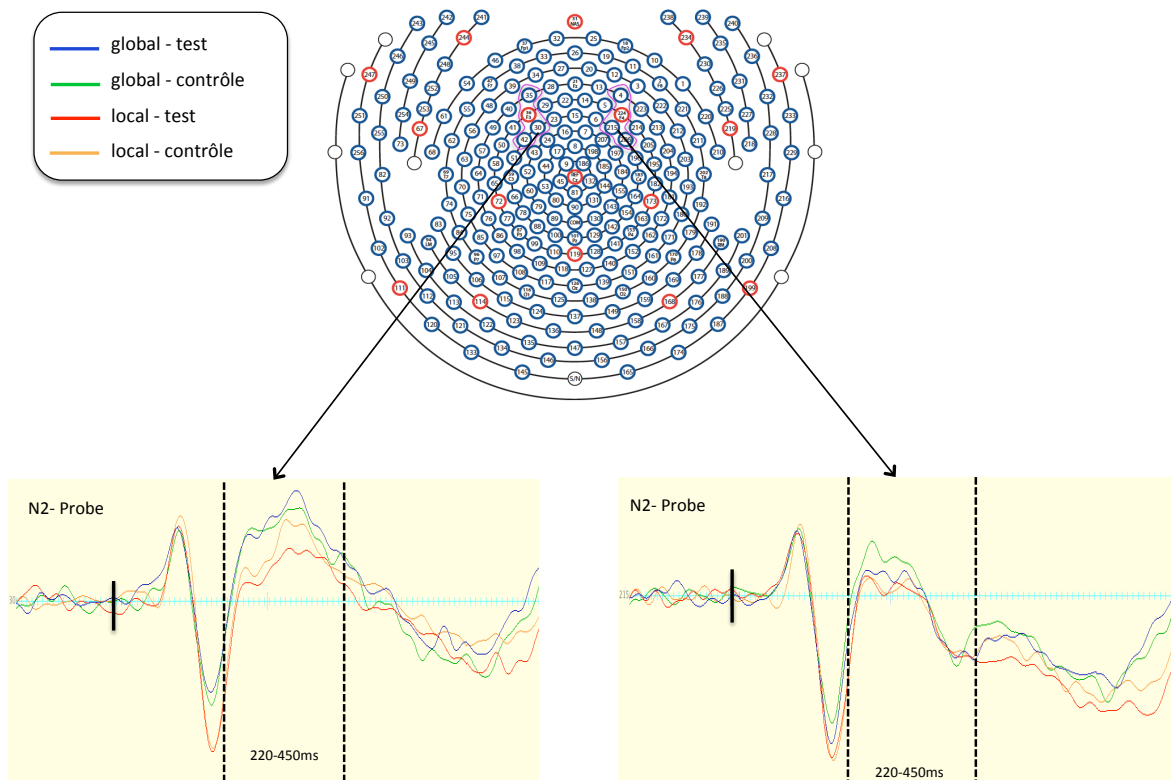


Figure 58 Représentation du signal de la N2 fronto-centrale en probe. Le cluster d'électrodes retenus pour les analyses est entouré en violet et le signal présenté en bas est extrait d'une électrode représentative de ce cluster. A gauche uniquement, l'onde N2 tend à être plus ample pour le niveau interférent en global que pour le niveau interférent en local.

Discussion

L'ensemble de ces résultats confirme les données comportementales que nous avons rapportées dans les Études 3 et 4 de cette thèse : un effet d'amorçage négatif était bien observé au niveau local et non au niveau global, lorsque la cible à sélectionner était celle qui devait être ignorée au niveau non-pertinent en amorce. Les résultats préliminaires d'EEG ont

montré que la P3 observée sur les électrodes fronto-centrales gauches durant l'amorce avait une plus grande amplitude lorsque les cibles étaient plus faciles à sélectionner. La P3 était ainsi plus ample pour le niveau global que local et plus prononcée pour la condition neutre que pour la condition interférente en local. Ces observations rejoignent l'idée que l'amplitude de la P3 augmenterait avec la saillance des items visuels traités (voir la revue de littérature de Kok, 2001). De plus, les processus précoces d'encodage lors du traitement global/local semblaient affectés en probe selon le type de traitement effectué en amorce. Ainsi, il semblerait que l'amplitude de la P1 diminue dans la condition test par rapport à la condition contrôle, ce qui pourrait indiquer une réduction d'amplitude liée à un moins bon encodage du stimulus qui a été précédemment inhibé. Cela pourrait confirmer des résultats observés dans d'autres tâches en amorçage négatif (Gibbons, 2006; Kathmann et al., 2006). Nous avons trouvé uniquement pour le niveau local et dans la condition test (figure hiérarchisée conflictuelle présentée en amorce), une corrélation négative entre le score d'amplitude de la P1 en probe (différence entre la condition test et contrôle) et le score d'amplitude de la P3 en amorce. Cette corrélation semble indiquer que, plus l'amplitude propre à la sélection attentionnelle (P3) est importante en amorce pour traiter la cible locale dans un contexte conflictuel, plus l'encodage perceptif de la cible locale subséquente est favorisé (l'amplitude devient similaire à la condition contrôle). L'analyse de la N2 en probe a indiqué une différence de traitement entre le niveau global et local, mais contrairement à des études précédentes (Daurignac et al., 2006; Gibbons, 2006; Groh-Bordin & Frings, 2009; Ruge & Naumann, 2006), nous avons retrouvé une amplitude moins importante dans la condition où l'inhibition est nécessaire (local test) que dans la condition où elle ne l'est pas (global test).

Enfin, il est important de noter que les différences d'amplitude étaient observées sur les électrodes gauches et non droites, ce qui avait déjà été observé dans une précédente étude en amorçage négatif (Gibbons & Frings, 2010). Toutefois, nous ne pouvons pas conclure pour le moment que cet effet de la latéralité correspondrait à des différences interhémisphériques lors du traitement des figures hiérarchisées. En effet, le signal recueilli par les électrodes à la surface du scalp correspond à une superposition des champs de potentiels, et ne donne pas d'indications précises sur les structures cérébrales qui les sous-tendent. Cette hypothèse pourra être prochainement étudiée grâce à une analyse de sources permettant d'identifier les générateurs des potentiels évoqués dans chaque hémisphère et rendue possible grâce au grand nombre de sites d'enregistrement du signal (256) utilisés dans cette étude.

En conclusion, ces résultats préliminaires permettent de confirmer que le conflit présent en amorce impacte les processus perceptifs et cognitifs précoces, dès 100 ms après l'apparition du stimulus, lors du traitement de la probe.

2- Perspective 2. Compétition et inhibition lors du traitement global/local (projet de recherche)

En discussion, nous avons proposé que l'inhibition serait un processus cognitif nécessaire non pas pour supprimer systématiquement la globalité de l'information visuelle mais pour inhiber le niveau d'information visuelle le plus saillant. Peut-on observer une augmentation de l'effet d'amorçage négatif avec une augmentation de la saillance globale ? Peut-on observer chez l'adulte une inversion de l'effet d'amorçage négatif en utilisant des figures avec un niveau local plus saillant ? Une de nos perspectives de recherche est ainsi de reprendre notre paradigme d'amorçage négatif (Études 3 et 4) en utilisant des figures hiérarchisées dans lesquelles la saillance de chaque niveau serait manipulée, afin d'observer directement l'impact de la saillance à la fois sur l'effet de précedence globale et sur l'inhibition (Cf. Figure 59).

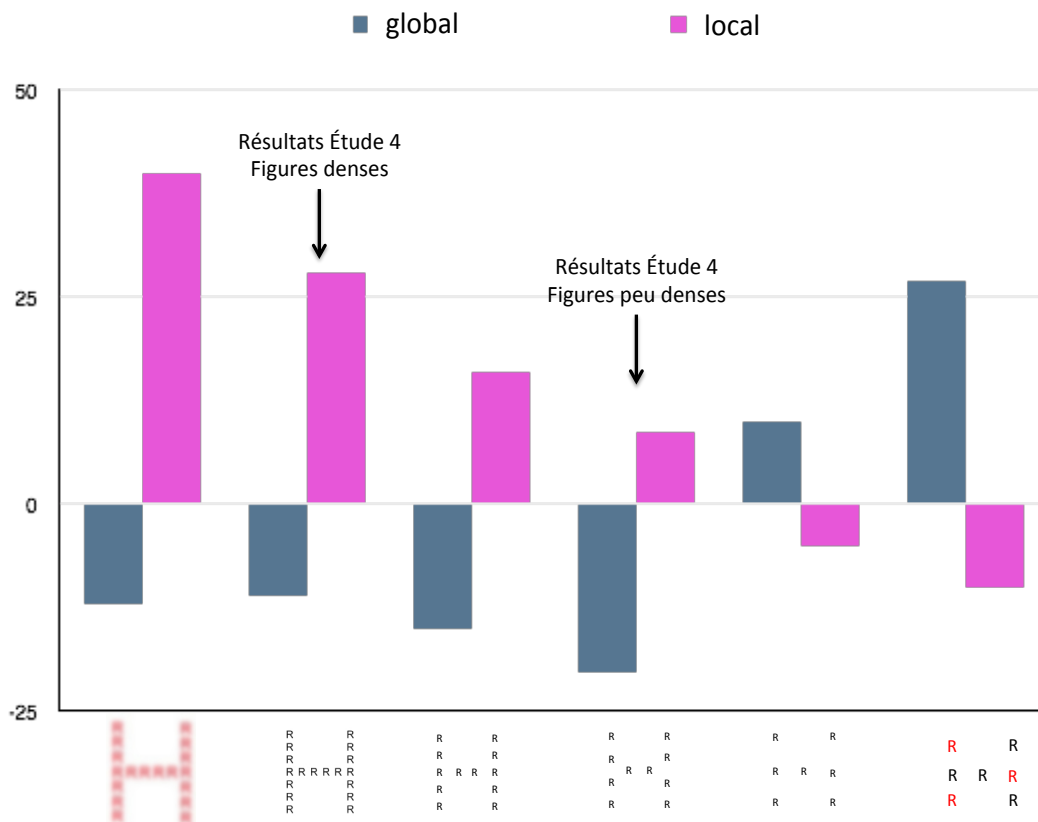


Figure 59 Résultats attendus sur les scores d'amorçage négatif avec une modulation de la saillance des niveaux hiérarchiques, du plus global au plus local (figures hiérarchisées en bas, de gauche à droite). Avec l'augmentation de la saillance locale on s'attend à observer une inversion de l'effet d'amorçage négatif.

Par ailleurs, nous avons souligné que l'utilisation de figures hiérarchisées à trois niveaux permet de dépasser la dichotomie globale/locale classique et ainsi de mettre en évidence des effets invisibles avec des figures à 2 niveaux hiérarchiques. Rijpkema et al (2007) ont suggéré que seul le niveau intermédiaire interférerait avec le niveau le plus local. On peut dès lors se demander si l'ajout d'un niveau intermédiaire neutre annulerait l'effet d'amorçage négatif présent dans la tâche locale lorsqu'une lettre globale conflictuelle est présentée en amorce. Toutefois, nos résultats en recherche visuelle ont également montré que les niveaux structurels (global et intermédiaire) dominent tous deux la compétition attentionnelle. Il serait ainsi également possible d'observer un processus d'inhibition lors de la sélection locale à la fois pour le niveau global et pour le niveau intermédiaire (Cf. Figure 60).

« H ou R » au niveau local ?

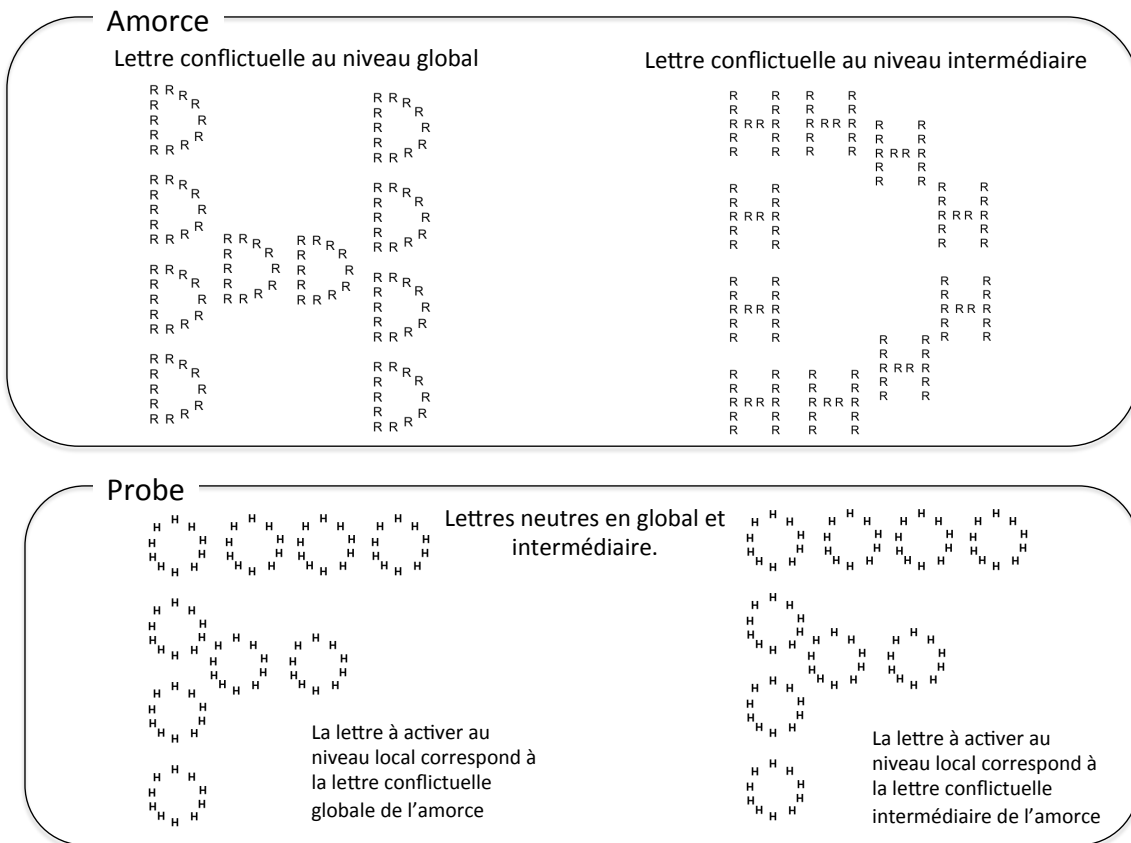


Figure 60 Exemples de stimuli qui pourraient être employés dans une tâche d'amorçage négatif avec des figures hiérarchisées à 3 niveaux. Cette figure illustre la tâche locale dans laquelle il faudrait décider si la lettre locale est un H ou un R. En probe, les lettres présentées au niveau intermédiaire et global seront neutres. En amorce, une lettre conflictuelle pourra être présentée au niveau global (à gauche) ou intermédiaire (à droite). La lettre conflictuelle non-pertinente de l'amorce sera identique à la lettre cible de la probe.

Enfin, un dernier projet consisterait à faire varier le degré de compétition dans notre tâche de recherche visuelle à 3 niveaux (Cf. Études 1 et 2). En effet, dans les études présentées dans cette thèse, les figures distractrices (des cercles) ne sont pas pertinentes pour la tâche (détecter le carré). De plus, ces figures distractrices sont toutes homogènes. Que se passerait-il si on

demandait aux participant.e.s de détecter un carré à un niveau hiérarchique donné et qu'un singleton (losange) apparaisse à un autre niveau? Et que se passerait-il si un carré apparaissait à un niveau non-pertinent pour la tâche? On peut supposer que le traitement de la cible au niveau local serait très ralenti si un singleton apparaissait à un niveau structurel (global et intermédiaire), et encore davantage si ce singleton était un objet pertinent (Cf. Figure 61). Ce protocole nous permettrait ainsi de distinguer l'effet d'une distraction perceptive et d'une distraction à la fois perceptive et motrice, selon le niveau hiérarchique et le degré de compétition (nombre de distracteurs présents à l'écran). De plus, des effets d'interférence pourraient également apparaître entre les niveaux structurels (global et intermédiaire).

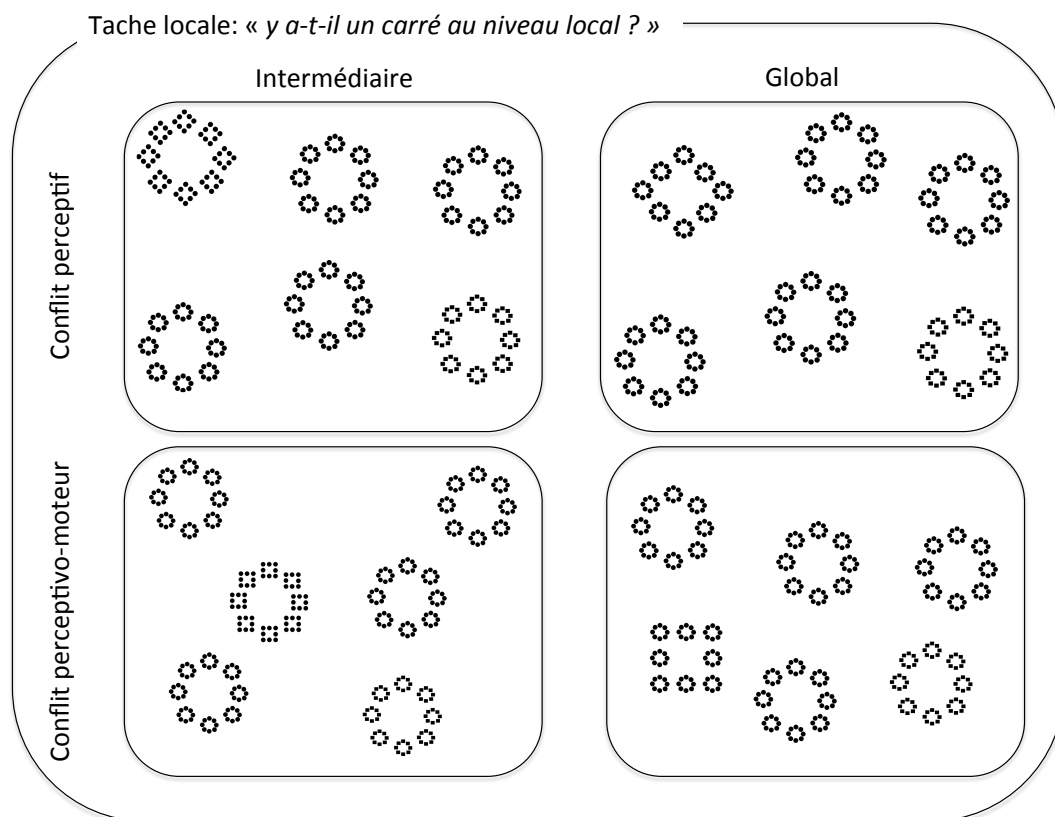


Figure 61 Exemples de stimuli qui pourraient être employés dans une tâche de recherche visuelle à trois niveaux hiérarchiques avec une manipulation du type de conflit. Cette figure illustre les essais avec cible présente de la tâche locale, dans une condition avec six figures en compétition à l'écran. Un singleton (losange) non-pertinent (conflit perceptif, en haut) ou pertinent (carré, conflit perceptivo-moteur, en bas) pourrait apparaître au niveau intermédiaire ou global.

3- Perspective 3. Biais global et heuristique « longueur = nombre » (étude en cours).

La tâche piagétienne de conservation du nombre (Piaget & Szeminska, 1941) implique de résister à une transformation perceptive (écartement des jetons) pour pouvoir conserver l'équivalence du nombre entre les jetons (Cf. Encadré 1 : La tâche de conservation du

nombre, p. 14). Alors que pour Piaget, l'enfant qui échoue à cette tâche (jusqu'à 6-7 ans) était considéré comme non-conservant, il a été souligné à sa suite que la difficulté de cette tâche résiderait dans l'existence d'une interférence entre un « piège » perceptif et des connaissances logiques (Dempster, 1995). Pascual-Leone (1989), notamment a affirmé que cette tâche classique provoquerait un conflit entre la réponse logique et des facteurs de champ de la Gestalt. Plus récemment, il a été mis en évidence, grâce notamment à des paradigmes d'amorçage négatif, que les adultes et les enfants qui réussissent la tâche de conservation du nombre inhibent l'heuristique « longueur = nombre » (Cf. Figure 18, p. 99) : l'échec des enfants est alors considérée, non plus comme un défaut de connaissance logique, mais comme une difficulté à inhiber une stratégie dominante et non-adaptée à la situation (Borst et al., 2012; Daurignac et al., 2006; Houdé & Borst, 2014). Cette proposition est confirmée par des études en neuroimagerie (IRMf) montrant une implication des aires cérébrales sous-tendant le contrôle inhibiteur lorsque la tâche est réussie, compartiment aux échecs des enfants non-conservants (Houdé et al., 2011; Poirel, Borst, et al., 2012)

Dans ce cadre, nous avons voulu définir plus précisément cette heuristique « longueur = nombre ». Est-elle, comme le suggérait Pascual-Leone (1989), liée à la précédence globale ? En effet, le fait de considérer qu'« il y en a plus là où c'est plus long » pourrait venir d'une tendance à considérer l'ensemble de la forme sans prendre en considération chaque élément qui la compose. Si, comme nous le pensons, la mise en œuvre de l'heuristique « longueur = nombre » est liée au biais global, alors l'inhibition du niveau global devrait conduire à un ralentissement de ce traitement heuristique. Au contraire, l'inhibition du niveau global devrait faciliter la mise en place du traitement algorithmique.

Nous avons donc repris les figures de la conservation du nombre utilisées par Borst et al. (2012, 2013) et nous avons créé une tâche de transfert : une figure de Navon neutre ou interférente, qui devait être identifiée au niveau local, était présentée en amorce avant un essai de conservation du nombre dans lequel soit l'heuristique pouvait être appliquée (« COV », la longueur covarie avec le nombre) soit l'heuristique devait être inhibée (« INT », la longueur interférait avec le nombre) (Cf. Figure 62).

Dix-huit adultes volontaires (âge = 22 ± 3.3 ans, 12 femmes, 6 hommes, 2 gaucher.e.s), ont participé à cette étude. Les essais outliers (TRs inférieurs ou supérieurs à 2 écarts-type de la moyenne pour chaque condition et chaque individu) ont été retirés.

Une ANOVA à mesures répétées à 2 (amorce : lettre hiérarchisée neutre ou interférente) \times 2 facteurs (probe : COV ou INT) a été effectuée sur les TRs des probes pour les réponses correctes. L'interaction était significative $F(1,17) = 5.53, p = .03, \eta_p^2 = .25$ (Cf. Figure 62). Les

tests t corrigés pour les comparaisons multiples en Holm-Bonferroni ont montré que les probes COV étaient traitées plus rapidement après une figure hiérarchisées interférente (855 ± 156 ms) que neutre (804 ± 145 ms), $t(17) = 2.86, p = .02, d = 1.39$ alors qu'aucune différence significative n'était observée pour les probe INT (figure hiérarchisée interférente : 1017 ± 245 ms, figure hiérarchisée neutre : 1094 ± 220 ms), $t(17) = 1.5, p = .15$.

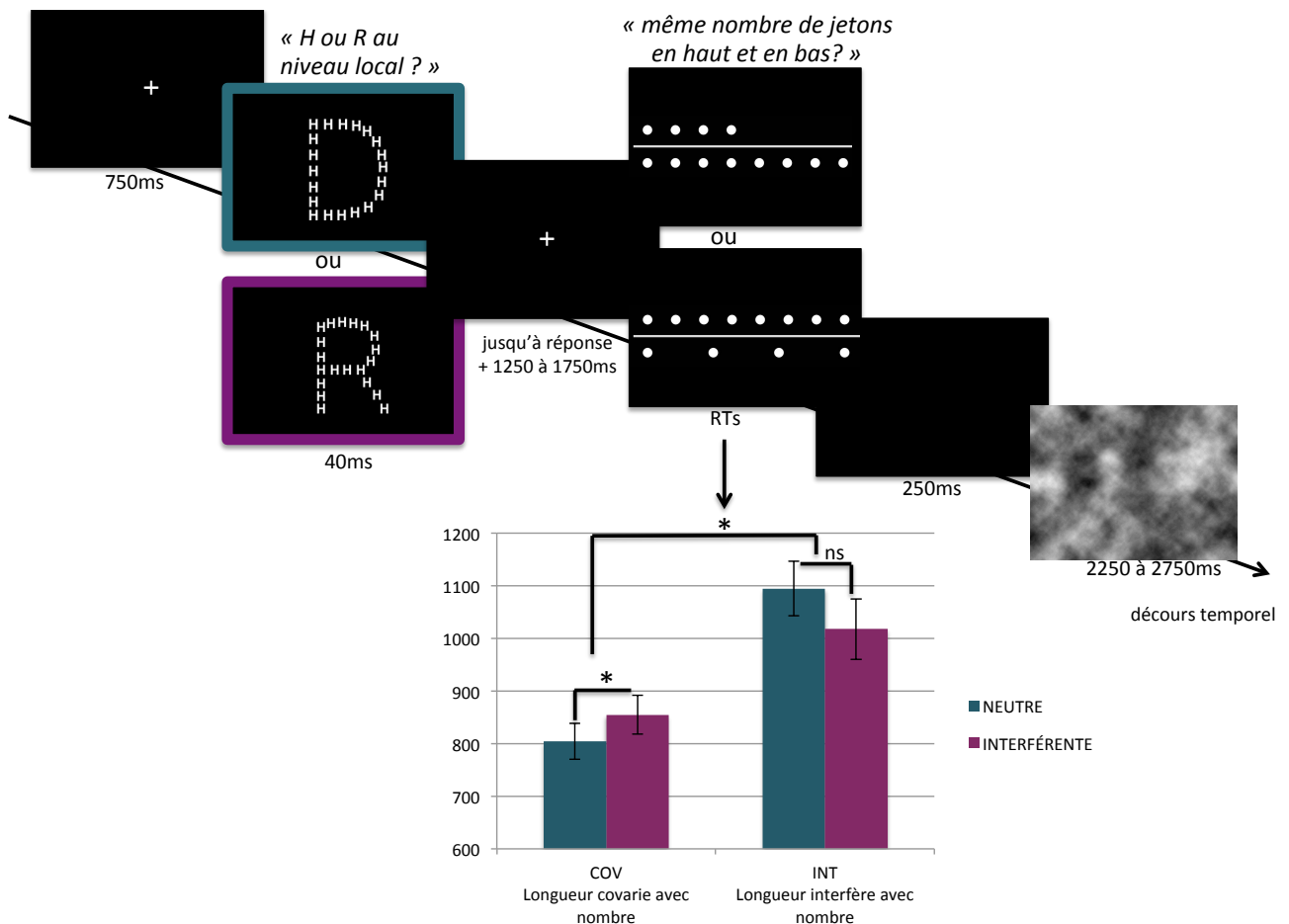


Figure 62 Protocole expérimental de la tâche de transfert entre un traitement local et la tâche de conservation du nombre. En amorce, une lettre de Navon neutre ou interférente pouvait être présentée. Dans la tâche de conservation du nombre en probe, la longueur pouvait covarier avec le nombre (en haut) ou interférer avec le nombre (en bas). Les résultats indiquent l'interaction sur les temps de réponse en probe selon le type d'essais (COV ou INT) et le type d'amorce présentée (neutre ou interférente).

Ces résultats préliminaires indiquent, conformément à nos hypothèses, que la mise en place de l'heuristique « longueur = nombre » dans la tâche de conservation est ralentie lorsque le niveau global d'une information visuelle vient d'être inhibé. Conformément à la proposition de Pascual-Leone (1989), il semblerait donc que cette heuristique « longueur=nombre » soit liée à des facteurs de champ de la Gestalt, c'est-à-dire à une tendance à prendre en considération le Tout sans rentrer dans une analyse détaillée, permettant par exemple une comparaison terme à terme des jetons de chaque rangée. Nos résultats n'ont pas permis pour l'heure de mettre en évidence un effet d'amorçage positif entre

l'inhibition du niveau global et l'inhibition de l'heuristique « longueur = nombre », néanmoins une tendance semble se dessiner. Par ailleurs il est important de souligner que la présence d'une lettre hiérarchisée conflictuelle en amorce n'augmente les temps de réaction que sur les essais COV et non sur les essais INT de la conservation du nombre, empêchant une interprétation de ces résultats en termes de ralentissement post-conflit.

Ces résultats préliminaires sont encourageants et invitent à poursuivre le lien entre les heuristiques perceptives qui piègent l'expression de la logique et le traitement global/local. Après avoir augmenté l'échantillon de la présente étude, il serait ainsi intéressant d'effectuer un protocole inverse (quel est l'impact de la conservation du nombre sur le traitement global/local), et également de vérifier que le traitement d'une figure de Navon au niveau global augmente le poids de l'heuristique « longueur = nombre ». Si ces résultats sont concluants chez l'adulte, il sera ensuite pertinent de mener une étude développementale chez les enfants non-conservants afin de savoir si la présentation d'une figure de Navon peut faire basculer le traitement en faveur de la stratégie algorithmique dans la conservation du nombre.

4- Conclusion.

Les travaux présentés dans le cadre de cette thèse offrent des perspectives de recherche variées qui permettront de vérifier le modèle proposé en discussion à la fois sur le plan comportemental et cérébral dans le but de préciser le fonctionnement et le décours temporel des mécanismes d'inhibition et de sélection attentionnelles dans le traitement global/local. Par ailleurs, le biais global semble jouer un rôle dans les stratégies perceptives heuristiques qui biaisent certaines épreuves logiques, offrant la possibilité d'étudier directement le lien entre la perception et l'intelligence logico-mathématique.

BIBLIOGRAPHIE

Adler, S. A., & Orprecio, J. (2006). The eyes have it: visual pop-out in infants and adults. *Developmental Science*, *9*(2), 189–206.

Agogué, M., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., & Cassotti, M. (2014). The impact of age and training on creativity: a design-theory approach to study fixation effects. *Thinking Skills and Creativity*, *11*, 33–41.

Akshoomoff, N. A. (2002). Selective attention and active engagement in young children. *Developmental Neuropsychology*, *22*(3).

Allport, D. A. (1989). Visual Attention. In M. I. Posner ( d.), *Foundations of cognitive science* (p. 631-682). Cambridge, MA: MIT Press.

Amirkhiabani, G., & Lovegrove, W. J. (1999). Do the global advantage and interference effects covary? *Perception & Psychophysics*, *61*(7), 1308-1319.
<http://doi.org/10.3758/BF03206182>

Amso, D., & Johnson, S. P. (2005). Selection and inhibition in infancy: evidence from the spatial negative priming paradigm. *Cognition*, *95*(2), B27-36.
<http://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.006>

Andres, A. J. D., & Fernandes, M. A. (2006). Effect of short and long exposure duration and dual-tasking on a global-local task. *Acta Psychologica*, *122*(3), 247-266.
<http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.12.002>

Ardila, A. (2008). On the evolutionary origins of executive functions. *Brain and Cognition*, *68*(1), 92-99. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.03.003>

Arnott, S. R., Pratt, J., Shore, D. I., & Alain, C. (2001). Attentional set modulates visual areas: an event-related potential study of attentional capture. *Cognitive Brain Research*, *12*(3), 383-395. [http://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00066-0](http://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00066-0)

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(4), 170-177.
<http://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: one decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(4), 177-185.
<http://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.003>

Badcock, J. C., Whitworth, F. A., Badcock, D. R., & Lovegrove, W. J. (1990). Low-

frequency filtering and the processing of local - global stimuli. *Perception*, 19(5), 617 – 629.
<http://doi.org/10.1068/p190617>

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
<http://doi.org/10.1126/science.1736359>

Bailey, C. E. (2007). Cognitive Accuracy and Intelligent Executive Function in the Brain and in Business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141.
<http://doi.org/10.1196/annals.1412.011>

Baillargeon, R., Spelke, E. S., & Wasserman, S. (1985). Object permanence in five-month-old infants. *Cognition*, 20(3), 191-208.

Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(8), 617-629.
<http://doi.org/10.1038/nrn1476>

Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., ... Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(2), 449-454.
<http://doi.org/10.1073/pnas.0507062103>

Beaucousin, V., Cassotti, M., Simon, G., Pineau, A., Kostova, M., Houdé, O., & Poirel, N. (2011). ERP evidence of a meaningfulness impact on visual global/local processing: when meaning captures attention. *Neuropsychologia*, 49(5), 1258-1266.
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.039>

Beaucousin, V., Simon, G., Cassotti, M., Pineau, A., Houdé, O., & Poirel, N. (2013). Global interference during early visual processing: ERP evidence from a rapid global/local selective task. *Frontiers in Psychology*, 4, 539. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00539>

Beck, D. M., & Kastner, S. (2009). Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain. *Vision Research*, 49(10), 1154-1165.
<http://doi.org/10.1016/j.visres.2008.07.012>

Behrendt, J., Gibbons, H., Schrobsdorff, H., Ihrke, M., Herrmann, J. M., & Hasselhorn, M. (2010). Event-related brain potential correlates of identity negative priming from overlapping pictures. *Psychophysiology*, 47(5), 921-930. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.00989.x>

Binet, A. (1890). Perceptions d'enfants. *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 15, 136-156.

Binet, A., & Simon, T. (1908). Le développement de l'Intelligence chez l'Enfant. *L'Année Psychologique*, 14, 1-94.

Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1990). The resources construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, *10*(1), 48-71. [http://doi.org/10.1016/0273-2297\(90\)90004-N](http://doi.org/10.1016/0273-2297(90)90004-N)

Bjorklund, D. F., & Harnishfeger, K. K. (1995). The evolution of inhibition mechanisms and their role in human cognition and behavior. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (éd.), *Interference and inhibition in cognition* (p. 141-173). San Diego, CA, US: Academic Press.

Boeschoten, M. A., Kemner, C., Kenemans, J. L., & van Engeland, H. (2005). The relationship between local and global processing and the processing of high and low spatial frequencies studied by event-related potentials and source modeling. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, *24*(2), 228-236. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.021>

Borst, G., Aïte, A., & Houdé, O. (2015). Inhibition of misleading heuristics as a core mechanism for typical cognitive development: evidence from behavioural and brain-imaging studies. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *57*, 21-25. <http://doi.org/10.1111/dmcn.12688>

Borst, G., Poirel, N., Pineau, A., Cassotti, M., & Houdé, O. (2012). Inhibitory control in number-conservation and class-inclusion tasks: A neo-Piagetian inter-task priming study. *Cognitive Development*, *27*(3), 283-298. <http://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.02.004>

Borst, G., Poirel, N., Pineau, A., Cassotti, M., & Houdé, O. (2013). Inhibitory control efficiency in a Piaget-like class-inclusion task in school-age children and adults: a developmental negative priming study. *Developmental Psychology*, *49*(7), 1366-1374. <http://doi.org/10.1037/a0029622>

Boucart, M., & Humphreys, G. W. (1992). Global shape cannot be attended without object identification. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *18*(3), 785-806.

Bouvier, S., & Treisman, A. M. (2010). Visual Feature Binding Requires Reentry. *Psychological Science*, *21*(2), 200-204. <http://doi.org/10.1177/0956797609357858>

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication* (Oxford University Press). Oxford.

Brodeur, D. A., & Enns, J. T. (1997). Covert visual orienting across the lifespan. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne De Psychologie Expérimentale*, *51*(1), 20-35.

Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research. Brain Research*

Reviews, 36(2-3), 96-107.

Bundesen, C., & Habekost, T. (2014). Theory of Visual Attention (TVA). In A. C. Nobre & S. Kastner (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (p. 1095-1121). Oxford: Oxford University Press.

Bundesen, C., Habekost, T., & Kyllingsbæk, S. (2005). A Neural Theory of Visual Attention: Bridging Cognition and Neurophysiology. *Psychological Review*, 112(2), 291-328. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.112.2.291>

Bunge, S. A., Hazeltine, E., Scanlon, M. D., Rosen, A. C., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Dissociable Contributions of Prefrontal and Parietal Cortices to Response Selection. *NeuroImage*, 17(3), 1562-1571. <http://doi.org/10.1006/nimg.2002.1252>

Burack, J. A., Enns, J. T., Iarocci, G., & Randolph, B. (2000). Age differences in visual search for compound patterns: Long- versus short-range grouping. *Developmental Psychology*, 36(6), 731-740. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.36.6.731>

Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-Down Versus Bottom-Up Control of Attention in the Prefrontal and Posterior Parietal Cortices. *Science*, 315(5820), 1860-1862. <http://doi.org/10.1126/science.1138071>

Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 595-616. http://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_3

Carrasco, M., Penpeci-Talgar, C., & Eckstein, M. (2000). Spatial covert attention increases contrast sensitivity across the CSF: support for signal enhancement. *Vision research*, 40(0), 1203-1215.

Casco, C., Tressoldi, P. E., & Dellantonio, A. (1998). Visual Selective Attention and Reading Efficiency are Related in Children. *Cortex*, 34(4), 531-546. [http://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70512-4](http://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70512-4)

Case, R. (1992). The role of the frontal lobes in the regulation of cognitive development. *Brain and Cognition*, 20(1), 51-73.

Casey, B. J., Galvan, A., & Hare, T. A. (2005). Changes in cerebral functional organization during cognitive development. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 239-244. <http://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.012>

Casey, B. J., Thomas, K. M., Welsh, T. F., Badgaiyan, R. D., Eccard, C. H., Jennings, J. R., & Crone, E. A. (2000). Dissociation of response conflict, attentional selection, and

expectancy with functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(15), 8728-8733.

Cesarei, A. D., & Loftus, G. R. (2011). Global and local vision in natural scene identification. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(5), 840-847. <http://doi.org/10.3758/s13423-011-0133-6>

Chabris, C. F., & Simons, D. J. (2015). *Le Gorille invisible. Quand nos intuitions nous jouent des tours*. Paris, France: Le Pommier.

Checa, P., & Rueda, M. R. (2011). Behavioral and brain measures of executive attention and school competence in late childhood. *Developmental Neuropsychology*, 36(8), 1018-1032. <http://doi.org/10.1080/87565641.2011.591857>

Chen, Q., Wei, P., & Zhou, X. (2006). Distinct Neural Correlates for Resolving Stroop Conflict at Inhibited and Noninhibited Locations in Inhibition of Return. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(11), 1937-1946. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.11.1937>

Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), 975-979. <http://doi.org/10.1121/1.1907229>

Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 51(3), 149-163. <http://doi.org/10.1037/a0020031>

Chevalier, N., & Blaye, A. (2008). Cognitive flexibility in preschoolers: the role of representation activation and maintenance. *Developmental Science*, 11(3), 339-353. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00679.x>

Chica, A. B., Lupiáñez, J., & Bartolomeo, P. (2006). Dissociating inhibition of return from endogenous orienting of spatial attention: Evidence from detection and discrimination tasks. *Cognitive Neuropsychology*, 23(7), 1015-1034. <http://doi.org/10.1080/02643290600588277>

Cieslik, E. C., Mueller, V. I., Eickhoff, C. R., Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2015). Three key regions for supervisory attentional control: Evidence from neuroimaging meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 48, 22-34. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.11.003>

Claparède, E. (1907). Exemple de perception synchrétique chez un enfant. *Archives de la Psychologie*, 7, 195-198.

Claparède, E. (1925). Sur la perception synchrétique [Syncretic perception]. *L'Éducateur*,

42.

Claparède, E. (1938). À propos d'un cas de perception synchrétique. *Archives de la Psychologie*, 26, 367-377.

Clarke, J., & Mack, A. (2014). Iconic memory for the gist of natural scenes. *Consciousness and Cognition*, 30, 256-265. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2014.09.015>

Colombo, J. (1993). *Infant cognition: Predicting later intellectual functioning*. Newbury Park, CA: Sage Publications, Inc.

Colombo, J., & Cheatham, C. L. (2006). The emergence and basis of endogenous attention in infancy and early childhood. *Advances in Child Development and Behavior*, 34, 283-322.

Colombo, J., Mitchell, D. W., Coldren, J. T., & Freeseaman, L. J. (1991). Individual differences in infant visual attention: are short lookers faster processors or feature processors? *Child Development*, 62(6), 1247-1257.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215. <http://doi.org/10.1038/nrn755>

Cramausse, E. (1924). Ce que voient des yeux d'enfant. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 21, 161-169.

Crottaz-Herbette, S., & Menon, V. (2006). Where and When the Anterior Cingulate Cortex Modulates Attentional Response: Combined fMRI and ERP Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 766-780. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.5.766>

Danziger, S., & Kingstone, A. (1999). Unmasking the inhibition of return phenomenon. *Perception & Psychophysics*, 61(6), 1024-1037.

Daurignac, E., Houdé, O., & Jouvent, R. (2006). Negative priming in a numerical Piaget-like task as evidenced by ERP. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 730-736. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.5.730>

Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>

Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12(1), 45-75. [http://doi.org/10.1016/0273-2297\(92\)90003-K](http://doi.org/10.1016/0273-2297(92)90003-K)

Dempster, F. N. (1995). Interference and inhibition in cognition: An historical perspective. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (éd.), *Interference and inhibition in cognition* (p. 3-26). San Diego, CA, US: Academic Press.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience*, 18(1), 193–222.

Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36(12), 1827-1837.

Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some Theoretical Considerations. *Psychological Review*, 70(1), 80-90. <http://doi.org/10.1037/h0039515>

Diamond, A. (1988). Differences between adult and infant cognition: Is the crucial variable presence or absence of language? In L. Weiskrantz (éd.), *Thought without language* (p. 337-370). Oxford: Oxford U. Press.

Diamond, A. (1990). Developmental Time Course in Human Infants and Infant Monkeys, and the Neural Bases of, Inhibitory Control in Reaching. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 608(1), 637-676. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb48913.x>

Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In S. Carey & R. Gelman (éd.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (p. 67-110). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Diamond, A. (2012). Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions. *Current directions in psychological science*, 21(5), 335-341. <http://doi.org/10.1177/0963721412453722>

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science (New York, N.Y.)*, 318(5855), 1387-1388. <http://doi.org/10.1126/science.1151148>

Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science (New York, N.Y.)*, 333(6045), 959-964. <http://doi.org/10.1126/science.1204529>

Dodd, M. D., & Pratt, J. (2006). Rapid onset and long-term inhibition of return in the multiple cuing paradigm. *Psychological Research*, 71(5), 576-582. <http://doi.org/10.1007/s00426-006-0048-4>

- Donnelly, N., Cave, K., Greenway, R., Hadwin, J. A., Stevenson, J., & Sonuga-Barke, E. (2007). Visual search in children and adults: Top-down and bottom-up mechanisms. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(1), 120-136. <http://doi.org/10.1080/17470210600625362>
- Dosher, B. A., & Lu, Z. L. (2000). Mechanisms of perceptual attention in precuing of location. *Vision Research*, *40*(10-12), 1269-1292.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology (London, England: 1953)*, *92 Part 1*, 53-78.
- Dukette, D., & Stiles, J. (1996). Children's Analysis of Hierarchical Patterns: Evidence from a Similarity Judgment Task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *63*(1), 103-140. <http://doi.org/10.1006/jecp.1996.0044>
- Dukette, D., & Stiles, J. (2001). The effects of stimulus density on children's analysis of hierarchical patterns. *Developmental Science*, *4*(2), 233-251. <http://doi.org/10.1111/1467-7687.00168>
- Dulaney, C. L., & Marks, W. (2007). The effects of training and transfer on global/local processing. *Acta Psychologica*, *125*(2), 203-220. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.07.001>
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*(4), 501-517. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.113.4.501>
- Duncan, J. (1993). Similarity between concurrent visual discriminations: dimensions and objects. *Perception & Psychophysics*, *54*(4), 425-430.
- Duncan, J. (2001). An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(11), 820-829. <http://doi.org/10.1038/35097557>
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*(3), 433-458.
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, *23*(10), 475-483. [http://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01633-7](http://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01633-7)
- Dye, M. W. G., & Bavelier, D. (2010). Differential development of visual attention skills in school-age children. *Vision Research*, *50*(4), 452-459. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2009.10.010>
- Eckstein, M. P. (2011). Visual search: A retrospective. *Journal of Vision*, *11*(5), 14-14.

<http://doi.org/10.1167/11.5.14>

Egley, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology. General*, *123*(2), 161-177.

Egner, T., & Hirsch, J. (2005). Where Memory Meets Attention: Neural Substrates of Negative Priming. *J. Cognitive Neuroscience*, *17*(11), 1774–1784. <http://doi.org/10.1162/089892905774589226>

Eimer, M. (1993). Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biological Psychology*, *35*(2), 123-138.

Enns, J. T., & Brodeur, D. A. (1989). A developmental study of covert orienting to peripheral visual cues. *Journal of Experimental Child Psychology*, *48*(2), 171-189.

Enns, J. T., & Cameron, S. (1987). Selective attention in young children: The relations between visual search, filtering, and priming. *Journal of Experimental Child Psychology*, *44*(1), 38-63. [http://doi.org/10.1016/0022-0965\(87\)90021-X](http://doi.org/10.1016/0022-0965(87)90021-X)

Enns, J. T., & Girgus, J. S. (1985). Developmental changes in selective and integrative visual attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, *40*(2), 319-337.

Enns, J. T., & Kingstone, A. (1995). Access to Global and Local Properties in Visual Search for Compound Stimuli. *Psychological Science*, *6*(5), 283-291. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1995.tb00512.x>

Enriquez-Geppert, S., Konrad, C., Pantev, C., & Huster, R. J. (2010). Conflict and inhibition differentially affect the N200/P300 complex in a combined go/nogo and stop-signal task. *NeuroImage*, *51*(2), 877-887. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.043>

Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149. <http://doi.org/10.3758/BF03203267>

Evans, J. S. B. T. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, *75*(4), 451-468. <http://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1984.tb01915.x>

Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-Processing Accounts of Reasoning, Judgment, and Social Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 255-278. <http://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093629>

Evans, J. S. B. T., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, *11*(3), 295-306.

<http://doi.org/10.3758/BF03196976>

Fecteau, J. H., & Munoz, D. P. (2006). Saliency, relevance, and firing: a priority map for target selection. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(8), 382-390.

<http://doi.org/10.1016/j.tics.2006.06.011>

Fisher, A. V. (2010). Mechanisms of sustained selective attention in 3-to 5-year-old children: evidence from a new object tracking task. Cognitive Science Society.

Fisher, A. V., Godwin, K. E., & Seltman, H. (2014). Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children When Too Much of a Good Thing May Be Bad. *Psychological Science*, 0956797614533801. <http://doi.org/10.1177/0956797614533801>

Flevaris, A. V., Bentin, S., & Robertson, L. C. (2011). Attention to hierarchical level influences attentional selection of spatial scale. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *37*(1), 12-22. <http://doi.org/10.1037/a0019251>

Flevaris, A. V., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2014). Attending to global versus local stimulus features modulates neural processing of low versus high spatial frequencies: an analysis with event-related brain potentials. *Frontiers in Psychology*, *5*, 277. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00277>

Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *18*(4), 1030-1044.

Frick, J. E., Colombo, J., & Allen, J. R. (2000). Temporal Sequence of Global-Local Processing in 3-Month-Old Infants. *Infancy*, *1*(3), 375-386. http://doi.org/10.1207/S15327078IN0103_6

Frick, J. E., Colombo, J., & Saxon, T. F. (1999). Individual and Developmental Differences in Disengagement of Fixation in Early Infancy. *Child Development*, *70*(3), 537-548. <http://doi.org/10.1111/1467-8624.00039>

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology. General*, *133*(1), 101-135. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>

Frings, C., Feix, S., Röthig, U., Brüser, C., & Junge, M. (2007). Children do show negative priming: Further evidence for early development of an intact selective control mechanism. *Developmental Psychology*, *43*(5), 1269-1273. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.43.5.1269>

Frings, C., & Schneider, K. K. (2015). The negative priming paradigm: An update and

implications for selective attention. *Psychonomic bulletin & review*.
<http://doi.org/10.3758/s13423-015-0841-4>

Fuentes, L. J., Vivas, A. B., & Humphreys, G. W. (1999). Inhibitory Tagging of Stimulus Properties in Inhibition of Return: Effects on Semantic Priming and Flanker Interference. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 52(1), 149-164.
<http://doi.org/10.1080/713755797>

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60.
<http://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>

Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of Salient Objects Prevents Distraction in Visual Search. *The Journal of Neuroscience*, 34(16), 5658-5666.
<http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4161-13.2014>

Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24–36 months of age. *Developmental Science*, 3(4), 397-404.
<http://doi.org/10.1111/1467-7687.00134>

Gerhardstein, P., & Rovee-Collier, C. (2002). The development of visual search in infants and very young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(2), 194-215.
<http://doi.org/10.1006/jecp.2001.2649>

Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3 1/2-7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129-153.

Gibbons, H. (2006). An event-related potential investigation of varieties of negative priming. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 170-185. <http://doi.org/10.1027/0269-8803.20.3.170>

Gibbons, H. (2009). Functional brain-electrical correlates of negative priming in the flanker task: Evidence for episodic retrieval. *Psychophysiology*, 46(4), 807-817.
<http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00819.x>

Gibbons, H., & Frings, C. (2010). Flanker negative priming from spatially unpredictable primes: an ERP study. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 75(3), 339-348.
<http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.01.004>

Gibbons, H., Rammsayer, T. H., & Stahl, J. (2006). Multiple sources of positive- and

negative-priming effects: An event-related potential study. *Memory & Cognition*, 34(1), 172-186. <http://doi.org/10.3758/BF03193396>

Gibson, E. J., & Yonas, A. (1966). A developmental study of visual search behavior. *Perception & Psychophysics*, 1(3), 169-171. <http://doi.org/10.3758/BF03210052>

Giedd, J. N. (2004). Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021, 77-85. <http://doi.org/10.1196/annals.1308.009>

Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ... Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179. <http://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>

Goldberg, M. C., Maurer, D., & Lewis, T. L. (2001). Developmental changes in attention: The effects of endogenous cueing and of distractors. *Developmental Science*, 4(2), 209-219. <http://doi.org/10.1111/1467-7687.00166>

Gopher, D., & Navon, D. (1980). How is performance limited: Testing the notion of central capacity. *Acta Psychologica*, 46(3), 161-180. [http://doi.org/10.1016/0001-6918\(80\)90008-6](http://doi.org/10.1016/0001-6918(80)90008-6)

Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(4), 468-484.

Greenberg, L., & Pascual-Leone, J. (1995). A dialectical constructivist approach to experiential change. In R. A. Neimeyer & M. J. Mahoney (éd.), *Constructivism in psychotherapy* (p. 169-191). Washington, DC, US: American Psychological Association.

Grice, G. R., Canham, L., & Boroughs, J. M. (1983). Forest before trees? It depends where you look. *Perception & Psychophysics*, 33(2), 121-128. <http://doi.org/10.3758/BF03202829>

Groh-Bordin, C., & Frings, C. (2009). Where has all the inhibition gone? Insights from electrophysiological measures into negative priming without probe distractors. *Brain and Cognition*, 71(2), 92-98. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.04.005>

Hadad, B.-S., & Kimchi, R. (2006). Developmental trends in utilizing perceptual closure for grouping of shape: effects of spatial proximity and collinearity. *Perception & Psychophysics*, 68(8), 1264-1273.

Hadad, B.-S., Maurer, D., & Lewis, T. L. (2010). The effects of spatial proximity and collinearity on contour integration in adults and children. *Vision Research*, 50(8), 772-778. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2010.01.021>

Han, S., Fan, S., Chen, L., & Zhuo, Y. (1997). On the Different Processing of Wholes and Parts: A Psychophysiological Analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(5), 687-698. <http://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.5.687>

Han, S., & Humphreys, G. W. (1999). Interactions between perceptual organization based on Gestalt laws and those based on hierarchical processing. *Perception & Psychophysics*, 61(7), 1287-1298.

Han, S., & Humphreys, G. W. (2002). Segmentation and selection contribute to local processing in hierarchical analysis. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 55(1), 5-21. <http://doi.org/10.1080/02724980143000127>

Harel, J., Koch, C., & Perona, P. (2006). Graph-based Visual Saliency. *Neural Information Processing Systems - NIPS*, 19, 545-552.

Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In F. N. Dempster (éd.), *Interference and Inhibition in Cognition* (p. 175-204). San Diego, CA: Academic Press.

Harrison, T. B., & Stiles, J. (2009). Hierarchical forms processing in adults and children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 222-240. <http://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.09.004>

Hazeltine, R. E., Prinzmetal, W., & Elliott, W. (1997). If it's not there, where is it? Locating illusory conjunctions. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 23(1), 263-277.

Hegdé, J. (2008). Time course of visual perception: Coarse-to-fine processing and beyond. *Progress in Neurobiology*, 84(4), 405-439. <http://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.09.001>

Heil, M., Osman, A., Wiegmann, J., Rolke, B., & Hennighausen, E. (2000). N200 in the Eriksen-task: Inhibitory executive process? *Journal of Psychophysiology*, 14(4), 218-225. <http://doi.org/10.1027//0269-8803.14.4.218>

Houdé, O. (sous presse). Inhibition, Psychologie. In *Encyclopédie Universalis*. Boulogne-Billancourt, France: Encyclopædia Universalis France S.A.

Houdé, O. (1995). *Rationalité, Développement et Inhibition. Un nouveau cadre d'analyse*. Paris: Presses Universitaires de France.

Houdé, O. (1997). Numerical development: From the infant to the child. Wynn's (1992) paradigm in 2- and 3-year olds. *Cognitive Development*, 12(3), 373-391. [http://doi.org/10.1016/S0885-2014\(97\)90009-5](http://doi.org/10.1016/S0885-2014(97)90009-5)

Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15(1), 63-73. [http://doi.org/10.1016/S0885-2014\(00\)00015-0](http://doi.org/10.1016/S0885-2014(00)00015-0)

Houdé, O. (2001). Interference and inhibition (psychology of -). In N. J. Smelser & P. B. Baltes (éd.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (p. 7718-7722). Oxford: Elsevier Science.

Houdé, O. (2007). First insights on «neuropedagogy of reasoning». *Thinking & Reasoning*, 13(2), 81-89. <http://doi.org/10.1080/13546780500450599>

Houdé, O. (2012). L'intelligence malgré tout. In J. Piaget, *La Psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Collin.

Houdé, O. (2015). Cognitive development during infancy and early childhood across cultures. In J. D. Wright (éd.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences, 2nd Edition* (p. 43-50). Oxford: Elsevier Science.

Houdé, O., & Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults: brain imaging and mental chronometry. *Frontiers in Psychology*, 5. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00616>

Houdé, O., & Guichart, E. (2001). Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task. *Developmental Science*, 4(1), 119-123. <http://doi.org/10.1111/1467-7687.00156>

Houdé, O., & Leroux, G. (2009). *Psychologie du développement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.

Houdé, O., & Moutier, S. (1996). Deductive reasoning and experimental inhibition training: The case of the matching bias. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 15(4), 409-434.

Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., ... Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: a neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(3), 332-346. <http://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>

Houdé, O., Rossi, S., Lubin, A., & Joliot, M. (2010). Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: an fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Developmental Science*, 13(6), 876-885. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00938.x>

Houghton, G., & Tipper, S. P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach & T. H. Carr (éd.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (p. 53-112). San Diego, CA: Academic Press.

Houghton, G., Tipper, S. P., Weaver, B., & Shore, D. I. (1996). Inhibition and Interference in Selective Attention: Some Tests of a Neural Network Model. *Visual Cognition*, 3(2), 119-164. <http://doi.org/10.1080/713756733>

Howard, S. J., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2014). Clarifying inhibitory control: Diversity and development of attentional inhibition. *Cognitive Development*, 31, 1-21. <http://doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.03.001>

Hübner, R. (1997). The effect of spatial frequency on global precedence and hemispheric differences. *Perception & Psychophysics*, 59(2), 187-201.

Hübner, R. (2014). Does attentional selectivity in global/local processing improve discretely or gradually? *Frontiers in Psychology*, 5, 61. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00061>

Hübner, R., & Volberg, G. (2005). The integration of object levels and their content: a theory of global/local processing and related hemispheric differences. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 31(3), 520-541. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.520>

Hughes, H. C., Fendrich, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (1990). Global Versus Local Processing in the Absence of Low Spatial Frequencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2(3), 272-282. <http://doi.org/10.1162/jocn.1990.2.3.272>

Hughes, H. C., Nozawa, G., & Kitterle, F. (1996). Global precedence, spatial frequency channels, and the statistics of natural images. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(3), 197-230. <http://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.3.197>

Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>

Huster, R. J., Westerhausen, R., Pantev, C., & Konrad, C. (2010). The role of the cingulate cortex as neural generator of the N200 and P300 in a tactile response inhibition task. *Human Brain Mapping*, 31(8), 1260-1271. <http://doi.org/10.1002/hbm.20933>

Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.

Itti, L., & Borji, A. (2014). Computational Models: Bottom-up and top-down aspects. In A. C. Nobre & S. Kastner (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (p. 1122-1158). Oxford: Oxford University Press.

Itti, L., Koch, C., & Niebur, E. (1998). A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), 1254-1259. <http://doi.org/10.1109/34.730558>

James, W. (1890). *The principles of Psychology*. New York: Dover Publications.

Kahneman, D., & Frederick, S. (2002). Representativeness revisited: Attribute substitution in intuitive judgment. *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*, 49.

Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press.

Kahneman, D., & Treisman, A. M. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (éd.), *Varieties of attention*. (p. 29-61). New York: Academic Press.

Kannass, K. N., & Colombo, J. (2007). The Effects of Continuous and Intermittent Distractors on Cognitive Performance and Attention in Preschoolers. *Journal of Cognition and Development*, 8(1), 63-77.

Kathmann, N., Bogdahn, B., & Endrass, T. (2006). Event-related brain potential variations during location and identity negative priming. *Neuroscience Letters*, 394(1), 53-56. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.10.001>

Kauffmann, L., Ramanoël, S., & Peyrin, C. (2014). The neural bases of spatial frequency processing during scene perception. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8, 37. <http://doi.org/10.3389/fnint.2014.00037>

Kelly, S. P., Gomez-Ramirez, M., & Foxe, J. J. (2008). Spatial Attention Modulates Initial Afferent Activity in Human Primary Visual Cortex. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, 18(11), 2629-2636. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhn022>

Khundrakpam, B. S., Reid, A., Brauer, J., Carbonell, F., Lewis, J., Ameis, S., ... O'Neill, J. (2013). Developmental Changes in Organization of Structural Brain Networks. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, 23(9), 2072-2085. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhs187>

Kihara, K., & Takeda, Y. (2010). Time course of the integration of spatial frequency-based information in natural scenes. *Vision Research*, 50(21), 2158-2162. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2010.08.012>

Kimchi, R. (1988). Selective attention to global and local levels in the comparison of hierarchical patterns. *Perception & Psychophysics*, 43(2), 189-198. <http://doi.org/10.3758/BF03214197>

Kimchi, R. (1992). Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: A critical review. *Psychological Bulletin*, 112(1), 24-38. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.24>

Kimchi, R., Hadad, B.-S., Behrmann, M., & Palmer, S. E. (2005). Microgenesis and ontogenesis of perceptual organization: evidence from global and local processing of hierarchical patterns. *Psychological Science*, 16(4), 282-290. <http://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01529.x>

Kimchi, R., & Palmer, S. E. (1982). Form and texture in hierarchically constructed patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(4), 521-535. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.8.4.521>

Kinchla, R. A. (1980). The measurement of attention. In R. S. Nickerson (éd.), *Attention and Performance VIII* (p. 213-238). Princeton, N.J.: Psychology Press.

Kinchla, R. A., Solis-Macias, V., & Hoffman, J. (1983). Attending to different levels of structure in a visual image. *Perception & Psychophysics*, 33(1), 1-10. <http://doi.org/10.3758/BF03205860>

Kinchla, R. A., & Wolfe, J. M. (1979). The order of visual processing: « Top-down, » « bottom-up, » or « middle-out ». *Perception & Psychophysics*, 25(3), 225-231. <http://doi.org/10.3758/BF03202991>

Klein, R. (1988). Inhibitory tagging system facilitates visual search. *Nature*, 334(6181), 430-431. <http://doi.org/10.1038/334430a0>

Koch, C., & Ullman, S. (1985). Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Human Neurobiology*, 4(4), 219-227.

Köhler, W. (1929). *Psychologie de la forme*. Paris: Gallimard.

Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2004). Preconscious analysis of global structure: Evidence from masked priming. *Visual Cognition*, 11(1), 105-127. <http://doi.org/10.1080/13506280344000266>

Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38(3), 557-577.

Krakowski, C.-S., Borst, G., Pineau, A., Houdé, O., & Poirel, N. (2015). You can detect the trees as well as the forest when adding the leaves: Evidence from visual search tasks

containing three-level hierarchical stimuli. *Acta Psychologica*, 157, 131-143.
<http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.03.001>

Krupskaya, E. V., & Machinskaya, R. I. (2012). Developmental Changes in Measures of Hierarchical Stimulus Recognition in Conditions of Directed Attention in Children Aged 5–10 Years. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 42(4), 338-346.
<http://doi.org/10.1007/s11055-012-9572-4>

Kumada, T., & Humphreys, G. W. (2002). Cross-dimensional interference and cross-trial inhibition. *Perception & Psychophysics*, 64(3), 493-503. <http://doi.org/10.3758/BF03194720>

LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, 96, 101-124.

Laberge, D., & Tweedy, J. R. (1964). Presentation probability and choice time. *Journal of Experimental Psychology*, 68(5), 477-481. <http://doi.org/10.1037/h0048691>

Lagasse, L. L. (1993). Effects of good form and spatial frequency on global precedence. *Perception & Psychophysics*, 53(1), 89-105. <http://doi.org/10.3758/BF03211718>

Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1988). The processing of hierarchical stimuli: effects of retinal locus, locational uncertainty, and stimulus identity. *Perception & Psychophysics*, 44(2), 172-181.

Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1990). The effect of visual angle on global and local reaction times depends on the set of visual angles presented. *Perception & Psychophysics*, 47(5), 489-496. <http://doi.org/10.3758/BF03208182>

Lamb, M. R., & Yund, E. W. (1993). The role of spatial frequency in the processing of hierarchically organized stimuli. *Perception & Psychophysics*, 54(6), 773-784.
<http://doi.org/10.3758/BF03211802>

Lan, X., Legare, C. H., Ponitz, C. C., Li, S., & Morrison, F. J. (2011). Investigating the links between the subcomponents of executive function and academic achievement: a cross-cultural analysis of Chinese and American preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 677-692. <http://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.11.001>

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 21(3), 451-468.

Lavie, N., & Dalton, P. (2014). Load theory of attention and cognitive control. In S. Kastner & A. C. Nobre (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (p. 56-75). Oxford: Oxford University Press.

Lavie, N., & Fox, E. (2000). The role of perceptual load in negative priming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 26(3), 1038-1052.

Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology. General*, 133(3), 339-354. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.339>

Law, M. B., Pratt, J., & Abrams, R. A. (1995). Color-based inhibition of return. *Perception & Psychophysics*, 57(3), 402-408.

Leat, S. J., Yadav, N. K., & Irving, E. L. (2009). Development of Visual Acuity and Contrast Sensitivity in Children. *Journal of Optometry*, 2(1), 19-26. <http://doi.org/10.3921/joptom.2009.19>

Lechuga, M. T., Moreno, V., Pelegrina, S., Gómez-Ariza, C. J., & Bajo, M. T. (2006). Age differences in memory control: evidence from updating and retrieval-practice tasks. *Acta Psychologica*, 123(3), 279-298. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.01.006>

Lee, H. W., Lo, Y.-H., Li, K.-H., Sung, W.-S., & Juan, C.-H. (2015). The relationship between the development of response inhibition and intelligence in preschool children. *Frontiers in Psychology*, 6, 802. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00802>

Leek, E. C., Reppa, L., & Tipper, S. P. (2003). Inhibition of return for objects and locations in static displays. *Perception & Psychophysics*, 65(3), 388-395.

Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59-80. <http://doi.org/10.1348/026151003321164627>

Le Meur, O., Le Callet, P., Barba, D., & Thoreau, D. (2006). A coherent computational approach to model bottom-up visual attention. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(5), 802-817. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2006.86>

Lennie, P. (2003). The cost of cortical computation. *Current Biology: CB*, 13(6), 493-497.

Lepsien, J., & Pollmann, S. (2002). Covert reorienting and inhibition of return: an event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(2), 127-144. <http://doi.org/10.1162/089892902317236795>

Leroux, G., Spiess, J., Zago, L., Rossi, S., Lubin, A., Turbelin, M.-R., ... Joliot, M. (2009). Adult brains don't fully overcome biases that lead to incorrect performance during cognitive development: an fMRI study in young adults completing a Piaget-like task. *Developmental Science*, 12(2), 326-338. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00785.x>

Li, L., Gratton, C., Yao, D., & Knight, R. T. (2010). Role of frontal and parietal cortices in the control of bottom-up and top-down attention in humans. *Brain Research, 1344*, 173-184. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.05.016>

Lin, Z. (2014). Voluntary spatial attention induces spatial facilitation and object-centered suppression. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 40*(3), 968-982. <http://doi.org/10.1037/a0035005>

List, A., & Robertson, L. C. (2007). Inhibition of Return and Object-based Attentional Selection. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance, 33*(6), 1322-1334. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1322>

Liu, T., Abrams, J., & Carrasco, M. (2009). Voluntary attention enhances contrast appearance. *Psychological science, 20*(3), 354-362. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02300.x>

Lobaugh, N. J., Cole, S., & Rovet, J. F. (1998). Visual search for features and conjunctions in development. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 52*(4), 201-212. <http://doi.org/10.1037/h0087293>

Lubin, A., Vidal, J., Lanoë, C., Houdé, O., & Borst, G. (2013). Inhibitory control is needed for the resolution of arithmetic word problems: A developmental negative priming study. *Journal of Educational Psychology, 105*(3), 701-708. <http://doi.org/10.1037/a0032625>

Luna, B. (2009). Developmental changes in cognitive control through adolescence. *Advances in Child Development and Behavior, 37*, 233-278.

Luna, D., Marcos-ruiz, R., & Merino, J. M. (1995). Selective attention to global and local information: Effects of visual angle, exposure duration, and eccentricity on processing dominance. *Visual Cognition, 2*(2-3), 183-200. <http://doi.org/10.1080/13506289508401730>

Luna, D., Merino, J. M., & Marcos-Ruiz, R. (1990). Processing dominance of global and local information in visual patterns. *Acta Psychologica, 73*(2), 131-143.

Lupiañez, J., Decaix, C., Siéoff, E., Chokron, S., Milliken, B., & Bartolomeo, P. (2004). Independent effects of endogenous and exogenous spatial cueing: inhibition of return at endogenously attended target locations. *Experimental Brain Research, 159*(4), 447-457. <http://doi.org/10.1007/s00221-004-1963-5>

Lupiañez, J., Milán, E. G., Tornay, F. J., Madrid, E., & Tudela, P. (1997). Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. *Perception & Psychophysics, 59*(8), 1241-1254. <http://doi.org/10.3758/BF03214211>

Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattentional Blindness*, Cambridge, MA: MIT Press. Cambridge, MA: MIT Press.

Mangun, G. R., Hillyard, S. A., & Luck, S. J. (1993). Electrocortical substrates of visual selective attention. In D. Meyer & S. Kornblum (éd.), *Attention and Performance XIV* (p. 219-243). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Martin, M. (1979). Local and global processing: The role of sparsity. *Memory & Cognition*, 7(6), 476-484. <http://doi.org/10.3758/BF03198264>

Mayer, A. R., Seidenberg, M., Dorflinger, J. M., & Rao, S. M. (2004). An Event-related fMRI Study of Exogenous Orienting: Supporting Evidence for the Cortical Basis of Inhibition of Return? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(7), 1262-1271. <http://doi.org/10.1162/0898929041920531>

Meili, R. (1931). Les perceptions des enfants et la psychologie de la Gestalt. *Archives de la Psychologie*, 23(89).

Mevorach, C., Hodsoll, J., Allen, H., Shalev, L., & Humphreys, G. (2010). Ignoring the elephant in the room: a neural circuit to downregulate salience. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 30(17), 6072-6079. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0241-10.2010>

Mevorach, C., Humphreys, G. W., & Shalev, L. (2009). Reflexive and preparatory selection and suppression of salient information in the right and left posterior parietal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(6), 1204-1214. <http://doi.org/10.1162/jocn.2009.21088>

Michael, G. A., Fernandez, D., & Vairet, A.-V. (2007). Capture attentionnelle en vision: la pertinence, la saillance et la balance cortico-sous-corticale. In G. A. Michael (éd.), *Neuroscience cognitive de l'attention visuelle* (p. 165-201). Marseille: Solal.

Michael, G. A., Garcia, S., Fernandez, D., Sellal, F., & Boucart, M. (2006). The ventral premotor cortex (vPM) and resistance to interference. *Behavioral Neuroscience*, 120(2), 447-462. <http://doi.org/10.1037/0735-7044.120.2.447>

Michael, G. A., Lété, B., & Ducrot, S. (2013). Trajectories of attentional development: An exploration with the master activation map model. *Developmental Psychology*, 49(4), 615-631. <http://doi.org/10.1037/a0028410>

Milanese, R., Wechsler, H., Gill, S., Bost, J.-M., & Pun, T. (1994). Integration of bottom-up and top-down cues for visual attention using non-linear relaxation. In , *1994 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994*.

Proceedings CVPR '94 (p. 781-785). <http://doi.org/10.1109/CVPR.1994.323898>

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <http://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>

Miller, J. (1981). Global precedence in attention and decision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(6), 1161-1174. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.7.6.1161>

Milliken, B., & Joordens, S. (1996). Negative priming without overt prime selection. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 50(4), 333-346. <http://doi.org/10.1037/1196-1961.50.4.333>

Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., & Seiffert, A. E. (1998). Selective attention: A reevaluation of the implications of negative priming. *Psychological Review*, 105(2), 203-229. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.105.2.203>

Milliken, B., Tipper, S. P., Houghton, G., & Lupiáñez, J. (2000). Attending, ignoring, and repetition: On the relation between negative priming and inhibition of return. *Perception & Psychophysics*, 62(6), 1280-1296. <http://doi.org/10.3758/BF03212130>

Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417. [http://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](http://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex « Frontal Lobe » Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <http://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., ... Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 2693-2698. <http://doi.org/10.1073/pnas.1010076108>

Mondloch, C. J., Geldart, S., Maurer, D., & de Schonen, S. (2003). Developmental changes in the processing of hierarchical shapes continue into adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(1), 20-40.

Montessori, M. (1949). *The absorbent mind*. (he Theosophical Publishing House). Adyar, India.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of

instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11(1), 56-60.
<http://doi.org/10.1080/17470215908416289>

Moray, N. (1969). *Attention: Selective Processes in Vision and Hearing*. London: Hutchinson Educational.

Most, S. B., Scholl, B. J., Clifford, E. R., & Simons, D. J. (2005). What you see is what you set: sustained inattention blindness and the capture of awareness. *Psychological Review*, 112(1), 217-242. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.112.1.217>

Most, S. B., Simons, D. J., Scholl, B. J., Jimenez, R., Clifford, E., & Chabris, C. F. (2001). How not to be seen: the contribution of similarity and selective ignoring to sustained inattention blindness. *Psychological Science*, 12(1), 9-17.

Mounts, J. R. W. (2000). Evidence for suppressive mechanisms in attentional selection: Feature singletons produce inhibitory surrounds. *Perception & Psychophysics*, 62(5), 969-983. <http://doi.org/10.3758/BF03212082>

Moutier, S., Angeard, N., & Houdé, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking & Reasoning*, 8(3), 205-224. <http://doi.org/10.1080/13546780244000033>

Moutier, S., & Houdé, O. (2003). Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. *Thinking & Reasoning*, 9(3), 185-201. <http://doi.org/10.1080/13546780343000213>

Mrzljak, L., Uylings, H. B. M., Van Eden, G. G., & Judáš, M. (1991). Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal stages. In H. B. M. Uylings, C. G. Van Eden, J. P. C. De Bruin, M. A. Corner, & M. G. P. Feenstra (éd.), *The Prefrontal Its Structure, Function and Cortex Pathology* (Vol. 85, p. 185-222). Elsevier.

Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006). An Integrated Model of Top-Down and Bottom-Up Attention for Optimizing Detection Speed. In *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (Vol. 2, p. 2049-2056). <http://doi.org/10.1109/CVPR.2006.54>

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3), 353-383. [http://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](http://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)

Navon, D. (2003). What does a compound letter tell the psychologist's mind? *Acta Psychologica*, 114(3), 273-309.

Navon, D., & Norman, J. (1983). Does global precedence reality depend on visual angle? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(6), 955-965. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.9.6.955>

Neill, W. T., & Kahan, T. A. (1999). Response conflict reverses priming: A replication. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(2), 304-308. <http://doi.org/10.3758/BF03212334>

Neill, W. T., & Mathis, K. M. (1998). Transfer-inappropriate processing: Negative priming and related phenomena. In *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 38 (p. 1-44). San Diego, CA, US: Academic Press.

Neill, W. T., Valdes, L. A., Terry, K. M., & Gorfein, D. (1995). Selective attention and the inhibitory control of cognition. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (éd.), *Interference and Inhibition in Cognition* (p. 207-261). San Diego, CA: Academic Press.

Neisser, U. (1993). Without Perception, There is No Knowledge: Implications for Artificial Intelligence. In R. G. Burton (éd.), *Natural and Artificial Minds*. SUNY Press.

Neisser, U. (2014). *Cognitive Psychology: Classic Edition*. Psychology Press.

Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220-246.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (éd.), *Consciousness and Self Regulation: Advances in Research* (Vol. IV, p. 1-18). New York: Plenum.

Norman, L. J., Heywood, C. A., & Kentridge, R. W. (2013). Object-based attention without awareness. *Psychological Science*, 24(6), 836-843. <http://doi.org/10.1177/0956797612461449>

Oakes, L. M., & Tellinghuisen, D. J. (1994). Examining in infancy: Does it reflect active processing? *Developmental Psychology*, 30(5), 748-756. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.30.5.748>

Observatoire National de la Lecture & Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (2005). L'apprentissage de la lecture à l'école primaire.

O'Connor, D. H., Fukui, M. M., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience*, 5(11), 1203-1209. <http://doi.org/10.1038/nn957>

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.
[http://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)55002-2](http://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)55002-2)

Ordaz, S. J., Foran, W., Velanova, K., & Luna, B. (2013). Longitudinal growth curves of brain function underlying inhibitory control through adolescence. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 33(46), 18109-18124.
<http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1741-13.2013>

Ossowski, A., & Behrmann, M. (in press). Left hemisphere specialization for word reading potentially causes, rather than results from, a left lateralized bias for high spatial frequency visual information. *Cortex*. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.12.013>

Over, E. a. B., Hooge, I. T. C., Vlaskamp, B. N. S., & Erkelens, C. J. (2007). Coarse-to-fine eye movement strategy in visual search. *Vision Research*, 47(17), 2272-2280.
<http://doi.org/10.1016/j.visres.2007.05.002>

Ozonoff, S., Strayer, D. L., McMahon, W. M., & Filloux, F. (1994). Executive Function Abilities in Autism and Tourette Syndrome: An Information Processing Approach. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35(6), 1015-1032. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01807.x>

Paquet, L. (1992). Global and local processing in nonattended objects: a failure to induce local processing dominance. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 18(2), 512-529.

Paquet, L., & Merikle, P. M. (1984). Global precedence: The effect of exposure duration. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 38(1), 45-53.
<http://doi.org/10.1037/h0080783>

Pascual-Leone, J. (1984). Attention, dialectic, and mental effort: Towards an organismic theory of life stages. In M. . Commons, F. A. Richards, & C. Armon (éd.), *Beyond formal operations* (Vol. 1, p. 182–215). New York, NY, US: Praeger.

Pascual-Leone, J. (1989). An organismic process model of Witkin's field-dependence— independence. In T. Globerson & T. Zelniker (éd.), *Cognitive style and cognitive development* (p. 36-70). Westport, CT, US: Ablex Publishing.

Pascual-Leone, J., & Bovet, M. (1966). L'apprentissage de la quantification de l'inclusion et la theorie opératoire. *Acta Psychologica*, 25, 334–356. [http://doi.org/10.1016/0001-6918\(66\)90015-1](http://doi.org/10.1016/0001-6918(66)90015-1)

Pascual-Leone, J., & Goodman, D. (1979). Intelligence and Experience: a neopiagetian

approach. *Instructional Science*, 8, 301-367.

Perret, P., Paour, J.-L., & Blaye, A. (2003). Respective contributions of inhibition and knowledge levels in class inclusion development: a negative priming study. *Developmental Science*, 6(3), 283-288. <http://doi.org/10.1111/1467-7687.00284>

Peyrin, C., Michel, C. M., Schwartz, S., Thut, G., Seghier, M., Landis, T., ... Vuilleumier, P. (2010). The neural substrates and timing of top-down processes during coarse-to-fine categorization of visual scenes: a combined fMRI and ERP study. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(12), 2768-2780. <http://doi.org/10.1162/jocn.2010.21424>

Piaget, J. (1923). *Le langage et la pensée chez l'enfant*. Neuchâtel, France: Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1961). *Les mécanismes perceptifs*. Paris: Presses Universitaires de France.

Piaget, J. (2012). *La Psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Colin.

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.

Plaisted, K., Swettenham, J., & Rees, L. (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 40(5), 733-742.

Poirel, N. (2007, novembre 5). *Traitement Visuel Global-Local et Identification Chez l'Enfant et chez l'Adulte*. Caen Basse Normandie, Caen.

Poirel, N., Borst, G., Simon, G., Rossi, S., Cassotti, M., Pineau, A., & Houdé, O. (2012). Number conservation is related to children's prefrontal inhibitory control: an fMRI study of a piagetian task. *PLoS One*, 7(7), e40802. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0040802>

Poirel, N., Cassotti, M., Beaucousin, V., Pineau, A., & Houdé, O. (2012). Pleasant emotional induction broadens the visual world of young children. *Cognition & Emotion*, 26(1), 186-191. <http://doi.org/10.1080/02699931.2011.589430>

Poirel, N., Leroux, E., Pineau, A., Houdé, O., Simon, G., & Gory. (2014). Changes in Cortical Thickness in 6-Year-Old Children Open Their Mind to a Global Vision of the World. *BioMed Research International*, 2014, e362349. <http://doi.org/10.1155/2014/362349>

Poirel, N., Mellet, E., Houdé, O., & Pineau, A. (2008). First came the trees, then the forest: developmental changes during childhood in the processing of visual local-global patterns according to the meaningfulness of the stimuli. *Developmental Psychology*, 44(1), 245-253. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.44.1.245>

Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2008). What does the nature of the stimuli tell us

about the Global Precedence Effect? *Acta Psychologica*, 127(1), 1-11.
<http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.12.001>

Poirel, N., Simon, G., Cassotti, M., Leroux, G., Perchey, G., Lanoë, C., ... Houdé, O. (2011). The shift from local to global visual processing in 6-year-old children is associated with grey matter loss. *PLoS One*, 6(6), e20879. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0020879>

Popper, K. R. (2006). *Conjectures et réfutations : La croissance du savoir scientifique*. (M.-I. B. de Launay & M. B. de Launay, Trad.). Paris: Payot.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 32(1), 3-25. <http://doi.org/10.1080/00335558008248231>

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of Visual Orienting. *Attention and Performance X*, 32, 531-556.

Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 353(1377), 1915-1927. <http://doi.org/10.1098/rstb.1998.0344>

Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on Attention Networks as a Model for the Integration of Psychological Science. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 1-23. <http://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085516>

Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Rueda, M. R. (2014). Developing Attention and Self-regulation in childhood. In *The Oxford Handbook of Attention* (p. 541-569). Oxford: Oxford University Press.

Pratt, J. (1995). Inhibition of return in a discrimination task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(1), 117-120. <http://doi.org/10.3758/BF03214416>

Pratt, J., & Abrams, R. A. (1999). Inhibition of return in discrimination tasks. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 25(1), 229-242.

Prinzmetal, W., Presti, D. E., & Posner, M. I. (1986). Does attention affect visual feature integration? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 12(3), 361-369.

Pritchard, V. E., & Neumann, E. (2004). Negative Priming Effects in Children Engaged in Nonspatial Tasks: Evidence for Early Development of an Intact Inhibitory Mechanism. *Developmental Psychology*, 40(2), 191-203. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.191>

Pritchard, V. E., & Neumann, E. (2009). Avoiding the potential pitfalls of using negative priming tasks in developmental studies: Assessing inhibitory control in children, adolescents,

and adults. *Developmental Psychology*, 45(1), 272-283. <http://doi.org/10.1037/a0014168>

Pritchard, V. E., & Neumann, E. (2011). Classic Stroop Negative Priming effects for children and adults diverge with less-conflicting and nonconflicting conditions. *The American Journal of Psychology*, 124(4), 405-419.

Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3(3), 179-197.

Rauschenberger, R., & Yantis, S. (2001). Attentional capture by globally defined objects. *Perception & Psychophysics*, 63(7), 1250-1261.

Renan, E. (1995). *L'avenir de la science*. Paris: Garnier Flammarion.

Rijpkema, M., van Aalderen, S. I., Schwarzbach, J. V., & Verstraten, F. A. J. (2008). Activation patterns in visual cortex reveal receptive field size-dependent attentional modulation. *Brain research*, 1189, 90-96. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.10.100>

Rijpkema, M., van Aalderen, S., Schwarzbach, J., & Verstraten, F. A. J. (2007). Beyond the forest and the trees: local and global interference in hierarchical visual stimuli containing three levels. *Perception*, 36(8), 1115-1122.

Ripoll, T., Fiere, E., & Pélissier, A. (2005). Relative weight of local and global properties depends on both the position of local elements and the saliency of global form. *Experimental Psychology*, 52(4), 272-280. <http://doi.org/10.1027/1618-3169.52.4.272>

Robertson, L. C., Egly, R., Lamb, M. R., & Kerth, L. (1993). Spatial attention and cuing to global and local levels of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19(3), 471.

Rosenholtz, R., Huang, J., & Ehinger, K. A. (2012). Rethinking the role of top-down attention in vision: effects attributable to a lossy representation in peripheral vision. *Frontiers in Psychology*, 3, 13. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00013>

Rossi, S., Cassotti, M., Moutier, S., Delcroix, N., & Houdé, O. (2015). Helping reasoners succeed in the Wason selection task: when executive learning discourages heuristic response but does not necessarily encourage logic. *PloS One*, 10(4), e0123024. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0123024>

Ro, T., Farnè, A., & Chang, E. (2003). Inhibition of return and the human frontal eye fields. *Experimental Brain Research*, 150(3), 290-296. <http://doi.org/10.1007/s00221-003-1470-0>

Rueda, M. R., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2005). The development of executive

attention: contributions to the emergence of self-regulation. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 573-594. http://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_2

Rueda, M. R., Posner, M. I., Rothbart, M. K., & Davis-Stober, C. P. (2004). Development of the time course for processing conflict: an event-related potentials study with 4 year olds and adults. *BMC neuroscience*, 5(1), 39.

Ruff, H. A., Capozzoli, M., & Weissberg, R. (1998). Age, individuality, and context as factors in sustained visual attention during the preschool years. *Developmental Psychology*, 34(3), 454-464.

Ruge, H., & Naumann, E. (2006). Brain-electrical correlates of negative location priming under sustained and transient attentional context conditions. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 160-169. <http://doi.org/10.1027/0269-8803.20.3.160>

Rugg, M. D., Henson, R. N. A., & Robb, W. G. K. (2003). Neural correlates of retrieval processing in the prefrontal cortex during recognition and exclusion tasks. *Neuropsychologia*, 41(1), 40-52.

Ruskin, E. M., & Kaye, D. B. (1990). Developmental differences in visual processing: strategy versus structure. *Journal of Experimental Child Psychology*, 50(1), 1-24.

Sartre, J.-P. (1943). *L'Être et le Néant*. Paris: Gallimard.

Scherf, K. S., Behrmann, M., Kimchi, R., & Luna, B. (2009). Emergence of global shape processing continues through adolescence. *Child Development*, 80(1), 162-177. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2008.01252.x>

Schoenemann, P. T., Sheehan, M. J., & Glotzer, L. D. (2005). Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nature Neuroscience*, 8(2), 242-252. <http://doi.org/10.1038/nn1394>

Schyns, P. G., & Oliva, A. (1994). From Blobs to Boundary Edges: Evidence for Time- and Spatial-Scale-Dependent Scene Recognition. *Psychological Science*, 5(4), 195-200. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00500.x>

Scolari, M., Ester, E. F., & Serences, J. T. (2014). Feature -and object-based attentional modulation in the human visual system. In A. C. Nobre & S. Kastner (éd.), *The Oxford Handbook of Attention*. Oxford: Oxford University Press.

Semendeferi, K., Armstrong, E., Schleicher, A., Zilles, K., & Van Hoesen, G. W. (2001). Prefrontal cortex in humans and apes: a comparative study of area 10. *American Journal of Physical Anthropology*, 114(3), 224-241. <http://doi.org/10.1002/1096->

8644(200103)114:3<224::AID-AJPA1022>3.0.CO;2-I

Serences, J. T., & Boynton, G. M. (2007). Feature-Based Attentional Modulations in the Absence of Direct Visual Stimulation. *Neuron*, *55*(2), 301-312. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.06.015>

Serences, J. T., & Kastner, S. (2014). A multi-level account of selective attention. In S. Kastner & A. C. Nobre (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (Oxford University Press, p. 76-104). Oxford: Oxford University Press.

Serences, J. T., & Yantis, S. (2006). Selective visual attention and perceptual coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(1), 38-45. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2005.11.008>

Serres, M. (1992). *Éclaircissements. Entretiens avec Bruno Latour*. Paris: Éditions François Bourin.

Shulman, G. L., Sullivan, M. A., Gish, K., & Sakoda, W. J. (1986). The role of spatial-frequency channels in the perception of local and global structure. *Perception*, *15*(3), 259 – 273. <http://doi.org/10.1068/p150259>

Shulman, G. L., & Wilson, J. (1987). Spatial frequency and selective attention to local and global information. *Perception*, *16*(1), 89-101.

Siegler, R. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology. General*, *117*(3), 258-275.

Siegler, R., & Jenkins, E. A. (1989). *How Children Discover New Strategies*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Simone, P. M., & McCormick, E. B. (1999). Effect of a Defining Feature on Negative Priming Across the Life Span. *Visual Cognition*, *6*(5), 587-606. <http://doi.org/10.1080/135062899394957>

Simons, D. J. (2010). Monkeying around with the gorillas in our midst: familiarity with an inattentional-blindness task does not improve the detection of unexpected events. *i-Perception*, *1*(1), 3-6. <http://doi.org/10.1068/i0386>

Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, *28*(9), 1059-1074.

Soto, D., & Blanco, M. J. (2004). Spatial attention and object-based attention: a comparison within a single task. *Vision Research*, *44*(1), 69-81. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2003.08.013>

Spelke, E. S. (2000). Core knowledge. *American Psychologist*, *55*(11), 1233-1243.

<http://doi.org/10.1037/0003-066X.55.11.1233>

Stablum, F., Ricci, R., Pavese, A., & Umiltà, C. (2001). Global/local processing and negative priming: The influence of selection difficulty and stimulus exposure. *Psychological research*, 65(2), 81–97.

St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 59(4), 745-759.
<http://doi.org/10.1080/17470210500162854>

Steel, C., Haworth, E. J., Peters, E., Hemsley, D. R., Sharma, T., Gray, J. A., ... Williams, S. C. (2001). Neuroimaging correlates of negative priming. *Neuroreport*, 12(16), 3619-3624.

Stokes, M., & Duncan, J. (2014). Dynamic Brain States for Preparatory Attention and Working Memory. In A. C. Nobre & S. Kastner (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (p. 152-180). Oxford: Oxford University Press.

Stokes, M., Thompson, R., Nobre, A. C., & Duncan, J. (2009). Shape-specific preparatory activity mediates attention to targets in human visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(46), 19569-19574.
<http://doi.org/10.1073/pnas.0905306106>

Sully, J. (1898). *Études sur l'enfance*. (A. Monod, Trad.). F. Alcan (Paris).

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51(6), 599-606.

Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77-99. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>

Theeuwes, J., & Chen, C. Y. D. (2005). Attentional capture and inhibition (of return): The effect on perceptual sensitivity. *Perception & Psychophysics*, 67(8), 1305-1312.
<http://doi.org/10.3758/BF03193636>

Thompson, L. A., & Massaro, D. W. (1989). Before you see it, you see its parts: Evidence for feature encoding and integration in preschool children and adults. *Cognitive Psychology*, 21(3), 334-362. [http://doi.org/10.1016/0010-0285\(89\)90012-1](http://doi.org/10.1016/0010-0285(89)90012-1)

Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582), 520-522. <http://doi.org/10.1038/381520a0>

Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*,

37(4), 571-590.

Tipper, S. P. (1992). Selection for Action: The Role of Inhibitory Mechanisms. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 105-109.

Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 54(2), 321-343. <http://doi.org/10.1080/713755969>

Tipper, S. P., Bourque, T. A., Anderson, S. H., & Brehaut, J. C. (1989). Mechanisms of attention: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 353-378.

Tipper, S. P., Brehaut, J. C., & Driver, J. (1990). Selection of moving and static objects for the control of spatially directed action. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16(3), 492-504.

Tipper, S. P., Driver, J., & Weaver, B. (1991). Short report: Object-centred inhibition of return of visual attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 43(2), 289-298. <http://doi.org/10.1080/14640749108400971>

Tipper, S. P., & McLaren, J. (1990). Evidence for Efficient Visual Selectivity in Children. In J. T. Enns (éd.), *The Development of attention: Research and Theory* (Vol. 69, p. 197-210). North-Holland.

Tipper, S. P., Weaver, B., Jerreat, L. M., & Burak, A. L. (1994). Object-based and environment-based inhibition of return of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(3), 478-499. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.20.3.478>

Tipper, S. P., Weaver, B., & Watson, F. L. (1996). Inhibition of return to successively cued spatial locations: commentary on Pratt and Abrams (1995). *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22(5), 1289-1293.

Titchener, E. (1901). *Experimental Psychology: A Manual of Laboratory Practice volume I*. London, UK: Macmillan.

Townsend, J. T. (1990). Serial vs. Parallel Processing: Sometimes They Look Like Tweedledum and Tweedledee but They Can (and Should) Be Distinguished. *Psychological Science*, 1(1), 46-54. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00067.x>

Traverso, L., Viterbori, P., & Usai, M. C. (2015). Improving executive function in childhood: evaluation of a training intervention for 5-year-old children. *Frontiers in Psychology*, 6, 525. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00525>

Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(4), 242-248. <http://doi.org/10.1080/17470216008416732>

Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76(3), 282-299. <http://doi.org/10.1037/h0027242>

Treisman, A. M. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(2), 194.

Treisman, A. M. (1993). The perception of features and objects. In *Attention: Selection, awareness and control. A tribute to Donald Broadbent.* (Clarendon Press University, p. 5-35). Oxford: A. Baddeley and L. Weiskrantz.

Treisman, A. M. (1998). Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 353(1373), 1295-1306. <http://doi.org/10.1098/rstb.1998.0284>

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.

Treisman, A. M., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.

Treisman, A. M., & Paterson, R. (1984). Emergent features, attention, and object perception. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 10(1), 12-31.

Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* (p. 459-478).

Treisman, A. M., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14(1), 107-141.

Treisman, A. M., Squire, R., & Green, J. (1974). Semantic processing in dichotic listening? A replication. *Memory & Cognition*, 2(4), 641-646. <http://doi.org/10.3758/BF03198133>

Treue, S. (2003). Visual attention: the where, what, how and why of saliency. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(4), 428-432. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00105-3](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00105-3)

Trick, L. M., & Enns, J. T. (1998). Lifespan changes in attention: The visual search task. *Cognitive Development*, 13(3), 369-386. [http://doi.org/10.1016/S0885-2014\(98\)90016-8](http://doi.org/10.1016/S0885-2014(98)90016-8)

Tsal, Y., Meiran, N., & Lavie, N. (1994). The role of attention in illusory conjunctions. *Perception & Psychophysics*, 55(3), 350-358.

Tsekhmistrenko, T. A., & Chernykh, N. A. (2013). Developmental Characteristics of the Microstructure of Layer V of the Frontal Cortex in Humans. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 43(5), 582-586. <http://doi.org/10.1007/s11055-013-9775-3>

Tsekhmistrenko, T. A., Vasil'eva, V. A., Shumeiko, N. S., & Vologirov, A. S. (2004). Quantitative changes in the fibroarchitectonics of the human cortex from birth to the age of 12 years. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 34(9), 983-988.

Tsotsos, J. K. (1993). An inhibitory beam for attentional selection. In L. Harris & M. Jenkin (éd.), *Spatial Vision in Humans and Robots*. (p. 313-331). Cambridge University Press.

Ungar, L., Nestor, P. G., Niznikiewicz, M. A., Wible, C. G., & Kubicki, M. (2010). Color Stroop and Negative Priming in Schizophrenia: An fMRI Study. *Psychiatry research*, 181(1), 24-29. <http://doi.org/10.1016/j.psychresns.2009.07.005>

Velisavljević, L., & Elder, J. H. (2008). Visual short-term memory of local information in briefly viewed natural scenes: configural and non-configural factors. *Journal of Vision*, 8(16), 8.1-17. <http://doi.org/10.1167/8.16.8>

Verghese, P. (2001). Visual Search and Attention: A Signal Detection Theory Approach. *Neuron*, 31(4), 523-535. [http://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00392-0](http://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00392-0)

Verguts, T., Notebaert, W., Kunde, W., & Wühr, P. (2011). Post-conflict slowing: cognitive adaptation after conflict processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 76-82. <http://doi.org/10.3758/s13423-010-0016-2>

Vinter, A., Puspitawati, I., & Witt, A. (2010). Children's spatial analysis of hierarchical patterns: construction and perception. *Developmental Psychology*, 46(6), 1621-1631. <http://doi.org/10.1037/a0020615>

Vivas, A. B., & Fuentes, L. J. (2001). Stroop interference is affected in inhibition of return. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 315-323.

Vurpillot, E. (1972). *Le monde visuel du jeune enfant* (Presses Universitaires de France). Paris.

Wagner, M., Baving, L., Berg, P., Cohen, R., & Rockstroh, B. (2006). An erp investigation of semantic priming, repetition priming, and negative priming in schizophrenic patients. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 195-211. <http://doi.org/10.1027/0269-8803.20.3.195>

Wainwright, A., & Bryson, S. E. (2002). The development of exogenous orienting: mechanisms of control. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(2), 141-155.

Waszak, F., Li, S.-C., & Hommel, B. (2010). The development of attentional networks: Cross-sectional findings from a life span sample. *Developmental Psychology*, *46*(2), 337-349. <http://doi.org/10.1037/a0018541>

Weissman, D. H., Giesbrecht, B., Song, A. W., Mangun, G. R., & Woldorff, M. G. (2003). Conflict monitoring in the human anterior cingulate cortex during selective attention to global and local object features. *NeuroImage*, *19*(4), 1361-1368.

Wertheimer, M. (1938). Laws of organization in perceptual forms. In W. D. Ellis (éd.), *A source book of Gestalt psychology* (p. 71–88). London: Routledge et Kegan Paul.

Wertheimer, M. (1945). *Productive Thinking*. Harper.

Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1*(2), 202-238. <http://doi.org/10.3758/BF03200774>

Wolfe, J. M. (2007). Guided search 4.0: Current progress with a model of visual search. In *Integrated models of cognitive systems* (Oxford University Press, p. 99-119). New York: W. Gray.

Wolfe, J. M. (2014). Approaches to Visual Search: Feature Integration Theory and Guided Search. In A. C. (Kia) Nobre & S. Kastner (éd.), *The Oxford Handbook of Attention* (p. 11-55). Oxford: Oxford University Press.

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *15*(3), 419-433.

Wolfe, J. M., Yu, K. P., Stewart, M. I., Shorter, A. D., Friedman-Hill, S. R., & Cave, K. R. (1990). Limitations on the parallel guidance of visual search: color x color and orientation x orientation conjunctions. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *16*(4), 879-892.

Woods, A. J., Göksun, T., Chatterjee, A., Zelonis, S., Mehta, A., & Smith, S. E. (2013). The development of organized visual search. *Acta Psychologica*, *143*(2), 191-199. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.03.008>

Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development: typical developmental trends. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *44*(4), 561-575.

Wundt, W. (1904). *Principles of physiological psychology (5th ed.)*. (E. Titchener, Trad.). New York: Macmillan.

Xu, F., Han, Y., Sabbagh, M. A., Wang, T., Ren, X., & Li, C. (2013). Developmental Differences in the Structure of Executive Function in Middle Childhood and Adolescence. *PLoS ONE*, 8(10). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0077770>

Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16(1), 121-134.

Yeari, M., & Goldsmith, M. (2011). Organizational and spatial dynamics of attentional focusing in hierarchically structured objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 37(3), 758-780. <http://doi.org/10.1037/a0020746>

Yovel, G., Yovel, I., & Levy, J. (2001). Hemispheric asymmetries for global and local visual perception: Effects of stimulus and task factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(6), 1369-1385. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.27.6.1369>

Zhou, X., & Chen, Q. (2008). Neural correlates of spatial and non-spatial inhibition of return (IOR) in attentional orienting. *Neuropsychologia*, 46(11), 2766-2775. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.05.017>

ARTICLES PUBLIÉS OU SOUMIS

Krakowski, C.-S., Borst, G., Pineau, A., Houdé, O., & Poirel, N. (2015). You can detect the trees as well as the forest when adding the leaves: Evidence from visual search tasks containing three-level hierarchical stimuli. *Acta Psychologica*, *157*, 131-143.

Krakowski, C.S., Poirel, N., Vidal, J., Roëll, M., Houdé, O. (soumis). The forest, the trees and the leaves: Differences of processing across development. *Developmental Psychology*

Poirel, N., **Krakowski, C.-S.**, Sayah, S., Pineau, A., Houdé, O., & Borst, G. (2014). Do you want to see the tree? Ignore the forest: Inhibitory control during local processing: A negative priming study

