



HAL
open science

Structures et processus du traitement cognitif de la signalisation textuelle

Frédéric Maillet

► **To cite this version:**

Frédéric Maillet. Structures et processus du traitement cognitif de la signalisation textuelle. Psychologie. Université de Toulouse, 2024. Français. NNT : 2024TLSEJ002 . tel-04648740

HAL Id: tel-04648740

<https://theses.hal.science/tel-04648740v1>

Submitted on 15 Jul 2024

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

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

Doctorat de l'Université de Toulouse

préparé à l'Université Toulouse - Jean Jaurès

Structures et processus du traitement cognitif de la
signalisation textuelle

Thèse présentée et soutenue, le 16 janvier 2024 par

Frédéric MAILLET

École doctorale

CLESCO - Comportement, Langage, Éducation, Socialisation, Cognition

Spécialité

Psychologie

Unité de recherche

CLLE - Unité Cognition, Langues, Langage, Ergonomie

Thèse dirigée par

Julie LEMARIE

Composition du jury

M. Patrice TERRIER, Président, Université Toulouse II Jean Jaurès

M. Jean-François ROUET, Rapporteur, Université de Poitiers

Mme Nathalie BLANC, Rapporteur, Université Paul-Valéry Montpellier 3

M. Thierry BACCINO, Examineur, Retraité (Université Paris 8)

Mme Julie LEMARIE, Directrice de thèse, Université Toulouse II Jean Jaurès

Remerciements

Si reprendre le chemin des études pour venir fatiguer les bancs de l'université est certes une démarche volontaire, elle contraint toutefois une insouciance qui n'est plus celle de mes jeunes années. J'assume donc, du mieux que je peux, un parcours atypique et tardif, et je ne peux qu'approuver, au moins partiellement, Umberto Eco qui souligne que « *[c]e qui importe est donc moins le sujet de la thèse que l'expérience de travail qu'elle implique* » (1977, p. 29). Partiellement seulement, car je suis clairement porté par un sujet riche, au carrefour de la linguistique textuelle et de la cognition visuelle, sans être seulement motivé par un objectif professionnel.

Aux années Licences, je dois la rencontre avec la psychologie cognitive et la compréhension écrite avec Julie. De cette découverte, je ne me remettrai pas. Et, finalement, j'en suis encore là ! Les années Master furent celles de l'initiation au plaisir partagé de la recherche. Partagé, car je dois autant à nos enseignants qu'à mes camarades cet exercice commun de la pensée.

Le M1 fut le temps d'une richesse conceptuelle qui m'émerveille encore. Merci à Marine, Do et Colin d'avoir été des compagnons aussi joyeux qu'exigeants. Merci à Hiroko Norimatsu et son invité pour des interventions merveilleuses sur les origines du langage. Nous avons regretté un M2 plus pragmatique, mais il était sans doute temps de mettre les mains dans le cambouis. Merci à Léo, Magali, Charlotte, Morgane, Lou, Maylis, Antoine, Julia et Efsio de leurs efforts constants à démontrer que l'on pouvait travailler sérieusement sans jamais se prendre au sérieux ! Merci à Maja et Aline d'avoir préservé l'unité joyeuse et malicieuse de cette première promo PEPSCO sans qu'elle ne se fissure dans la perspective d'un unique CDU.

Cette thèse donne une forme achevée à plusieurs années de réflexion et d'exploration au cœur de ce qui permet à l'esprit de traiter des écrits d'une grande complexité, nourries autant de la richesse des échanges, que de la confiance et de la disponibilité chaleureuse et patiente de Julie. Merci !

Frédéric Maillot

Résumé

L'aspect visuel d'une page est rarement homogène : les titres et sous-titres, l'indentation des paragraphes, les listes, les mots soulignés ou en italique, etc., reflètent l'intention de l'auteur d'accompagner le lecteur dans sa compréhension. Ces dispositifs de mise en forme du texte sont autant de *signaux* que l'auteur entend envoyer à son lecteur.

Dans l'histoire récente de la compréhension écrite, nous avons assisté à l'évolution de cette notion pragmatique, cette mise en forme du texte que nous venons d'évoquer, vers sa conceptualisation sémiotique, la *signalisation textuelle*, qui distingue deux composantes : un signifiant, la mise en forme du texte, réalisation du signal, et un signifié, les éléments métatextuels, la macrostructure.

Ce cadre conceptuel autorise l'appréhension de deux formes souvent intriquées de réalisation de cette signalisation. Une réalisation discursive, qui exprime textuellement les éléments métatextuels, comme dans « Notre argumentation repose sur trois points. Le premier,... », et une réalisation qui mobilise des dispositifs de mise en forme et de disposition typographique des éléments textuels sur la page, une *réalisation typo-dispositionnelle*. Souvent intriqués, car un titre par exemple est bien un élément discursif, typographiquement autant que dispositionnellement distingué sur la page.

Au-delà du prisme consistant à apprécier l'intérêt de la signalisation par l'effet qu'elle produit, nous nous intéressons ici à cette réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation textuelle, car elle mobilise une sémiotique graphique qui diffère de la sémiotique textuelle. Dès lors, la question de son traitement cognitif reste incertaine et largement ignorée dans la littérature et fait l'objet de ce travail de recherche avec une idée assez simple : si l'écrit a évolué pour exploiter des propriétés de mise en forme particulières, tant typographiques que dispositionnelles, c'est sans doute parce que son traitement cognitif doit mobiliser des ressources visuelles et spatiales aux côtés des composantes linguistiques, en leur trouvant un intérêt qui conduit à améliorer la compréhension du texte lu.

Dans ce contexte, ce travail aborde plusieurs points essentiels. D'un point de vue théorique, il précise le cadre qui permet de penser l'expression d'éléments métatextuels dans une modalité qui n'est pas supportée par une sémiotique textuelle,

pour ensuite expliciter les processus visuels cognitifs susceptibles de donner du sens à cette réalisation typo-dispositionnelle.

D'un point de vue pragmatique, il confirme le bénéfice, pour la compréhension, d'une signalisation textuelle, discursive autant que typo-dispositionnelle, et témoigne pour le traitement de cette dernière, de l'implication de la composante visuospatiale de la mémoire de travail. Enfin, tirant les conséquences de cette répartition de la charge cognitive, il souligne la compétition pour les ressources disponibles entre le traitement de cette signalisation et du contenu textuel, lorsque celui-ci tend à mobiliser des représentations imagées.

Abstract

The visual appearance of a page is rarely homogeneous : headings and sub-headings, indentation of paragraphs, lists, underlined or italicized words, etc. All reflect the author's intention to assist the reader's understanding of the text. These text formatting devices are all *signals* that the author intends to send to the reader.

In the recent history of reading comprehension, we have witnessed the evolution of this pragmatic notion, this shaping of the text that we have just mentioned, towards its semiotic conceptualization, *textual signaling*, which distinguishes two components : a signifier, the shaping of the text, the realization of the signal, and a signified, the metatextual elements, the macrostructure.

This conceptual framework allows us to actualize two often intertwined realization of signalization. A discursive realization, which expresses the metatextual elements textually, as in "Our argument rests on three points. The first is...", and the second involves the typographic layout and arrangement of textual elements on the page, a *typo-dispositional* realization. These realizations are often intertwined, because a title, for example, is both a discursive element, typographically distinguished on the layout on the page.

Beyond the prism of appreciating the interest of signalization through the effect it produces, we are interested here in this typo-dispositional realization of textual signalization, because it mobilizes a graphic semiotics that differs from textual semiotics. As a result, the question of its cognitive processing remains uncertain and largely ignored in the literature, and is the subject of this research with a fairly simple idea : if written language has evolved to exploit particular formatting properties, both typographic and dispositional, it is undoubtedly because its cognitive processing must mobilize visual and spatial resources alongside linguistic components, finding in them an interest that leads to improved comprehension of the text read.

In this context, this research addresses several essential points. From a theoretical point of view, it clarifies the framework that makes it possible to think about the expression of metatextual elements in a modality that is not supported

by textual semiotics, and then explains the visual cognitive processes likely to give meaning to this typo-dispositional realization.

From a pragmatic point of view, it confirms the benefits for comprehension of textual signaling, both discursive and typo-dispositional, and demonstrates the involvement of the visuospatial component of working memory in the processing of the latter. Finally, drawing the consequences of this distribution of cognitive load, he highlights the competition for available resources between the processing of this signaling and textual content, when the latter tends to mobilize pictorial representations.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé-Abstract	iii
Table des matières	vii
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xiii
INTRODUCTION	1
CADRE THÉORIQUE	
<hr/>	
1 Signalisation textuelle	7
1.1 De la mise en forme... à la signalisation	8
1.1.1 Écriture, lecture et typographie	8
1.1.2 Mise en forme différenciée	11
1.1.3 Signalisation et macrostructure	12
1.1.4 SARA comme cadre conceptuel	14
1.2 Signalisation et compréhension	17
1.2.1 Limites de la compréhension écrite	17
1.2.2 Bénéfices de la signalisation	18
1.2.3 Méthodes d'évaluation	21
1.2.4 Production écrite et signalisation	22
1.3 Ontologie et épistémologie	23
1.3.1 Émergence de la signalisation	23
1.3.2 Sémiotique de l'écriture	25
1.4 Spécificités du texte expositif	28
1.5 Typologie de la signalisation	31
1.6 Conclusion	34

2	Cognition visuelle et signalisation	37
2.1	Vision et lecture	38
2.1.1	Vision centrale et périphérique	39
2.1.2	Vision centrale et accès lexical	41
2.2	Capture attentionnelle	43
2.2.1	Attention et lecture	43
2.2.2	Signalisation et attention	44
2.3	Groupement, hiérarchie et intégration perceptive	46
2.3.1	Groupement perceptif	47
2.3.2	Hiérarchie visuelle	49
2.3.3	Intégration perceptive	50
2.4	Mémoire de travail visuospatiale	52
2.4.1	Avantages du groupement perceptif	53
2.4.2	Imagerie mentale	54
2.5	Quid de la production écrite?	55
2.6	Conclusion	56
3	Compléments et problématique	57
3.1	Apprentissage multimedia et double codage	58
3.2	Signalisation et mémoire de localisation	61
3.3	Carte structurale	63
3.4	Complexité visuelle	64
3.5	Problématique et démarche empirique	66

SUPPORT EMPIRIQUE

4	Perception périphérique de la signalisation dispositionnelle	71
4.1	Pertinence d'une approche computationnelle	72
4.2	Question adressée	74
4.3	Expérience 1 : pseudotextes simples	75
4.3.1	Matériel	75
4.3.2	Protocole	76
4.3.3	Résultats	76
4.4	Expérience 2 : pseudotextes écologiques	77
4.4.1	Matériel	77
4.4.2	Protocole	79
4.4.3	Résultats	81
4.5	Expérience 3 : validation empirique	82
4.5.1	Matériel et protocole	82
4.5.2	Résultats	83
4.6	Discussion	83

5	Signalisation et calepin visuospatial	87
5.1	Question adressée	88
5.2	Participants	90
5.3	Matériel	90
5.3.1	Prétests	90
5.3.2	Textes et questions	91
5.3.3	Tâches concurrentes	93
5.4	Procédure	94
5.5	Résultats	95
5.5.1	Prétests	96
5.5.2	Tâches concurrentes	96
5.5.3	Compréhension	97
5.5.4	Temps de lecture	99
5.5.5	Complexité visuelle	101
5.6	Discussion	102
6	Signalisation et contenu textuel spatial	105
6.1	Question adressée	105
6.2	Participants	107
6.3	Matériel	107
6.3.1	Prétests	107
6.3.2	Textes et questions	107
6.3.3	Procédure	108
6.4	Résultats	109
6.4.1	Prétests	109
6.4.2	Temps de lecture	110
6.4.3	Compréhension	111
6.4.4	Complexité visuelle	112
6.5	Discussion	114
7	Discussion-Conclusion	119
7.1	Discussion	121
7.2	Conclusion	129
	Bibliographie	131
	Abbreviations & Symboles	151
	Index	154
	Ressources OSF	155

ANNEXES

A	Perception périphérique d'une signalisation spatiale	I
A.1	Réseau et environnement de programmation	I
A.2	Pseudotextes écologiques	III
A.3	Acuité visuelle et flou gaussien	V
A.4	Estimation du hasard	VI
A.5	Propriétés du « Lorem Ipsum »	VIII
B	Signalisation et calepin visuospatial	IX
B.1	Prétests : séquences empans	IX
B.2	Tâches concurrentes : images et sons	IX
B.3	Textes et caractéristiques	X
B.4	Questionnaires	X
B.5	Compléments d'analyse	XI
B.5.1	Critères de normalité	XI
B.5.2	Compréhension littérale, inférentielle et structurale	XV
C	Signalisation et contenu textuel spatial	XIX
C.1	Textes et caractéristiques	XIX
C.2	Questionnaires	XIX
C.3	Compléments d'analyse	XXIII
C.3.1	Critères de normalité	XXIII
C.3.2	Compréhension	XXIII

Liste des figures

1	Pseudotexte avec et sans signalisation	2
1.1	Signalisation : double lecture d'un message publicitaire	9
1.2	Fréquences d'utilisation : <i>Text formatting</i> versus <i>signaling</i>	13
1.3	Organisation du modèle d'architecture textuelle	14
1.4	Continuum de signalisation discursive versus visuelle	16
1.5	Caractérisation des signaux dans l'interaction texte-lecteur	17
1.6	Signalisation dans la Bible de Malmesbury (1407)	24
1.7	Fonction indicielle et iconique : signature et calligramme	28
1.8	Dos d'ouvrage : signalisation typographique minimaliste	29
1.9	Axes de réalisation du signal	33
2.1	Résolution visuelle en fonction de l'excentricité rétinienne	39
2.2	Lecture et vision : contraintes réciproques	42
2.3	Lecture et gradients attentionnels	44
2.4	Propriétés structurantes de l'espace	46
2.5	Groupement perceptif : proximité et similarité	48
2.6	Additivité des principes de groupement perceptif	49
2.7	Signalisation par groupement perceptif : la couleur	50
2.8	« Espèces d'espaces » (Georges Perec)	51
3.1	Modèle de l'apprentissage multimédia	59
3.2	Théorie du double codage	60
3.3	Localisation de mots : codage	62
3.4	Localisation de mots : performance	63
3.5	Modèle d'une carte structurale	64
3.6	Complexité visuelle des caractéristiques et de conception	66
4.1	Technique de la fenêtre mobile utilisée en vision périphérique	72
4.2	Principe de l'approche computationnelle	74
4.3	Deep learning : structure hiérarchique et pseudotextes signalés	77

4.4	Performance d'analyse de la structure textuelle	78
4.5	Pseudotextes aléatoirement structurés et signalés	79
4.6	Pseudotextes signalés et floutés	80
4.7	Simulation vs participants : résultats	81
4.8	Pseudotextes : validation empirique	82
5.1	Expérience double tâche : trois conditions de signalisation	91
5.2	Expérience double tâche : exemple tâche concurrentes	94
5.3	Expérience double tâche : performance tâche concurrente	97
5.4	Expérience double tâche : compréhension globale	100
5.5	Expérience double tâche : temps de lecture	101
6.1	Expérience en ligne : copies d'écran des textes	108
6.2	Exemple de dessins proposés (la Capsule, copie d'écran)	110
6.3	Expérience en ligne : temps de lecture	111
6.4	Expérience en ligne : compréhension structurale	113
6.5	Complexité de conception visuelle vs lisibilité textuelle	115
7.1	Exemples de signalisations en chinois traditionnel	122
A.1	Apprentissage profond : tâches de détection d'objets	II
A.2	Pseudotextes : congruence de structure et formatage	IV
A.3	Acuité visuelle en fonction de l'excentricité rétinienne	VI
A.4	Acuité visuelle résiduelle en fonction du niveau de flou gaussien	VII
A.5	Images aléatoires utilisées pour l'évaluation du hasard	VII
B.1	Exemples d'items utilisés pour les tâches visuelle et spatiale	XI
B.2	Expérience double tâche : texte 1	XII
B.3	Expérience double tâche : texte 2	XIII
B.4	Expérience double tâche : texte 3	XIV
B.5	Expérience double tâche : analyse des résidus	XVI
B.6	Expérience double tâche : compréhension littérale & inférentielle	XVI
B.7	Expérience double tâche : compréhension structurale	XVII
C.1	Expérience en ligne : texte 1	XX
C.2	Expérience en ligne : texte 2	XXI
C.3	Expérience en ligne : texte 3	XXII
C.4	Expérience en ligne : analyse des résidus	XXIV
C.5	Expérience en ligne : compréhension littérale	XXIV
C.6	Expérience en ligne : compréhension inférentielle	XXV
C.7	Expérience en ligne : compréhension totale	XXV

Liste des tableaux

1.1	Terminologie de la signalisation : réalisation vs processus	15
1.2	Fonctions sémiotiques et portée des signaux	32
4.1	Analyse : corrélations glissantes sur trois niveaux de flou	83
5.1	Expérience double tâche : Caractéristiques moyennes des textes	92
5.2	Expérience double tâche : Empans de mémoire	96
5.3	Expérience double tâche : compréhension totale	99
5.4	Expérience double tâche : complexité visuelle	102
6.1	Expérience en ligne : Caractéristiques moyennes des textes	109
6.2	Expérience en ligne : rappel du dessin	112
6.3	Expérience en ligne : complexité visuelle	114
B.1	Séquences utilisées pour l'évaluation des empans	X
B.2	Expérience double tâche : nb de mots/phrases/paragraphes	XV
B.3	Expérience double tâche : lisibilité Antidote	XVI
C.1	Expérience en ligne : nb de mots/phrases/paragraphesXXIII
C.2	Expérience en ligne : lisibilité AntidoteXXIV

Introduction

“Tous les hommes, par nature, désirent savoir.”

– Aristote

Si Aristote est ici invité à parrainer cette introduction, c’est certes parce qu’il donne sens à la quête de l’apprenti chercheur en affirmant, dès le début de sa *Métaphysique*, cette soif universelle de connaissance. Mais c’est aussi parce qu’Aristote est, indirectement bien sûr, à l’origine d’une révolution de l’écrit qui est au cœur du travail dont cet ouvrage se veut le témoin.

En effet, rendue plus accessible grâce à de nouvelles traductions en latin, la redécouverte au Moyen Âge de son œuvre va participer d’une explosion créatrice de manuscrits visant à alimenter les débats théologiques et scolastiques de cette période qui vit naître les Universités, et

...les livres de référence proposaient une ou plusieurs portes d’entrée : tables des matières, index alphabétiques, plans du contenu, diagrammes, renvois, et une mise en page rendant visible la division du texte en chapitres et sous-chapitres, grâce à des symboles ou différentes polices de caractères. (Blair, 2020, p. 17)

Notre intérêt résulte de la surprenante habileté des lecteurs à aborder des contenus textuels d’une extraordinaire complexité, tant sur le plan des concepts manipulés que des interrelations qui les structurent, contenus eux-mêmes présentés — on dira *mis en forme* — de manière complexe. Car, afin d’exposer au mieux son propos, un auteur, autant pensé comme producteur d’un contenu qu’architecte d’un document, dispose de différents choix d’organisations typographiques et spatiales qui visent à accompagner un lecteur constructeur de sens.

Dès lors, l’apparence visuelle d’une page est rarement homogène : titres et sous-titres, indentation des paragraphes, listes, mots soulignés ou en italique, etc., traduisent l’intention de l’auteur de soutenir la compréhension. Ces dispositifs de mise en forme du texte sont autant de *signaux* que cet auteur destine à son lecteur et dont l’ensemble, *la signalisation textuelle*, renvoie à cette *mise en forme visuelle différenciée* dont l’omniprésence affirme la nécessité.

Chapitre 1
Section 1.1



FIGURE 1 – Exemple : pseudotexte signalé (en haut) et non signalé (en bas)

Section 1.2

De nombreuses études confirment les *bénéfices* de cette signalisation textuelle sur la compréhension et la mémorisation et nous devons préciser que la signalisation textuelle peut être réalisée autant :

- de façon discursive, comme dans « Nous allons aborder trois points... »,
- que typographique, par exemple avec une liste déroulant ces trois points.

Nous nous concentrons ici sur cette réalisation typographique, c'est-à-dire visuelle et spatiale : l'exemple ci-dessus (figure 1) illustre à quel point un titre n'est un « **Titre** » que parce que l'élément textuel correspondant est mis en forme, autant visuellement (police grasse et plus grande) que spatialement (sa disposition dans l'espace de la page le distingue du corps du texte).

L'automatisation de la lecture détourne cependant l'élaboration du sens vers une sémantique exclusive du discours écrit et le traitement cognitif de cette réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation reste largement non adressé dans la littérature et motive ce travail de recherche avec ce constat : si le langage écrit a évolué pour exprimer du sens dans l'espace de son inscription, jouant de la typographie et de l'organisation spatiale, c'est sans doute qu'il doit mobiliser des ressources issues de la cognition visuelle, participant donc de la compréhension du texte. Lesquelles ?

Pour répondre à cette question, nous devons d'abord consolider notre socle *ontologico-épistémologique* : quand et pourquoi des textes complexes, ceux dits *expositifs*, ont-ils eu besoin de mises en forme élaborées pour soutenir la compréhension ? Comment penser un quelconque effet de la signalisation sans revenir sur une linguistique qui ne considère l'écrit que comme un pâle reflet de la langue orale ? Enfin, s'agissant de signaux, quid d'un arbitraire du signe dans l'esquisse d'une *typologie* de la signalisation ?

Section 1.3

Section 1.4

Section 1.5

Notre question de recherche vise à expliciter comment la *cognition visuelle* participe de l'interprétation de la signalisation réalisée typo-dispositionnellement, et nous postulerons qu'elle mobilise deux *catégories de processus visuels* complémentaires :

Chapitre 2

Section 2.1

- des mécanismes de *capture attentionnelle*, par le choix des caractères, et donc l'apparence des mots (italique, gras, petits, grands, etc.) ;
- des mécanismes de *groupement perceptif*, par les choix d'organisation spatiale du texte sur l'espace de la page (indentation de paragraphes, titres isolés, listes...).

Section 2.2

Section 2.3

Un point particulier méritera notre attention : comment le lecteur peut-il construire une *représentation globale* de l'organisation structurelle du texte si cette information est distribuée sur l'ensemble des pages du document ?

Section 2.3.3

Ces processus précisés, nous nous intéresserons à la structure clef de manipulation de l'information visuelle et spatiale, le *calepin visuospatial*, et ceci nous amènera naturellement à discuter les structures et le format des représentations mobilisées.

Section 2.4

Enfin, on ne peut décemment questionner les mécanismes de la compréhension de textes sans jeter un regard curieux sur les conditions de leur production : quelle cohérence de nos propositions avec ce que nous savons des *processus de production* de textes ?

Section 2.5

*
* *

Parce qu'il faut bien délimiter les contours de notre réflexion, nous considérerons ici un lecteur expert (Baccino et Colé, 1995 ; Observatoire national de la lecture, 2000) engagé dans une stratégie de lecture qui assure une bonne compréhension du texte (« learning » ou « rauding », Carver, 1993). Nous considérerons des textes écrits, de type expositifs (ou explicatifs, Adam, 2017) composés d'un seul document (Tricot et al., 2016).

S'intéresser aux mécanismes qui président aux effets de la signalisation textuelle n'est pas anodin. À l'heure où de nombreuses voix s'élèvent pour défendre l'importance du langage écrit, tant dans les apprentissages que dans les pratiques (voir la récente tribune dans *Le Monde* : *Le Monde*, 2023a), ainsi que les travaux

d'universitaires défendant l'importance du langage en général, et de l'écrit en particulier, dans sa capacité à transmettre efficacement les savoirs, y compris dans des disciplines dites dures où la formalisation mathématique est insuffisante à induire une interprétation partagée sans le support du langage (voir à ce sujet le billet de blog très intéressant du physicien Lévy-Leblond, 2023). D'une meilleure compréhension des mécanismes à l'œuvre, on peut par exemple espérer la conception de documents plus à même de répondre à ces objectifs ambitieux.

*
* *

Avec Mangen et van der Weel (2016), nous considérerons que le modèle envisagé se veut en partie explicatif, en ce qu'il aligne et intègre les connaissances existantes, et en partie exploratoire, en ce qu'il met en évidence les zones d'ombre de nos connaissances où des recherches supplémentaires sont nécessaires, et nous inscrivons donc ce travail de recherche dans une approche fondamentale du traitement cognitif de la signalisation visant à :

1. Renforcer un socle ontologico-épistémologique nécessaire pour aborder les fondements des phénomènes observés. C'est l'essentiel du chapitre 1.
2. Préciser les structures et les processus cognitifs susceptibles d'être mobilisés dans le traitement de la signalisation dans sa réalisation visuospatiale. C'est l'objectif du chapitre 2.
3. Dessiner la mise en œuvre de ces éléments ainsi que l'orientation empirique susceptible d'en valider la pertinence. C'est l'ambition du chapitre 3.

La partie empirique questionnera alors certaines conséquences des hypothèses théoriques : le chapitre 4 vérifiera, dans une approche computationnelle, qu'une perception périphérique de la signalisation est plausible ; le chapitre 5 éprouvera l'hypothèse d'une mobilisation du calepin visuospatial dans un paradigme double tâche ; le chapitre 6 tirera les conséquences de cette mobilisation en testant l'interaction avec un contenu textuel spatial. Nous discuterons de l'apport de ce travail dans le chapitre 7.

* * *

CADRE
THÉORIQUE

1

Signalisation textuelle

CE à quoi la signalisation veut renvoyer n'est pas clairement unifié par une terminologie partagée... Pour formaliser une définition, nous explorerons tout d'abord la façon dont le concept est mobilisé dans la pratique, pour ensuite l'examiner théoriquement dans un cadre spécifique, le modèle d'architecture textuelle (*Textual Architecture Model*, Luc et Virbel, 2001), qui nous semble justifier la définition qui émerge de SARA (*Signal Available Relevant Accessible information*, Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008) et que nous mettrons à l'épreuve avec une synthèse des effets sur la lecture et la compréhension écrite.

Il nous faudra ensuite nous demander pourquoi, à un moment donné de l'histoire de l'écrit, sont apparus ces dispositifs de signalisation textuelle ? Nous verrons qu'ils cherchaient à répondre à l'augmentation, autant qualitative que quantitative, d'une véritable complexité textuelle à un moment clef de l'histoire des savoirs, le Moyen Âge, mettant en évidence cette spécificité des textes dits expositifs, cette complexité textuelle qui en commande l'usage.

Nous verrons aussi que le traitement du langage n'est pas toujours aussi détaillé et précis que les modèles psycholinguistiques le laissent supposer. Les représentations sémantiques élaborées sont parfois superficielles et incomplètes : le système de compréhension en fait alors « juste assez » pour répondre à la tâche en cours, invitant au déploiement de cette signalisation qui veille à une meilleure distribution des ressources cognitives du lecteur.

La linguistique traditionnelle dénie toutefois toute autonomie à l'écriture, représentation tronquée de la langue. Penser un effet de la signalisation exigera donc de souligner la spécificité sémiotique du système graphique que constitue le langage écrit. Ce cadre épistémologique précisé, nous aborderons la question de l'arbitraire du signal : l'emphase ne s'exprime pas, ou mal, spatialement, pas plus que la structure du texte ne s'exprime seulement typographiquement. Ceci conduira à esquisser une typologie de la signalisation permettant de mieux contextualiser notre problématique.

1.1 De la mise en forme... à la signalisation

On assiste, dans l'histoire récente de la production écrite, à l'évolution d'une notion pragmatique, la mise en forme du texte, vers sa conceptualisation sémiotique, la signalisation, qui va en distinguer les composantes :

- un signifiant : la mise en forme visuelle du texte, réalisation du signal ;
- un signifié : les éléments métatextuels, la macrostructure.

L'histoire de cette conceptualisation démarre par ce qui est le plus visible, le sommet de l'iceberg : l'apparence visuelle du texte.

1.1.1 Écriture, lecture et typographie

Jeanneret (2005) nous dit que l'écriture rend la langue visible en créant une médiation par la production d'un objet, le texte, qui va être interprété. Trois éléments apparaissent dans cette conceptualisation : le médium, la production écrite et la lecture. Le premier n'est pas anodin, et s'il fut provocateur de dire qu'il est le message (McLuhan, 1968), il n'en reste pas moins que les aspects matériels qui président à la production écrite « ...font de plein droit partie du travail de la signification » (Klinkenberg, 2018, p. 39). C'est le cas notamment avec l'introduction du format moderne du livre — le codex — au début de l'ère chrétienne, qui a révolutionné la manière dont on pouvait interagir avec les livres. Cette innovation a permis une série de nouveaux gestes qui étaient auparavant impossibles, tels que feuilleter les pages, localiser facilement des passages spécifiques, utiliser un index et la possibilité d'écrire tout en lisant (Chartier, 2015). Plus tard, l'imprimerie ne fera que capitaliser sur cette souplesse, sans abolir l'interaction avec le lecteur, invitant à de nouveaux usages de l'écriture, offrant par exemple de larges espaces destinés à accueillir les annotations. Mais, plus récemment, les supports numériques réactualisent le support continu du rouleau antique, tendant à uniformiser dans des formes très semblables, des supports textuels que l'imprimé diversifiait à loisir, engendrant une continuité textuelle qui modifie le rapport à la lecture : « Dans l'espace numérique, ce n'est pas l'objet écrit qui est plié, comme dans la feuille du livre manuscrit ou imprimé, mais le texte lui-même. La lecture consiste alors à "déplier" cette textualité mobile et infinie » (Chartier, 2015, p. 21 ; voir aussi les travaux de Mangen et van der Weel, 2016).

Nous nous intéresserons plus loin à la production écrite,¹ car la signalisation a aussi été pensée comme trace des processus d'écriture, mais notre sujet d'intérêt est la *lecture* que nous entendrons « ...comme un ensemble de processus cognitifs qui transforment l'information visuelle des mots d'un texte en une représentation cognitive intégrant à la fois les connaissances lues que les connaissances déjà mémorisées par le lecteur » (Baccino, 2004 ; Baccino et Draï-Zerbib,

¹ cf. *infra*, section 2.5 page 55



FIGURE 1.1 – Exemple de signalisation : double lecture d'un message publicitaire (Carrefour, Noël 2023)

2015). Cette définition renvoie aux stratégies de lecture qui assurent une bonne compréhension du texte, avec ou sans épreuves de compréhension (« learning » ou « rauding » ; pour une réflexion sur les stratégies de lecture voir Carver, 1993, 1997, mais aussi Rabinowitz, 1998). Dès lors, lire c'est aussi comprendre, c'est mettre en jeu un « ...processus dynamique de construction en mémoire d'une représentation cohérente de la situation évoquée et à laquelle viennent s'ajouter les inférences générées » (Blanc et Brouillet, 2005, p. 30).

Soulignons cette ambiguïté entre l'expression du langage, oral ou écrit, et le sens qu'il est censé véhiculer : celui-ci n'est pas simplement contenu dans les sons ou dans les signes, dans l'attente patiente d'être décodés, mais se doit d'être construit, et la lecture est clairement conçue comme un processus actif, « *sort of making sense* » insiste Smith (2012), et la compréhension écrite est alors pensée comme un processus simultané d'extraction et de construction du sens par l'interaction et l'implication avec le langage écrit, en utilisant les mots « extraction » et « construction » pour souligner tout autant l'importance que l'insuffisance du texte en tant que déterminant de la compréhension de la lecture (Snow, 2002, p. 11).

Précisons que nous n'aborderons pas ici les aspects qui pourraient être développements, ni de la lecture en général, ni de la signalisation textuelle en particulier, et nous considérerons une lecture automatisée, un lecteur expert, engagé dans cette lecture active que nous venons d'évoquer (Baccino et Colé, 1995 ; Observatoire national de la lecture, 2000). Par ailleurs, et bien qu'il ne semble pas si aisé d'en saisir les contours, nous entendrons ici le *texte* sous une forme écrite, moins d'un point de vue linguistique, c'est-à-dire comme un discours structuré (Rastier, 2001, 2005), que d'un point de vue typographique, c'est-à-dire ce qui sur la page fait exister du texte, l'ensemble des signes linguistiques qui composent ce discours écrit (TLFi, 2023). Car nombre de types textuels mobilisent cette signalisation qui nous intéresse, du manuel scolaire aux instructions d'utilisation d'un appareil, en passant par le menu d'un restaurant et la publicité (exemple figure 1.1).

² cf. *infra*,
section 1.4 page 28

Malgré cette diversité, nous envisagerons ici plus particulièrement la lecture de textes dits expositifs,² des textes dont la structure complexe s'éloigne de la séquence narrative (Adam, 2017 ; Weaver III et Kintsch, 1991). Le lecteur doit alors reconstruire « ...malgré la mise à plat occasionnée par le texte, une représentation dans laquelle certaines informations ont plus de poids que d'autres et sont organisées entre elles, au-delà des relations locales instaurées par la séquence des propositions » (Lemarié, 2020, p. 3).

L'affirmation de Mitchell (2005) selon laquelle tous les médias sont en fait mixtes ou multimodaux s'applique particulièrement à l'écrit, car celui-ci mobilise souvent autant le langage, sous sa forme textuelle, que les images, avec des dessins, photos, graphiques, etc., mais aussi des éléments de design, par la distribution spatiale de ces éléments, les choix typographiques, les décorations, etc. (Serafini, 2014).

Ces dimensions visuelles de l'écrit sont toutefois automatisées au point que les significations apportées par la police et la mise en page sont considérées comme allant de soi : ceci détourne l'attention du processus d'élaboration du sens vers une sémantique exclusive du discours écrit (Serafini et Clausen, 2012, p. 5) qui transpire dans les définitions de la lecture comme celle que nous avons convoqué plus haut : « ...information visuelle *des mots* d'un texte... » (Baccino, 2004 ; Baccino et Draï-Zerbib, 2015, c'est nous qui soulignons).

Pourtant, la *typographie* est une ressource sémiotique puissante et J. Young (2014) souligne son potentiel à doter un texte d'une forme visuelle efficiente à en transmettre le sens. Elle est aujourd'hui entendue autant comme l'art du dessin de la lettre (police, fonte) que celui de la composition de la page (Wlassikoff, 2023) et il existe un nombre impressionnant³ de travaux sur les polices de caractères et leur taille pour une lecture optimale, sur papier ou écran. Des auteurs rapportent par exemple, à compréhension constante, un écart de quelque 35 % de vitesse de lecture selon les polices utilisées (Wallace et al., 2022). Longueur des lignes, espace entre les caractères et interligne ont également fait l'objet d'un examen minutieux avec des effets connus sur la vitesse ou même sur la compréhension (voir par exemple Risko et al., 2011, mais aussi van den Boer et Hakvoort, 2015 pour une discussion de cet effet).

³ Une requête sur
Google Scholar
renvoie près d'un
million de résultats !

Nous prenons ici prétexte à une nécessaire mise au point sur ce que ce travail n'est pas, car ces travaux, aussi divers que nombreux, questionnent les interactions entre les choix typographiques du corps du texte et leurs effets sur la lecture. Notre sujet d'intérêt, ici, n'est pas dans le choix de telle police plutôt qu'une autre, mais dans le choix finalisé de distinguer telle ou telle partie du texte par rapport à une autre. Notre intérêt réside dans cette mise en forme visuelle *différenciée* du texte.

1.1.2 Mise en forme différenciée

Un texte *mis en forme* est un texte rédigé, imprimé ou affiché sur un écran, dans un style spécial, spécifié. Plus formellement, « [m]ettre en forme un texte consiste à appliquer des propriétés de nature linguistique (nominalisation, numérisation, forme interrogative, formulation d'alternative,...), typographique (caractères, police, styles, etc.) et dispositionnelle (justification, colonnage, sauts de lignes, de pages, etc.) aux objets textuels » (Cellier et Terrier, 2001, p. 79). Ce formatage peut être qualitatif (p. ex. police de caractères), ou quantitatif (p. ex. taille de caractères). Il peut indiquer une emphase (p. ex. italique) ou être signifiant dans une notation spécifique (p. ex. exposant mathématique). Ces techniques de mise en forme ne sont pas l'apanage des temps modernes et ont toujours existé : bien que ponctuelles et non systématiques, on en trouve des traces aussi loin que dans l'Antiquité.

Les premiers systèmes informatiques vont toutefois enrayer cette pratique traditionnelle, car ils n'autorisaient initialement aucune mise en forme. Des choses aussi simples que l'italique ou le soulignement étaient impossibles et les utilisateurs pallièrent ces défauts par divers moyens (adapté de « Formatted Text », 2023) :

- Capitalisation : I am NOT making this
- Encadrements : I am _not_ making *this*
- Espacements : I am n o t making this

Cette restriction à la mise en forme en révéla l'importance et, très vite, les logiciels permirent d'intégrer dans le texte des instructions de format, avant d'en proposer ensuite une visualisation directe.⁴ Ces logiciels — les éditeurs de textes — se distingueront alors autant par l'enrichissement constant de la palette d'outils mis à la disposition de l'utilisateur que par la précision et la fidélité du rendu final.

On rencontrera des terminologies variées : mise en forme matérielle ou textuelle, formatage, texte formaté, etc. Elles renvoient toutes « ...à l'ensemble de ces propriétés qui permettent de rendre perceptible l'architecture textuelle » (Cellier et Terrier, 2001, p. 79). Nous nous y attarderons plus loin,⁵ cette définition expose déjà « réalisation » (la mise en forme elle-même) et « fonction » (rendre perceptible l'architecture).

Nous devons tout d'abord revenir sur l'essentielle spécificité de cette mise en forme, qui ne transparait qu'implicitement dans les définitions proposées : elle n'a de valeur que par la différence. Car c'est en devenant une unité reconnaissable du processus de communication (Eco, 1993), que les éléments formatés différemment du corps de texte sont porteurs d'une signification particulière. C'est dans cette différence que la mise en forme va porter un sens particulier, local ou global,

⁴ Le fameux WYSIWYG, *What You See Is What You Get*

⁵ cf. *infra*, SARA, section 1.1.4 page 14

qu'elle va donc devenir un *signal* pour le lecteur et induire — c'est ce qui est attendu — une adaptation du processus de lecture : « [q]ue veut dire 'formater' sinon prédisposer [...] d'une part à reconnaître certains signaux et non d'autres, d'autre part à interpréter ces signaux de façon prédéfinie » (Romeyer-Dherbey et Gourinat, 2001, p. 176).

La notion fonctionnelle de *signaux* va alors rapidement prendre le pas sur celle de mise en forme.

1.1.3 Signalisation et macrostructure

C'est à la fin des années 1960 que la notion de signalisation semble apparaître en linguistique, avec un article au titre éloquent : « Text Signals Its Own Structure » (Akhmanova et Mikaeljan, 1969). Le lien avec la *structure*, que nous entendrons comme l'organisation des idées dans le texte (R. F. Lorch, E. P. Lorch et Matthews, 1985), est donc déjà pensé et B. J. Meyer formalisera quelque temps plus tard les *dispositifs de signalisation* comme des dispositifs d'écriture utilisés par les auteurs pour mettre en valeur un contenu important ou pour mettre en évidence la structure organisationnelle d'un texte (B. J. Meyer, 1975, dans R. F. Lorch, H.-T. Chen et al., 2012).

Cette période voit aussi la linguistique se détacher d'une approche de l'écriture strictement centrée sur la langue (Klinkenberg, 2018), prête à accueillir l'idée que les caractéristiques visuelles qui découlent de la mise en forme ne sont pas arbitraires et ont la spécificité de « ...communiquer des informations sur le texte, alors que le contenu primaire du texte réfère au monde. Leurs fonctions seraient d'aider le lecteur à sélectionner, organiser les contenus du document et à naviguer dans le document » nous dit Lemarié (2020, pp. 15-16), soulignant un triple objectif :

- préciser l'importance relative de certains éléments du texte ;
- expliciter l'organisation, la structure thématique du contenu ;
- faciliter la consultation, le retour sur les éléments du texte.

L'inversion des fréquences d'utilisation de la terminologie « mise en forme » au profit de « signalisation » au milieu des années 1980 (voir figure 1.2 page suivante) objective ce glissement conceptuel : la mise en forme est désormais pensée comme la réalisation d'un signal : elle est son signifiant. Mais quel est alors son signifié ?

Pour répondre à cette question, il nous faut nous intéresser au modèle d'architecture textuelle (*Textual Architecture Model*, Luc et Virbel, 2001 ; Pascual, 1991). Celui-ci autorise une analyse sémantique de la mise en forme en distinguant le contenu textuel — le message — de sa structure. Et cette structure peut être explicitée par des éléments métatextuels, c'est-à-dire des éléments du texte

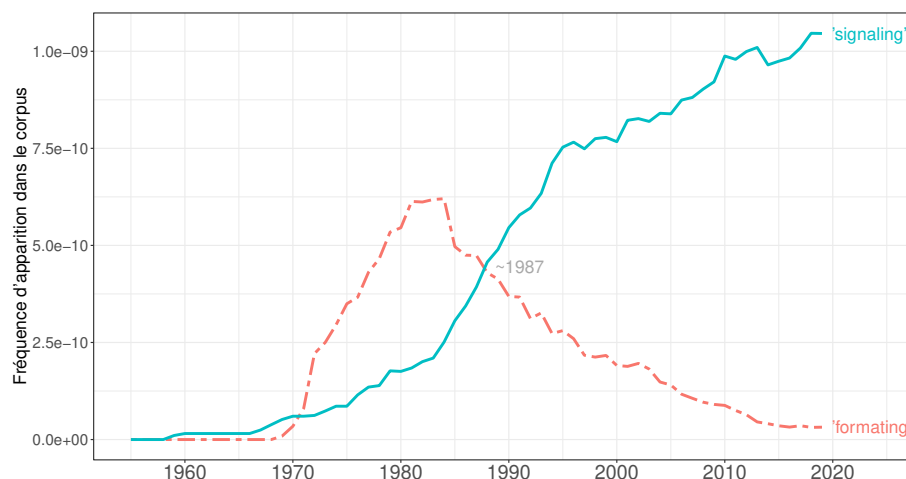


FIGURE 1.2 – Fréquence d'utilisation de *text* 'signaling' versus 'formatting' dans les ouvrages en anglais, de 1960 à 2019 (Google NGram Viewer)

qui ne sont pas utilisés pour parler du monde (des autres, des objets, etc.), mais pour parler du texte lui-même (activité métalinguistique, ou métalangagière, Z. S. Harris, 1991 ; Reuter et al., 2013).

Ces éléments métatextuels forment au sein du texte de véritables objets textuels (p. ex. titres, paragraphes, résumé, emphases, etc.). Ce sont des énoncés performatifs dont la force illocutoire est tournée vers le texte. Correctement décodés par le lecteur, celui-ci peut initier un comportement adapté comme ralentir la lecture, mémoriser la localisation du segment, activer des connaissances en rapport avec le contenu thématique du titre, etc. Ainsi, l'exemple (1) ci-dessous est un élément métatextuel — une métaphore — parce qu'il transmet des informations sur le texte plutôt que sur des objets ou des événements du monde.

Notons que (1) est une réalisation purement discursive, mais considérons une réalisation qui prendrait plutôt la forme (1'). Ces deux réalisations expriment la même signification sur l'organisation du texte et on dira que (1) entretient avec (1') une relation d'équivalence (Jacques, 2005), et la mise en forme différenciée porte alors cette même intention signifiante.

(1) J'introduirai ce premier chapitre par une histoire de la linguistique

(1')

<p>Chapitre I Introduction</p> <p>I- Histoire de la linguistique Il est admis qu'elle démarre avec les travaux de...</p>

Une propriété des éléments métatextuels, qui découle de leur conceptualisation, est qu'ils peuvent être réalisés sous des formes réduites. Ainsi, (2) est ici une forme réduite et sémantiquement équivalente de (2') :

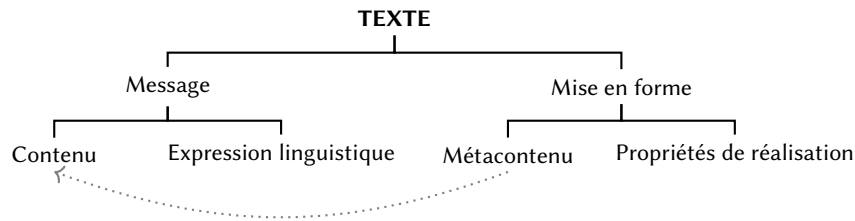


FIGURE 1.3 – Organisation du modèle d'architecture textuelle
(adapté de Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008, p. 29)

(2) 1- Histoire de la linguistique

(2') La section 1 porte sur l'histoire de la linguistique

Dans le modèle d'architecture textuelle, le texte est donc pensé comme un message formaté (figure 1.3) : d'un côté, le message qui renvoie au contenu textuel primaire que l'auteur destine au lecteur ; de l'autre, la mise en forme qui renvoie à un contenu métatextuel dont le référent est le message lui-même, explicitant l'architecture du contenu, sans communiquer de nouvelles informations sur le monde.

SARA (*Signal Available, Relevant, Accessible information* Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008) va conceptualiser cette distinction entre le contenu textuel et sa mise en forme avec la signalisation dont le rôle est alors d'expliciter les éléments métatextuels.

1.1.4 SARA comme cadre conceptuel

De ce qui précède, il ressort que l'on peut concevoir les signaux comme l'expression d'un discours sur le discours, c'est-à-dire comme des dispositifs spécifiques à l'organisation du discours, propres à expliciter un monologue métadiscursif de l'auteur et à distinguer les éléments métatextuels qui en émergent.

SARA (*Signal Available, Relevant, Accessible information*, Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008) s'appuie sur le modèle d'architecture textuelle et postule que les signaux sont l'expression de ces éléments métatextuels : « *A signal is the realization in a printed text of a metasentence, or set of metasentences, from the underlying prototext.* » (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008, p. 31), le prototexte étant conçu comme une représentation purement linguistique (c.-à-d. sans mise en forme visuelle différenciée), holistique (texte et métatexte), de laquelle peuvent alors se dériver différentes réalisations de textes réels (figure 1.4 page 16).

En tant que réalisation métatextuelle, le modèle d'architecture textuelle se démarque donc d'une définition classique du signal (c.-à-d. essentiellement de nature visuelle), en proposant qu'il puisse être implémenté sur un continuum

allant d'une réalisation purement discursive (c.-à-d. le prototexte) à une réalisation purement typographique, comme dans les exemples précédents : (1) vs (1') et (2) vs (2'), voir aussi figure 1.4 page suivante, et ce continuum de réalisation invite à souligner certains éléments de terminologie qui peut faire le choix de mettre l'accent sur la réalisation ou sur les processus mobilisés :

Réalisation	Processus
Discursive	verbaux, textuels
Typographique	Visuels
Dispositionnelle	Spatiaux

TABLEAU 1.1 – Terminologie de la signalisation : réalisation vs processus

L'acronyme SARA résume les conditions qui doivent être réunies pour qu'un dispositif de signalisation puisse influencer le traitement du texte : le dispositif de signalisation doit mettre à disposition des informations qui sont à la fois pertinentes pour les objectifs du lecteur et accessibles au traitement cognitif du lecteur. SARA propose donc un cadre conceptuel qui finalise une conceptualisation sémiotique de la signalisation en un signifiant — la mise en forme, réalisation du signal — et son signifié — les éléments métatextuels, la macrostructure du texte.

Précisons que SARA définit le signal sur quatre dimensions : sa fonction informative (ce que le signal vise à communiquer), sa réalisation (textuelle versus typo-dispositionnelle, cf. *supra*), sa localisation relative, plus ou moins proche de son référent textuel, et enfin sa portée, c'est-à-dire jusqu'où s'étend son influence. Cette dernière dimension renvoie au postulat que le signal exprime un élément métatextuel : la portée de ce signal s'entend alors pour « recouvrir » l'élément textuel auquel il réfère : les versions numériques des documents permettent parfois, en cliquant sur les titres de section, de plier ou déplier les sections correspondantes de texte, mettant en évidence cette portée des signaux.

Deux caractéristiques émergent de cette théorisation des signaux. En premier lieu, la distinction postulée entre texte et métatexte implique que les signaux pourraient être retirés sans altération du message. Mais, comme nous venons de le souligner, la réalisation concrète des signaux s'exprime sur un continuum texte ↔ métatexte et cette caractéristique est alors discutable : ainsi, dans l'exemple précédent (1'), la résolution de l'anaphore pronominale « Il est admis qu'elle démarre avec... » dans le texte qui suit l'annonce de section « **1- Histoire de la linguistique** » en interdit la suppression.

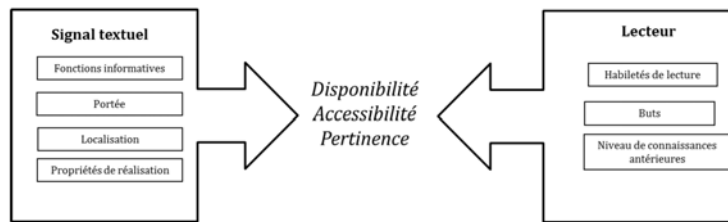


FIGURE 1.5 - Caractérisation des signaux dans l'interaction texte-lecteur
(extrait de Lemarié, 2016, p. 23)

1.2 Signalisation et compréhension

Les effets d'une mise en forme différenciée des documents ont très tôt éveillé l'intérêt et les premières études sur le sujet remontent aux années 1970-1980 (pour de premières synthèses de ces travaux, voir R. F. Lorch, 1989 ; Spyridakis, 1989). Elles ont porté initialement sur les bénéfices de la signalisation sur la compréhension de textes expositifs avant de s'intéresser aux documents multimédias (Lemarié, 2016).

Ces bénéfices doivent toutefois être mis en parallèle des difficultés du lecteur à construire une représentation du contenu textuel : le traitement du langage n'est en effet pas toujours fidèle et les représentations sémantiques qui sont élaborées peuvent être superficielles et incomplètes : le lecteur en fait « juste assez » (Ferreira, Bailey et al., 2002) pour répondre à la tâche en cours sans chercher à représenter la structure linguistique de la manière la plus complète possible.

1.2.1 Limites de la compréhension écrite

L'input linguistique semble ne pas toujours être traité de manière complète, ou approfondie, même en laboratoire lorsque la compréhension est explicitement requise (A. J. Sanford et Sturt, 2002). L'illusion de Moïse est un révélateur souvent cité de cette tendance naturelle à construire des représentations incomplètes : à la question « Combien d'animaux de chaque espèce Moïse a-t-il embarqués dans son arche ? », il est souvent répondu « deux » sans relever l'erreur historique qui sous-tend la question. Dans le même esprit, l'anomalie est souvent négligée dans une phrase telle que « Les autorités ont dû décider où enterrer les survivants » (Barton et A. J. Sanford, 1993 ; Erickson et Mattson, 1981).

Ces exemples mettent en évidence les difficultés d'interprétation du langage, y compris à la lecture d'énoncés pourtant courts et simples tels que (3) incorrectement interprétés comme (3') par 25 % des lecteurs (Ferreira et Stacey, 2000) :

- (3) Le chien a été mordu par le professeur
- (3') Le chien a mordu le professeur

Les modèles psycholinguistiques de la compréhension du langage proposent pourtant un traitement quasi algorithmique du langage écrit, le lecteur est supposé construire, de proche en proche, des représentations complètes, détaillées et précises de l'input linguistique (p. ex. modèle propositionnel, van Dijk et Kintsch, 1983, ou modèle construction/intégration, Kintsch, 1998).

Certes, ces modélisations intègrent l'insuffisance du contenu textuel à assurer seul la compréhension (pour une analyse voir Verhoeven et Perfetti, 2008), mais aucune ne semble réellement intégrer que la compréhension est plus superficielle et incomplète que les psycholinguistes ne le soupçonnent (A. J. Sanford et Graesser, 2006) et ces modèles peinent à rendre compte de la fragilité des représentations réellement élaborées (*Good-Enough Representations*, voir Ferreira, Bailey et al., 2002, mais aussi Duffy et al., 1989).

La compréhension écrite doit donc pallier deux difficultés principales :

- des représentations linguistiques qui peuvent être fragiles et qui s'estompent rapidement (Sachs, 1967) ;
- des représentations intermédiaires contradictoires, qui interfèrent parfois avec la représentation adéquate (Ferreira, Bailey et al., 2002 ; van den Broek et al., 2011) et les interprétations erronées sont courantes et systématiques (Ferreira et Yang, 2019).

Le premier point souligne que la représentation linguistique elle-même n'est pas toujours très robuste, de sorte que si elle n'est pas renforcée, il peut en résulter une interprétation simplement satisfaisante sur le moment. Ceci impose une consolidation soit par le contexte (c'est le cas à l'oral), soit par des structures de données préconstruites (schémas de connaissance) afin de maintenir active la représentation.

Le second point nécessite des structures d'informations qui permettent de désambiguïser le contenu textuel et favoriser l'interprétation adéquate (A. J. Sanford et Sturt, 2002) et les éléments métatextuels signalés sont en effet propres à participer à lever les ambiguïtés, mais aussi à distribuer l'attention et la charge cognitive de manière optimale sur les éléments pertinents du texte de façon à limiter les biais d'interprétation que nous venons de souligner.

1.2.2 Bénéfices de la signalisation

Très tôt donc, des études suggèrent que la mise en forme fournit des indices guidant les traitements en lecture, un guidage pouvant faciliter les processus de mémorisation et de compréhension écrite (R. F. Lorch, H.-T. Chen et al., 2012), et il existe désormais une très large littérature sur l'influence de la mise en forme matérielle d'un texte sur l'activité de compréhension.

Il n'est pas dans notre propos d'en faire un inventaire exhaustif, mais plutôt d'en illustrer le principe et nous nous attarderons tout d'abord sur trois exemples prototypiques de cette influence : d'abord par la démonstration qu'un signal a une influence sur la lecture même si sa réalisation n'est pas typo-dispositionnelle, ensuite nous évoquerons l'influence de signaux visuellement ostensibles versus moins ostensibles.

R. F. Lorch, H.-T. Chen et al. (2012) mettent en évidence la supériorité de la signalisation d'un texte sur un texte non signalé. Une des expériences propose la lecture d'un texte selon trois versions : (1) avec signaux visuels (des titres), (2) avec signaux discursifs d'introduction et (3) sans signaux, ni visuels ni discursifs. Dans une tâche de résumé du texte, les résultats montrent la supériorité, équivalente, des deux premières versions sur la troisième ! De façon intéressante, et bien que ce ne soit pas le but premier de cette étude, cette supériorité est donc montrée que le signal soit réalisé de manière visuelle ou discursive (principe d'équivalence des fonctions d'information, Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008).

Parmi les signaux typo-dispositionnels les plus courants, les titres et sous-titres constituent une catégorie importante que nous pourrions qualifier de signalisation ostensible (en référence au contraste visuel induit sur le texte). Ils améliorent l'activation des connaissances du lecteur et par là même permettent une meilleure compréhension et représentation de l'organisation du texte (R. F. Lorch, H.-T. Chen et al., 2012; R. F. Lorch, E. P. Lorch, Ritchey et al., 2001; Lorch Jr et E. P. Lorch, 1996; Sanchez et al., 2001, pour un état des lieux voir : Lemarié, Lorch Jr et al., 2012).

Une telle signalisation ostensible ne semble néanmoins pas nécessaire pour observer son bénéfice. Ainsi, en enregistrant les mouvements oculaires lors de la lecture de textes narratifs très courts (4 lignes), Sabine Schmid et Baccino (2002) montrent une intégration précoce du changement de perspective du narrateur lorsque ce changement de perspective est accompagné d'un indice de paragraphe (indentation de la ligne de quelques caractères) : le lecteur utilise les indices visuels du texte pour adapter sa stratégie de lecture.

On peut souligner que, si les études disponibles évaluent souvent la signalisation dans la lecture de textes expositifs, elle a pu aussi être étudiée sur d'autres types textuels. Ainsi, la mise en forme matérielle de consignes joue bien un rôle dans le traitement des instructions, différencié en fonction de l'activité à réaliser (lecture vs mémorisation) et de la complexité des tâches pour le sujet (Cellier et Terrier, 2001, p. 89).

De même dans une activité de production : dans une tâche de prise de notes Olive et Barbier (2017) mettent en évidence un effet facilitateur de l'utilisation de listes à puces (par rapport à un texte sans mise en forme) : la mise en forme du

texte permet aux étudiants de mieux appréhender la structure du texte et réduit la charge cognitive associée à la lecture.

Dans une synthèse de ces effets, Lemarié (2016) rapporte que la signalisation agit sur l'attention sélective portée aux informations signalées et augmente leur rappel, souvent sans effet négatif sur le rappel des informations non signalées ; cet effet s'observe surtout lorsque la tâche de lecture/compréhension est exigeante (p. ex. texte long) et lorsque les dispositifs de signalisation ne sont pas trop complexes à traiter. Un effet très documenté est l'effet facilitateur de la signalisation (notamment les titres et sous-titres) sur la gestion des changements thématiques durant la lecture, mais aussi sur la construction d'une représentation thématique du texte (p. ex. rappeler les thèmes et leurs relations).

Dans une méta-analyse, Schneider et al. (2018) confirment le bénéfice, sur la compréhension ou la mémorisation, de la signalisation de documents d'apprentissage, avec ou sans médias. Ils rapportent un effet positif moyen de la signalisation sur la performances à des tâches impliquant la rétention d'informations et le transfert. La signalisation entraîne un allongement significatif des temps de lecture/apprentissage et une baisse de la charge mentale ressentie. Les parties signalées du texte ou du document multimédia sont plus longuement fixées. La plupart de ces effets significatifs sont de taille faible ou moyenne et souvent hétérogènes, ce qui suggère l'intervention de modérateurs (p. ex. le domaine thématique du texte, le type de signalisation..), dans l'effet de la signalisation. À noter que la méta-analyse porte à la fois sur l'effet de la signalisation dans la compréhension de textes, mais aussi dans l'apprentissage à partir de documents multimédias, et que les résultats ne permettent pas de distinguer les deux situations.

Pour finir, nous remarquerons que la pertinence du signal à accompagner effectivement la compréhension reste intimement liée à son accessibilité comme le démontre R. F. Lorch, Lemarié et al. (2013) dans une tâche de rappel de la structure thématique d'un texte : une signalisation visuelle (titres) donne de meilleures performances qu'une signalisation purement textuelle (phrases thématiques). En revanche, lorsque les exigences du lecteur sont élevées au regard de la tâche, la signalisation des contenus pertinents est utile et permet de diminuer la charge cognitive induite par la compréhension du texte (Lemarié, 2016). Notons parallèlement que le lecteur n'est pas étranger au bénéfice de la signalisation, car, dans une méta-analyse, Sun et al. (2021) mettent en évidence une taille d'effet importante (Fisher's $z = 0.58$) de la « stratégie d'organisation », entendue comme la capacité à structurer ou à créer une hiérarchie des éléments textuels.

1.2.3 Méthodes d'évaluation

Sans nous attarder excessivement, car les effets de la signalisation s'évaluent de la même façon que l'on évalue la lecture, il reste particulièrement vrai que la représentation finale que construit le lecteur est élaborée progressivement au cours de la lecture, ce qui conduit souvent à privilégier des mesures dynamiques en temps réel (*on-line*), comme l'enregistrement oculométrique, plutôt que l'évaluation du produit final (*off-line*), comme les questionnaires de compréhension (Baccino et Draï-Zerbib, 2015).

Les méthodes *on-line* telles que l'enregistrement oculométrique, les méthodes d'imagerie cérébrale fonctionnelle (IRMf) ou d'électroencéphalographie (EEG) sont des choix intéressants pour déterminer les processus en temps réel impliqués dans la compréhension écrite. Ces méthodes fournissent des données sur ce qui se passe dans le traitement du langage lors de la lecture en temps réel et ont été très tôt appliquées à l'évaluation de la signalisation textuelle. S. Schmid et Baccino (1997) par exemple évaluent l'intégration d'un changement de perspective à la lecture de paragraphes selon que le changement de perspective est signalé par une indentation ou pas. L'enregistrement oculométrique met alors en évidence l'intégration précoce par le lecteur lorsque le changement de perspective est signalé par une indentation. Toutefois, si la technique utilisée permet effectivement de mettre en évidence des différences lors de l'encodage, on n'observe toutefois pas systématiquement de différences dans des tâches de rappel (Cellier et Terrier, 2001, pp. 87-88).

Les méthodes d'évaluation ont alors considérablement évolué ces dernières années avec un retour sur la compréhension écrite comme composante essentielle de la compétence globale en lecture (Blaži Ostojić, 2023 ; P. D. Pearson et Hamm, 2005). Les méthodes *off-line* par questionnaires comportant la vérification d'affirmations, des questions à choix multiples ou ouvertes, etc. permettent d'évaluer dans quelle mesure le lecteur a compris le contenu textuel.

On les retrouve donc plus souvent dans l'évaluation de la signalisation, par exemple dans une tâche de résumé : R. F. Lorch, H.-T. Chen et al. (2012) mettent en évidence la supériorité des textes signalés, discursivement ou typo-dispositionnellement, sur leurs versions non signalés. De manière plus générale, la profondeur du traitement ou de la compréhension écrite peut être évaluée à l'aide de mesures telles que la précision des réponses aux questions ou la mémorisation-reconnaissance (Ferreira et Yang, 2019).

Ainsi, s'agissant d'évaluer les effets différentiels de différentes conditions de signalisation sur la compréhension, les méthodes *off-line* semblent plus adaptées. Bien qu'il soit parfois délicat d'en interpréter les résultats tant ils peuvent dépendre de la réalisation précise du signal, qui intègre des éléments textuels

autant que métatextuels, c'est le choix que nous ferons ici, car il permet d'évaluer ce pour quoi la signalisation est mise en œuvre : participer à une meilleure construction d'une représentation cohérente du contenu textuel dans l'objectif de répondre à la tâche assignée.

Nous avons considéré jusqu'alors la signalisation du point de vue du lecteur, mais il semble intéressant de s'attarder sur sa production, avec deux questions en toile de fond : les auteurs sont-ils soucieux de signaler les éléments du discours propres à accompagner le lecteur dans l'interprétation qu'il fait du texte ? Et l'interprétation de ces signaux par le lecteur est-elle cohérente avec celle souhaitée par l'auteur ?

1.2.4 Production écrite et signalisation

Dans un corpus conséquent, incluant un large éventail d'annotations des marqueurs de discours et d'indicateurs potentiels des relations de cohérence, Das (2014) et Das et Taboada (2018) relèvent que plus de 90 % des relations textuelles sont signalées et qu'elles le sont, pour 80 %, non seulement par des marqueurs discursifs (p. ex. « et », « mais », « si »...), mais aussi par une grande variété de signaux tels que des références lexicales, sémantiques, syntaxiques et graphiques : des listes, titres, ainsi que d'autres formes de mise en page.

Ces résultats suggèrent que la signalisation des relations de cohérence dans les textes est extrêmement sophistiquée. Ils soulignent aussi la forte implication des auteurs à les mettre en œuvre. Et, si l'on s'inquiète par ailleurs de savoir si auteurs et lecteurs interprètent de façon similaire ces dispositifs, il semble que l'on puisse considérer une certaine congruence quant à l'attribution fonctionnelle de la signalisation (voir par exemple C. L. Timpany, 2020, pour une analyse sur la signalisation des titres).

Remarquons que lecture et écriture participent de processus complémentaires : on ne peut écrire sans lire et, dans le processus de révision, l'auteur est son propre lecteur. La signalisation est donc un processus d'interaction entre la pensée de l'auteur et celle du lecteur qu'il est, autant que de ceux qu'il imagine. Remarquons aussi que les lecteurs savent utiliser implicitement cette signalisation, car l'apprentissage de la lecture passe aussi par celle de la production écrite, il a donc expérimenté ce processus de création de ses propres traces.

Bien que l'on puisse avec Barthes nuancer cette idée, car celui-ci souligne que l'écriture n'est jamais vraiment un dialogue parce qu'elle passe par cet objet, le texte, qui n'appartient tout à fait ni à celui qui l'a produit ni à celui qui l'interprète, mais qui fixe une forme provisoire d'une pensée possible (Jeanneret, 2005), nous pouvons néanmoins considérer que, sur un plan fonctionnel, « les signaux [...] peuvent être vus comme des dispositifs participant à la construction

du discours, des indications métadiscursives, des instructions de lecture et de traitement du texte, des traces reflétant les processus de rédaction, des indices révélant les intentions de l'auteur... » (Ho-Dac et al., 2012, p. 6). En effet, si l'on envisage la signalisation comme une succession d'instructions cognitives, Adam (2018) observe avec Vološinov l'analogie des paragraphes aux répliques d'un dialogue, produit de l'activité monologique métadiscursive de l'auteur, qui se traduit par « ...une opération de segmentation [...] qui donne à lire ce dialogue entre le scripteur [...] et les lecteurs imaginaires [...] » (id. p. 43).

Dès lors, et si l'on pense bien le texte comme « ...un produit dont le sort interprétatif doit faire partie de son propre mécanisme génératif » (Eco, 1985), il n'y a donc pas contre-indication à concevoir la signalisation autant comme la trace du fonctionnement dialogique de l'auteur dans sa production du texte, que de ses instructions de traitement à destination du lecteur (Lemarié, 2008, 2016).

1.3 Ontologie et épistémologie

Toutes les possibilités qui pourraient découler d'une signalisation textuelle dépendent autant de l'utilisation d'habiletés cognitives appropriées, que des pratiques et des structures d'organisation sociale pour lesquelles elle est utilisée et qui génèrent une motivation à produire des marques durables.

Nous conviendrons avec Lock et Gers (2012) que l'émergence de l'écriture relève d'une pratique culturelle qui possède les caractéristiques d'un processus darwinien. Dès lors, l'émergence d'une organisation des écrits qualitativement différente et nouvelle est un événement important du parcours historique de l'écriture qui découle, bien sûr des particularités fonctionnelles du système visuel et cognitif humain, mais aussi de la nature de la culture matérielle, ou de l'existence de contextes politiques ou sociaux favorables ou hostiles (Claidière et al., 2014; Lock et Gers, 2012).

1.3.1 Émergence de la signalisation

Si l'on entend par là un usage à la fois systématique et diversifié, alors on peut situer cette émergence au cours du Moyen Âge. Au XIII^e siècle en effet, deux institutions nouvelles vont accélérer la production de textes : les ordres mendiants (Franciscains, Dominicains...) qui vont prononcer à travers l'Europe des milliers de prêches pour combattre l'hérésie, et les Universités⁶ qui vont formaliser les techniques argumentatives au cœur de la scolastique par le débat des ouvrages d'autorité. Prêcheurs, théologiens et enseignants étaient alors soucieux de pouvoir retrouver rapidement les passages significatifs dans des ouvrages qui pouvaient être monumentaux (Blair, 2020).

⁶ À la fin du Moyen Âge, l'université de Paris devient le plus grand centre culturel de la Chrétienté



FIGURE 1.6 – Signalisation (rubrication) dans la Bible de Malmesbury de 1407
(Rubrication, [Wikimedia commons](#), détail)

Car le besoin de signalisation s’explique aussi par une évolution de la nature du contenu de l’enseignement. Ces changements institutionnels accompagnent en effet l’arrivée progressive des traductions en latin de textes d’Aristote et de textes arabes, et surtout de leurs commentaires : la *Somme Théologique* de Thomas d’Aquin comptait environ 2.2 millions de mots ! Prêcheurs comme enseignants, chrétiens comme juifs, s’assuraient alors d’une

... mise en page incitant à l’exactitude de la citation et à la consultation précise : des titres courants à chaque ouverture qui annonçaient la section du texte ; rubrication, numérotation et variations dans la taille et la disposition du script *signalaient* les distinctions entre les diverses parties du texte...

(Blair, 2020, p. 57, c’est nous qui soulignons)

La *rubrication* consistait en l’utilisation d’une encre rouge pour marquer la fin d’une section d’un texte et le début d’une autre, pour introduire le sujet d’une section suivante ou pour déclarer son but ou sa fonction (figure 1.6).

L’usage systématique de ces techniques était autant révolutionnaire que finalisé : le rabbin Isaac Nathan d’Arles écrivait de sa concordance hébraïque⁷ qu’ « il n’y avait aucun argument que je n’étais capable de contrer » et Vincent de Beauvais disait de son *Speculum maius* — encyclopédie comptant quelque 4.5 millions de mots, divisée en 4 parties pour un total de 80 livres et 9 985 courts chapitres — qu’il avait ainsi pour but d’en faciliter la consultation « [d]e telle sorte que chacune des parties de ce travail apparaisse plus facilement au lecteur » (Blair, 2020, p. 66). Ces dispositifs n’étaient pas inconnus : de nombreux textes de l’Antiquité comprenaient parfois une table des matières, une subdivision en chapitres, ou des résumés, facilitant ainsi l’accès au texte. Le Moyen Âge en a systématisé l’usage et l’imprimerie l’a formalisé, standardisé, mais aussi adapté.

Car, si la rubrication, par exemple, rendait un texte ou un index aisément consultable, elle se suivait néanmoins sans rupture au cours du texte pour optimiser l’espace sur la page et minimiser la dépense en parchemin. Mais, de l’imprimerie résultait toutefois un texte en noir et blanc. L’impression en deux couleurs exigeait en effet de mettre sous presse une seconde fois, entraînant une dépense

⁷ les concordances
présentaient par
ordre alphabétique
les concepts
théologiques
rencontrés dans la
Bible

supplémentaire et « [l']imprimerie invente alors d'autres moyens d'augmenter la lisibilité de la page. Le livre imprimé hérite des structures fondamentales du livre manuscrit, mais il propose des innovations qui modifient profondément le rapport du lecteur à l'écrit : usage d'espaces, variations de taille et de forme des caractères, symboles typographiques » (Blair, 2020 ; Chartier, 2015). Le papier remplace le parchemin, l'espace devient moins coûteux et la marque de paragraphe par l'indentation de la première phrase devient alors pratique courante dès le xv^e siècle (Moran, 1984, dans J. Meyer et Cooney, 1994).

Pour terminer cette parenthèse ontologique, nous remarquerons que l'on retrouve dans les commentaires de ces auteurs la triade d'objectifs de la signalisation que nous avons relevé plus haut lorsque nous avons introduit le modèle d'architecture textuelle⁸ : souligner l'importance relative et la structure du discours, mais aussi, et beaucoup, la possibilité de retour sur le texte. Faciliter la consultation était ainsi un des objectifs des décorations, les enluminures rendaient chaque page unique (Blair, 2020), facilitant cette mémoire de localisation dont nous reparlerons plus loin.⁹

⁸ cf. *supra*, section 1.1.3 page 12

⁹ cf. *infra*, section 3.2 page 61

La signalisation conceptualise des signaux, mais les réalisations discursive et typo-dispositionnelle n'utilisent toutefois pas les mêmes dispositifs. Il nous faut donc préciser quels sont les systèmes de signes mobilisés.

1.3.2 Sémiotique de l'écriture

Saussure défend une posture *logocentrique* qui affirme que l'écriture est un phénomène intimement lié à la langue et que son unique raison d'être est de la représenter, et « [d]ans cette perspective, l'écriture serait un système sémiotique où les signifiants graphiques renvoient à des signifiés qui sont eux-mêmes toujours et exclusivement des signes linguistiques » (Klinkenberg, 2018, p. 19).

Ce logocentrisme strict condamne par avance l'existence d'une signalisation autrement que discursive, mais il est heureusement facilement critiquable, car si la représentation de la langue par l'écriture est jugée déformante, c'est au nom d'un principe selon lequel la parole serait la vérité de la langue : au texte qui range en ligne des lettres de l'alphabet correspondrait l'enchaînement également linéaire des sons d'un discours. Pour remplir leur fonction de communication, ces signes linguistiques se doivent alors d'être soumis à un alignement phonétique, cette ligne d'écriture qui a pour conséquence de réduire à néant le rôle du support, de son espace (Bachelot, 2021).

Mais, une telle conception est loin de rendre compte de la nature et de toutes les potentialités de l'écriture (Bachelot, 2021), car on ne peut représenter une chose que par une chose différente de la première (Klinkenberg, 2018), et Goody (1979, p. 143) souligne très tôt la nécessité de rectifier ce présupposé de la lin-

guistique saussurienne, car l'intrusion d'une sémiotique graphique opère dès le code linguistique (Häffner, 2008) et la fabrication des tableaux, des listes et des formules a pour origine unique l'avènement de l'écriture et le passage de la parole au texte écrit provoque des transformations cognitives de la pensée grâce aux opérations formelles de nature graphique.

Ainsi, historiquement, la sémiotique de l'écriture s'est construite contre la sémiotique de la langue, contre une réduction de l'écriture à une pure transcription de celle-ci (Jeanneret, 2005) et il faut attendre les années 1980 pour voir l'évolution vers un « ...logocentrisme relatif qui offre la possibilité d'envisager la langue écrite comme un système distinct, certes étroitement corrélé à celui de la langue parlée, mais connaissant ses règles propres » (Klinkenberg, 2018, p. 27).

Contrairement au postulat saussurien, l'écriture ne se limite alors pas à une fonction de transposition plus ou moins exacte de la parole, et l'essentiel « est l'intrusion du graphisme en général, qui marque une nouvelle étape dans l'équipement intellectuel de l'humanité » (Molino, 1988, dans Kim, 2018, p. 160). L'écriture apparaît ainsi comme une technologie essentielle de l'intelligence et Harris (1986, pp. 76-156) affirme que l'essentiel ne réside pas tant dans le fait que l'écriture est le reflet graphique du langage parlé, mais qu'elle est un système de représentation de la pensée ayant son autonomie sémiotique. De ce point de vue, l'écriture est alors un moyen d'expression sans limites, un instrument beaucoup plus puissant que la communication orale (R. Harris, 1993, p. 10). En effet,

[d]eux propriétés sémiotiques de l'écriture sont la visualité et la spatialité. L'écriture possède en effet un fonctionnement sémiotique double : une représentation visuelle des structures sonores et une autonomie graphique totale, indépendante du langage verbal.

(Kim, 2018, p. 166)

En effet, de nombreux dispositifs de signalisation textuelle communiquent des informations importantes par le biais de représentations visuelles qui ne sont pas facilement converties en représentations auditives séquentielles (R. F. Lorch, H.-T. Chen et al., 2012, p.266) et Klinkenberg (2018) souligne que rendre compte dans la norme orale d'une fonction régie par la norme écrite exige un travail de transposition qui fait bien apparaître l'indépendance des deux systèmes. Par exemple, rendre compte oralement de la présence de guillemets dans un énoncé oblige à recourir à une incise métalangagière, ou à un marqueur prosodique particulier, ou encore à une production mimo-gestuelle (Klinkenberg, 2018). En ce sens, la condition de Daniels et Bright (1996) qui vise à représenter un discours de telle sorte que celui-ci puisse être retrouvé plus ou moins exactement sans l'intervention de l'émetteur, semble assez illusoire.

La conceptualisation de la signalisation par SARA¹⁰ souligne à quel point la liaison du langage à l'expression graphique est de coordination et non de subordination et le parcours historique de l'écriture démontre à quel point un espace graphique découle autant de l'interaction des propriétés matérielles que des choix culturels et des pratiques (Bolter, 2001, p. 12). Ce qui nous intéresse ici est alors ce double caractère de l'écriture : la linéarité parce qu'elle est articulée à la langue, et la spatialité par l'utilisation de la modalité visuelle, dans une coopération du verbal et du spatial instituée dans des pratiques sociales stabilisées (Klinkenberg, 2018, pp. 60-71).

Une sémiotique de l'écriture doit alors inclure une pragmatique des usages et des contextes des fonctions non langagières. Klinkenberg (2018) en dénombre cinq, dont deux ne sont pas directement utilisées dans la signalisation textuelle : une fonction indicielle implique le processus énonciatif, comme dans la signature qui atteste l'effectivité du processus d'énonciation, ou dans l'expression affective de l'auteur (voir par exemple Brumberger, 2004, pour une réflexion sur la tonalité affective véhiculée par les choix typographiques), et une fonction iconique qui dessine une image par la disposition graphique du tracé textuel sur la page, généralement en rapport avec le sujet du texte (exemples figure 1.7 page suivante). Mais les trois fonctions qui suivent nous intéressent particulièrement :

- La fonction symbolique, qui utilise les variations libres du code typographique (police, grasse, italique, soulignés...) pour communiquer des significations en distinguant l'importance relative ou le statut particulier d'éléments du texte ;
- La fonction indexicale, élément clé pour la structuration de l'espace linguistique dans le texte : elle délimite les secteurs spatiaux pertinents pour l'énoncé écrit dont elle assure la cohérence et la coréférence en les balisant et en précisant leurs relations syntaxiques ;
- La fonction taxonomique, dont la particularité est d'organiser des éléments textuels selon des règles toposyntaxiques qui diffèrent de la linéarité horizontale du texte pour signifier l'appartenance à une même classe logique.

Chacune de ces fonctions peut donner lieu à des microsystèmes rigoureux : on trouvera par exemple l'exposant mathématique pour la fonction symbolique, le renvoi à la note de bas de page pour la fonction indexicale, les listes ou les tableaux pour la fonction taxonomique.

Comme exemple de ces fonctions sémiotiques, c'est-à-dire propres à faire sens, on soulignera le rôle pragmatique de l'indexicalité : exercer une force illocutoire sur le lecteur, comme avec le lien hypertexte coloré qui invite à cliquer (Klinkenberg, 2018, p. 66).

¹⁰ cf. *supra*, section 1.1.4 page 14



FIGURE 1.7 – Fonction indicielle et iconique : signature (Georges Perec, [Wikimedia commons](#)) et calligramme (Guillaume Hess, [Wikimedia commons](#))

C'est donc à partir de cette pierre d'angle que constitue l'œuvre de Saussure, que nous pouvons concevoir la signalisation, dans sa réalisation typo-dispositionnelle, comme fille d'une sémiotique qui convoque l'expression graphique dans l'articulation à la langue afin de soutenir l'auteur puis le lecteur. Avant d'aller plus loin dans notre recherche des processus et structures mobilisés, attardons-nous sur les catégories de textes qui mobilisent plus fréquemment une signalisation textuelle.

1.4 Spécificités du texte expositif

¹¹ Adam (2017) abandonne le genre *expositif* au profit d'une catégorie englobante, le genre *explicatif*

C'est certainement dans les textes dits *expositifs*,¹¹ que l'on observe l'usage systématique et très diversifié d'une signalisation très riche, discursive autant que typo-dispositionnelle. Mais une mise en forme différenciée se rencontre sur l'ensemble des types textuels. Elle peut être minimaliste sans pour autant perdre en efficacité : citons le cas du dos d'un roman, qui se doit de délivrer essentiellement deux informations, l'auteur et le titre de l'œuvre. Dans l'exemple figure 1.8 page suivante, on reconnaît la mise en œuvre d'une signalisation très économe : le changement dans la graisse de la police suffit à isoler les deux éléments textuels. Les indices lexicaux suffisent ensuite à discriminer l'auteur du titre.

Dans les textes narratifs, hormis les découpages en chapitres, l'usage de la signalisation est plus discret, sans être totalement absent. Ainsi, dans *Dune*, Frank Herbert utilise l'italique pour signifier les pensées de ses personnages, leur monologue intérieur, et le texte est rempli de ces pensées, de tout ce que les personnages ne disent pas à voix haute (Arte Book Club, 2023). À l'inverse, chez Joyce, c'est plutôt l'absence de mise en forme qui souligne ce monologue intérieur : l'absence de marques de paragraphes renforce l'expression du flux de pensée ininterrompu des personnages.



FIGURE 1.8 – Dos d'ouvrage : signalisation typographique minimaliste

Reste que l'omniprésence de la signalisation dans les textes expositifs, parfois très codifiée selon les supports, est fréquemment rapportée sans que la question sous-jacente soit réellement adressée : pourquoi les textes expositifs nécessitent-ils des outils spécifiques pour en favoriser l'appréhension, que n'exigent pas, ou moins, d'autres types de textes, comme les textes narratifs par exemple ?

Glissons tout d'abord sur une opposition oral/écrit qui semble tout à la fois fragile et nécessaire : on n'écrit pas comme on parle. Pour Biber (1988), l'idée générale est que l'écrit est élaboré structurellement, formel et abstrait, alors que l'oral est concret, dépendant du contexte, structurellement simple. Toutefois, pour Halliday (1989), le fait que l'oral soit perçu comme informel serait un artefact de la transcription : si l'écrit conservait les traces de son élaboration, il aurait lui aussi cet aspect informel.

En effet, entre les extrêmes de la conversation spontanée et l'écrit académique, l'oral et l'écrit sont soumis à des contraintes d'encodage et de décodage pragmatiquement différentes,

...mais cela n'implique pas que les produits finis des deux activités puissent être caractérisés par des traits de surface qui seraient exclusifs à l'un ou à l'autre mode de production et le médium en tant que tel ne peut rendre compte à lui seul des différences constatées dont le type textuel peut être une clef de la variation oral/écrit.

(Gayraud, 2000, pp. 69-70)

En matière de typologie textuelle, Adam (2017, p. 140) prévient que les textes réels actualisent de façon plus ou moins nette les différentes typologies proposées dans la littérature : selon les auteurs, on pourrait distinguer le texte descriptif, lié à la perception de l'espace, du texte narratif, lié à la description dans le temps. Le texte argumentatif serait centré sur le jugement et la prise de position, et le texte instructif lié à la prévision du comportement à venir (Gayraud, 2000).

Le texte expositif, quant à lui, a pour objectif primaire d'exprimer de l'information factuelle, ou des idées théoriques, en exploitant trois types de stratégies (Gayraud, 2000) :

- des fonctions organisationnelles, c'est-à-dire des phrases qui visent à rendre l'exposition plus claire, avec des présentations (p. ex. : « il existe différents

types de vent »), des introductions (p. ex. : « maintenant je vais décrire les effets du vent »), et des conclusions (p. ex. : « c'est tout ce que je sais à ce sujet »);

- une organisation séquentielle, qui procède depuis des assertions générales (définitions, descriptions) vers des informations plus spécifiques (énumérations, exemples);
- la présence et le positionnement d'un thème principal dans le texte.

Ces stratégies mettent en évidence l'existence d'une distinction nette entre une structure de surface, directement liée à l'expression du langage, et une structure plus profonde, qui en porte le sens : « Il s'agit de considérer le document comme constitué de segments organisés dans des parties, établissant éventuellement entre eux des liens à distance et des dépendances hiérarchiques, permettant de *structurer* leur contenu. » (p. 1-2, Jacques, 2005, c'est l'auteure qui souligne).

La difficulté de ce type textuel semble alors secondaire à un manque de structure de surface contraignante : quand on raconte une histoire, les protagonistes, la chronologie des événements, les formules d'ouverture et de clôture sont facilitatrices (Tolchinsky et al., 1999, dans Gayraud, 2000, p. 81). Et, contrairement à ce qui est rendu possible par cet ordre « naturel » de la succession des événements dans le texte narratif, le réel n'impose pas d'organisation logique à l'agencement du texte expositif qui se caractérise alors par une macrostructure moins clairement identifiée, non linéaire (ou non imposée par la linéarité de la situation référentielle), que l'auteur se voit obligé de construire et dont on peut supposer qu'elle va être plus difficile à traiter (Gayraud, 2000, p. 80-81).

On voit clairement ici le parallèle entre un contenu textuel organisé selon deux niveaux de structure propositionnelle (Kintsch, 1974, 1998) :

- une microstructure, proche du texte, qui renvoie à l'intercohérence locale des propositions,
- et une macrostructure, qui renvoie à un niveau plus global de signification et de structuration,

¹² cf. *supra*, section 1.1.3 page 12

et le modèle d'architecture textuelle que nous avons évoqué plus haut¹² : le texte expositif se distingue par une macrostructure que la situation référentielle ne rend pas implicite, et que l'auteur se doit donc de construire et d'explicitier en mobilisant notamment plus ses connaissances préalables que dans les textes narratifs (Wolfe et Woodwyk, 2010).

C'est particulièrement le cas de certaines catégories de textes expositifs (p. ex. les articles scientifiques) dont la complexité des contenus, le coût élevé de production par l'auteur et les risques d'oublis ont conduit à une structuration extrêmement codifiée (Fayol, 1997, p. 88). La signalisation vise à soutenir cette expression

d'une macrostructure complexe. L'auteur mobilise des éléments métatextuels pour expliciter cette architecture textuelle, qu'il réalise grâce à la signalisation.

De façon sans doute anecdotique, mais toutefois symptomatique, de l'effort nécessaire qu'implique des structures conceptuelles complexes, on observe que les conseils que l'on peut trouver sur la façon de construire une présentation orale invitent souvent à raconter une histoire, c'est-à-dire revenir sur une structure narrative plus facilement accessible à l'auditoire.

Attardons-nous maintenant sur les choix dont dispose l'auteur dans la réalisation de cette signalisation.

1.5 Typologie de la signalisation

Les systèmes de classification sont utiles pour organiser l'information et identifier les dimensions importantes sur lesquelles les membres de la classe, ici les dispositifs de signalisation, peuvent varier (Littell, 2018). Dans sa revue des effets de la signalisation, R. F. Lorch (1989) souligne cette hétérogénéité des dispositifs de signalisation, mais il en propose une classification fonctionnelle qui présente quelque recouvrement : l'auteur veut en effet distinguer la famille des titres (sections et sous-sections) de celle des indices typographiques (gras, italique, majuscule, couleur, mais incluant aussi la variation de l'emplacement spatial).

Pourtant, un titre mobilise plusieurs de ces indices (souvent la taille, la graisse, l'emplacement, parfois aussi la police, ou la couleur), lesquels ne semblent pas toujours être utilisés dans le même objectif : si les titres mélangent effectivement les variations typographiques et dispositionnelles, les paragraphes, ou les listes, sont surtout signalés dispositionnellement, mais pas, ou peu, typographiquement, alors que l'emphase d'éléments textuels l'est plutôt typographiquement, mais pas dispositionnellement. Il semble donc qu'il existe quelques invariants dans ces usages qui nous poussent à questionner l'arbitraire du signe dans la signalisation typo-dispositionnelle.

Mais, définir le langage comme un système de signes associant un signifiant et un signifié dont le lien est arbitraire induit de fait un divorce entre linguistique et sémantique, les signifiants pouvant être étudiés indépendamment des signifiés (Bolinger, 1949 ; Sanders, 2004). Pourtant, des études de plus en plus précises discutent les limites de cet arbitraire du signe (voir à ce sujet les derniers travaux sur l'effet bouba-kiki, Fort et Schwartz, 2022). Et il semble bien qu'il y ait aussi dans la signalisation, des limites à l'arbitraire, c'est-à-dire des lois à priori de toute organisation possible d'un système de signification (Flajoliet, 2011).

Nous voudrions en effet défendre ici l'idée que la réalisation d'une signalisation typo-dispositionnelle ne semble pas complètement arbitraire, sans que

cela puisse seulement s'expliquer par des conventions acquises. Notons que le fait que certains usages soient à la fois plutôt instinctifs (p. ex. utiliser une police plus grande et plus grasse pour les titres), mais aussi perceptivement optimaux pour le lecteur (voir C. Timpany, 2018), est aussi un indice fort qu'il existe dans la cognition visuelle des contraintes qui font que certains processus soient plus adaptés pour certaines réalisations.

La portée du signal, c'est-à-dire l'élément textuel auquel renvoie l'élément métatextuel qu'est le signal (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008),¹³ semble être un déterminant de ces usages : une portée locale semble privilégier une réalisation typographique, une portée globale une réalisation dispositionnelle. Mais, on remarquera que les frontières ne sont pas seulement contraintes par la portée du signal. En effet, nous avons noté que l'emphase se réalise typographiquement, néanmoins, l'exposant mathématique, signal qui est aussi de portée locale, se réalise dans l'espace. Nous pouvons sans doute tirer bénéfice de la conceptualisation sémiotique de l'écriture et remarquer alors que les fonctions symboliques, indexicales et taxonomiques croisent avec la portée des signaux de la manière suivante (tableau 1.2) :

¹³ La portée d'un titre est alors la section toute entière auquel il réfère

TABLEAU 1.2 – Fonctions sémiotiques et portée des signaux

Fonction	Portée	
	Locale	Globale
Symbolique	X	
Indexicale		X
Taxonomique	X	X

La fonction sémiotique semble donc croiser avec la portée du signal pour en déterminer la réalisation et nous pourrions alors considérer qu'une réalisation typo-dispositionnelle des signaux implique :

- une mise en forme typographique qui supporte la fonction symbolique, mobilisée notamment dans l'expression de l'importance relative de l'information textuelle, p. ex. : « la **bise** est un vent froid du nord. » ;
- une mise en forme dispositionnelle qui supporte la fonction indexicale, qui vise essentiellement à transmettre l'organisation textuelle : titres, sections, indentations de paragraphes, listes, etc.

Dans cette typologie, le choix de la réalisation d'un signal est donc conditionné à la fonction sémiotique convoquée par l'élément métatextuel. Si l'on prend l'exemple de l'introduction d'un nouveau concept *azertyuiop* dans le discours, souvent signalé par une emphase en italique comme nous venons de le faire, et qui correspond à un élément métatextuel qui pourrait être « j'introduis

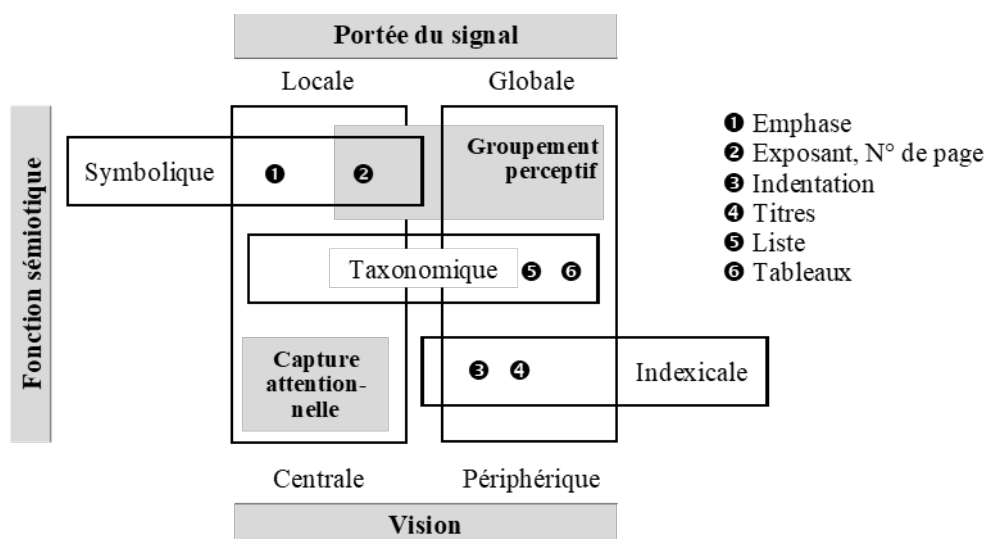


FIGURE 1.9 – Axes de réalisation du signal : fonction symbolique, portée, système visuel et processus cognitifs

dans mon discours ce nouveau concept : azertyuiop ». On est là sur une fonction sémiotique purement symbolique : à l’italique est attaché l’étiquette « nouveau concept » et notre typologie propose donc une réalisation typographique, ce qui correspond à ce que nous constatons.

Autre exemple, l’indentation de paragraphe correspond à une fonction sémiotique indexicale comme le précise Joliment (Adam, 2018, p. 33), la structure hiérarchique est soulignée par le blanc séparateur, réalisation dispositionnelle cohérente avec notre typologie.

Enfin, réaliser un titre de section renvoie à une double fonction sémiotique, symbolique autant qu’indexicale : symbolique parce que le titre « est » la section auquel il réfère, et indexicale car il structure l’espace textuel. On peut s’essayer ainsi à une taxonomie des signaux en ajoutant un axe supplémentaire, celui de la fonction visuelle mobilisée, vision centrale ou périphérique. Ainsi, l’emphase renvoie à une fonction symbolique, de portée locale, nécessitant plutôt une vision centrale, discriminative déclenchant un mécanisme de capture attentionnelle (voir les exemples figure 1.9).

Cette proposition de typologie croisée de la signalisation typo-dispositionnelle démontre que les significations sont soumises à des lois à priori qui régissent leurs connexions pour former de nouvelles significations (Flajoliet, 2011) et il semble que nous puissions avoir là une typologie à valeur pragmatique, c’est-à-dire propre à codifier et valider la réalisation typo-dispositionnelle des signaux. En tout cas un embryon de typologie, car on observe deux difficultés. Tout d’abord la fonction sémiotique taxonomique (listes, tableaux) semble échapper quelque peu à cette typologie binaire, mais ceci souligne sans doute l’insuffisance à penser

la sémiotique graphique dans une réalisation bipolaire typo-dispositionnelle. En effet, les listes comme les tableaux mobilisent des interrelations spatiales plus complexes qui devront être spécifiées pour élargir la typologie proposée. Ensuite, des éléments comme l'exposant mathématique est réalisé dispositionnellement qui assure sa fonction symbolique « je suis un exposant ». C'est aussi vrai du numéro de page.

1.6 Conclusion

Il est assez récent dans l'histoire de l'étude du langage écrit de considérer les éléments typographiques comme autre chose que des éléments de surface n'ayant aucun impact significatif sur les processus d'élaboration du sens (T. Slatery, 2016). Pourtant, le sens est bien une propriété émergente que le texte est insuffisant à porter seul (Adam, 2012), et nous avons vu que l'on peut considérer la mise en forme visuelle différenciée comme autant de signaux porteurs d'une signification métatextuelle (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008).

Nous nous intéressons ici à cette forme de réalisation typographique et dispositionnelle de la signalisation textuelle qui semble trouver son origine dans une double problématique. Tout d'abord, répondre à la prolifération de textes expositifs, caractérisés par une macrostructure complexe, non imposée par la linéarité de la situation référentielle, et dont on peut supposer qu'elle est plus difficile à traiter (Gayraud, 2000). Ensuite, répondre à cette complexité textuelle qui met à mal la qualité des représentations linguistiques construites et dont le degré de spécification est influencé par la structure de l'information véhiculée (Ferreira, Bailey et al., 2002 ; Sturt et al., 2004).

Considérant avec Sterelny (2007) que l'ensemble des dispositifs mobilisés dans le langage écrit sont des « aides cognitives », et avec Rowlands (2009) que ces dispositifs satisfont effectivement aux exigences de la cognition, la signalisation semble donc née d'un besoin socioculturel d'explicitement une structure textuelle complexe. Elle est l'expression d'un contenu métatextuel qui peut être réalisé sur un continuum qui s'étend sur deux modalités, verbale-discursive versus visuelle-spatiale en exploitant les propriétés sémiotiques propres à l'espace graphique qu'autorise l'écrit. Elle a le triple objectif de préciser l'importance relative des éléments textuels, d'en expliciter la structure thématique et de faciliter la consultation, le retour sur les éléments du texte.

Le langage écrit exploite donc la dimension sémiotique de l'espace de l'inscription : les signaux, dans leur réalisation typo-dispositionnelle, viennent dessiner l'organisation textuelle, explicitant les structures invisibles qui lient les éléments entre eux, ce qui en dévoile la matrice structurante (Barthes, 1964).

Dans une méta-analyse, Schneider et al. (2018) confirment le bénéfice, sur la compréhension ou la mémorisation, de la signalisation de documents d'apprentissage, avec ou sans médias. On note que ce bénéfice s'observe souvent sans effets négatifs sur les informations non signalées. Par ailleurs, soulignant un effet différentiel sur la charge cognitive, ce bénéfice s'observe surtout lorsque la tâche de lecture/compréhension est exigeante (p. ex. texte long) et lorsque les dispositifs de signalisation ne sont pas trop complexes à traiter (Lemarié, 2016).

S'agissant d'aborder les processus susceptibles de veiller au traitement de cette signalisation typo-dispositionnelle, un regard évolutionniste permet de remarquer que, si l'on admet l'efficacité comme une caractéristique essentielle de la facilité de lecture, les objets culturels ne sont jamais parfaitement répliqués ni transmis de manière aléatoire : ils sont toujours reconstruits selon les contraintes posées par notre cerveau (théorie de l'attraction culturelle, Sperber et Hirschfeld, 2004). Nous pouvons alors remarquer avec Changizi et Shimojo (2005) que, si les systèmes d'écriture subissent une pression sélective pour être faciles à lire et à écrire, il y a des raisons de penser que la pression principale est la facilité de lecture, car les textes écrits sont souvent lus et relus, mais écrits une seule fois. Les systèmes d'écriture interagissent donc avec le système visuel humain, et les variations et les innovations dans les écritures qui les rendent plus faciles à lire auront tendance à persister, sans que le résultat de cette évolution soit forcément optimal, seulement localement optimal.

Considérant donc la vision comme le facteur principal d'évolution des pratiques d'écriture, nous pouvons penser que l'efficacité de ces artefacts culturels que sont les différents dispositifs de signalisation typo-dispositionnelle s'explique par le fait qu'ils reposent et exploitent des habiletés naturelles du système visuel à diriger l'attention et à construire des représentations hiérarchiquement organisées. L'efficacité de ces dispositifs contribue à son tour à expliquer leur récurrence culturelle.

C'est l'objectif du chapitre suivant que de recenser les processus et les structures susceptibles d'expliquer et de permettre le traitement cognitif de la signalisation typo-dispositionnelle.

2

Cognition visuelle et signalisation

LA modalité visuelle est première dans l'acte de lecture, l'écrit est un langage pour l'œil : le code alphabétique préside à la sémantique linguistique, et l'espace graphique met à disposition de nouvelles fonctions sémiotiques non immédiatement présentes dans la langue orale.

Nous avons déjà relevé ce rôle central donné à la textualité dans la compréhension écrite, et qui détourne l'attention de l'élaboration du sens vers une sémantique exclusive du discours écrit (Serafini, 2014). Lire, comme écrire, sont entendus comme la mise en œuvre d'un code linguistique et ce processus est aujourd'hui bien documenté avec le modèle simple de la lecture comme porte d'entrée des processus de la compréhension écrite (*simple model of reading*, Gough et Tunmer, 1986, voir Consortium, 2015 pour une réflexion récente), jusqu'aux plus récents modèles de construction du sens (Cordier, 2019 ; Kintsch, 2018).

Nous avons aussi noté l'évolution de la réflexion sur la compréhension écrite, qui tend à intégrer la dimension graphique de l'écrit comme support sémantique à la construction générale du sens (Klinkenberg, 2018), et notre intérêt pour la réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation textuelle veut y participer. Notre réflexion se porte donc sur l'identification des processus et des structures cognitives susceptibles d'être mobilisées dans cette réalisation.

Il est reconnu que les représentations graphiques participent à soulager l'effort cognitif. Par exemple, les schémas améliorent le traitement de l'information en indexant les informations nécessaires pour résoudre un problème de manière plus efficace et efficiente (Larkin et Simon, 1987). De même, Sithole et al. (2021) mettent en évidence un bénéfice majeur de représentations graphiques sur leur équivalent verbal dans l'apprentissage de concepts liés à l'analyse financière (Cohen's $d = 0.71$).

Pour ce qui nous intéresse ici, l'essentiel des études qui ont analysé le rôle de la cognition visuelle dans la lecture s'est focalisé sur les propriétés visuelles associées à l'accès lexical. Notre démarche est alors ici de montrer que le système visuel dispose des habiletés nécessaires pour traiter une sémiotique graphique support de la signalisation typo-dispositionnelle.

Nous nous attarderons tout d'abord sur les contraintes visuelles qui conditionnent l'accès lexical, soulignant l'interaction coûteuse entre les processus visuels et langagiers, avant d'aborder deux mécanismes complémentaires, de capture attentionnelle et de groupement perceptif, comme support au traitement de la signalisation typo-dispositionnelle. Nous essaierons de voir si ce dernier mécanisme peut expliquer certaines propriétés surprenantes de la signalisation typo-dispositionnelle, notamment le fait que la structure textuelle puisse être distribuée sur plusieurs pages. Nous nous attarderons sur la mémoire de travail visuospatiale, structure clef du traitement que nous envisageons, et nous terminerons en questionnant le rôle de la modalité visuelle dans la production écrite.

2.1 Vision et lecture

Nous entendons le *système visuel* comme l'ensemble des éléments participant de la perception et de la cognition visuelles. La *perception visuelle* mobilise des processus cognitifs tels que la reconnaissance des formes, la mémoire et l'attention, et aboutit à la construction de représentations mentales du monde visuel. La *cognition visuelle*, quant à elle est un terme plus large qui englobe tous les processus de la perception que nous venons de définir, mais qui comprend aussi tous les processus de manipulation des représentations visuelles construites (Collins et Wyart, 2018 ; Tarroux et Auvray, 2019).

De nos connaissances sur le substrat neurologique, on peut remarquer que perception et cognition visuelle disposent d'une réserve de puissance importante : on estime que quelque 30 % de la surface corticale est dévolue au traitement de l'information visuelle, contre seulement 7 % pour le canal auditif (Sheth et R. Young, 2016 ; Van Essen, 2003). Considérant la puissance informative, le canal visuel permet d'acheminer quelque dix millions de bits/seconde : sept fois plus que l'oreille dans le même laps de temps (voir Koch et al., 2006, mais aussi Klinkenberg, 2018 et Groupe μ , 1992, p. 61).

Concernant le langage écrit, on admet que 5 000 ans de littératie sont insuffisants à induire l'évolution de mécanismes visuels ou cérébraux spécialisés dans l'écriture ou la lecture. C'est important : ceci signifie que la mise en œuvre du langage écrit, écriture comme lecture, est conditionnée par des processus vi-

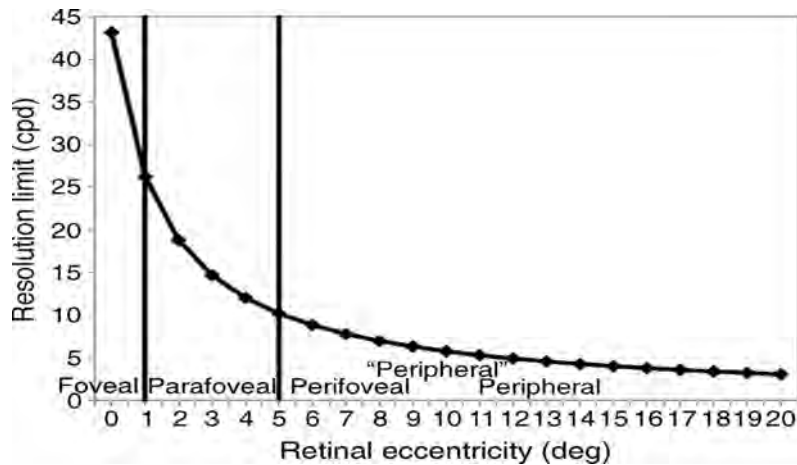


FIGURE 2.1 – Limites de résolution visuelle en fonction de l'excentricité rétinienne, le champ visuel étant divisé en trois régions : fovéale, parafovéale et périphérique (extrait de Larson et Loschky, 2009, p. 2)

suels préexistants, mobilisés par exaptation (Dehaene, 2009 ; Yeatman et White, 2021).

Nous verrons plus loin¹ qu'une partie de la signalisation typo-dispositionnelle est accessible en vision périphérique (Cauchard, 2008), et nous devons donc nous attarder sur cette distinction importante, parce que physiologique, entre une vision centrale, discriminative, et une vision périphérique.

¹ cf. *infra*, expériences décrites chapitre 4 page 71

2.1.1 Vision centrale et périphérique

En partant d'un centre visuel défini par le point de fixation,² on décrit habituellement trois zones visuelles selon leur capacité discriminative, plus ou moins concentriques en première approximation : une zone fovéolaire de 0 à 1°, parafovéolaire jusqu'à 5°, puis périphérique au-delà (figure 2.1). Le pouvoir de résolution — exprimé par l'acuité visuelle — est maximal dans la zone fovéolaire (10/10^e), mais chute rapidement au seuil de malvoyance (5/10^e) dès l'entrée dans la zone parafovéolaire, et continue de décroître à partir de 3/10^e en périphérie.

² Le point de fixation se projette au centre de la rétine, la fovéa

Malgré ce différentiel de résolution, notre perception visuelle semble uniforme et nous sommes la plupart du temps inconscients des limitations de notre vision périphérique : notre expérience phénoménologique d'un monde visuel riche et disponible s'oppose à notre capacité limitée à traiter l'information visuelle (Lau et Rosenthal, 2011).

Ce différentiel de résolution contraint toutefois les processus visuo-perceptifs, et ceci est particulièrement vrai dans la lecture, car l'écrit a optimisé la densité d'information disponible sur le support (p. ex. la page) en utilisant un système de glyphes qui maximise l'utilisation de la vision fovéolaire, et ceci reste globalement

vrai pour l'ensemble des systèmes d'écriture : un mot a, en moyenne, la taille de la zone fovéolaire (Rayner, Pollatsek et al., 2012).

L'exploration précise du monde visuel impose donc le déplacement de la zone fovéolaire de points d'intérêt en points d'intérêt, par des saccades — des mouvements oculaires — et des fixations qui vont permettre le traitement de l'information visuelle.

Toutefois, et contrairement à l'impression que nous pouvons avoir d'un regard qui erre, il a été noté dans des tâches écologiques (p. ex. faire du thé ou des sandwiches) que la plupart des mouvements oculaires sont étroitement et délibérément liés aux actions en cours : le système oculomoteur dispose manifestement d'un ensemble de stratégies efficaces et bien rodées qui permettent aux yeux de rechercher les informations nécessaires à l'exécution de chaque étape de la tâche en cours (Foulsham, 2015 ; Land, Mennie et al., 1999 ; Land et B. Tatler, 2009).

Loschky et al. (2017) soulignent qu'encore aujourd'hui nous ignorons beaucoup ce qui distingue la vision centrale de la vision périphérique. Cohen et al. (2016) proposent une élégante explication à cette contradiction en remarquant que les modèles de l'attention visuelle ou de la mémoire de travail se sont essentiellement attachés au traitement de l'information visuelle centrale, celle qui est disponible au niveau de la fovéa. Ainsi, les paradigmes expérimentaux classiques de l'attention ou de la mémoire visuelle immédiate mettent en évidence les limitations de notre capacité de traitement de l'information centrale, alors que l'information périphérique reste relativement inchangée (on peut penser p. ex. au paradigme de cécité au changement) et des résultats récents suggèrent qu'en situation écologique, la capacité du système visuel puisse être plus élevée que ne le suggère la recherche (Kristjánsson et Draschkow, 2021). Pourtant, alors que seule une poignée d'objets peut faire l'objet d'un rapport explicite et précis à un moment donné, le système visuel a la capacité de calculer des résumés statistiques sur des dizaines d'objets (Quilty-Dunn, 2023).

Il semble en effet que nous construisons du monde visuel périphérique un résumé statistique : nous ne percevons pas toute l'information de quelques éléments, comme en vision centrale, mais un peu d'information de tous les éléments, des ensembles de résumés statistiques regroupés par similarités (Rosenholtz, 2011). L'exploitation des régularités statistiques contenues dans les images visuelles permettrait ainsi d'obtenir des représentations à la fois synthétiques, mais aussi économiques en mémoire (C. J. Bates et Jacobs, 2020) et les modélisations les plus récentes du calepin visuospatial reconnaissent la richesse des représentations visuelles disponibles qui intègrent aussi des éléments de fiabi-

lité, car les observateurs tiennent aussi compte du degré d'incertitude de leur perception dans leurs décisions (Bays et al., 2022).

L'importance relative de la vision fovéale, parafovéale et périphérique, dépend de la tâche à accomplir. Pour la recherche d'objets et de lettres dans des images statiques de scènes du monde réel, la vision périphérique est cruciale pour un guidage efficace de la recherche, alors que la vision fovéale est relativement peu importante. (Nuthmann et Canas-Bajo, 2022). En dehors des travaux précurseurs de Cauchard (2008) et Cauchard et al. (2006) dont nous aurons l'occasion de reparler en détail,³ l'étude du comportement oculaire dans la lecture ne semble pas avoir adressé la perception au-delà de la zone fovéolaire ou parafovéolaire et nous pouvons donc retenir que nos systèmes d'écriture imposent une vision fovéolaire, hautement discriminative, et que les enregistrements oculomoteurs tendent à montrer que l'essentiel de l'activité oculaire est effectivement concentré sur la lecture des mots.

³ cf. *infra*, chapitre 4
page 71

2.1.2 Vision centrale et accès lexical

S'agissant d'aborder la thématique « vision et lecture », il est d'usage de sacrifier au rituel de rapporter le ballet de saccades et de fixations orchestré de mot en mot par le couple oculaire. Depuis les travaux princeps de Yarbus (1967 ; pour une revue voir B. W. Tatler et al., 2010), nous savons toutefois que notre perception visuelle procède exclusivement de cet échantillonnage par saccades et fixations successives : au rythme de trois à quatre par seconde, quelque 170 000 saccades rythment notre quotidien. Le système visuel explore donc l'écrit de la même façon que le reste du monde qui nous entoure, et nous devons appréhender fonctionnellement ce comportement visuel (Marr, 1982), car un jeu de contraintes réciproques permet alors de repenser le comportement visuel (figure 2.2 page suivante) :

- l'écriture vise à maximiser la quantité d'information linguistique tout en minimisant l'effort du scripteur : ceci conduit à l'utilisation d'un ensemble de primitives visuelles extraites du monde naturel (traits, courbes, etc., voir Changizi, Zhang et al., 2006) et exploite la discrimination fine de la zone fovéolaire, tout en simplifiant les tracés, ce qui peut conduire à la réutilisation de primitives, répétées (p. ex. |v| versus |w|) ou inversés (p. ex. |b| versus |d|). En faveur de cette hypothèse, on note la diminution progressive des lettres symétriques, favorables au scripteur, mais qui pénalisent le lecteur, dans l'évolution des systèmes d'écriture, voire sa disparition dans les systèmes les plus anciens : l'augmentation du ratio $\frac{\text{lecteurs}}{\text{scripteurs}}$ impose les adaptations favorables aux lecteurs (Meletis, 2018) ;

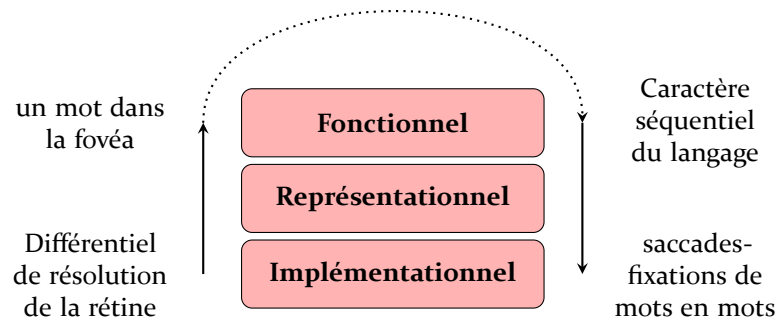


FIGURE 2.2 – Lecture : contraintes réciproques selon les trois niveaux d'analyse de la vision (Marr, 1982))

- la lecture est soumise en retour à cette contrainte de discrimination lexicale fovéolaire, qui conduit au développement d'une zone corticale dédiée par exaptation des zones de reconnaissances des objets et des visages (Dehaene-Lambertz et al., 2018 ; López-Barroso et al., 2020), tout en subissant le caractère séquentiel du langage : le système oculomoteur doit apprendre un guidage contraignant de mot en mot qui prend deux à trois ans : l'apprentissage du suivi de lignes démarre au CP avec l'apprentissage de la lecture, mais ne s'automatise vraiment que plus tard, au mieux en cours de CE2 (voir par exemple Facchin et al., 2012).

Si l'on s'éloigne maintenant de la zone fovéolaire, dédiée au traitement du mot en cours, nous trouvons des travaux sur le prétraitement des mots suivants en zone parafovéolaire. En effet, les contraintes sensorimotrices importantes qui pèsent sur le déplacement du couple oculaire de proche en proche semblent conduire le lecteur expert à optimiser son temps de fixation : le traitement cognitif du mot fixé est relativement court et autorise souvent un prétraitement du mot suivant, avant tout déplacement oculaire (Schotter et al., 2012). Toutefois, l'effort cognitif induit par le traitement fovéal semble affecter la capacité à traiter l'information parafovéolaire (Schotter et al., 2012, mais voir Findelsberger et al., 2019 pour une discussion de cet effet).

Nous voyons ici que, dans la lecture, l'attention visuelle semble essentiellement focalisée dans l'accès lexical. Afin de rendre compte de certains des mécanismes de la signalisation typographique, nous devons donc convoquer des propriétés du système visuel qui permettent de détourner, capturer, cette attention dans le but de signaler au lecteur certaines propriétés au-delà du niveau lexical.

2.2 Capture attentionnelle

Lors de la lecture d'un texte, le système visuel est bombardé par une énorme quantité d'informations nécessitant un mécanisme de sélection précis de manière à cibler un traitement efficace des informations pertinentes et à exclure les éléments non pertinents (Facoetti, Paganoni et al., 2000). L'allocation de l'attention joue donc un rôle très important dans la compréhension écrite. En définissant l'*attention visuelle* comme l'ensemble des processus qui permettent de trouver, d'extraire et éventuellement d'aider à définir des caractéristiques dans l'environnement visuel, Jenkin et L. Harris (2001) soulignent l'importance de l'interaction entre l'observateur et son environnement : « ...attention is drawn by some aspects of the visual scene but the observer is critical in defining which aspects are selected » (Jenkin et L. Harris, 2001, p. 1) et cette interaction est cruciale dans la lecture.

Afin d'assurer une compréhension correcte, le lecteur doit alors se concentrer de manière sélective sur les parties les plus importantes du texte, aux moments appropriés de la lecture (Gaddy et al., 2001, p. 104) et cette interaction active invite à conceptualiser les questions relatives au contrôle de l'attention plutôt en termes de *priorité* attentionnelle, qui relie naturellement les influences dirigées par le but et par le stimulus d'une manière plus riche et plus cohérente (B. A. Anderson, 2021).

2.2.1 Attention et lecture

Nous avons vu le caractère déterminant de la zone fovéolaire dans la discrimination des glyphes alphanumériques dont les détails sont très fins. L'attention visuelle est alors déterminante pour le déchiffrement graphophonémique (Facoetti, Zorzi et al., 2006), et ceci est cohérent avec nos connaissances neurologiques qui soulignent le rôle prépondérant des systèmes attentionnels dans le fonctionnement de la zone de reconnaissance des mots (L. Chen et al., 2019).

Et c'est effectivement ce que constatent Facoetti, Paganoni et al. (2000) en mesurant le gradient d'attention visuelle, dérivé du temps de réaction en fonction de l'excentricité croissante d'une cible par rapport au focus attentionnel. En comparant les temps de réaction d'enfants normolecteurs et dyslexiques, les auteurs soulignent ce caractère focalisé de l'attention chez le normolecteur : chez celui-ci, le gradient attentionnel est maximal au point de fixation et décroît en périphérie (figure 2.3 page suivante, à gauche).

Pour capter l'attention d'un lecteur tout entier dans le processus d'accès lexical, il y a donc nécessité de mettre en œuvre des dispositifs de capture ou de

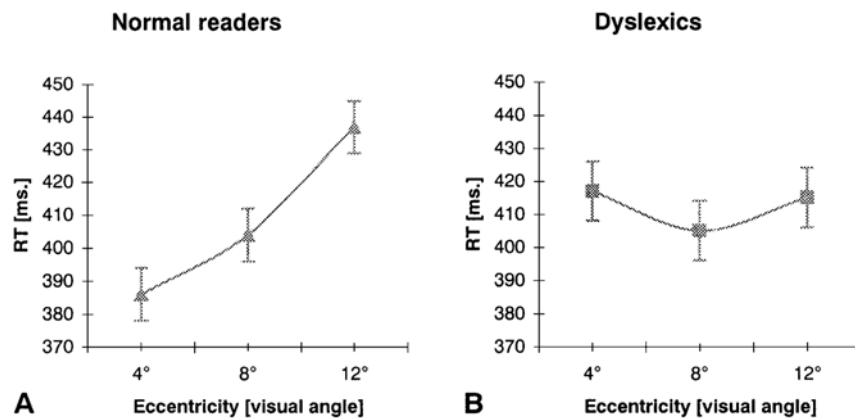


FIGURE 2.3 – Comparaison des gradients attentionnels : chez le normolecteur l'attention visuelle est focalisée, mais diffuse chez le dyslexique (extrait de Facoetti, Paganoni et al., 2000, p. 534)

modulation de l'attention susceptibles de contrôler les aspects du discours devant recevoir un traitement plus profond (A. J. S. Sanford et al., 2006, pp. 3-4).

2.2.2 Signalisation et attention

On peut déjà remarquer que, durant la lecture, l'attention est fluctuante (Chevet et al., 2022; Kaakinen et al., 2018), mais l'on dispose d'un nombre important d'arguments en faveur de l'hypothèse que les lecteurs sont effectivement soumis à des mécanismes de capture attentionnelle qui autorisent la distribution et le contrôle de l'attention pendant la lecture (Gaddy et al., 2001; Lowery et McDonald, 2023). Et il est important de souligner que ceci n'implique pas forcément l'exécution de mouvements oculaires : dans leur étude, Nuthmann, Kliegl et al. (2007) signalent en rouge la lettre correspondant à la position optimale de fixation (c'est-à-dire qui minimise le temps de reconnaissance du mot, O'Regan et al., 1984). Les lettres rouges étaient censées agir comme des stimuli exogènes saillants qui attirent automatiquement le regard. Toutefois, les analyses des enregistrements oculomoteurs suggèrent un effet de capture attentionnelle sans capture oculomotrice.

L'emphase typographique a été très étudiée (Norton, 2018). Du point de vue de l'image visuelle, il est probable que l'utilisation d'une police, d'une casse ou d'une graisse différente pour certains mots d'un texte provoque un contraste de faible ou de moyenne fréquence spatiale sur l'image du texte, et il a été montré que ce contraste de fréquence spatiale majore les mécanismes de saillance (Urban et al., 2011).

Or, la saillance visuelle accélère le traitement lexical des informations visuellement saillantes et aide les lecteurs à établir des connexions plus rapides et plus élaborées entre les informations visuellement saillantes et le contenu associé

dans l'intégration qui s'ensuit (Wu et al., 2021; voir aussi Cavicchio et al., 2014 et Daley, 2021). C'est effectivement ce que rapportent les études sur l'emphase.

Dans un travail abordant la question de savoir si la typographie produit des effets linguistiques interprétables dans le discours, Maia (2018) et Maia et Morris (2019) mettent en évidence l'interaction de l'emphase typographique sur la structure linguistique en affectant l'interprétation au cours de la lecture (*on-line*) des expressions référentielles. Les auteurs précisent que la capitalisation des mots (majuscules) a des effets de saillance et de focalisation du discours plus importants que l'italique. De façon intéressante, si l'italique induit un effet de contraste précoce sur le traitement des informations associées, les effets des capitales au niveau du discours apparaissent plus tard dans le temps. On retiendra que l'italique est un bon candidat pour un modulateur d'attention (A. J. S. Sanford et al., 2006) et qu'elle semble préférable à une fonte grasse (Dyson et Beier, 2016).

Notons que des mécanismes de capture attentionnelle sont aussi rapportés via des dispositifs stylistiques : les fragments de phrase sont des mots, des expressions ou des clauses qui ne peuvent pas être considérés comme des phrases syntaxiquement complètes, mais qui sont néanmoins ponctués graphiquement comme des phrases (Emmott, A. J. Sanford et Lorna I. Morrow, 2006). En reprenant l'exemple proposé par l'auteure, les deux dernières phrases nominales de l'exemple (1) suivant sont donc des fragments de phrase :

(1) It was only dinner. One dinner. One guest.

Le fait de concevoir les fragments de phrases comme graphiquement ponctués est intéressant et invite à les envisager comme une forme intermédiaire de signalisation, comme un titre peut l'être dans son expression textuelle, une forme réduite d'un contexte métatextuel implicite qui induit un traitement plus profond. Dans une adaptation linguistique du paradigme de cécité au changement, et en accord avec la fragilité des représentations linguistiques que nous avons rapportées plus haut,⁴ l'auteure met en évidence qu'un lecteur peut effectivement parcourir un texte sans remarquer la présence de mots anormaux, mais que cela est moins probable lorsque des dispositifs tels que la fragmentation de phrases sont utilisés pour attirer l'attention des lecteurs sur des parties spécifiques du texte (Emmott, A. J. Sanford et L. I. Morrow, 2006; Emmott, A. J. Sanford et Lorna I. Morrow, 2006).

Par ailleurs, certaines caractéristiques visuelles semblent moins coûteuses que d'autres : ainsi la couleur est détectée parallèlement et automatiquement au cours des processus visuels pré-attentionnels (Lohse, 1997), ce qui peut justifier son utilisation dans l'emphase (mots en gris, en rouge, etc.).

⁴ cf. *supra*, 1.2.1
page 17

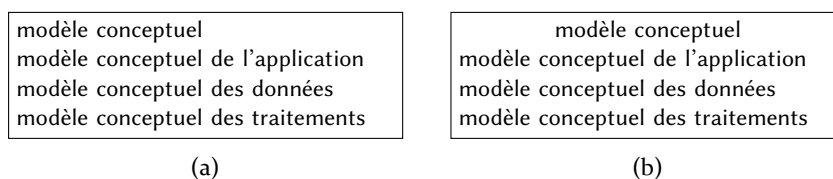


FIGURE 2.4 – Propriétés structurantes de l'espace
(extrait de Jacques, 2005, p. 4)

On peut donc considérer qu'en attribuant à certains éléments textuels une apparence typographique particulière (italique, gras, etc.), ces mécanismes visuo-attentionnels vont permettre la mise en œuvre de la fonction symbolique de la sémiotique graphique et donc l'expression d'une signalisation. Ils sont insuffisants à expliquer l'utilisation de l'espace comme organisateur textuel et une propriété supplémentaire du système visuel semble à l'œuvre.

2.3 Groupement, hiérarchie et intégration perceptive

Le groupement perceptif est un processus par lequel plusieurs éléments sont combinés en une seule description de niveau supérieur (Brady, Konkle et al., 2011). Regrouper ensemble les éléments constitutifs d'un objet, distinguer celui-ci des autres objets et du fond, est une tâche fondamentale du système visuel s'il prétend permettre l'interaction avec le monde : deux yeux, un nez et une bouche vont former un visage et c'est ce dernier concept qui est fonctionnel. Omniprésent dans toutes les expériences perceptives, le groupement perceptif est cette capacité de percevoir un ensemble d'éléments visuels, initialement disparates, comme une entité visuelle unique et unifiée, tout en conservant la perception des composants individuels.

Ainsi, l'écrit distribue les unités textuelles en s'appropriant l'espace pour y distribuer du sens :

Une feuille de papier, de même qu'un écran d'ordinateur, de téléphone portable ou de livre électronique, offrent un certain **espace** sur lequel se dispose le texte. Cette propriété permet à l'espace de jouer un rôle dans la construction de la signification.

(Jacques, 2005, p. 3, c'est l'auteure qui souligne)

Nous reprenons ici l'exemple proposé par cette auteure : la figure 2.4a propose une liste de propositions que la mise en forme matérielle met toutes sur le même plan. Le simple déplacement de la première vers le centre suffit à lui accorder un statut spécifique par rapport aux autres éléments de la figure 2.4b. On devine qu'il suffirait d'un décalage vertical discret pour finir de poser la domination de ce premier élément : un titre est né...

Un ensemble de propriétés nous semble permettre cette sémiotique de l'espace de l'inscription. Le système visuel dispose d'une habileté innée à regrouper les objets en structures, lesquelles peuvent s'organiser hiérarchiquement. De surcroît, cette habileté d'organisation n'est pas affectée par une présentation morcelée...

2.3.1 Groupement perceptif

Le groupement perceptif fait donc référence au fait que les observateurs perçoivent certains éléments du champ visuel comme allant ensemble plus fortement que d'autres et cela conduit à la combinaison d'éléments visuels individuels en structures plus larges et plus significatives ; il est admis que ce processus est précoce, automatique et surtout pré-attentif (Feldman, 1999, 2003). L'idée, initialement proposée comme une théorie de la forme (*Gestalt*, pour une présentation voir Buffart, 2017), que la perception visuelle tend à construire des représentations globales plutôt qu'une simple juxtaposition d'éléments unitaires fonde encore beaucoup les travaux sur la perception, et les questions relatives à l'émergence de structures dans l'expérience perceptive, autant que l'aspect subjectif de la conscience phénoménologique qui en découle, restent pertinentes pour la psychologie moderne à bien des égards (Wagemans, Feldman et al., 2012). Mieux formalisé aujourd'hui avec la notion de structures et résumés statistiques (Cohen et al., 2016 ; Rosenholtz, 2011), le groupement perceptif va permettre l'extraction des structures visuelles en vision périphérique et ce processus d'extraction n'est pas soumis à la dégradation de la résolution.

Weiss et al. (2016) montre qu'avec l'amélioration des compétences en lecture, le traitement orthographique devient plus sensible aux caractéristiques visuelles de l'écrit. On peut en effet déjà remarquer que le langage écrit utilise cette propriété de groupement perceptif au niveau lexical : apparu tardivement dans notre système d'écriture, l'espace intermots permet un accès lexical plus rapide : la lecture d'un texte non espacé est plus lente d'environ 40 à 70 % par rapport à la lecture d'un texte normalement espacé (Pinna et Deiana, 2014 ; Rayner et Polatsek, 1996), et si on rajoute cet espace intermots dans des systèmes d'écriture qui n'en disposent pas (p. ex. le thaïlandais), on en fluidifie la lecture (Winskel, Perea et al., 2012 ; Winskel, Radach et al., 2009).

On peut aussi remarquer que le rôle de l'espace est ici d'induire le groupement perceptif, mais que celui-ci peut être obtenu de différentes façons : on obtient en effet le même bénéfice si l'on remplace l'espace intermots par une coloration différentielle des unités lexicales, comme ceci : « **you will be able to read this sentence very easily** » (Perea et al., 2015 ; Pinna et Deiana, 2014).

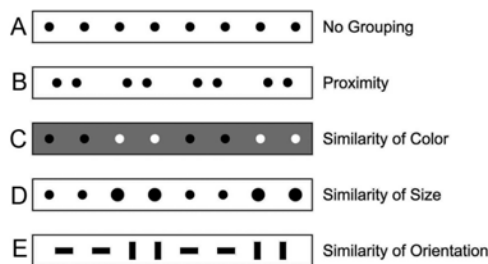


FIGURE 2.5 – Groupement perceptif : proximité (B) et similarité (C, D, E)
(extrait de Wagemans, Elder et al., 2012, p. 1180)

Parmi les principes de groupement perceptif susceptibles d'être mobilisés à l'écrit, deux semblent fondamentaux (figure 2.5) :

- le principe de proximité, ou de distance relative : les items les plus proches se regroupent fortement ; il est le principe qui conduit à l'effet lexical de l'espace que nous venons de rapporter ; il conduit aussi à percevoir les paragraphes comme un tout ;
- le principe de similarité : les éléments semblables (en termes de couleur, de taille et d'orientation par exemple) ont tendance à être regroupés. La similarité par orientation est ainsi le principe mis en œuvre dans l'utilisation de listes : l'alignement vertical des items de la liste majore l'effet du principe de proximité et participe à les concevoir comme un ensemble.

Ces effets d'additivité (ou d'opposition) des principes de groupement sont visualisés figure 2.6 page ci-contre : dans la figure de gauche (A), les éléments sont identiques dans la direction de la distance la plus courte et différents le long de la deuxième distance, plus longue. Le regroupement par proximité est donc renforcé par la similarité. Dans la figure de droite (B), les éléments sont différents dans la direction de la distance la plus courte et identiques le long de la deuxième distance, plus longue. Le regroupement par proximité s'oppose alors à la similarité.

Ces principes sont retrouvés en typographie : toutes choses égales par ailleurs, les mots écrits dans une police donnée sont grossièrement assez semblables et la proximité renforce l'unité du paragraphe. Le groupement perceptif est aujourd'hui beaucoup orchestré autour de l'espace, mais nous avons vu avec la rubrication⁵ que la couleur pouvait générer le même phénomène perceptif.

⁵ cf. *supra*, page 24

Un autre exemple intéressant est tiré d'un numéro spécial sur les « Utopies » de la revue *Sciences Humaines* (2022). L'auteur introduit, après le titre, deux catégories, deux façons de se projeter dans un monde meilleur : une concrète (villes idéales) et l'autre fantasmagique (pays lointains). Il décline dans le corps du texte cinq exemples de la première et trois de la seconde, mais sans utiliser d'énumération hiérarchisée : il titre chacun des exemples avec deux couleurs

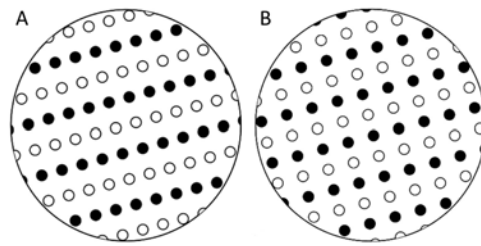


FIGURE 2.6 – Additivité des principes de groupement. En A, le groupement par proximité est renforcé par la similarité. En B, le groupement par proximité s’oppose à la similarité

(extrait de Wagemans, Elder et al., 2012, p. 1183)

différentes (figure 2.7 page suivante). Ainsi, le principe de similarité allège le texte d’une signalisation hiérarchisée.

Un concept intéressant découle de ces principes d’additivité et consiste à tracer des courbes d’indifférence : selon les deux axes de groupement, proximité et similarité, on peut tester comment un observateur perçoit le groupement induit et tracer des courbes de niveau comme des dénivelés sur une carte. L’idée, validée, est que si l’on augmente par exemple la proximité tout en diminuant la similarité, on ne change pas la perception du groupement. Mais, modifier l’un sans modifier l’autre peut conduire à basculer la perception dans un sens ou l’autre (Wagemans, Elder et al., 2012, pp. 1183-1184).

Nous devons retenir que si l’espace est souvent employé comme organisateur textuel, il n’est toutefois qu’un moyen comme un autre d’obtenir cette perception d’unités globales qui peut être obtenue par d’autres moyens typographiques. D’un point de vue pragmatique, il sera intéressant d’utiliser les principes d’additivité pour mieux concevoir la signalisation typo-dispositionnelle en étudiant l’utilisation des dispositifs (taille des caractères, espacement des unités, couleur, etc.).

Le monde visuel semble disposer d’une autre propriété mobilisée dans la signalisation et qui permet non seulement de regrouper des éléments (mots, paragraphes, sections, listes...), mais aussi de les organiser hiérarchiquement.

2.3.2 Hiérarchie visuelle

Il a très tôt été remarqué que les positions des objets qui composent une scène visuelle sont apprises en les organisant en unités ou groupes d’ordre supérieur (Wilton et File, 1975). La composante visuospatiale de la mémoire de travail sait traiter l’information hiérarchique (Brady et Alvarez, 2011; Nie et al., 2017) et l’avantage de configuration spatiale stipule que les objets sont mémorisés avec les objets environnants en organisant ces objets en configurations spatiales (Y. Jiang et al., 2000).



FIGURE 2.7 – Signalisation : la couleur comme groupement perceptif (p. 18-19, Sciences Humaines, Hors-série 2022, avec l’aimable autorisation du CFC)

Ces représentations structurées comprennent des informations à plusieurs niveaux d’abstraction, des éléments aux statistiques d’ensemble des sous-groupes, en passant par les statistiques d’ensemble de tous les éléments, à la fois dans les dimensions spatiales et les dimensions figuratives, et ces statistiques d’ensemble semblent être intégrées aux représentations des éléments individuels constituant une représentation hiérarchique (Brady, Konkle et al., 2011). Les représentations visuospatiales en mémoire de travail possèdent ainsi une certaine structure hiérarchique définie par des ensembles, des parties, des caractéristiques et leurs relations (Skrzypulec et Chuderski, 2020). Ces représentations seraient codés dans des réseaux hiérarchiques de propositions non verbales (Palmer, 1977 ; Tschechne et Neumann, 2014) aboutissant à une représentation contenant plusieurs niveaux représentant le même environnement à des résolutions différentes (Schmajuk et Voicu, 2006 ; Voicu, 2003).

Ceci serait insuffisant à construire une représentation de la structure du texte s’il n’existait pas une compétence supplémentaire, propre à construire une représentation globale à partir d’informations partielles.

2.3.3 Intégration perceptive

Nous avons rapidement évoqué au premier chapitre l’importance du médium et, de fait, l’écrit existe par l’inscription sur une surface, la page. Et au sein de la page, l’espace, le blanc, « fait office de signe par absence de signifiant » (Genette, 1987). Le blanc crée un cadre qui délimite l’espace symbolique où se déroule le texte et un espace non-symbolique hors du livre. Il est donc la condition de

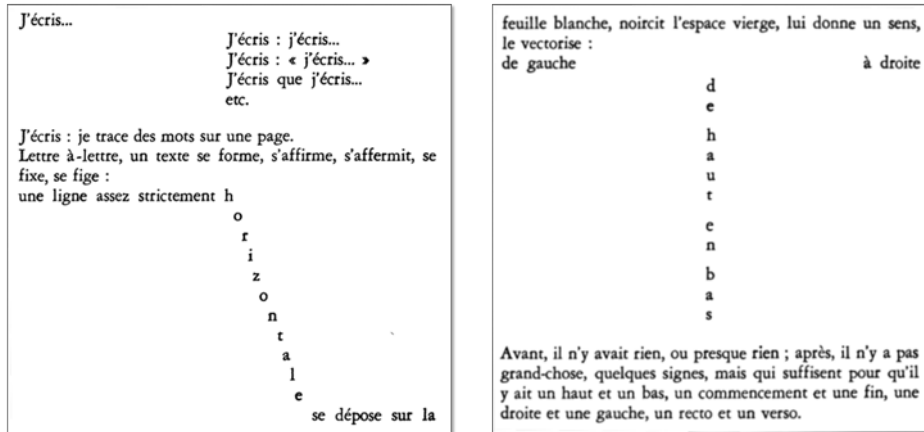


FIGURE 2.8 – « Espèces d'espaces » (Perec, 2022, pp. 23 & 24, avec l'aimable autorisation des éditions du Seuil)

possibilité du statut symbolique que l'on donne au texte (Marcantoni, 2015). Georges Perec concrétise fort bien cette symbolique de l'espace : dès lors qu'elle est écrite et parce que la ligne écrite organise l'orientation (Bachelot, 2021), la page se vectorise : il existe un haut et un bas, une droite et une gauche (figure 2.8).

Cette vectorisation de la page est à mettre en relation avec une compétence, désormais bien établie et dont nous reparlerons plus loin,⁶ des lecteurs à localiser des mots ou des idées dans un ou plusieurs textes lus (pour une revue voir Le Bigot, Passerault et al., 2010). Cette compétence pose la question de la représentation élaborée qui « ...correspondrait à une sorte de carte mentale de la page contenant la localisation des idées, mais pas nécessairement l'aspect visuel des mots » (Le Bigot, 2008, p. 178).

Kennedy (1992) et Fischer (2000) proposent que ce soit la page qui serve de cadre de référence au codage spatial. Zechmeister et McKillip (1972) et Zechmeister, McKillip et al. (1975) relèvent une baisse de performance de mémoire de localisation dans le quart inférieur droit de la page et Fischer (2000) interprète ce résultat comme la saturation graduelle d'une mémoire visuospatiale basée sur la page comme cadre de référence.

De façon plus pragmatique, Kennedy (1992) rappelle que les mots peuvent être lus en une succession de fixations désordonnées. C'est seulement si le texte peut être codé comme un objet visuel stable que le lecteur peut savoir le « quoi » et le « où » et reconstruire ainsi la temporalité grâce à la spatialisation du texte. Il est dès lors libéré de l'exigence de lecture dans un ordre strict nécessaire à la linéarité du langage, fut-il écrit. Ainsi, dans une variante du paradigme RSVP,⁷ il est montré que si la spatialisation autorise une ré-inspection sélective efficace du texte, elle est d'abord essentielle à l'analyse syntaxique dans le cours initial de la lecture Kennedy (1992).

⁶ cf. *infra* 3.2 page 61

⁷ Rapid Serial Visual Presentation

Le codage spatial n'est ainsi pas conçu comme un « effet de bord » de la lecture : il est pensé comme inhérent, nécessaire à la lecture (Maillet, 2015). C'est parce que les saccades sont codées spatialement, en référence au cadre de la page, et que ce codage est mémorisé, que le lecteur peut construire la temporalité du langage écrit. Le souvenir de la localisation d'informations dérive de ce codage au cours de la lecture, ce qui en explique l'implicite : quelle que soit l'activité de lecture, ce codage se fait. Sauf si le mode de présentation résout le problème de temporalité (p. ex. RSVP) : le codage spatial des mots n'est effectif que si le mode de présentation le permet (Baccino, 1991, dans Baccino et Pynte, 1994).

Dans une expérience où les participants devaient acquérir la structure spatiale d'une île imaginaire selon trois conditions :

- aperçu de la carte complète de l'île,
- une séquence de fragments de cette carte,
- l'équivalent d'informations verbales de fragments de cette carte,

la performance spatiale était identique dans les conditions parcellaires et complète, et supérieure à la condition verbale (Zimmer, 2004). Ainsi, le système visuel sait élaborer une représentation globale à partir d'informations parcellaires, et il est capable de le faire autant à partir de fragments visuels que verbaux. Toutefois, les informations visuelles, même morcelées, induisent de meilleures performances que l'équivalent verbal.

2.4 Mémoire de travail visuospatiale

Sans qu'il soit certain qu'ils soient entièrement indépendants les uns des autres (T. T. Liu, 2013), la mémoire visuospatiale est constituée de trois sous-systèmes, une mémoire iconique, une mémoire à court terme et une mémoire à long terme. Plus spécifiquement ici, le concept de *mémoire de travail visuospatiale* déplace l'emphase de la nature du stockage à court terme vers son rôle dans la cognition (Luck, 2008).

Et, bien qu'il ne soit certainement pas inutile de questionner la diversité conceptuelle des modèles (Fenesi et al., 2015) et que de nombreuses alternatives soient proposées (par exemple Cowan et al., 2021), nous nous référons ici au modèle classique de la mémoire de travail, conçue comme un système à capacité limitée pour le maintien et le traitement temporaires de l'information, afin d'assurer la cognition et l'action (*multicomponent model of working memory*, A. D. Baddeley et al., 2021). Pas seulement parce qu'il est certainement un modèle dominant, mais aussi, et peut-être surtout, parce qu'il est le modèle référent de la majorité des données empiriques recueillies dans le domaine qui nous intéresse ici (Alan D. Baddeley, 2001 ; Gaonac'h et Fradet, 2003).

Car nous intéresserons en effet ici à la composante visuospatiale de cette mémoire de travail, en précisant un point terminologique considérant le *calepin visuospatial* comme le sous-système de la mémoire de travail dédié au maintien des informations visuelles et spatiales (mémoire à court terme), et la mémoire de travail visuospatiale est alors composée du calepin visuospatial et de l'administrateur central (A. D. Baddeley et al., 2021; Hitch et al., 2020).

Un rôle inattendu du système visuospatial dans la compréhension apparaît dans le cadre d'une étude sur la compétence grammaticale dans laquelle des participants porteurs du syndrome de Williams⁸ devaient comparer une série de structures grammaticales comportant des termes spatiaux (p. ex. au-dessus, au-dessous, dans, plus court, etc.), ainsi qu'un nombre similaire de constructions non spatiales (p. ex. ni/non, X est mais Y n'est pas, etc.). Comparativement à des participants sains, le groupe Williams présentait des déficiences importantes pour les items spatiaux, contrairement aux équivalents non spatiaux (A. Baddeley, 2003; Phillips et al., 2004).

⁸ Le syndrome de Williams est associé à une altération de la mémoire de travail spatiale

2.4.1 Avantages du groupement perceptif

Il a été montré que le calepin visuospatial peut représenter des objets sous différentes résolutions : un objet peut être représenté à la fois au niveau individuel — identité de l'objet — et au niveau global — catégories d'objets, informations configurales et peut-être aussi quelques informations sur les caractéristiques grossières (T. T. Liu, 2013).

Nous avons vu que les représentations visuospatiales en mémoire de travail possèdent une structure hiérarchique. Si l'hétérogénéité d'une telle structure réduit l'efficacité de l'encodage, de la maintenance et de la récupération, son homogénéité facilite le traitement (Skrzypulec et Chuderski, 2020). Ainsi, la représentation d'objets sous une forme structurée, un ensemble, améliore la cognition visuelle (Alvarez, 2011), et l'utilisation d'une représentation hiérarchique de l'espace autorise d'exploration de vastes environnements malgré une capacité limitée de mémoire de travail (Schmajuk et Voicu, 2006).

Plusieurs expérimentations ont montré que les principes de groupement perceptifs améliorent de manière significative les performances de la mémoire de travail : la mémoire de travail visuospatiale utilise et bénéficie des principes de groupement perceptifs, notamment ceux de similarité, dans les représentations stockées (Gao et al., 2016; Kafamala et al., 2017; Peterson, 2015).

Ce support visuospatial permettrait la représentation de structures textuelles complexes. Nous avons vu que le système visuel sait élaborer une représentation globale à partir d'informations parcellaires, autant visuelles que verbales, mais

les informations visuelles conduisent à une représentation de meilleure qualité (Zimmer, 2004)

2.4.2 Imagerie mentale

Bien qu'il y ait eu des propositions de représentations propositionnelles (Pylyshyn, 2002), la théorie des modèles mentaux ou celle des images mentales sont deux conceptions du traitement visuospatial qui expliquent le mieux les données empiriques (Sima et al., 2013). La théorie des modèles mentaux (Johnson-Laird, 1972 ; Tversky, 1993) propose trois niveaux hiérarchiques de représentation. Un premier niveau propositionnel peut conduire à un modèle mental : à partir d'une représentation propositionnelle, un modèle mental de la configuration décrite est construit dont les relations structurelles entre les parties sont analogues aux relations structurelles dans le monde. Enfin, une image mentale peut être construite comme une des nombreuses projections des aspects visualisables d'un modèle mental, lui-même pensé comme une des nombreuses configurations analogiquement structurées qui sont valides compte tenu des relations propositionnelles (Sima et al., 2013).

Parallèlement, la théorie des images mentales (Stephen M. Kosslyn et al., 2006 ; Stephen Michael Kosslyn, 1994) distingue les aspects visuels des aspects spatiaux autant dans leur contenu que dans leur localisation anatomique (deux voies neurologiques). Ces deux formes de représentations sont complémentaires (Farah et al., 1988 ; Sima et al., 2013), mais sont supposées avoir une structure iconique (c.-à-d. comme des images, au moins partiellement). De façon intéressante, ce modèle pointe l'existence complémentaire d'une représentation propositionnelle (c.-à-d. comme du langage), appelée mémoire associative, qui contient des descriptions propositionnelles de la structure d'un objet ou d'une scène. Ces informations peuvent être utilisées pour construire des images mentales spatiales et visuelles (Sima et al., 2013).

Bien que nous puissions employer plus facilement la terminologie du second (imagerie mentale), ces deux modèles intègrent la possibilité de représentations multimodales, propositionnelles et iconiques, qui peut expliquer des mécanismes de représentations partielles, ou de transferts de représentations.

Car le débat peut porter sur le contenu des représentations ou porter sur la structure, c'est-à-dire le format de ce contenu. Ce dernier doit en dernier ressort permettre les traitements cognitifs et donc la question est de savoir si le format des représentations perceptives diffère de celui manipulé par la cognition, ou si perception et cognition partagent un même format (revoir Quilty-Dunn, 2019, p. 2). Quilty-Dunn (2019) rejette cette dualité au profit d'une hypothèse de pluralisme perceptuel : la perception délivre au moins deux formats de repré-

sentation, iconique et propositionnel. La mémoire de travail partagerait avec la cognition centrale un format abstrait limité en nombre d'items, alors qu'une représentation picturale holistique persisterait en lien avec les processus perceptifs (Quilty-Dunn, 2019).

A. Baddeley (2003) rapporte la mésaventure d'avoir eu du mal à conduire son véhicule tout en visualisant les actions d'un match de foot écouté à la radio. Il est en effet désormais acquis que l'imagerie mentale est supportée par la mémoire de travail (Tong, 2013) et qu'il peut donc y avoir, comme l'a expérimenté Baddeley, une compétition pour les ressources (J. Pearson et al., 2015).

2.5 Quid de la production écrite ?

Écrire un texte est une activité linguistique qui s'inscrit dans une matérialité visuospatiale : le texte produit est en effet contraint par son support et le scripteur se doit de planifier sa production pour en respecter les limites (Olive, Lebrave et al., 2010). Lors d'enregistrements oculométriques, il a été observé que les scripteurs passent en moyenne environ 13 % de leur temps à se replonger dans la partie déjà écrite. Et le tiers de ces retours en arrière est associé à une lecture soutenue, le reste à des saccades moins structurées (Torrance et al., 2016). Les auteurs suggèrent un rôle important dans la planification de la suite du texte à écrire.

Parallèlement, nous avons vu que la signalisation pourrait être tout autant instruction à l'intention du lecteur que trace du processus de production (pour une revue de cette question voir Lemarié, 2008), car il faut bien constater qu'avant d'être lus, les textes sont d'abord écrits, et que la signalisation typo-dispositionnelle doit donc aussi trouver lors de la production écrite quelque support visuospatial qui en autorise l'expression.

Et il a été effectivement suggéré que la production écrite mobiliserait des compétences visuospatiales dès la phase de planification, tant au niveau de l'organisation de la trace sur le support, que du contenu si celui évoque des éléments visuels (description d'un monument par exemple, mais aussi de l'organisation thématique (structure du texte) (Olive, 2014 ; Olive, Lebrave et al., 2010 ; Olive et Passerault, 2012)

On trouve donc là quelques arguments en faveur de processus similaires tant à la production qu'à la lecture. On peut en effet raisonnablement imaginer que la production d'une signalisation typo-dispositionnelle mobilise les composantes visuospatiales de la mémoire de travail puisqu'elle aussi doit pouvoir s'exprimer dans l'espace du support.

2.6 Conclusion

Dans sa conquête de l'espace graphique, le langage exploite l'ensemble des possibilités offertes par la cognition visuelle, sans se limiter aux représentations strictement linguistiques :

- tout d'abord, la discrimination fine, qui permet une densité importante d'information propre à assurer la représentation verbale dans la zone fovéolaire et parafovéolaire ;
- ensuite, le déploiement dans cet espace graphique disponible d'une partie de la structure textuelle.

Il a été observé que, si le langage est un merveilleux outil de communication, il est largement surestimé en tant qu'outil de pensée. Parce que nous sommes constamment exposés au langage, nous pensons qu'une pensée verbale domine notre existence (Reed, 2010, p. 1). Il est suggéré que le langage ait pu évoluer sur des bases de cognition spatiale, présente bien plus tôt dans l'histoire cognitive (Arsenijevic, 2008 ; Levinson, 2023) ce qui pourrait expliquer que le langage exploite avec tant d'aisance l'expression sémiotique qu'autorise l'écrit.

Donald (1991) nous dit que la lecture va alors mobiliser des techniques spécifiques d'exploration et de traitement cognitif de cette interaction complexe entre un contenu et une signalisation textuelle, car un mot écrit alphabétiquement peut être un phonogramme, mais il peut aussi être perçu comme un idéogramme, ou un logogramme ; de même un paragraphe ou une section entière, peuvent être des idéogrammes. Et nous pouvons ensuite manipuler ces idéogrammes pour produire de nouveaux contenus. Cette idée de la structuration visuelle est portée par une sémiotique indexicale qui hiérarchise des secteurs spatiaux.

Nous voulions ici démontrer que la cognition dispose de tous les outils nécessaires pour traiter la signalisation typo-dispositionnelle : des mécanismes de capture, ou de priorité, attentionnelle vont permettre d'allouer plus efficacement les ressources disponibles là où elles peuvent être nécessaires. Parallèlement, la perception visuelle offre, grâce au groupement perceptif, des structures visuelles analogues aux structures textuelles. Au fil de son évolution, le langage écrit semble donc bien avoir capitalisé l'ensemble des ressources de la modalité visuelle pour exprimer certes du langage, mais aussi de la pensée.

L'état actuel des connaissances permet donc de supposer, et donc d'inviter à approfondir, le rôle de ces mécanismes visuospatiaux dans la compréhension écrite. Ce rôle semble dépasser celui d'offrir un support temporaire à l'élaboration de l'information, pour, plus probablement, offrir aussi des structures de représentations adaptées à une structure hiérarchique complexe qu'un codage propositionnel pourrait avoir du mal à concrétiser.

3

Compléments et problématique

NOTRE démarche est sous-tendue par le constat que, poussé par une impérieuse nécessité de traiter des textes de complexité croissante, le langage écrit a développé des techniques qui exploitent un système de signes qui n'est pas celui du texte lui-même. Cette signalisation déploie dans l'espace graphique certains des éléments métatextuels avec un double objectif : réguler l'attention du lecteur et expliciter la structure textuelle.

Nous avons déjà souligné que l'automatisation de la lecture détourne l'attention du processus l'élaboration du sens vers une sémantique exclusive du discours écrit qui ne corrobore toutefois pas l'expérience de lecture : nous avons vu les bénéfices sur la compréhension d'une signalisation typo-dispositionnelle et il suffit d'imaginer ce document dénudé de cette signalisation (pas de marques de paragraphes, pas de sections, de titres, etc. juste du texte...) pour en réaliser l'importance. Des éléments de l'histoire du langage écrit, nous pouvons penser que ceci a d'abord été mobilisé sur des textes expositifs avant d'être appliqué à des catégories plus diverses et moins académiques (publicité, consignes...).

Au cours de notre réflexion, nous avons explicité l'existence de deux fonctions sémiotiques, et donc deux classes de signaux, selon qu'ils réfèrent au contenu textuel (fonction symbolique) ou à sa structure (fonction indexicale), et envisagé des processus différenciés, visuo-attentionnels et perceptifs, pour leurs traitements. Mais convoquer la cognition visuelle dans la lecture n'est pas une nouveauté.

En effet, parce que la lecture, dès lors qu'elle est motivée par la compréhension du texte lu, c'est-à-dire la construction d'une représentation cohérente de la situation décrite par le texte (cf. *supra*), peut être pensée comme un *apprentissage*, c'est-à-dire une activité qui induit un changement dans le système

de connaissance de l'apprenant (Mayer, 2009, p. 60). Nous nous intéresserons donc à la théorie de l'apprentissage multimédia (*Theory of Multimedia Learning*, Mayer, 2009, 2014) qui repose sur le principe que le traitement du langage écrit ne se fait pas sans impliquer la modalité visuelle.

Nous aborderons aussi la suggestion que le lecteur construit une représentation structurale parallèle aux différents niveaux de représentations du texte afin d'en permettre l'exploration itérative (Payne et Reader, 2006) avant de nous pencher sur l'idée d'un transfert de complexité d'une modalité à l'autre.

3.1 Apprentissage multimedia et double codage

Par *multimédia*, Mayer entend tout dispositif d'apprentissage conjuguant des éléments de modalités différentes. Fondé sur la théorie du double codage (Paivio, 1990, mais aussi plus récemment Sadoski et Paivio, 2013), l'apprentissage multimedia capitalise les ressources des composantes verbale et visuospatiale de la mémoire de travail pour construire des représentations de la situation décrite par un contenu verbal, oral ou écrit, et les images-animations associées. Ces représentations sont ensuite interliées en une représentation intégrée et cette association de représentations multiples offre la possibilité de répartir la charge cognitive entre les différentes composantes et ainsi faciliter la compréhension (figure 3.1 page ci-contre).

Trois processus sont impliqués. Tout d'abord, la sélection de l'information, celle-ci pouvant provenir des modalités auditive ou visuelle (à gauche sur la figure 3.1). Cette sélection n'est pas arbitraire et implique une transformation du format de l'information entre l'entrée sensorielle et une représentation construite en mémoire de travail. Notons que, dans le cas particulier du langage écrit, Mayer (2014) précise que les mots sont d'abord perçus et reconnus par le système visuel, pour transiter ensuite vers une représentation auditivo-verbale en mémoire de travail.

Un processus d'organisation au sein de chaque modalité établit ensuite les connections pertinentes entre les éléments sélectionnés. Des transferts entre modalités sont possibles (p. ex. imager un mot lu) et ce processus aboutit à la construction d'un modèle verbal et d'un modèle *pictural*, dont le sens est compris ici dans une acception iconographique large, non limitée à la peinture.¹

Ces représentations, verbales et picturales, sont ensuite intégrées avec les connaissances préalables, extraites de la mémoire à long terme, pour aboutir à une représentation globale. Ce processus d'intégration est considéré comme coûteux et requiert l'utilisation efficace des ressources cognitives (Mayer, 2009, p. 75).

Car les ressources limitées de chacun des constituants de la mémoire de travail permettent d'expliquer tout autant les limites que les bénéfices d'une telle

¹ proche du sens anglo-saxon de « *pictorial* : *suggesting or conveying visual images* » (Merriam-Webster Dictionary)

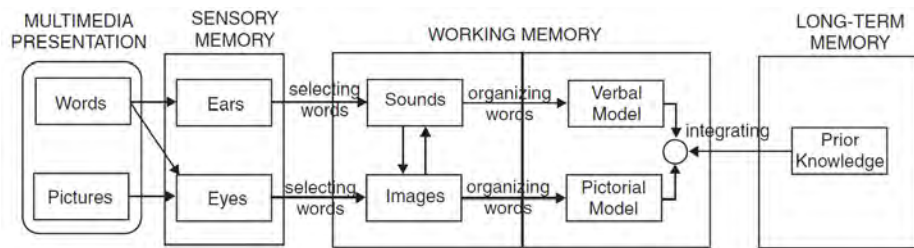


FIGURE 3.1 – Modèle de l'apprentissage multimédia (extrait de Mayer, 2009, p. 61)

répartition du traitement et Mayer (2009, p. 57) retient les trois types classiques de charge cognitive :

- extrinsèque : qui ne sert pas directement l'objectif d'apprentissage ;
- intrinsèque : qui est nécessaire au traitement du matériel d'apprentissage, à la construction de représentations en mémoire de travail, liée à la complexité propre du matériel ;
- essentielle : qui permet un traitement profond, l'organisation et l'intégration.

Un bon support d'apprentissage vise donc à réduire la charge extrinsèque (inutile, consommatrice de ressources), participe à bien gérer la charge intrinsèque (utile, spécifique au matériel) et privilégie la charge essentielle (indispensable au traitement profond).

Cette théorie de l'apprentissage multimédia repose donc sur une représentation multimodale issue de la théorie du double codage (Paivio, 1990). Celui-ci postule une double représentation intégrée associant des images mentales (« imagens », ou modèle pictural chez Mayer) et des entités verbales (« logogens », ou modèle verbal chez Mayer) qui s'intègrent en trois étapes similaires à celles décrites ci-dessus pour l'apprentissage multimédia. La figure 3.2 page suivante illustre plus clairement les représentations mobilisées : elles forment des structures associatives sur le plan modal (c.-à.d. intra-logogens, ou intra-imagens) et des structures référentielles sur le plan cross-modal.

L'apprentissage multimédia est un cadre solide (Ayles, 2015), de même que la théorie du double codage qui s'appuie désormais sur de nombreuses validations empiriques. Par exemple, Zwaan, Stanfield, et Yaxley (2002) ont présenté des phrases dans lesquelles la forme de l'un des objets varie. Par exemple dans « The ranger saw the eagle in the sky » et « The ranger saw the eagle in its nest »,² les aigles ont les ailes déployées dans le premier cas alors qu'elles sont repliées dans le second. Ensuite, une image était présentée (une image d'aigle dans le cas présent) dont la forme (les ailes ici) pouvait être soit compatible (ailes déployées) soit incompatible (ailes repliées) avec la phrase : les résultats ont montré que la reconnaissance ou la dénomination de l'image était plus rapide lorsqu'il y avait compatibilité entre la phrase et l'image. Tout se passe comme si la compréhension de la phrase dans son entier induisait une simulation visuelle de la forme décrite,

² « Le garde forestier a vu l'aigle dans le ciel » vs « ...dans son nid »

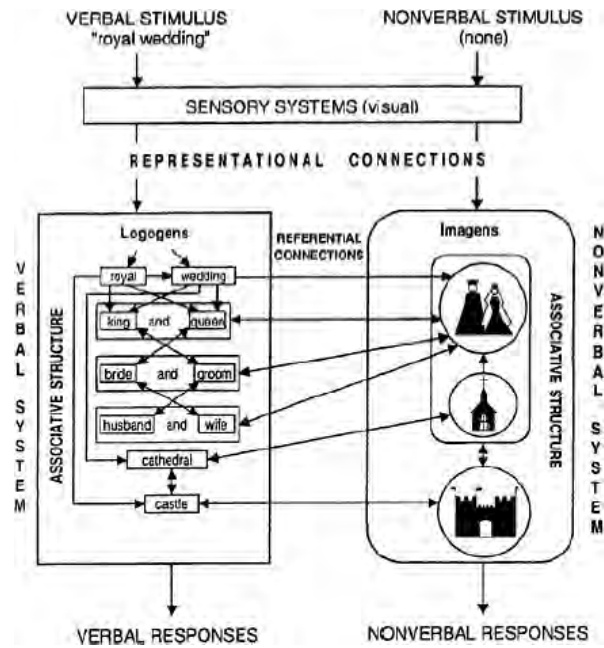


FIGURE 3.2 – Théorie du double codage (tiré de Sadoski et Paivio, 2013, p. 58)

et que cette simulation facilitait la reconnaissance de cette forme (voir aussi Borghi, Glenberg, & Kaschak, 2004 ; Dils & Boroditsky, 2010).

Ce cadre a par la suite été spécifiquement appliqué à la lecture de textes illustrés (Schnotz, 2005). Dans la lecture de textes expositifs complexes, l'information imagée améliore la compréhension (Marcus et al., 1996 ; Schnotz, 2005). Les ressources disponibles en mémoire de travail participent également de la compréhension : des étudiants à forte compétence spatiale bénéficient plus d'un support multimédia que les étudiants à faible compétence (Mayer, 2014).

Retenons donc que la compréhension écrite mobilise donc la modalité visuelle pour au moins deux raisons : une première pour l'indispensable décodage des mots écrits (accès lexical), une seconde pour la construction conjointe de représentations verbales et picturales du contenu. L'apprentissage multimédia peut être pensé en l'absence d'éléments picturaux associés au texte. Dans ce cas, le contenu textuel reste la source des représentations générées, verbales comme picturales.

Ceci est important, car le double codage pourrait alors entrer en concurrence avec d'autres traitements visuospatiaux, comme celui que nous supposons pour la signalisation typo-dispositionnelle. Dans une expérience de Master que nous allons maintenant évoquer, nous avons tenté de vérifier la mobilisation du calepin visuospatial dans le traitement d'une signalisation typographique en mobilisant justement l'imagerie visuelle : nous attendions une interaction sur la mémoire de localisation.

3.2 Signalisation et mémoire de localisation

La mémoire de localisation de mots renvoie à l'habileté d'un lecteur à retrouver dans un texte des mots ou des concepts avec une performance supérieure au hasard. Bien qu'une reconstruction de la structure narrative soit toujours possible, ce souvenir de localisation repose en priorité sur une mémoire visuo-spatiale qui associe l'information textuelle à sa localisation dans le texte (pour une revue voir Le Bigot, Passerault et al., 2010).

Dans notre première expérience de Master (Maillet, 2015), nous avons utilisé comme variable dépendante le souvenir de la localisation des mots d'un texte lu afin de mettre en évidence qu'une partie tout au moins du traitement cognitif du signal visuel est dévolue à la composante visuospatiale de la mémoire de travail. Nous postulions que des mots signalés seraient mieux localisés que des mots non signalés, mais que cet effet serait toutefois modéré par le contenu textuel : si celui-ci mobilisait les ressources visuospatiales de la mémoire de travail (avec un texte et une consigne invitant à l'imagerie mentale), alors la compétition pour les ressources disponibles devait limiter la performance de localisation de mots.

La démarche expérimentale s'organisait donc autour de la recherche de l'effet d'une signalisation typographique (mots en italique) sur la compétence du lecteur à se souvenir préférentiellement de la localisation de mots signalés visuellement. Une première hypothèse proposait que les mots signalés par une mise en forme visuelle seraient mieux localisés que les mots non signalés. Nous avons ensuite placé le lecteur en situation de double tâche au sein du calepin visuospatial en introduisant un contenu textuel sollicitant l'imagerie visuelle. Ceci nous permettait de tester une seconde hypothèse de dégradation de la performance de localisation.

Soixante-deux étudiants ont participé à cette expérience en passations collectives. Après lecture d'un texte dont le contenu spatial ou non spatial a été contrôlé, nos participants étaient invités à une tâche de mémoire de localisation de mots, certains signalés (mots en italique), d'autres non : le lecteur devait inscrire chacun d'eux sur une feuille quadrillée à l'endroit précis où il pensait l'avoir lu. La moitié des mots était signalés dans le texte (mise en italique), l'autre moitié était non signalée. Un mot était correctement localisé si la case origine de la localisation rappelée était située à l'intérieur d'un carré d'environ 4 cm de côté autour du début du mot cible (voir principe figure 3.3 page suivante).

Une analyse de variance prenant en compte les deux facteurs constituant cette étude révélait un effet d'interaction « contenu * signalisation » ($F(1, 61) = 9.914$, $p = .003$). Une comparaison par paire rapportait une différence significative du facteur signalisation lorsque le contenu est non spatial ($p < .001$) et du facteur contenu lorsque les mots sont signalés ($p < .001$) :

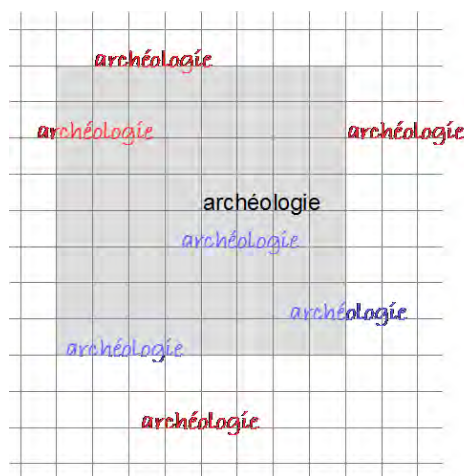


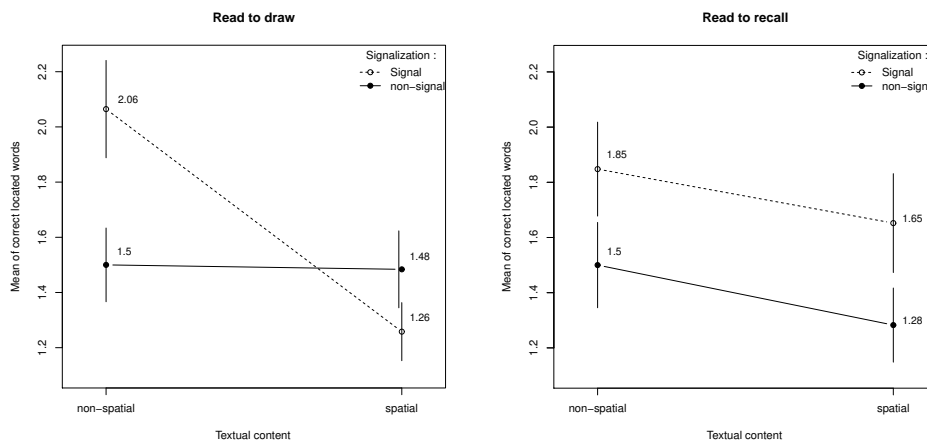
FIGURE 3.3 – Localisation de mots : en noir le mot cible, en rouge les localisations incorrectes, en bleu les localisations correctes (extrait de Maillat, 2015, p. 18)

- Les mots signalés par une mise en forme visuelle sont mieux localisés que les mots non signalés ;
- Lorsque le texte a un contenu spatial, on observe une action très spécifique de l'effort d'imagerie visuelle sur le contenu signalé.

Nous attendions une interaction que nos résultats mettaient effectivement en évidence : dans le cas d'un texte non-spatial, les mots signalés sont mieux localisés que les mots non signalés, mais cet effet disparaît dans le cas du texte spatial (figure 3.4a page suivante). Cette dégradation observée de la performance de localisation des mots signalés dans le cas du texte spatial suggérait donc un traitement spécifique de la signalisation visuelle par le calepin visuospatial (Maillat, 2015).

Une critique intéressante de ce travail portait sur la différence de consigne entre les lectures des textes spatiaux et non spatiaux. Ce biais de consigne pouvait orienter l'interprétation vers une charge cognitive non spécifique de la composante visuospatiale : dans le cas du texte spatial, les participants étaient en effet invités à « lire pour dessiner », alors qu'ils étaient simplement invités à « lire pour rappeler » pour le texte non-spatial.

Nous avons donc répliqué cette étude en homogénéisant la consigne à « lire pour rappeler » dans les deux contenus textuels. Nous constatons une perte de l'effet d'interaction (figure 3.4b page ci-contre) et un effet marginal de la signalisation, probablement par manque de puissance (effectif réduit). Ce résultat peut alors remettre en cause notre interprétation première, sans toutefois lever complètement l'ambiguïté : sans consigne explicite, l'absence d'interaction peut tout aussi bien découler d'un investissement moindre de nos lecteurs à mobiliser une imagerie mentale coûteuse lors de la lecture du texte à contenu spatial, certains auteurs soulignant la difficulté à mobiliser les composantes visuospatiales



(a) Étude initiale avec consigne spécifique « lire pour dessiner »

(b) Réplication avec consigne homogène « lire pour rappeler »

FIGURE 3.4 – Performance de localisation de mots en fonction du contenu textuel et de la signalisation (Maillet, 2015)

en évitant des stratégies alternatives, notamment verbales (voir Olive, Lebrave et al., 2010 ; Sadoski et Paivio, 2013).

L'hypothèse d'une représentation complémentaire aux représentations textuelles, une carte structurale, un index entre le texte et les représentations construites venait appuyer notre démarche.

3.3 Carte structurale

L'apprentissage de sources textuelles multiples est aujourd'hui une activité courante. C'est toutefois une lecture qui requiert des retours itératifs sur les textes pour les confronter aux représentations élaborées. S'appuyant sur une série de trois expérimentations dédiées à la compréhension de documents multiples, Payne et Reader (2006) suggèrent que le lecteur construit implicitement une « carte structurale » (figure 3.5 page suivante) qui indexe les constituants des représentations mentales avec leurs localisations sur les documents. Les auteurs soulignent l'importance de telles cartes au cours de l'exploration de l'ensemble des documents, car elles vont permettre la relecture choisie et la mise à jour des connaissances.

La différence entre « structural » et « structurel » peut être subtile : le second renverrait simplement à discuter de structures, ou d'éléments de structures, alors que le premier semble impliquer un niveau d'abstraction supplémentaire, visant à évoquer des représentations qui auraient la forme de structures, plutôt qu'une autre forme. « Carte structurale » est alors entendu comme une carte qui vise à représenter des structures.

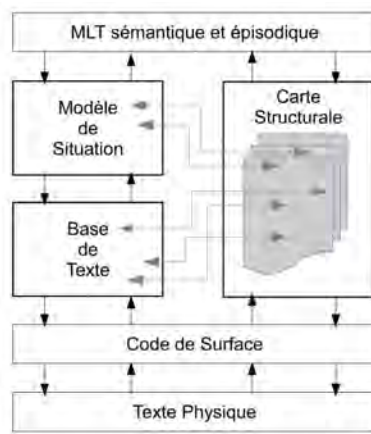


FIGURE 3.5 – Modèle d'une carte structurale (adapté de Payne et Reader, 2006)

Cette carte structurale permet de penser l'expression de la structure et l'index spatial associé aux éléments du texte (mots, concepts) susceptibles d'être relocalisés, mais aussi l'intérêt de proposer les informations de structure qui manquent lors de la navigation Web (Li et al., 2013).

Le double code et la mémoire de localisation mettent donc en évidence l'implication des composantes visuospatiales dans le traitement du langage proprement dit. Parallèlement, et bien que cela puisse sembler contre-intuitif, il a été remarqué que la signalisation typo-dispositionnelle tendait à complexifier la structure visuelle de la page. Il nous faut donc nous attarder sur cette notion de complexité visuelle.

3.4 Complexité visuelle

On peut retenir deux acceptions principales de la complexité. La première, plutôt structurale, considère un objet comme complexe dès lors qu'il est constitué de plusieurs parties : sa complexité croît alors avec le nombre ou la diversité de ses constituants. La seconde renvoie plus spécifiquement à la difficulté de traitement qu'aurait un objet complexe : la complexité d'un objet croît avec son coût cognitif par exemple (Pallotti, 2015).

La théorie de la complexité visuelle capitalise sur la première acception et naît de l'idée que la plupart des images contiennent de la redondance : une image est alors plus complexe dans la mesure où elle contient moins de redondance (Donderi, 2006).

Des opérationnalisations complexes ont pu être proposées (voir par exemple une mesure neurophysiologique chez Georges et al., 2015), mais Pieters et al. (2010, p. 50) proposent une opérationnalisation accessible de cette complexité visuelle en retenant deux indices. Un premier indice de complexité des caractéristiques (*feature complexity*) veut capturer les variations non structurées des

caractéristiques visuelles de base — nombre et orientation des traits, intersections, etc. — induisant une certaine confusion visuelle dans une image constituée de détails différents. L'auteur propose des exemples d'images publicitaires dont nous reprenons deux exemples figure 3.6a page suivante pour des caractéristiques de base simples, et figure 3.6b page suivante pour des caractéristiques de base complexes.

Dans le cas d'un texte écrit, la lettre « F » est moins complexe que la lettre « E », car cette dernière comporte un trait supplémentaire. Il en sera de même pour des variations typographiques des lettres : si le texte comprend une signalisation typographique (italique, grasse, etc.) cela induira une augmentation de la complexité des caractéristiques visuelles de base.

L'opérationnalisation de cet indice pourrait être laborieuse si l'on devait comptabiliser manuellement les caractéristiques présentes, mais les logiciels de compression (ZIP par exemple, ou plus spécifiquement JPG pour les images) constituent une alternative intéressante, car, par conception, ils tirent parti des régularités d'une image en constituant tout d'abord un dictionnaire des caractéristiques primitives de l'image, pour ensuite simplement décrire la répétition de ces caractéristiques dans l'image. La taille finale du fichier compressé devient donc un bon indicateur de cette complexité des caractéristiques visuelles (Pieters et al., 2010).

Un second critère s'attache à la conception globale (*design*) et exploite les variations structurées de formes spécifiques, d'objets et de leur disposition dans l'image. Concernant ce critère, l'auteur retient six critères (voir deux exemples figure 3.6 page suivante).

- la quantité d'objets présents ;
- la régularité de ces objets (figure 3.6c page suivante) ;
- leur similarité (figure 3.6d page suivante) ;
- la présence plus ou moins importante de détails ;
- la symétrie ;
- l'organisation spatiale, régulière ou irrégulière.

Pour chacun de ces critères, deux modalités : haute complexité (codé 1) ou basse complexité (noté 0), ce qui donne un score global de complexité de conception sur 6 points.

L'application au texte écrit peut se faire sans trop de difficultés. Concernant le dernier critère de conception d'organisation spatiale par exemple, nous pourrions considérer qu'une page constituée uniquement de paragraphes indentés présente une organisation spatiale régulière. Mais si des titres de sections sont présents, nous pourrions considérer que l'organisation spatiale n'est plus régulière.

Dans la publicité, il a été remarqué qu'augmenter la complexité de conception favorise l'attention et la popularité, mais qu'augmenter la complexité des caracté-

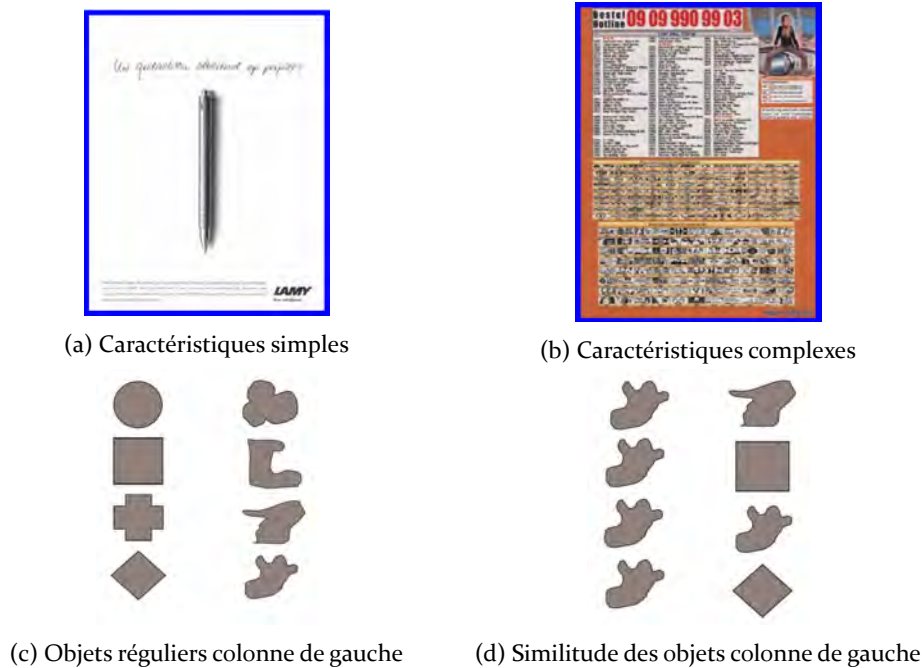


FIGURE 3.6 – Complexité visuelle : caractéristiques (en haut) et conception (en bas)
(extrait de Pieters et al., 2010, pp. 49, 51)

ristiques y est défavorable (Pieters et al., 2010). Dans le cas qui nous intéresse ici, et bien que cela puisse paraître contre-intuitif, l'application des critères présentés ci-dessus semble induire qu'un texte signalé discursivement (ou non signalé) est visuellement plus simple qu'un texte signalé typo-dispositionnellement qui peut présenter de nombreux éléments disparates (titres de sections, listes) ainsi qu'une organisation plus irrégulière (voir nos exemples introductifs figure 1 page 2).

3.5 Problématique et démarche empirique

Dans l'histoire récente de la compréhension écrite, nous avons assisté à l'évolution d'une notion pragmatique, la mise en forme du texte, vers sa conceptualisation sémiotique, la *signalisation textuelle*, qui distingue deux composantes : un signifiant, la mise en forme du texte, réalisation du signal, et un signifié, les éléments métatextuels, la macrostructure (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008).

Ce cadre conceptuel autorise l'appréhension de deux formes souvent intriquées de réalisation de cette signalisation. Une réalisation discursive, qui exprime textuellement les éléments métatextuels, comme dans « Notre argumentation repose sur trois points. Le premier,... », et une réalisation qui mobilise des dispositifs de mise en forme et de disposition typographique des éléments textuels sur la page, une *réalisation typo-dispositionnelle*. Souvent intriqués, car

un titre par exemple est bien un élément discursif, typographiquement autant que dispositionnellement distingué sur la page.

Les documents publicitaires, les menus de restaurants, les consignes de montage, etc., sont autant d'exemples où une signalisation typo-dispositionnelle importante est mise à l'œuvre, mais parce qu'il faut bien en délimiter le contour, notre réflexion reste centrée autour d'un type de textes mobilisant particulièrement la signalisation, les textes expositifs, sans que nos conclusions soient pour autant limitées à cette typologie.

Nous avons vu que la cognition visuelle disposait de processus et de structures susceptibles de rendre compte du traitement de cette réalisation typo-dispositionnelle. Nous avons aussi vu, qu'au-delà des processus visuels dédiés à la reconnaissance des mots, la modalité visuelle a aussi été pensée dans la compréhension écrite, avec la représentation intégrée proposée par le double code (Sadoski et Paivio, 2013), mais aussi dans des représentations intermédiaires (carte structurale) qui permettent le retour sur le contenu textuel (Payne et Reader, 2006). On peut se demander si une partie de la complexité du texte expositif serait transférée dans la modalité visuelle : ce serait alors juste un équilibre entre les deux sémiotiques, linguistique et graphique, une répartition des complexités, mais au final on aurait la même "quantité" d'information.

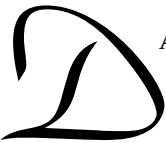
Nous formulons donc un certain nombre d'hypothèses :

- Puisque la vision centrale est mobilisée dans l'accès lexical, nous devrions trouver dans la perception périphérique des éléments susceptibles de traiter la signalisation typo-dispositionnelle : le chapitre 4 tente une approche computationnelle afin de vérifier si la vision périphérique autorise l'extraction de l'information de structure d'une signalisation typo-dispositionnelle.
- Puisque traitement visuospatial il y a, il est probable que la mémoire de travail visuospatiale soit mobilisée et le chapitre 5 tente de répondre à cette question en appliquant un paradigme double tâche.
- Si la composante visuospatiale de la mémoire de travail traite la signalisation typo-dispositionnelle, on peut craindre une compétition pour les ressources si d'autres facteurs, comme le contenu textuel, tendent aussi à charger cette composante : le chapitre 6 tentera d'aborder cette interaction.

SUPPORT
EMPIRIQUE

4

Perception périphérique de la signalisation dispositionnelle

ANS la lignée des travaux initiés par Cauchard (2008) et Cauchard et al. (2006), nous faisons ici l'hypothèse qu'une signalisation typo-dispositionnelle de l'organisation structurelle du texte est accessible en vision périphérique, c'est-à-dire que le lecteur est à même d'extraire de l'information visuelle périphérique la structure signalée.

S'il a en effet été montré que, pendant la lecture, la seule information textuelle utile se situe uniquement sur la ligne en cours, autour du point de fixation (empan perceptif, Rayner, Pollatsek et al., 2012), le lecteur semble toutefois bénéficier d'indices visuels au-delà de la ligne lue : en utilisant la technique de la fenêtre mobile Cauchard (2008) et Cauchard et al. (2006) suggèrent que « ...de l'information utile à la compréhension peut être extraite au-delà de la ligne de texte lue, lorsque le texte contient des signaux visuels » (Cauchard et al., 2006, p. 6).

Les auteurs ont utilisé des textes signalés discursivement ou typo-dispositionnellement, dans deux conditions de lecture. En condition de lecture « normale », l'ensemble du texte était correctement affiché sur l'écran. En condition « fenêtre », seule une partie du texte autour du point de fixation, dynamiquement redessinée à chaque fixation, était affichée sur l'écran (figure 4.1 page suivante). L'hypothèse est alors qu'en condition « fenêtre », l'absence d'information visuelle périphérique doit affecter négativement le temps de lecture et le nombre de thèmes rappelés, et c'est effectivement ce que constatent les auteurs qui concluent que

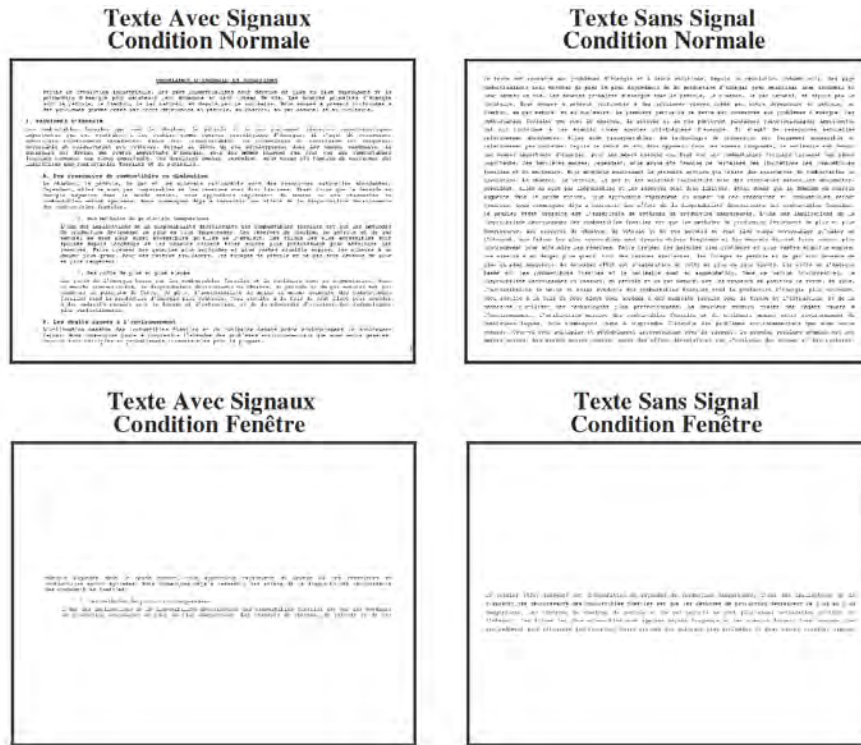


FIGURE 4.1 – Technique de la fenêtre mobile utilisée sur des textes signalés typo-dispositionnellement (avec signaux) ou discursivement (sans signal) (extrait de Cauchard et al., 2006, p. 3)

l’empan perceptif dans la lecture doit comprendre des informations périphériques, sans se limiter à la ligne lue.

Nous avons souhaité élaborer sur ce résultat en vérifiant si le lecteur pouvait effectivement extraire de sa vision périphérique les informations de structure signalées par des titres, sous-titres et indentations de paragraphes.

Il n’est toutefois pas aisé de concevoir et réaliser une expérience comportementale qui contraigne un lecteur à ne pas utiliser sa vision centrale et la technique de la fenêtre mobile utilisée par Cauchard est ici une approche difficile à mobiliser : nous aurions en effet besoin de l’inverse, une zone centrale de non-vision qui suivrait le regard du lecteur, forçant une vision uniquement périphérique, tout en conservant une activité de lecture (?!).

Compte tenu de cette difficulté expérimentale et dans le contexte des restrictions dû au Covid-19, un modèle computationnel à base de réseau de neurones pouvait être une alternative intéressante.

4.1 Pertinence d’une approche computationnelle

Avec Goldman et al. (2007), nous considérerons que le terme *modèle* renvoie à une représentation des processus cognitifs qui nous intéressent, et que les

modèles computationnels en sont une catégorie qui peuvent être exécutés sur ordinateur, bénéficiant en cela d'une puissance de calcul importante et nécessaire pour saisir des processus complexes en fournissant des données simulées, mais susceptibles d'être comparées à celles issues de l'expérimentation réelle avec des humains.

Cet effort contemporain de formalisations des théories se développe dans tous les domaines de la psychologie : on a par exemple des applications à l'attention visuelle (Bottemanne et al., 2022 ; Tsotsos et Rothenstein, 2011), ou même en psychologie clinique (Sharp et Eldar, 2019). Plus spécifiquement dans le champ de la compréhension écrite, un modèle informatique de l'exploration visuelle selon les stratégies de recherche d'informations sur du matériel textuel est considéré par ses auteurs comme « ...apport[ant] une contribution unique à l'étude des processus cognitifs impliqués » (Chanceaux et al., 2014, p. 1 ; voir aussi Lemaire et al., 2011).

Les modèles computationnels sont fréquemment utilisés dans l'étude de la lecture (pour une revue, voir Reichle, 2015). Ils permettent de formaliser et tester des hypothèses en utilisant des simulations informatiques. Ils sont utiles, car ils peuvent aider à identifier les mécanismes sous-jacents de processus cognitifs complexes et difficilement accessibles avec des expériences comportementales. Si l'on fait abstraction de l'exotisme du nom, les réseaux de neurones sont essentiellement une fonction mathématique titanesque et ils ont très précocement été utilisés pour valider des hypothèses sur le fonctionnement cognitif.

Dans le domaine de la vision, l'hypothèse de deux voies neurologiques distinguant les traitements de l'information visuelle et spatiale a été testée sur un tel modèle. Le principe en est rappelé figure 4.2 : une forme graphique simple, à gauche sur la figure, est analysé par le double réseau pour obtenir sa localisation, en haut à droite sur la figure, et son identification, en bas à droite sur la figure (Rueckl et al., 1989). Les auteurs mettaient en évidence le bénéfice d'un double réseau et les résultats des simulations venaient confirmer les données neuropsychologiques, démontrant l'économie de puissance de calcul d'une séparation des deux voies.

Plus particulièrement, P. Wang et Cottrell (2017) rappellent qu'une certaine catégorie de réseaux, les réseaux de neurones à convolution (CNN, *convolutional neural networks*), constituent l'état de l'art dans le domaine de la vision par ordinateur. Ce sont d'excellents modèles du cortex visuel primaire, capables de prédire une grande variété de données chez le singe autant que chez l'humain. Ils obtiennent d'excellentes performances sur des tâches de reconnaissance de scènes visuelles ou de détection d'objets, et démontrent ainsi l'importance relative de la vision périphérique sur la vision centrale en répliquant sur un réseau

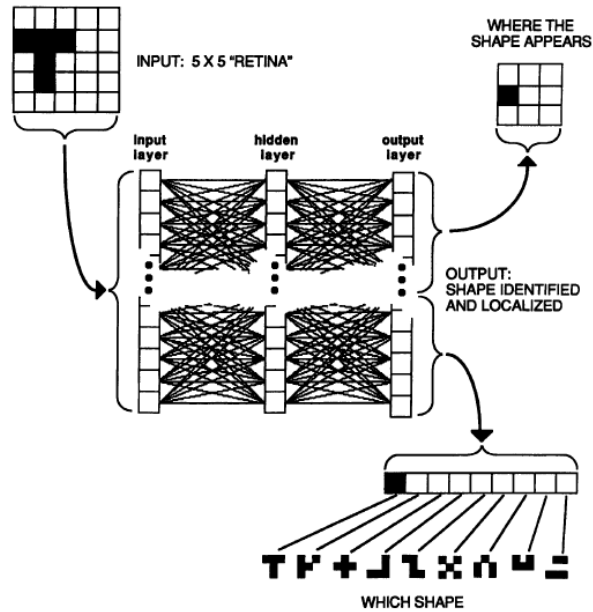


FIGURE 4.2 – Principe de l'approche computationnelle : modèle utilisé par Rueckl et al. (1989, p. 173)

de neurones les données expérimentales de Larson et Loschky (2009) sur ces mêmes tâches.

4.2 Question adressée

Nous cherchons donc ici à consolider l'hypothèse de Cauchard (2008) en faisant une double constatation :

- l'information textuelle mobilise une sémiotique linguistique qui n'est accessible qu'en vision fovéolaire : ceci concerne donc le contenu textuel primaire, le message, mais aussi la signalisation réalisée discursivement ;
- la signalisation typo-dispositionnelle mobilise une sémiotique graphique qui n'exige pas cette discrimination fine, ce qui peut permettre son interprétation par la vision périphérique.

Le premier point justifie que l'on ait jusqu'alors considéré un empan perceptif, c'est-à-dire une zone utile à la lecture, limitée à une douzaine de caractères au-delà du point de fixation, car cette évaluation était conditionnée par la vision centrale. Le second point peut expliquer le bénéfice constaté par Cauchard (2008) et, en accord avec cette hypothèse, on remarque que la présence de titres dans un document tend à réduire le nombre de fixations oculaires sur le texte, ce qui est interprété par les auteurs comme une réduction du besoin d'une deuxième lecture du matériel textuel lorsque des titres sont utilisés (Scaltritti et al., 2019; Wiley et Rayner, 2000).

En utilisant un réseau de neurones convolutifs (ResNet-101), nous voulons démontrer que l'écrit peut tirer avantage de la vision périphérique dans la mise en œuvre d'une signalisation typo-dispositionnelle. Nous avons utilisé des *pseudotextes*, c'est-à-dire des textes dont le contenu textuel importait peu, mais dont nous pouvions modéliser la mise en forme conditionnée à une structure hiérarchique donnée. Nous avons appris au réseau de neurones à extraire cette structure hiérarchique dans deux conditions de signalisation, discursive¹ ou typo-dispositionnelle. Dans ces deux conditions, le réseau apprend très efficacement à extraire la structure hiérarchique du pseudotexte (respectivement 99 et 95 %). La question qui émerge est alors de savoir si cette performance se maintient en simulant la vision périphérique, c'est-à-dire en forçant le réseau dans des conditions de vision dégradée.

En mettant en œuvre une forme fruste de pseudotextes signalés, une première simulation nous a permis de valider le principe de la simulation que nous avons repris sur une deuxième simulation plus complexe.

¹ « pseudo-discursive » puisque nous utilisons du pseudotexte

4.3 Expérience 1 : pseudotextes simples

La simulation de réseaux de neurones sur ordinateur est coûteuse en puissance de calcul (Justus et al., 2018 ; Thompson et al., 2022). Un premier modèle visant à valider notre principe méthodologique a donc été évalué : pour simuler du texte signalé, nous utilisons des lignes de caractères aléatoires, hiérarchiquement distribuées par une signalisation de type discursive (la ligne contient un chiffre qui précise son niveau hiérarchique), ou spatiale (la ligne est plus ou moins indentée selon son niveau hiérarchique).

4.3.1 Matériel

Un programme développé sous Python (v3.10) nous a permis de générer des images de pseudotextes, signalés discursivement ou typo-dispositionnellement (exemples ci-dessous et figure 4.3 page 77). Chaque pseudotexte était constitué de lignes de caractères alphabétiques aléatoires, chaque ligne étant conçue alors comme une unité textuelle. Nous avons simulé une structure hiérarchique, avec trois niveaux d'imbrication, de la façon suivante : TaTa

- Signalisation discursive : chaque ligne comportait un chiffre correspondant au niveau hiérarchique (1, 2 ou 3) disposé aléatoirement sur la ligne et visant à simuler des énoncés de type « Dans un premier temps... » :

```
OPD1HWRVMFWZFCNGNCBADAEB
GUZBJVXYPID2JYTHOFRS YEOD
QIJYZ3NFXSRUODNTODIGLITT
NMCEKRPQZRTSPQAVK2TNZJKN
```

- Signalisation typo-dispositionnelle : l'indice numérique était supprimé et chaque ligne était indentée d'un nombre de caractères correspondant au niveau hiérarchique correspondant, avec 0, 1 ou 2 espaces :

OPDRHWRVMFWZFCNGNCBADAEB
GUZBJVXYPIDVJYTHOFRSYEO
QIJYZKNFXSRUODNTODIGLI
MCEKRPQZRTSPQAVK2TNZJKN

Le programme générait donc des structures hiérarchiques aléatoires (figure 4.3a page ci-contre) et construisait les pseudotextes correspondants, selon les règles de constructions que nous venons de voir pour chacune des deux modalités de signalisation (exemples figures 4.3b et 4.3c page suivante).

4.3.2 Protocole

Cet ensemble de pseudotextes a servi de base de données d'entraînement à un petit réseau de neurones.² Le principe est le suivant : on présente répétitivement à l'entrée du réseau une image d'un pseudotexte, et en sortie la structure hiérarchique correspondante. Le modèle effectue une prédiction à partir de l'image en entrée, puis calcule son erreur, c'est-à-dire l'écart entre sa prédiction et la structure attendue. Cette procédure est répétée un grand nombre de fois (plusieurs centaines) et, au fil des itérations, le modèle ajuste ses paramètres afin de minimiser l'erreur (algorithmes de back-propagation). Si le processus est efficace, le réseau converge vers une valeur limite de performance.

À l'issue de cet entraînement, l'efficacité du modèle est évaluée sur un ensemble de pseudotextes qui n'ont jamais été présentés (base de données test). On espère alors que le modèle aura appris à extraire la structure à partir de l'image : si c'est le cas, le réseau de neurones aura été capable de généraliser des propriétés de l'image du texte permettant d'extraire des informations de structure.

Nous avons ensuite plus ou moins flouté (flou gaussien³) ces images de pseudotextes pour simuler la perception visuelle périphérique (figures 4.3b et 4.3c page ci-contre). Nous mettons donc en œuvre un plan factoriel 2x4, avec deux modalités de signalisation et 4 niveaux de flou gaussien (0, 5, 7 et 9).

4.3.3 Résultats

Les résultats confirment l'hypothèse de dégradation de performance du signal discursif à partir d'un certain niveau de flou (voir figure 4.4 page 78) : dans la condition de signalisation typo-dispositionnelle, le réseau de neurones reste performant à extraire la structure des pseudotextes (92 %), alors que la performance décroît au niveau chance dans le cas de la signalisation discursive. Ceci confirme l'hypothèse qu'en condition de netteté réduite (comme en vision périphérique),

² Ici trois couches. Notre réseau pour l'expérience suivante en comportera une centaine...

³ cf. infra l'intérêt du flou gaussien (p. 79)

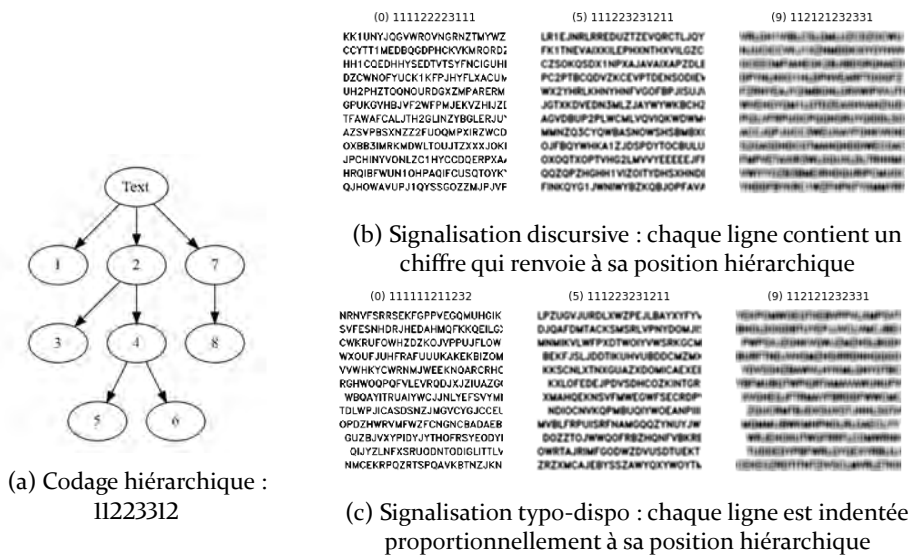


FIGURE 4.3 – (a) : extrait d’une structure hiérarchique
(b) & (c) : pseudotextes signalés : entre parenthèse le niveau de flou gaussien (0, 5, 9) suivi du codage hiérarchique de chaque ligne

un réseau de neurones reste capable d’extraire l’information de structure du texte dans la condition de signalisation typo-dispositionnelle, mais pas discursive.

Une critique de la modélisation utilisée consistait à constater l’identification de la ligne avec l’élément textuel. Nous avons donc tenté de répliquer ce résultat avec une modélisation de pseudotextes plus complexes.

4.4 Expérience 2 : pseudotextes écologiques

Élaborant donc sur les possibilités offertes par l’essai précédent, nous avons entrepris la modélisation de textes plus écologiques, c’est-à-dire se rapprochant de la structure visuelle de textes expositifs, en formatant une page sur deux colonnes et trois niveaux hiérarchiques : titres, sous-titres et paragraphes. L’aspect visuel se rapproche alors d’une page d’article (exemples figure 4.5 page 79). Le contenu reste pseudotextuel (« Lorem Ipsum », pseudotexte fréquemment utilisé en typographie pour tester les mises en pages). Nous appliquons ici un plan factoriel 2x6, avec deux modalités de signalisation et 10 niveaux de flou gaussien.

4.4.1 Matériel

Une série d’essais préalables a permis d’estimer que nous pouvions distribuer, sur une page A4, jusqu’à 35 blocs de pseudotextes comprenant un nombre aléatoire de pseudomots compris entre 10 et 25. Pour ce contenu pseudotextuel, nous utilisons un générateur de « Lorem Ipsum », texte factice souvent utilisé en typographie qui offre l’apparence et les propriétés visuelles d’un texte réel : il

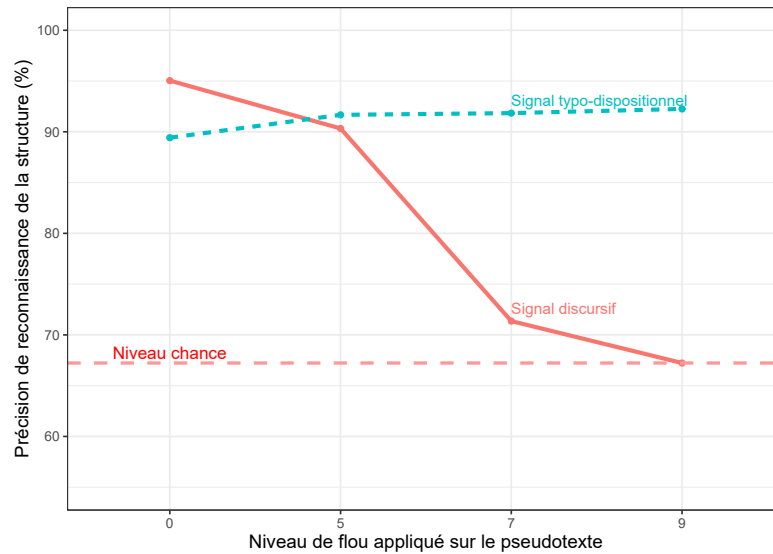


FIGURE 4.4 – Performance de reconnaissance de la structure par le réseau de neurones en fonction du niveau de flou et du type de signalisation

présente une distribution des lettres et de longueur des pseudomots similaire à celles du français avec un pourcentage d'agrément suffisant pour notre besoin (respectivement 76.4 % et 75.3 %, annexe A.5 page VIII).

Nous avons opérationnalisé les deux conditions de signalisation de la façon suivante (exemples figures 4.5 page ci-contre) :

Typo-dispositionnelle : Titre (un pseudomot) en gras, police 14 points, espaces avant et après ; sous-titre (un pseudomot) en gras, police 12 points, espaces avant et après ; paragraphe de 10 à 25 pseudomots aléatoires, justifié, police 10 points ; majuscule en début et retour à la ligne à la fin de chaque paragraphe, indentation de 10 points ;

Discursive : les mots-clés "un", "deux" ou "trois", étaient insérés en début de paragraphe, police 10 points, signifiant le niveau hiérarchique ; majuscule en début et retour à la ligne à la fin de chaque paragraphe, justifié, mais sans indentation ;

Le codage hiérarchique retranscrit la structure élément par élément. Ainsi, le code 12323... signifie que le premier élément est un titre (niveau 1), le second un sous-titre (niveau 2), le troisième un paragraphe (niveau 3), le quatrième un sous-titre (niveau 2), etc.

Afin de manipuler précisément nos exigences de formatage, cette page était générée au format PDF, dont nous extrayions une image au format JPG. Celle-ci n'est qu'une collection de pixels et ne contient donc aucune information textuelle. Nous pouvons alors appliquer différents niveaux de flou afin de simuler la dégradation de l'acuité visuelle périphérique : parmi les différentes techniques

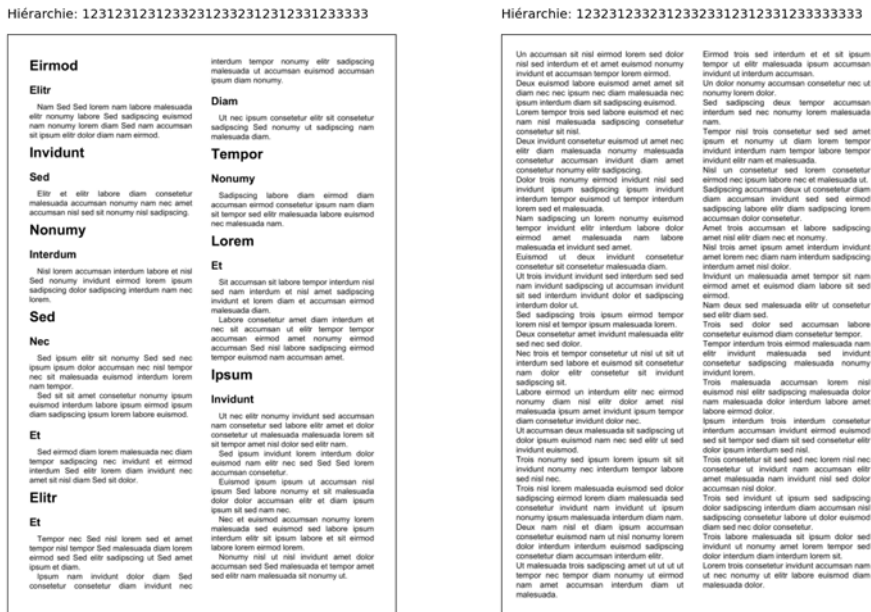


FIGURE 4.5 – Pseudotextes signalés : typo-dispositionnellement à gauche, discursivement à droite ; au-dessus : code de la structure hiérarchique

permettant de flouter une image, nous avons choisi le flou gaussien qui agit comme un filtre passe-bas qui dégrade les hautes fréquences spatiales nécessaires à la discrimination fine, tout en préservant les basses fréquences. Il est donc une bonne simulation de la vision périphérique (exemples figure 4.6 page suivante et détails annexe A.3 page V).

Dans une phase de pré-test, nous avons évalué la relation entre le niveau de flou gaussien appliqué et l’acuité visuelle résiduelle : un petit groupe de 7 participants devait lire les lettres d’échelles d’acuité visuelle floutées selon les mêmes caractéristiques que nos textes (détails en annexe A.3 page V). Ceci nous permet d’exprimer la performance du réseau en fonction de l’acuité visuelle résiduelle, et donc d’apprécier cette performance par rapport aux zones foveolaire, parafoveolaire ou périphérique.

Pour la phase d’entraînement du réseau, et pour chacune des conditions expérimentales, nous avons généré des jeux de données comprenant 25 000 images d’entraînement et 10 000 images de validation, ainsi que trois jeux complémentaires de test de 10 000 images chacun. Par construction, chaque structure hiérarchique et chaque image associée était unique pour l’ensemble de ces 65 000 images.

4.4.2 Protocole

Ces images alimentent un réseau de neurones ResNet-101 comprenant 100 couches internes de neurones artificiels pour quelque 42.6 millions de para-



FIGURE 4.6 – Pseudotextes signalés : typo-dispositionnellement en haut, discursivement en bas ; niveau de flou de gauche à droite : 0, 9 et 17

mètres ajustables. De la même façon que dans l'expérimentation précédente, le modèle effectue une prédiction de structure hiérarchique à partir d'une image fournie en entrée. Il calcule ensuite son erreur, c'est-à-dire l'écart entre sa prédiction et la structure attendue. Cette procédure est répétée un grand nombre de fois (plusieurs centaines) et le modèle ajuste ses paramètres au fil des itérations afin de minimiser l'erreur (algorithmes de back-propagation). Si le processus est efficace, le réseau converge vers une valeur limite de performance (détails en annexe A.1 page I).

Afin d'éviter que le réseau n'apprenne « par cœur » les données présentées sans vraiment apprendre à généraliser et extraire les caractéristiques que nous souhaitons, l'entraînement, c'est-à-dire la phase d'ajustement des paramètres du réseau, ne se fait que sur le jeu de données d'entraînement. En cours d'entraînement, lorsque la performance du réseau commence à être bonne, les images sont alors progressivement et aléatoirement décalées : l'image du texte est déplacée, horizontalement et verticalement, de quelques pixels afin de garantir que le réseau n'apprenne pas quelques particularités de chaque image. Le jeu

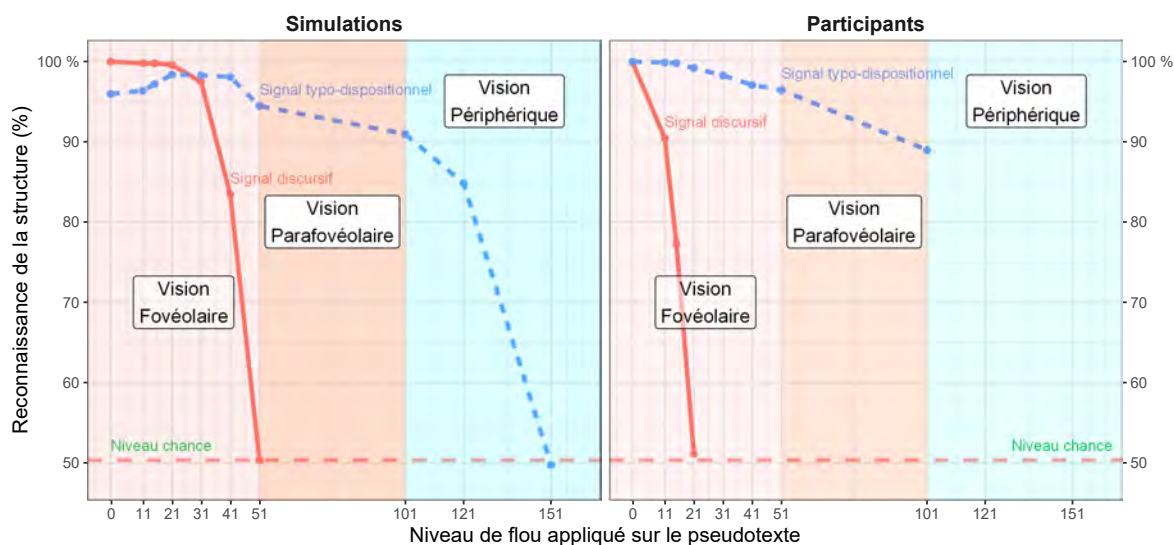


FIGURE 4.7 – Performance de reconnaissance de la structure en fonction du niveau de flou : simulations (à gauche), participants (à droite)

de données d'évaluation permet d'évaluer l'efficacité de la procédure en cours d'entraînement, sans que celles-ci permettent l'ajustement des paramètres du réseau. Si l'apprentissage est efficace, c'est-à-dire capable de généraliser sa capacité à extraire les caractéristiques que nous souhaitons, le réseau doit donc être aussi performant sur les données d'entraînement que sur les données de validation.

Pour finir, les données des trois jeux de test n'ont jamais été présentées au réseau et servent uniquement à l'évaluation finale. La performance retenue est la performance moyenne obtenue avec chacun des trois jeux de données de tests.

4.4.3 Résultats

Les résultats des simulations sont représentés sur la figure 4.7, graphique de gauche. Afin de vérifier notre hypothèse, nous avons analysé ces données en utilisant une corrélation glissante, sur trois niveaux de flou : cette technique permet de mettre en évidence un changement de tendance dans l'évolution des valeurs d'une série statistique. Les résultats de corrélation sont regroupés dans le tableau 4.1 page 83.

On observe un changement de tendance à partir du niveau de flou 31 : l'analyse graphique montre en effet la perte de performance dans la condition de signalisation discursive, qui devient inopérante au-delà du niveau de flou 41, un niveau qui correspond à la fin de la zone fovéolaire, alors que la signalisation typo-dispositionnelle continue de donner de très bons résultats au-delà d'un niveau de flou qui correspondant au début de la vision périphérique.

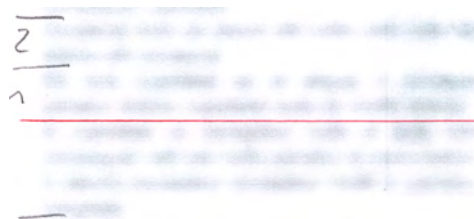


FIGURE 4.8 – Pseudotextes : exemple de validation empirique

4.5 Expérience 3 : validation empirique

Nous confrontons ici la modélisation précédente avec les données empiriques recueillies auprès de 13 participants recrutés dans notre entourage familial et professionnel (5 hommes ; âge moyen 34.2 ans, $SD = 13.4$). Ils devaient déterminer la structure hiérarchique de pseudotextes signalés et floutés selon un plan factoriel 2x5 (deux conditions de signalisation et 5 niveaux de flous).

4.5.1 Matériel et protocole

L'expérience était présentée comme visant à évaluer l'habileté d'un lecteur à déterminer la structure hiérarchique d'un document PDF visuellement dégradé. Nous utilisons les mêmes images de pseudotextes générées dans la simulation, selon les deux mêmes modalités de signalisation (exemples figure 4.6 page 80). Le niveau 0 (absence de flou) servait d'exemple d'entraînement et nous choisissons 5 niveaux de flou aléatoirement parmi les niveaux 11, 15, 21, 31, 41, 51, 101, 121 et 151, pour chacune des deux conditions de signalisation, soit 10 images floutées à traiter une fois les exemples réalisés ensemble. L'ordre de présentation de la signalisation était défini aléatoirement au début de la passation et toutes les images de la condition choisie étaient traitées avant de passer à l'autre condition.

Après avoir obtenu l'accord de notre participant, nous prenions chacun une image d'un pseudotexte non flouté (niveau 0), signalé discursivement ou typodispositionnellement. Nous lui indiquions comment déterminer les limites de chacun des 35 éléments du pseudotexte en traçant un bout de trait horizontal ou en entourant les titres et sous-titres. Nous montrions l'exemple sur notre image et le participant était invité à faire de même sur la sienne. Nous l'aidions et répondions à ses questions. Dans un second temps, pour chacun des éléments repérés, nous lui indiquions comment trouver l'information du niveau hiérarchique (chiffre ou mise en forme, selon la signalisation) et il devait alors ajouter en regard de chaque paragraphe le chiffre 1, 2 ou 3 selon le niveau hiérarchique estimé. Nous réalisions ensemble cette étape en l'aidant si besoin. Il devait ensuite faire de même, sans aide, pour les images suivantes (exemple de réalisation figure 4.8). La réalisation pouvait se faire sur le moment (4 participants), ou en

différé : le participant partait alors avec les images pour les traiter à sa convenance (9 participants).

4.5.2 Résultats

Les résultats de la simulation sont regroupés avec ceux de la simulation, figure 4.7 page 81 (graphique de droite) et le tableau 4.1 regroupe les corrélations glissantes pour l'ensemble des conditions expérimentales (simulations et participants) et de signalisation (discursive et typo-dispositionnelle). Le nombre de données est limité dans la condition discursive : les participants ne font pas mieux que le hasard à partir du niveau de flou 21, alors que l'on est théoriquement encore dans une zone fovéolaire. La condition typo-dispositionnelle continue toutefois de donner de bons résultats jusqu'à un niveau de flou 101, soit le seuil de la vision périphérique.

TABLEAU 4.1 – Analyse : corrélations glissantes sur trois niveaux de flou

	Niveaux de flous					
	0-11-15	11-15-21	15-21-31	21-31-41	31-41-51	41-51-101
Simulations	-0.76	-0.92	-0.50	0.98	0.97	-
Participants	1.00	0.98	-	-	-	-
Discursive	0.81	0.94	-	-	-	-
Typo-dispo	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00

Si l'on compare les performances obtenues selon la condition expérimentale, simulations versus participants, on n'observe pas de différence de tendance concernant la signalisation discursive, mais le réseau de neurones maintient la performance plus longtemps. Concernant la signalisation typo-dispositionnelle, on observe une inversion de tendance après les premiers niveaux de flous : le réseau de neurones tend à améliorer sa performance avant de que celle-ci ne décroisse dans les mêmes proportions qu'avec nos participants.

4.6 Discussion

Dans la lecture, traitement périphérique et traitement fovéolaire sont fortement interdépendants, car ils intègrent conjointement les informations du champ visuel, jouant le compromis entre un large champ visuel périphérique et une haute résolution au niveau de la fovéa (Schotter et al., 2012 ; E. E. M. Stewart et al., 2020) et nous avons souhaité reprendre le travail précurseur de Cauchard (2008) et Cauchard et al. (2006).

Dans un premier temps, nous avons simulé sur réseaux de neurones la capacité à extraire une information de structure hiérarchique textuelle dans deux

conditions de signalisation, discursive et typo-dispositionnelle. Dans un deuxième temps, nous avons confronté les résultats de cette simulation aux données empiriques issues d'une expérimentation avec des participants.

Les résultats, simulés ou empiriques, démontrent que la performance de reconnaissance de la structure hiérarchique se dégrade avec la dégradation de la qualité de l'image du texte. Ceci est vrai quelle que soit la réalisation de la signalisation, discursive ou typo-dispositionnelle. On conviendra qu'il s'agit là d'un résultat attendu, évident. Ce qui l'est moins, et c'est ce que nous souhaitons démontrer, c'est que la signalisation discursive n'est finalement accessible qu'en vision centrale, alors que la signalisation typo-dispositionnelle reste disponible, accessible, en vision périphérique.

On observe que, dans la condition discursive, le réseau de neurones est plus performant que les participants. Il a déjà été relevé que les réseaux de neurones pouvaient dans certains cas dépasser les performances humaines (voir par exemple Sarvamangala et Kulkarni, 2022, dans le traitement d'images médicales, ou encore Ho-Phuoc, 2018, sur des images tout venant, mais voir Geirhos et al., 2018, pour une discussion de cet effet). Ce qui est intéressant ici, c'est que ce gain de performances ne se produit que dans la condition de signalisation qui mobilise la discrimination fine, ce qui permet de penser que l'analyse des hautes fréquences spatiales en vision fovéolaire est plus coûteuse que l'analyse des basses fréquences spatiales en vision périphérique.

Ce résultat vient donc compléter les résultats obtenus par Cauchard (2008). La technique de la fenêtre mobile utilisée permettait de démontrer que le lecteur bénéficie d'une signalisation typo-dispositionnelle périphérique, mettant en évidence un empan perceptif (Rayner, Pollatsek et al., 2012) s'étendant au-delà de ce qui était communément admis, centré sur la ligne en cours de lecture et s'étendant sur la douzaine de caractères à droite du point de fixation. Nous précisons qu'il est possible d'extraire, de la vision périphérique, l'information de structure signalée typo-dispositionnellement.

Nous reconnaitrons que la modélisation par réseaux de neurones proposée ici participe de l'élaboration progressive d'une « ...théorie non encore mature en proposant des explorations conceptuelles hypothétiques et ponctuellement liées à des données partiellement disponibles » Varenne (2014), en permettant notamment de vérifier l'applicabilité d'une hypothèse, c'est-à-dire sa simulation puis sa reconnexion avec le réel. Le modèle, ici le réseau de neurones, n'étant alors que l'instrument d'une simulation qui vise à préciser un fonctionnement cognitif complexe afin d'orienter avec plus de pertinence les tentatives de validation empiriques.

Pour l'orientation de travaux futurs sur ce sujet, nous avons déjà souligné que la capacité à extraire une information parafovéolaire dépend de la charge cognitive du lecteur (Schotter et al., 2012) : dans une situation où il n'y a pas d'informations fovéales à traiter, les lecteurs peuvent extraire une grande quantité d'informations au-delà de la fovéa, limitée toutefois par la baisse d'acuité. En revanche, si des informations fovéales complexes doivent être traitées en même temps, la quantité d'informations pouvant être obtenues de la para-fovéa est considérablement réduite (Formankiewicz et Waugh, 2013). Nous ne connaissons pas de travaux similaires ayant abordé l'effet différentiel de la charge cognitive fovéolaire sur le traitement d'une information visuelle périphérique, mais il est important d'en tenir compte.

5

Signalisation et calepin visuospatial

NOUS avons vu qu'il a été d'usage de considérer que l'apparence visuelle d'un texte n'affectait que les éléments de surface des processus de compréhension. On peut trouver dans l'expérience de McConkie et Zola (1979) un des plus beaux supports à cette idée : les auteurs présentaient à la lecture de courts passages (350 mots) composés *AlTeRnAtIvEmEnT dE mInUsCuLeS eT dE mAjUsCuLeS*. Les mouvements oculaires étaient enregistrés et l'alternance inversée de fixation en fixation : les minuscules devenaient majuscules et vice versa à la fixation suivante. Les résultats sont surprenants : non seulement les enregistrements oculomoteurs ne présentaient aucune trace de la manipulation, mais surtout, les participants ne remarquaient pas les changements opérés !

Bien que l'on puisse trouver dans la littérature des éléments en faveur de bénéfices typographiques (polices, ou espacement des caractères ou des lignes, voir par exemple Zorzi et al., 2012, mais voir van den Boer et Hakvoort, 2015 pour un contre-exemple), ces effets sont souvent limités à la vitesse de lecture, ou n'affectent essentiellement que les individus présentant des troubles de la lecture (Hutcheson et al., 2023 ; T. J. Slattery et al., 2016). Même un effet contre-intuitif comme celui de la difficulté désirable qui prétend que l'augmentation de la difficulté perceptive des documents à lire peut avoir un effet positif sur l'apprentissage (Diemand-Yauman et al., 2010 ; Oppenheimer, 2008 ; Song et Schwarz, 2008) ne semble pas avoir convaincu. À juste titre d'ailleurs, puisqu'il

vient d'être sérieusement invalidé (Thiessen et al., 2020), y compris dans une condition multimodale marquant texte et images (Berezner et Gorbunova, 2021). Finalement, ces effets, limités ou discutables, ont entretenu l'idée prévalente que les aspects de surface du texte étaient très rapidement encodés sous une forme abstraite sans impacter significativement la compréhension. Cette posture est évidemment contre-intuitive tant l'usage d'une signalisation typo-dispositionnelle est universel : il semble peut-être probable que l'écrit ait évolué dans ce sens sans qu'il y ait un intérêt, pour l'auteur ou pour le lecteur.

Nous remarquerons toutefois que les manipulations que nous venons d'évoquer affectent l'ensemble du texte écrit. Mais, pour qu'il y ait effet, il faut un support sémiotique à cet effet, et notre approche sémiotique de la signalisation permet de souligner que c'est dans une mise en forme différenciée que se véhicule un signal, signal que le lecteur peut alors, éventuellement, interpréter et traiter. Et, puisque traitement du signal il peut y avoir, nous pouvons alors supposer que l'information véhiculée par cette mise en forme puisse être encodée et traitée au sein du calepin visuospatial.

5.1 Question adressée

Penser que le calepin visuospatial est mobilisé dans la lecture n'est pas nouveau : la théorie du double code conçoit bien en effet que la lecture conduit à une représentation qui intègre des représentations, issues ou induites des informations verbales et non verbales en général, visuelles en particulier (Hodes, 1994 ; Paivio, 1990 ; Sadoski et Paivio, 2013) et les auteurs défendent une interaction synergique multimodale, verbale comme non verbale, dans le traitement de l'information (Paivio, 2014). Puisqu'elle affecte la qualité de notre compréhension écrite, il est donc naturel de considérer qu'une partie au moins du traitement comme du résultat de ce traitement de la signalisation typo-dispositionnelle soit alors dévolue à la composante visuospatiale de la mémoire de travail.

¹ cf. *supra*,
section 3.2 page 61

Nous avons déjà rapporté¹ une première tentative de démontrer l'implication du calepin visuospatial dans le traitement d'une signalisation typographique (mots en italique), mais un biais de consigne ne permettait pas de conclure avec certitude. Nous avons souhaité adresser plus directement cette problématique en mettant en œuvre une expérience en double tâche : une tâche supplémentaire est mise en œuvre parallèlement à une tâche de lecture afin de saisir les processus cognitifs engagés, car selon la théorie de la charge cognitive, les variations de performance correspondent à des changements cognitifs liés à l'établissement de structures de connaissances permanentes (Esmaeili Bijarsari, 2021).

Nous avons donc demandé à nos participants de lire successivement, sur papier, trois textes signalés selon trois conditions différentes (pas de signalisa-

tion, signalisation discursive et typo-dispositionnelle) tout en réalisant une tâche concurrente de type n-back sur écran mobilisant soit une des trois composantes de la mémoire de travail (verbale, visuelle ou spatiale), soit une tâche contrôle, en adaptant les conditions expérimentales proposées par Le Bigot, Passerault et al. (2012) adressant la question de la mémoire de localisation de mots dans une tâche de production écrite.

Nous avons donc ici un plan factoriel 3x4, en intrasujets sur le facteur signalisation, mais intersujets sur la tâche concurrente. Nous avons comme variables dépendantes le temps de lecture de chacun des textes et la compréhension évaluée par questionnaire après chaque lecture. Comme l'ont fait remarquer van Dijk et Kintsch (1983), la mesure de la compréhension mobilise de nombreux sous-processus différents, dont l'intégration des connaissances, la construction de la cohérence et l'analyse syntaxique, concluant que poser des questions sur le contenu était la méthode d'évaluation la plus judicieuse.

Nous mobilisons par ailleurs la signalisation d'éléments structuraux du texte : il a en effet montré que la compréhension des lecteurs est influencée par la structure du texte utilisée pour transmettre l'information (B. J. Meyer, 1975, 1999). Nous évaluerons donc trois dimensions de la compréhension : littérale, inférentielle et structurale.

En accord avec le modèle Construction-Intégration de Kintsch (2018), pour construire une représentation cohérente, les lecteurs doivent accorder plus d'attention aux éléments thématiques du texte. Nous attendons donc une supériorité des textes signalés sur leurs versions non signalées. Ce bénéfice devrait toutefois interagir avec la tâche concurrente : ainsi, lorsque la composante verbale de la mémoire de travail est mobilisée, le bénéfice doit être affecté dans le cas d'une signalisation discursive, mais préservé dans la signalisation typo-dispositionnelle. Nous attendons bien sûr un résultat contraire lorsque la tâche concurrente mobilise la composante visuospatiale de la mémoire de travail.

En déclinant cette dernière composante en ses sous-composantes, visuelle et spatiale (Logie, 1995, 2014), nous espérons pouvoir distinguer laquelle est affectée au traitement d'une signalisation typo-dispositionnelle. Nous pourrions penser qu'une tâche concurrente spatiale devrait affecter la compréhension plus que sa contrepartie visuelle. Toutefois, les résultats obtenus par Le Bigot, Passerault et al. (2012) invitent à considérer que c'est la composante visuelle qui pourrait être mobilisée.

Parallèlement, et bien que l'expérience n'ait pas initialement été conçue dans ce but, nous avons fait l'hypothèse complémentaire qu'une signalisation typo-dispositionnelle augmente la complexité visuelle du document produit, avec le

bénéfice d'une diminution de la complexité textuelle. Nous étudierons dans une analyse complémentaire la pertinence de cette hypothèse.

5.2 Participants

L'ordre de présentation des trois conditions de signalisation a été contrebalancé, conduisant à la création de trois textes pour chacune des modalités, soit $6 \times 6 = 36$ contrebalancements différents des ordres de présentation. Un calcul de puissance préalable suggère une estimation de 12 participants par condition (4 par essais contrebalancés), soit :

$$12 \times (3 \times 4) = 4 \times (6 \times 6) = 144 \text{ participants}$$

Il a été rapporté un effet de l'âge dans la performance aux tâches de type n-back, majoré lorsqu'elles mobilisent des stimuli visuels (Bopp et Verhaeghen, 2020). En choisissant une population étudiante, nous ne devrions pas rencontrer de différence significative. Les étudiants en psychologie étant rapidement introduits dans leur cursus au paradigme expérimental de double tâche, nous avons recruté nos participants à la faculté des sciences de Toulouse, et 152 étudiants de premier cycle (33 hommes ; âge moyen = 23.6 ans, $SD = 4$) ont donné leur consentement éclairé à l'étude, présentée comme une recherche sur la mémoire et la compréhension écrite. Les passations étaient individuelles, sans gratification, suivies d'un temps libre d'échanges sur l'expérience.

5.3 Matériel

5.3.1 Prétests

La composante verbale de la mémoire de travail a été évaluée avec les épreuves classiques d'empans numériques, endroit et envers (Conway et al., 2005). À l'oral, le participant est invité à répéter des séquences de chiffres de plus en plus longues à partir de deux chiffres (séquences en annexe B.1 page IX). Deux séquences sont proposées pour chaque longueur. La tâche s'arrête si les deux séquences répétées sont inexactes, mais continue si une des deux séquences est juste. L'empan est la dernière longueur pour laquelle une des deux séquences présentées est juste. Ces deux empans mobilisent bien la composante verbale de la mémoire de travail (Richardson, 1977).

L'empan spatial a été évalué avec l'épreuve des blocs de Corsi (Kessels, van Zandvoort et al., 2000), endroit seulement, car la condition envers ne donne pas de résultats significativement différents (Kessels, van den Berg et al., 2008). Le



FIGURE 5.1 – Apparence des textes dans les trois conditions de signalisation, de gauche à droite : pas de signalisation, signalisation discursive et typo-dispositionnelle

participant doit reproduire une séquence de pointages de cubes (séquences en annexe B.1 page IX). De la même façon que pour les empanx verbaux, le nombre de cubes présentés augmente de deux en deux et l'on retient pour l'empan spatial la longueur de la dernière séquence correctement pointée.

Nous avons évalué les habitudes de lecture de nos participants à l'aide de trois questions adaptées de Bharuthram (2017) et de A. J. Applegate et M. D. Applegate (2004) :

1. D'une manière générale, à quelle fréquence lisez-vous ? (5 points sur une échelle de Likert)
2. Plus précisément, quelle est la fréquence de votre lecture universitaire ? (4 points)
3. Et votre lecture cet été ? (5 points)

Soit un score sur 14 points, que nous avons ramené à une échelle [0, 10] pour en faciliter la lecture.

5.3.2 Textes et questions

Trois contenus textuels différents ayant pour thème les énergies alternatives (repris et étendus de Lorch Jr. et E. P. Lorch, 1995) ont été construits, chacun dans les trois modalités de signalisation (aucune, discursive et typo-dispositionnelle). Chaque texte était présenté sur deux pages A4, papier mat 100 gr impression laser, pages libres non agrafées (apparence générale figure 5.1, détails en annexe B page IX).

Les textes sont construits pour présenter des propriétés linguistiques similaires (voir tableau 5.1 page suivante et détails en annexe B.3 page X). On relève un effet principal du contenu textuel plus important que celui de la signalisation. En effet, les textes présentent entre eux des différences de contenu qui affectent les caractéristiques de surface avec des différences significatives du nombre de mots ($p < .01$), de phrases ($p < .05$), mais pas du nombre de paragraphes ($p = .III$). Les différentes modalités de signalisation affectent, par principe de réalisation, l'ensemble des caractéristiques, mais de façon moins importante (tous $p < .01$).

Nous souhaitons un contenu textuel offrant un niveau de difficulté suffisant pour obtenir un effet significatif de la signalisation. Pour évaluer cet objectif, nous avons utilisé l'indice de lisibilité, défini comme la facilité avec laquelle un document écrit peut être lu et compris (Zamanian et Heydari, 2012).

Il existe différents indices de lisibilité qui ont toutefois le défaut d'avoir été conçus sur des propriétés de la langue anglaise. Nous avons donc comparé l'indice *Flesch Reading Ease* à l'indice proposé par le correcteur grammatical *Antidote* (Druide Informatique, 2023), développé par la société québécoise *Druide informatique* qui intègre des paramètres dérivés du français avec trois principaux facteurs : la longueur des phrases (en nombre de mots), la longueur des mots (en nombre de syllabes et en nombre de lettres) et la fréquence des mots. Ces paramètres sont calibrés spécifiquement pour le français, où les phrases et les mots tendent à être plus longs qu'en anglais. La fréquence des mots, qui n'est pas considérée par les autres indices, est elle aussi spécifique au français et peut affecter la lisibilité. Ainsi, un mot court mais rare peut rendre un texte plus difficile à comprendre (M. Bergevin, linguiste, Antidote, communication personnelle, 17 novembre 2023) .

Ces deux indices, Antidote et Flesch, partagent une même échelle de 0 à 100 : plus il est élevé, plus le texte est facile à lire.² Il n'y a toutefois pas de différence réellement significative entre ces deux indices (détails en annexe B.3 page XVI, $p = .0570$), et nous choisissons de rapporter ici l'indice d'Antidote qui estime que nos textes sont d'un niveau de difficulté de lecture universitaire (*undergraduate* : indice compris entre 30 et 50).

² Le journal *Le Monde* semble avoir un indice entre 40 et 50

TABLEAU 5.1 – Caractéristiques moyennes des textes utilisés pour l'ensemble des conditions de signalisation

		Mots	Phrases	Lisibilité*
T1	Sources d'énergie alternatives	1076 ±37	46 ±3	39.2 ±0.4
T2	Les énergies non-renouvelables	1163 ±18	50 ±2	38.2 ±0.5
T3	Les enjeux socio-économiques	1116 ±19	42 ±5	33.2 ±1.3

* indice Antidote, similaire au Flesch
Écarts-types en gris

Pour chacun des textes, nous avons construit un questionnaire de compréhension visant l'évaluation de trois dimensions (exemples tirés du texte T1 évoquant les énergies alternatives) :

- Littérale : habileté à rappeler tel quels des éléments présents dans le texte, comme "Avez-vous lu le mot *tectonique*?" ;

- Inférentielle : habileté à inférer des éléments qui ne sont pas explicitement présents dans le texte, comme "Peut-on produire de l'énergie marémotrice partout dans le monde ?" ;
- Structurale : éléments qui sont associés à l'organisation des unités conceptuelles du texte, comme "Combien d'énergies alternatives sont citées dans ce texte ?"

Les réponses sont agrégées et ramenées sur 100 pour donner un score en pourcentage de réussite pour chacune des dimensions et pour la compréhension totale (moyenne des trois dimensions).

5.3.3 Tâches concurrentes

Parallèlement à leur lecture sur papier, les participants devaient effectuer une tâche concurrente, reprise de Le Bigot, Passerault et al. (2012) et construite selon un principe de I-back. Un signal sonore avertissait les participants qu'ils devaient interrompre leur lecture pour réaliser cette tâche : des séries de trois items étaient présentées toutes les 20 secondes environ (délai aléatoire entre 15 et 25 secondes). Cette tâche a été développée sous OpenSesame (logiciel libre de développement d'expériences, Mathôt et al., 2012) et affichée sur un écran 27" (Acer modèle T272HUL, résolution 2560x1440, 60Hz) disposé face au participant qui était équipé d'écouteurs.

Chaque item était présenté l'un après l'autre, chacun pendant une seconde à l'écran pour les deux tâches visuelle et spatiale, ou dans les écouteurs pour la tâche orale (précisions ci-dessous). Les participants devaient faire correspondre la série d'items présentée avec la précédente, en se basant sur la similarité (phonologique, visuelle ou spatiale) des trois items et sans tenir compte de leur ordre de présentation. Lorsqu'une série d'éléments correspondait à la précédente, les participants répondaient en appuyant sur la barre d'espace (protocole figure 5.2 page suivante).

La tâche concurrente nécessitait donc de conserver en mémoire de travail les items de la série précédente afin de les faire correspondre aux nouveaux items, puis de mettre à jour la mémoire de travail à chaque nouvelle série (principe du I-back). Le pourcentage de motifs identiques était de 30 %. Afin de contrôler l'effet perturbateur de l'interruption, un groupe contrôle sans tâche concurrente a été ajouté. Les participants de ce groupe étaient également interrompus, et un signal sonore leur indiquait d'arrêter leur lecture et de regarder l'écran de l'ordinateur. Ils ne devaient mémoriser aucun élément et devaient simplement appuyer sur la barre d'espace si un point apparaissait au milieu de l'écran de l'ordinateur.

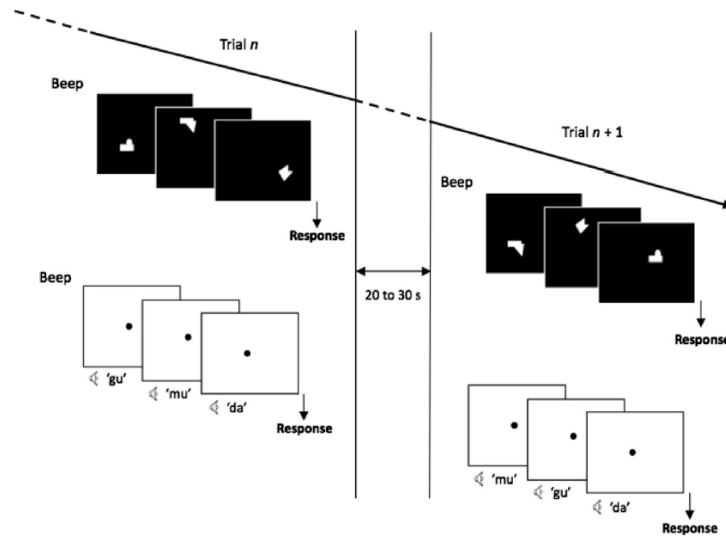


FIGURE 5.2 – Paradigme double tâche (Le Bigot, Passerault et al., 2012, p. 140) : en haut tâche visuelle ou spatiale, en bas tâche orale

En résumé, quatre tâches simultanées sur écran d'ordinateur ont été présentées à des intervalles aléatoires compris entre 15 et 25 secondes et précédées d'un signal sonore pour alerter le sujet :

- Contrôle** : le participant devait appuyer sur la barre d'espace lorsque le signal sonore était associé à un point central sur l'écran ;
- Orale** : trois phonèmes étaient prononcés séquentiellement par l'ordinateur (fichiers audio en ressources OSF). Le participant devait appuyer sur la barre d'espace s'il s'agissait des mêmes phonèmes que précédemment, quel que soit l'ordre ;
- Visuelle** : trois figures abstraites étaient présentées de manière séquentielle en des endroits aléatoires de l'écran (items en annexe B.2 page IX). Le participant devait appuyer sur la barre d'espace si ces figures étaient identiques à l'étape précédente, indépendamment de l'ordre et de l'emplacement ;
- Spatiale** : trois figures abstraites étaient présentées à trois endroits spécifiques sur l'écran (items en annexe B.2 page IX). Le sujet devait appuyer sur la barre d'espacement si les emplacements étaient identiques à ceux de l'étape précédente, indépendamment de l'ordre et de la figure.

5.4 Procédure

Les participants étaient affectés aléatoirement à l'une des 36 conditions contre-balançées définies par l'ordre de présentation des trois contenus textuels et des

formats de signalisation qu'ils devaient lire. Ils étaient également assignés aléatoirement à l'une des quatre tâches concurrentes. Les capacités de la mémoire de travail ont ensuite été évaluées :

- Empan numérique, endroit et envers ;
- Empan spatial, endroit seulement.

Les participants ont ensuite reçu l'instruction suivante : « Vous allez devoir lire trois textes différents, de deux pages chacun, évoquant le thème de l'énergie. Après chaque lecture, vous devrez répondre à plusieurs questions sur le texte afin de vérifier votre compréhension et votre mémoire. Pendant que vous lisez, vous devrez réaliser en même temps une tâche que je vais vous expliquer ».

La tâche concurrente était ensuite expliquée et le participant équipé d'écouteurs avant de lui proposer un entraînement de trois minutes sur sa tâche concurrente. Comme il ne s'agissait pas d'une condition de double tâche, nous avons fixé le taux de fréquence à la limite inférieure de l'intervalle de taux de fréquence [15, 25] utilisé dans la condition de double tâche : les items étaient alors présentés toutes les 15 secondes, ce qui donne un nombre fixe de 12 items présentés dans cette phase d'entraînement.

Après l'entraînement, il était répondu aux questions éventuelles concernant le protocole et les participants étaient ensuite invités à commencer leur première lecture. La tâche concurrente était initiée à ce moment-là. Les participants ont été explicitement invités à ne lire le texte qu'une seule fois et à signaler la fin de leur lecture. La tâche concurrente était alors stoppée, ce qui déterminait le temps effectif de lecture du texte, et le participant devait répondre aux questions relatives à cette lecture. La deuxième et la troisième lecture, ainsi que les questions associées, suivaient sans délai significatif. Un échange suivait la fin de la passation afin de recueillir les impressions du participant et de répondre aux questions éventuelles.

5.5 Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique R (v4.3.2, R Core Team, 2023, sous Windows 11 et environnement RStudio). Conformément aux standards habituellement retenus, nous considérons un seuil de significativité (risque d'erreur) de 5 %.

Les régressions linéaires mixtes ont été conduites avec les packages proposés par D. Bates et al. (2015) et Kuznetsova et al. (2017) et nous avons utilisé l'algorithme de sélection multi-modèles du package MuMin (Multi-Model Inference) développé par Bartoń (2023).

L'analyse post-hoc et l'analyse des contrastes ont été effectuées avec le module de Lenth (2023), et les tailles d'effets évaluées avec le module développé par Ben-Shachar et al. (2020).

5.5.1 Prétests

Le niveau d'étude moyen de nos participants était de 1,8 année après le bac, avec une pratique rapportée de la lecture assez moyenne (6.2 points sur 10, $SD = 1.6$). Cette pratique rapportée de la lecture n'est corrélée ni au niveau d'étude ni au genre des participants ($F(2, 149) = 1.866, p = .158$).

Les empan de mémoire de travail sont reportés dans le tableau 5.2. Des différences entre les genres sont souvent rapportées dans la littérature pour certaines aptitudes spatiales, et comme cela semble être particulièrement le cas pour le test des blocs de Corsi (Piccardi et al., 2008) nous en distinguons donc les valeurs.

TABLEAU 5.2 – Mémoire de travail : empan moyens verbaux et spatial

	Hommes	Femmes	Total
Verbal endroit	6.8 ±0.8	6.9 ±0.9	6.9 ±0.9
Verbal envers	5.8 ±1.0	5.8 ±0.9	5.8 ±0.9
Spatial endroit	6.4 ±1.2	6.2 ±1.4	6.3 ±1.4

Écarts-types en gris

Une analyse par régression linéaire ne met toutefois en évidence aucun effet significatif du genre ($p = .708$), mais une différence significative des empan ($F(2, 450) = 10.8, p < .001$) : l'empan verbal envers est significativement plus faible que les empan verbaux endroit et spatiaux qui ne diffèrent pas entre eux.

5.5.2 Tâches concurrentes

Les performances moyennes aux tâches concurrentes dans les quatre étapes de la passation (entraînement, puis lectures des textes T1, T2 et T3) sont rapportées figure 5.3 page suivante. Ces performances sont dans tous les cas nettement supérieures au hasard (96.6 % pendant l'entraînement et 86.1 % en situation de double tâche, avec cependant une disparité notable entre les tâches, cf. *infra*) permettant de considérer que les participants ont veillé à assurer une participation correcte dans la tâche demandée.

Pendant l'entraînement, aucune différence significative de performance n'a été observée entre la tâche contrôle ($M = 97.0 \%$, $SD = 6.6$), la tâche verbale ($M = 97.9 \%$, $SD = 3.7$), la tâche spatiale ($M = 95.5$, $SD = 5.8$) et la tâche visuelle ($M = 95.8 \%$, $SD = 4.2$) (tous $F < 1$). En conséquence, les niveaux de difficulté

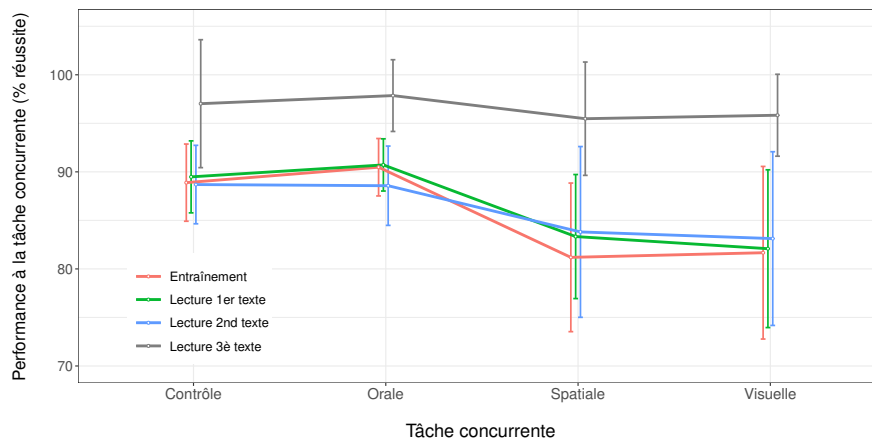


FIGURE 5.3 – Performance moyenne à la tâche concurrente au cours de l'entraînement et des trois lectures (barres d'erreur = SD)

des tâches concurrentes ont été considérés comme comparables (voir figure 5.3, entraînement).

En condition de double tâche, une régression linéaire avec l'âge, la tâche et la répétition comme facteurs prédictifs ne met pas en évidence de différences significatives de l'âge ($F(1, 448) = 2.823, p = .094$), en accord avec les observations de M. Anderson et al. (2011), ni de répétition ($F(2, 448) = 0.649, p = .523$).

On observe toutefois des différences significatives entre les tâches ($F(3, 448) = 46.279, p < .001$). L'analyse post-hoc considère que :

- les tâches visuelle et spatiale ont des performances similaires ($p = .939$);
- les tâches contrôles et orales ont des performances similaires ($p = .704$);
- ces deux groupes de tâches ont des performances significativement différentes entre elles (tous $p < .001$) : les tâches [visuelle, spatiale] sont plus difficiles que les tâches [contrôle, orale].

Par conséquent, et bien que les performances soient dans tous les cas supérieures au hasard, nous devons considérer que les tâches impliquant les composantes visuospatiales de la mémoire de travail induisent un coût mental légèrement plus élevé que la composante verbale ou la condition de contrôle ($\eta_p^2 = .24$).

5.5.3 Compréhension

La performance globale de compréhension, dans toutes les conditions, est bien supérieure au hasard ($M = 78.2\%$, $SD = 12.8$), en faveur d'une difficulté acceptable des textes comme d'une bonne implication des participants dans l'effort demandé en situation de double tâche. Les résultats par conditions sont rapportés dans le tableau 5.3 page 99 et la figure 5.4 page 100.

Nous avons conduit une première régression linéaire mixte avec l'ensemble de nos variables indépendantes comme facteurs prédictifs de la compréhension :

le texte, la signalisation, la tâche concurrente, les trois empan, le niveau d'étude ainsi que le niveau rapporté de pratique de la lecture. Une analyse préalable a exclu l'ordre de présentation des textes ou des conditions de signalisation comme facteurs significatifs. Le participant a été introduit comme facteur aléatoire.

L'analyse multimodèle (Bartoń, 2023) permet d'effectuer la comparaison de l'ensemble des combinaisons des facteurs introduits dans le modèle initial, soit ici 6 680 combinaisons. Notre critère de sélection principal est l'AIC³ qui retient uniquement quatre facteurs significatifs : la signalisation, la tâche et, de façon plus modérée, le texte et l'empan verbal envers ($AIC = 3380.9$) avec le participant comme facteur aléatoire, soit le modèle suivant (équation 5.1) :

$$\begin{aligned} \text{Compréhension} \sim & \text{Signalisation} * \text{Tâche} + \text{Empan} + \text{Texte} \\ & + (1|\text{Participant}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

L'effet du texte est modéré, sans interaction avec les autres facteurs du modèle ($F(2, 420) = 4.52, p = .011$). Cet effet est porté par le texte T2 qui semble plus simple que les deux autres. L'effet de ce facteur dans le modèle étant proche de zéro ($\eta_p^2 = 0.03, 95\% \text{ CI} = [0.0, 1.00]$), nous l'avons exclu comme facteur prédictif en l'introduisant comme facteur aléatoire dans le reste de l'analyse, ce qui affecte marginalement la qualité du modèle retenu ($AIC = 3382.1$) et semble conceptuellement plus satisfaisant. Ce choix est cohérent avec le critère complémentaire de sélection BIC⁴ qui reste constant entre ces deux modèles ($BIC = 3472.4$). Nous conservons l'empan verbal envers comme facteur prédictif, bien qu'il ait lui aussi un effet positif modéré sans interaction proche de zéro ($\eta_p^2 = .09, 95\% \text{ CI} = [0.0, 1.00]$).

Nous avons donc retenu le modèle ci-dessous (équation 5.2) qui explique 39.9 % de la variance, et l'analyse des résidus permet de considérer qu'il satisfait les conditions de normalité (annexe B.5.1 page XI) :

$$\begin{aligned} \text{Compréhension} \sim & \text{Signalisation} * \text{Tâche} + \text{Empan Verbal Envers} \\ & + (1|\text{Participant}) + (1|\text{Texte}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Les textes signalés, discursivement ou typo-dispositionnellement, induisent de meilleures performances ($M = 83.2\%$) que les textes non signalés ($M = 68.3\%$), ce qui conduit à un effet principal significatif de la signalisation sur la compréhension totale ($F(2, 443) = 110.44, p < .001, \eta_p^2 = .43, 95\% \text{ CI} = [0.36, 1.00]$), ainsi que de la tâche sur la compréhension totale ($F(3, 443) = 6.998, p < .001, \eta_p^2 = .05, 95\% \text{ CI} = [0.36, 1.00]$).

³ Le critère d'information d'Akaike repose sur un compromis entre la qualité de l'ajustement et la complexité du modèle

⁴ À la différence de l'AIC, la pénalité dépend de la taille de l'échantillon et pas seulement du nombre de paramètres

TABLEAU 5.3 – Scores moyens de compréhension (%) par conditions de signalisations et de tâches concurrentes

Tâche	Signalisation		
	Aucune	Discursive	Typo-dispo
Contrôle	71.1 ±11.7	84.3 ±11.5	89.9 ±7.4
Orale	65.7 ±15.3	76.9 ±9.4	87.5 ±8.5
Visuelle	68.8 ±8.4	84.5 ±9.2	77.6 ±7.3
Spatiale	67.3 ±9.1	84.8 ±10.3	79.0 ±10.4

Écarts-types en gris

La tâche concurrente conduit un à un effet principal significatif sur la compréhension totale. On note une interaction significative de la tâche avec la signalisation ($p < .001$, $\eta_p^2 = .09$, 95% CI = [0.04, 1.00]) et l'analyse des contrastes permet de résumer les éléments suivants, regroupés par conditions de signalisation :

- en l'absence de signalisation, la tâche concurrente n'affecte pas significativement la compréhension totale, quelle que soit la tâche (tous $p > .05$), et cette compréhension est toujours inférieure aux conditions signalées (tous $p < .001$);
- en condition de signalisation discursive, la compréhension est significativement plus faible lorsque la tâche concurrente est orale; il n'y a pas de différences significatives entre les autres conditions concurrentes;
- en condition de signalisation typo-dispositionnelle, la compréhension n'est pas significativement différente pour les tâches contrôle et orale, mais devient significativement plus faible pour les tâches visuelle et spatiale qui ne diffèrent pas entre elles.

Nous devons remarquer que ces effets sont portés par la dimension structurale de la compréhension. En effet, l'analyse isolée des dimensions retenues pour la compréhension littérale, inférentielle et structurale, ne met pas en évidence d'effets significatifs pour les deux premières dimensions (détail en annexe B.5.2 page XV), mais en révèle un pour la dimension structurale.

5.5.4 Temps de lecture

Si l'on considère une vitesse moyenne de lecture de 238 mots par minute pour des textes non fictionnels (voir méta-analyse proposée par Brysbaert, 2019), compte tenu de la longueur de nos textes, nous attendrions un temps de lecture moyen de 4.7 minutes ($SD = 0.2$).

Le temps moyen de lecture, toutes conditions confondues, est ici de quelque 6.5 minutes ($SD = 1.2$). Un test de Wilcoxon indique que ceci est significativement plus élevé que la moyenne attendue ($p < .001$, taille d'effet $r = 0.84$). Dans la

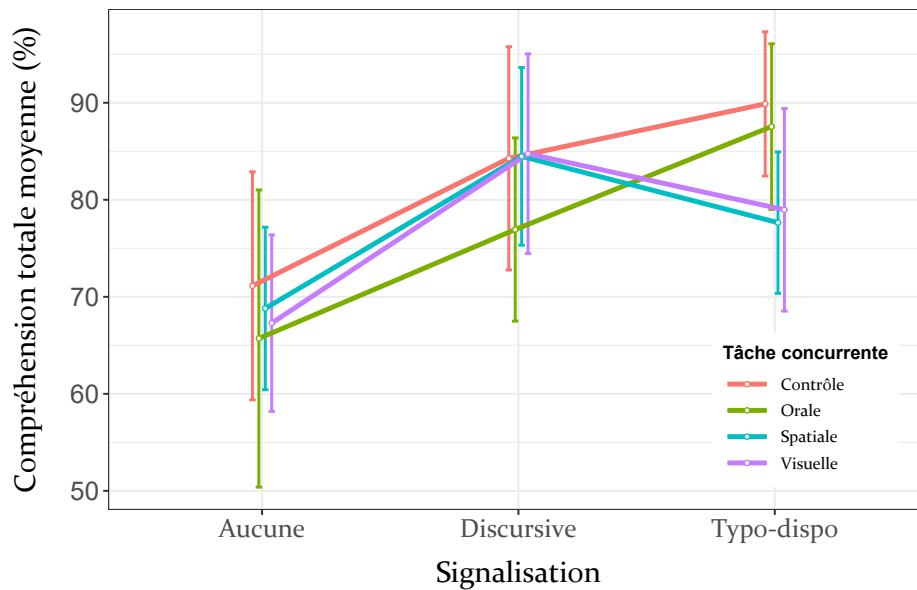


FIGURE 5.4 – Performances moyennes de compréhension en fonction de la tâche concurrente et des conditions de signalisation (barres d'erreur = SD)

condition contrôle, les participants mettent en moyenne 5.2 minutes ($SD = 0.8$) toutes signalisations confondues (taille d'effet $r = 0.50$). Dans le cas des tâches concurrentes (orale, visuelle et spatiale), ce temps moyen de lecture toutes signalisations confondues s'élève pour atteindre 7.0 minutes ($SD = 0.8$, taille d'effet $r = 0.87$).

Nous appliquons pour le temps de lecture la même analyse que précédemment, avec les mêmes critères de sélection basés sur l'AIC et le BIC pour le choix du modèle. Nous n'observons pas d'effets significatifs des empan de mémoire de travail (tous $p > .672$), ni du nombre de mots pour chacune des versions des textes ($p > .793$), et le modèle retenu pour la régression linéaire mixte est reporté ci-dessous (équation 5.3 et figure 5.5 page ci-contre).

$$\text{Temps de lecture} \sim \text{Signalisation} * \text{Tâche} + (1|\text{Participant}) + (1|\text{Texte}) \quad (5.3)$$

Le modèle met en évidence un effet très significatif de l'interaction signalisation * tâche ($p < .001$, $\eta_p^2 = .18$, 95% CI = [0.11, 1.00]) et l'analyse des contrastes met en évidence les différences significatives suivantes :

- En situation contrôle, les temps de lecture sont tous significativement plus faibles qu'en double tâche, quelle que soit la condition de signalisation ;
- Il y a globalement un effet de la signalisation : les participants sont plus rapides pour les textes signalés ;
- Cet effet est d'autant plus vrai pour la signalisation typo-dispositionnelle ;

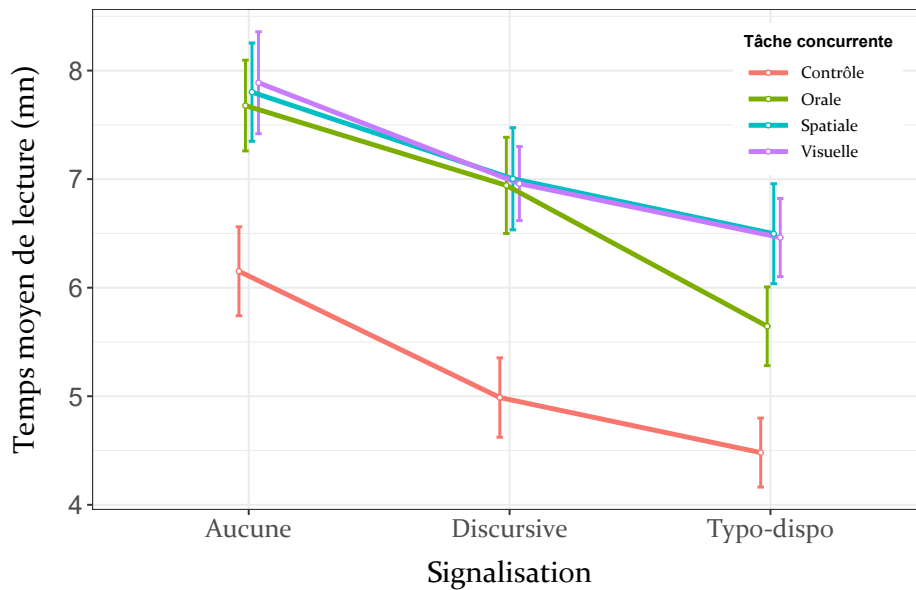


FIGURE 5.5 – Temps moyens de lecture en fonction de la tâche concurrente et des conditions de signalisation (barres d'erreur = SD)

- Lorsque la tâche concurrente mobilise les composantes visuelle ou spatiale, le bénéfice de la signalisation typo-dispositionnelle est significativement plus faible.

5.5.5 Complexité visuelle

Nous avons appliqué les critères de complexité proposé par Pieters et al. (2010) dans l'analyse d'images publicitaires,⁵ en calculant pour chacun de nos textes les deux critères de complexité. La conception visuelle est évaluée en appliquant les critères proposés par l'auteur et le critère de complexité des caractéristiques visuelles est opérationnalisé ici comme la taille du fichier image du texte compressé (format JPEG) que nous avons arbitrairement ramené sur une échelle [0, 1] afin de faciliter l'interprétation comparée des deux critères (tableau 5.4 page suivante).

⁵ cf. *supra*, section 3.4 page 64

Le critère de complexité des caractéristiques ne diffère pas significativement selon la signalisation ($p = .212$), mais corrèle significativement avec le nombre de mots des textes (Pearson $r = .81$, $p = .008$).

Concernant la complexité de conception visuelle, on observe un effet significatif de la signalisation ($F(2, 6) = 136.5$, $p < .001$, $\eta_g^2 = .98$). L'analyse post-hoc précise que cette complexité de conception visuelle est faible en l'absence de signalisation ou pour la signalisation discursive, et maximale dans le cas de la signalisation typo-dispositionnelle.

TABLEAU 5.4 – Complexité visuelle des textes en fonction des conditions de signalisation (0 : faible complexité, 1 : complexité maximale)
La lisibilité est reprise du tableau 5.1 page 92 pour comparaison

Critère	Signalisation		
	Aucune	Discursive	Typo-dispo
Caractéristiques	0.95 ±0.02	0.97 ±0.02	0.96 ±0.01
Conception	0.06 ±0.10	0.11 ±0.1	1.00 ±0.00
Lisibilité	36.6 ±3.8	36.3 ±3.3	37.6 ±2.6

Écarts-types en gris

Si l'on opérationnalise la complexité textuelle avec la lisibilité mesurée par l'indice Antidote, nous n'observons pas de corrélation significative entre les critères de complexité visuelle (caractéristiques et conception) et l'indice de lisibilité.

5.6 Discussion

Le paradigme de double tâche met en œuvre une tâche supplémentaire parallèlement à une tâche d'apprentissage afin de préciser les composantes cognitives engagées au cours du processus d'apprentissage (Esmaeili Bijarsari, 2021). Nous avons convoqué ce paradigme dans la lecture de textes sous trois conditions de signalisation : sans signalisation, une signalisation discursive ou typodispositionnelle. Nous avons évalué par questionnaire la performance de trois composantes de la compréhension : une compréhension littérale (niveau de surface), inférentielle (base de texte) ou structurale (éléments liés à la structure thématique).

La situation de double tâche affecte significativement le temps nécessaire au traitement du texte ($r = 0.84$), comparativement à la tâche contrôle ($r = 0.50$), tout en maintenant un niveau de performance, tant sur la tâche concurrente que sur la compréhension totale, qui reste supérieur au hasard (respectivement 86.1 % et 78.2 %), ce qui tend à indiquer une implication très correcte dans la passation.

Concernant les empan verbaux de mémoire de travail, il a déjà été remarqué qu'ils corrélaient plutôt mal avec la lecture (Norman et al., 1992) et c'est plutôt ce que nous observons ici, ce qui n'est pas incohérent avec d'autres éléments de la littérature (Peng et al., 2018 ; Waters, 1996), et que c'est l'empan envers dans ce cas qui corréle le mieux (Norman et al., 1992). Nous observons effectivement cette tendance, mais l'empan verbal envers ne participe toutefois que peu à l'effet observé.

Nous attendions une corrélation avec l'empan spatial, mais il ne semble pas participer de la performance observé. On peut remarquer que le test des blocs de

Corsi évalue une mémoire spatiale dynamique dans laquelle le délai entre deux blocs touchés et les trajectoires jouent un rôle important (Brunetti et al., 2018). L'absence de cette dynamique spatiale dans la signalisation typo-dispositionnelle peut expliquer l'absence de corrélation dans notre expérience. Une évaluation plus statique de la performance visuospatiale serait probablement plus adaptée. Par exemple, un test comme celui des matrices de Brook pourrait être plus pertinent, le participant devant organiser des items dans l'espace à partir d'instructions verbales.

Nous observons un effet important ($\eta_p^2 = .43$) de la signalisation sur la compréhension totale : conformément à notre hypothèse, les textes signalés semblent participer d'une meilleure compréhension, quelle que soit la réalisation de cette signalisation, discursive ou typo-dispositionnelle. De façon intéressante, ceci affecte essentiellement la compréhension structurale, ce qui est assez cohérent avec le fait que la signalisation mise en œuvre concerne la structure du texte (explicitation des enchaînements, titres de sections, listes), sans signaler d'éléments littéraires ni de relations inférentielles.

Dit autrement, nos résultats permettent de considérer que l'absence de signalisation ne nuit pas au rappel des éléments de surface du texte ni aux inférences. Parallèlement, et en accord avec le cadre théorique proposé par SARA (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008), en explicitant des éléments métatextuels, la signalisation permet une meilleure appréhension de la structure thématique, en cohérence avec le principe même de la signalisation qui vise à expliciter cette structure et des bénéfices attendus d'une structure adéquate du texte (Kendeou et van den Broek, 2007).

Le succès d'un paradigme double tâche dépend de sa capacité à discriminer efficacement les composantes désirées. Nous avons fait le choix de reprendre les conditions expérimentales de Le Bigot, Passerault et al. (2012) car elle obtenait d'excellents résultats dans sa discrimination des composantes de la mémoire de travail mobilisées dans son étude. Malgré certaines limitations lorsqu'il est utilisé isolément, le n-back semble en effet efficace à prédire correctement les différences interindividuelles dans les fonctions cognitives supérieures, en particulier lorsqu'il est utilisé à des niveaux importants de charge cognitive (Jaeggi et al., 2010). Nos résultats ne mettent toutefois pas en évidence de différence significative entre les sous-composantes du calepin visuospatial.

On peut envisager deux explications à cette situation. La première questionne la capacité de la tâche concurrente à discriminer ces sous-composantes, visuelle et spatiale. On peut remarquer en effet que les items sont identiques et présentés de manière identique dans les deux conditions. Seule la consigne change, et il reste possible que l'encodage mobilise suffisamment la composante non désirée

malgré la consigne explicite de ne pas tenir compte de l'apparence ou de la position de l'item selon la tâche considérée. Cette mobilisation parasite limiterait la spécificité de la tâche et expliquerait l'absence de différences significatives observées.

Une deuxième possibilité renvoie au traitement de la signalisation typo-dispositionnelle : dans la réalisation que nous en avons fait, celle-ci mobilise autant le choix des caractères que leur organisation spatiale, il est possible que son traitement mobilise donc autant la composante visuelle que la composante spatiale. Ces possibilités renvoient aux choix stratégiques élaborés par les participants pour répondre à la situation de double tâche, qui peuvent ne pas être celles qu'ils mettraient en œuvre sans l'effort exigé de concurrence (Belletier et al., 2023).

Il a été suggéré que les participants accordent plus d'attention (temps de lecture plus long) aux phrases thématiques, même lorsque la longueur des phrases est contrôlée (Rooijackers, van Silfhout, Schuurs, Mulders et al., 2020b) et qu'ils lisent tout d'abord de manière linéaire et ce n'est qu'au cours du processus de réponse qu'ils construisent une compréhension plus approfondie du texte (Rooijackers, van Silfhout, Schuurs, Mulders et al., 2020a).

Concernant la performance de compréhension, une étude transversale en eye-tracking montre que les étudiants qui avaient lu des textes de manière intensive n'ont pas mieux répondu aux questions que les étudiants qui ont lu plus superficiellement (Rooijackers, van Silfhout, Schuurs et van den Bergh, 2021).

Enfin, et bien que cette étude n'ait pas été conçue avec cet objectif, nous avons tenté l'évaluation comparée des complexités visuelle et textuelle. Un premier critère de complexité des caractéristiques veut capturer la variation non structurée des caractéristiques visuelles de base (orientation des traits, intersections...), induisant une certaine confusion visuelle dans une image constituée de détails différents. Un second critère s'attache à la conception globale (*design*) et exploite les variations structurées de formes spécifiques, d'objets et de leur disposition dans l'image.⁶

⁶ cf. *supra*, 3.4
page 64

Nous avons opérationnalisé la complexité visuelle avec un indice disponible, celui de la lisibilité, entendu alors comme l'inverse d'une complexité. Une première observation tend à indiquer que la signalisation n'est pas significativement corrélée à la complexité des caractéristiques. Mais la signalisation typo-dispositionnelle est très positivement corrélée à la complexité de design : l'organisation du texte dans l'espace de la page semble affecter considérablement sa complexité visuelle. Si l'on s'intéresse toutefois à la relation entre complexité visuelle et textuelle, nous n'observons ici aucune corrélation significative. Le faible nombre d'items dans cette analyse comparée de la complexité ne permet en aucun cas de conclure dans un sens ou dans un autre.

6

Signalisation et contenu textuel spatial

*L*A réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation semble donc mobiliser le calepin visuospatial. Le transfert de complexité d'une modalité à l'autre semble pouvoir justifier ce choix de réalisation, sinon en équilibrant, du moins en répartissant au mieux la charge cognitive sur les différentes composantes de la mémoire de travail. Cet allègement autorise sans doute le traitement de contenus d'une plus grande complexité. La boucle est bouclée : nous trouvons là une justification de la systématisation au Moyen-Âge, puis de son développement formalisé avec l'imprimerie, des dispositifs de signalisation typo-dispositionnelle.

En mobilisant une tâche concurrente au traitement de la signalisation typo-dispositionnelle, l'expérience précédente mettait en évidence la compétition pour les ressources disponibles au sein du calepin visuospatial. On peut donc s'inquiéter d'une telle compétition si le contenu textuel tend lui aussi à mobiliser ces ressources : une signalisation typo-dispositionnelle ne va-t-elle pas alors limiter la capacité du lecteur à mobiliser son habileté d'imagerie mentale ?

6.1 Question adressée

Il est bien établi que les lecteurs perçoivent des images mentales pendant la lecture (Mak et al., 2020). Dès lors, lorsque nous lisons un texte décrivant un environnement visuospatial, nous pouvons construire une représentation

mentale de l'environnement décrit par ce texte (Denis, 1982 ; Kintsch, 1998 ; Olive, Lebrave et al., 2010) et cette représentation mentale possède des caractéristiques fonctionnelles similaires à la perception visuelle (Denis et al., 2002). « Qu'il s'agisse d'une carte ou d'un texte décrivant une configuration spatiale, les sujets s'engagent, dans les deux cas, dans la construction de représentations spatiales [...] » (Blanc et Tapiero, 2000, p. 242).

Généralement appelées modèles mentaux spatiaux, en référence à la théorie des modèles mentaux de Johnson-Laird (1983), la construction d'une représentation spatiale à partir d'une description verbale a été largement étudiée (Gyselinck, Picucci et al., 2006) et il est relativement bien admis que l'imagerie mentale est supportée par la composante visuospatiale de la mémoire de travail (Gyselinck, De Beni et al., 2007 ; Tong, 2013) et que celle-ci est impliquée dès qu'un traitement visuospatial est requis (Gyselinck, Jamet et al., 2008).

Et donc, si le contenu textuel évoque une imagerie mentale, laquelle mobilise le calepin visuospatial, et si, par ailleurs, la réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation textuelle mobilise aussi le calepin visuospatial comme les résultats précédents invitent à le penser, alors nous devrions observer, dans cette situation, une compétition pour cette ressource. C'est l'hypothèse que nous faisons ici.

Toutefois, afin de tester l'interaction entre l'imagerie mentale et le traitement de la signalisation typo-dispositionnelle, nous devons nous assurer que nos lecteurs mobiliseraient effectivement cette imagerie mentale. Nous avons utilisé le fait que demander à des étudiants de créer des images de ce qu'ils avaient lu avait un impact sur la compréhension du texte (pour une revue, voir De Koning et van der Schoot, 2013). Parallèlement, des instructions spécifiques visant à encourager l'utilisation de la mémoire visuelle améliorent la capacité de celle-ci (Bengson et Luck, 2016). Suivant la méthodologie proposée par Mak et al. (2020), nos participants ont donc été encouragés ou découragés à s'engager dans l'imagerie mentale par le biais d'instructions préalables à la lecture, après quoi nous avons testé la qualité de la représentation construite en leur demandant de choisir, parmi plusieurs, une représentation figurée concordante avec la description du texte.

Nous mettons donc ici en œuvre un plan factoriel 2×3 , avec la consigne en intersujet (lire pour mémoriser ou dessiner), mais intrasujet sur la condition de signalisation (aucune, discursive, typo-dispositionnelle). Nous avons comme variables dépendantes le temps de lecture de chacun des textes et la compréhension évaluée par questionnaire après chaque texte. Comme dans l'expérience précédente, nous distinguons trois dimensions à cette compréhension, littérale, inférentielle et structurale.

6.2 Participants

Suivant les recommandations de Lakens (2022), un calcul de puissance préalable suggère un nombre minimal de participants de l'ordre de 70. Cette expérience a été proposée en ligne (LimeSurvey Project Team et Schmitz, 2023), sur la même population que dans l'expérience précédente (faculté des sciences de Toulouse). Le nombre total de participations est de 86, dont 74 complètes (âge moyen = 24.4 ans, $SD = 4.7$, 23 hommes), soit un taux d'attrition initial de 14 %.

6.3 Matériel

6.3.1 Prétests

En introduction de passation, nous avons conservé l'évaluation des pratiques de lecture, adaptée des questionnaires de Bharuthram (2017) et A. J. Applegate et M. D. Applegate (2004). Lors de l'expérience précédente, nous n'avions pas noté d'effet significatif du niveau de pratique rapporté,¹ mais nous pouvons penser que sa présence en début de passation peut participer à impliquer le participant dans la tâche qui lui est demandé en contextualisant concrètement la demande autour de la pratique de la lecture. Nous avons donc reconduit ce questionnaire à l'identique.

¹ cf. *supra*, prétests
5.5.1 page 96

6.3.2 Textes et questions

S'agissant d'une expérience en ligne, afin de faciliter l'implication des participants, nous avons choisi de proposer des textes plus courts que dans l'expérience précédente : l'équivalent textuel d'une page A4 était présenté sur l'écran en deux colonnes (copies d'écrans figure 6.1 page suivante). La présentation en colonnes permet d'afficher quasiment l'ensemble du texte sur l'écran, permettant au participant d'appréhender rapidement l'effort de lecture demandé et, si une présentation en colonnes peut affecter positivement la vitesse de lecture, elle n'affecte toutefois pas la compréhension (Baker, 2005).

S'agissant de textes courts, nous avons tenté de limiter l'impact potentiel de connaissances préalables en concevant des textes imaginaires décrivant un palais, une capsule spatiale et un campus universitaire. Chacun de ces textes décrit une organisation spatiale en précisant des positions absolues ou relatives (p. ex. « le bâtiment de philosophie est au nord... » ou « le bureau est situé à l'opposé de la grande salle... ») d'éléments clairement identifiables par des caractéristiques uniques (p. ex. la grande ou la petite salle).



FIGURE 6.1 – Exemple : texte signalé typo-dispositionnellement à gauche, discursivement à droite (copie d’écrans)

Les caractéristiques linguistiques des trois textes sont similaires (tableau 6.1 page ci-contre) avec un niveau de difficulté de niveau universitaire (*undergraduate* : indices compris entre 30 et 50).

Suivant le principe retenu pour notre expérience précédente, nous avons construit pour chacun des textes un questionnaire de compréhension visant l’évaluation de trois dimensions (exemples tirés du texte I décrivant une capsule spatiale imaginaire) :

- Littérale : habileté à rappeler des éléments présents dans le texte, comme ”La capsule fut découverte en 3058?”;
- Inférentielle : habileté à inférer des éléments qui ne sont pas explicitement présents dans le texte, comme ”Le réseau de neurones est situé à l’arrière?”;
- Structurale : éléments qui sont associés à l’organisation des unités conceptuelles du texte, comme ”Le texte décrit 4 grandes structures : rappelez-les”

Soucieux d’un compromis visant à limiter l’attrition du participant, chaque lecture de texte était donc associée à trois questions littérales, trois questions inférentielles, trois questions structurales et le choix d’une représentation figurée. Les réponses sont agrégées et ramenées sur 100 pour donner un score en pourcentage de réussite pour chacune des dimensions et pour la compréhension totale (moyenne des trois dimensions).

6.3.3 Procédure

Après l’écran d’introduction et de consentement, le participant était invité à préciser l’âge, le genre, le niveau d’étude et de pratique de la lecture, avant de commencer.

Les trois contenus textuels (palais, capsule spatiale et université) étaient alors présentés à l’écran, chacun selon l’une des trois conditions de signalisation (aucune, discursive ou typo-dispositionnelle). L’association des contenus textuels et des conditions de signalisation était contrebalancée (3 × 3 = 9 combinaisons),

TABLEAU 6.1 – Caractéristiques moyennes des textes utilisés pour l'ensemble des conditions de signalisation

		Mots	Phrases	Lisibilité*
T1	La Capsule	453 ±17	28 ±5	45.4 ±3.4
T2	Le Palai	479 ±8	28 ±6	45.7 ±2.0
T3	L'Université	428 ±7	25 ±5	42.8 ±3.2

* indice Antidote
Écarts-types en gris

ainsi que l'ordre de présentation. Nous n'avions pas d'effets significatifs de l'ordre de présentation des textes ou de la signalisation dans l'expérience précédente. Nous n'en attendons donc pas plus ici, d'autant que le nombre de participants estimé est insuffisant à permettre l'évaluation fiable d'un tel effet.

Le participant était aléatoirement affecté à l'une de ces deux consignes :

- « Merci de lire attentivement le texte ci-dessous **afin de répondre à des questions** sur ce qui est décrit »
- « Merci de lire attentivement le texte ci-dessous **comme si vous deviez en dessiner** ce qui est décrit »

Cette consigne de lecture (lire pour mémoriser ou dessiner) était identique, mise en valeur et rappelée au-dessus de chacun des textes, et chaque texte était immédiatement suivi des questions associées avant de passer au texte suivant. Les questions étaient regroupées en deux groupes, présentées sur deux écrans successifs, afin de limiter le bénéfice potentiel d'une question sur une autre (p. ex. « Rappelez les pièces décrites... » avant « la grande salle est au nord ? »).

Le choix d'une représentation figurée du contenu textuel était proposé après les questions sur le texte : le participant devait choisir l'une des trois représentations proposées, dont une seule était correcte (exemple figure 6.2 page suivante).

6.4 Résultats

Nous utilisons ici les mêmes outils et conditions d'analyse que dans l'expérience précédente (R v4.3.2, R Core Team, 2023, sous Windows 11 et environnement RStudio).

6.4.1 Prétests

Compte tenu de la longueur moyenne de nos textes (453 mots) et d'un temps de lecture moyen de 238 mots par minute (Brysbaert, 2019), nous attendons un temps minimum moyen de lecture de quelque deux minutes par texte. Tous les temps de lecture sont effectivement au-dessus de cette valeur, sauf pour 11 textes

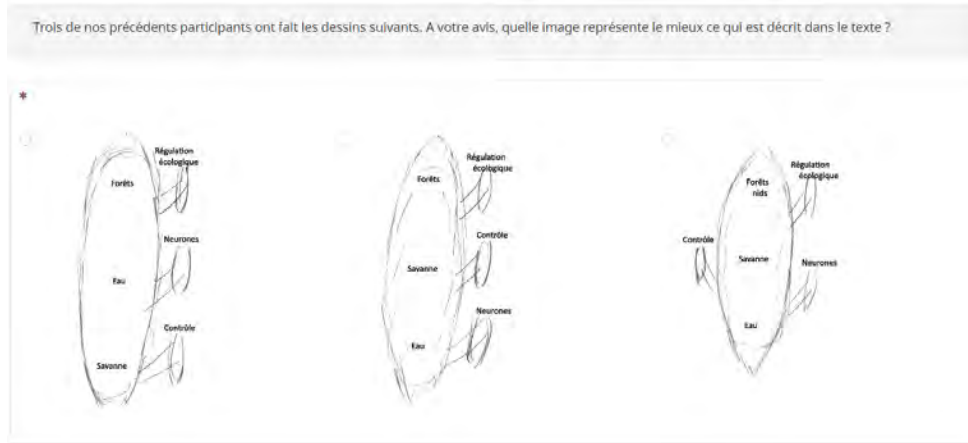


FIGURE 6.2 – Exemple de dessins proposés sur un des textes (la Capsule, copie d'écran)

dont les temps de lecture sont très inférieurs à cette valeur ($M = 0.63$ minute, $SD = 0.4$), ce qui donnerait une vitesse de lecture supérieure à 700 mots par minute. Conformément aux plus récentes recommandations sur les études en ligne (Brühlmann et al., 2020), ces données ont été exclues de l'analyse et 63 observations sont donc retenues (âge moyen = 24.6 ans, $SD = 4.8$, 23 hommes), soit un taux total d'attrition, par abandon ou investissement insuffisant, de 28 %.

Le niveau d'étude moyen de nos participants était de 1,9 année après le bac, avec une pratique rapportée de la lecture un peu au-dessus de la moyenne (6.1 points sur 10, $SD = 1.5$). Cette pratique de la lecture n'est ni corrélée au niveau d'étude, ni au genre des participants ($F(2, 60) = 0.340$, $p = .713$).

6.4.2 Temps de lecture

Le temps de lecture moyen, toutes conditions confondues, est de 3.1 minutes ($SD = 0.6$). Nous appliquons pour le temps de lecture la même analyse que dans l'expérience précédente, avec les critères de sélection basés sur l'AIC et le BIC pour le choix du modèle. Nous n'observons qu'un effet principal de la signalisation, sans effet de la consigne ($p = .321$) et le modèle retenu pour la régression linéaire mixte est reporté ci-dessous (équation 6.1 et figure 6.3 page suivante).

$$\text{Temps de lecture} \sim \text{Signalisation} + (1|\text{Participant}) \quad (6.1)$$

Le modèle met donc en évidence un effet principal unique de la signalisation sur le temps de lecture ($p < .001$, $\eta_g^2 = 0.11$) : le temps de lecture diminue avec la signalisation, et cette diminution est plus marquée pour la signalisation typographique.

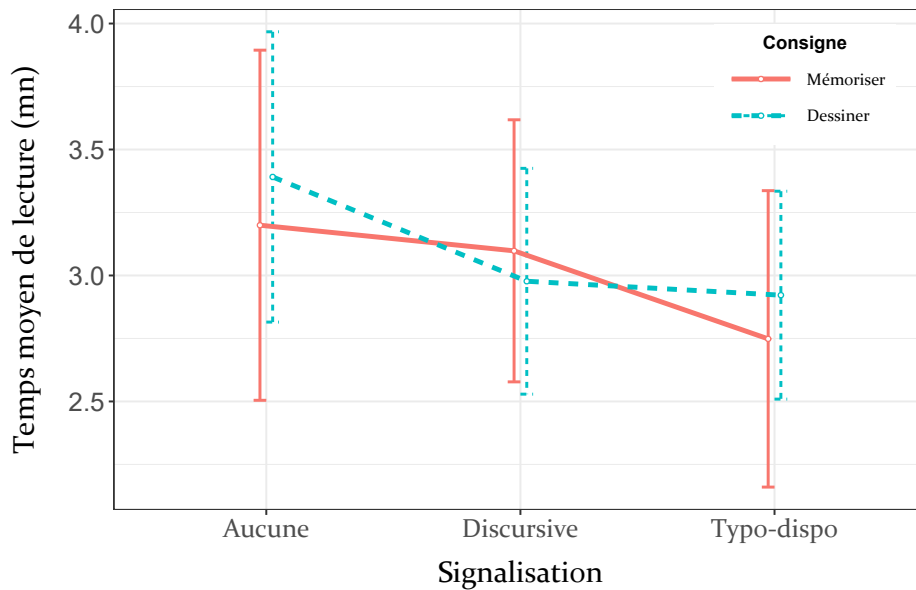


FIGURE 6.3 – Temps moyens de lecture en fonction de la consigne et des conditions de signalisation (barres d'erreur = *SD*)

6.4.3 Compréhension

Le taux moyen de reconnaissance correcte des dessins, toutes conditions confondues, est de 78.3 %, significativement supérieur au hasard (test binomial, $p < .001$). Le détail selon les différentes conditions est rapporté dans le tableau 6.2 page suivante.

Une analyse par régression logistique met en évidence un effet principal de la consigne ($z = 3.081$, $p = .002$) et de la signalisation ($z = 3.081$, $p = .010$), sans interaction, et ce modèle explique 13.4 % de la variance (Nagelkerke R^2).

Comparativement à la consigne de mémorisation, la consigne de dessin majore significativement la probabilité de sélectionner le bon dessin (OR = 1.82, 95% CI = [1.26, 2.72]). Comparativement à l'absence de signalisation, une signalisation discursive ou typo-dispositionnelle majore cette probabilité, mais cette majoration est moins importante pour la signalisation discursive (OR = 1.86, 95% CI = [0.81, 4.38]) comparativement à la signalisation typo-dispositionnelle (OR = 3.41, 95% CI = [1.38, 9.16]).

Concernant les réponses aux questions, le taux de compréhension totale (littérale, inférentielle et structurale), toutes conditions confondues, est de 60.7 % ($SD = 21.2$). Les régressions linéaires mixtes, avec comme facteurs prédictifs la consigne et la signalisation, et comme facteur aléatoire le participant, ne mettent en évidence aucun effet de ces facteurs (tous $p > .190$). Ceci reste vrai pour les deux dimensions littérale et inférentielle de cette compréhension (résultats reportés en annexe C.3 page XXIII).

TABLEAU 6.2 – Performance moyenne de rappel du dessin selon la consigne et la signalisation

Consigne	Signalisation			
	Aucune	Discursive	Typo-dispo	
Mémoriser	58.1 %	67.7 %	80.6 %	68.8 %
Dessiner	78.1 %	90.6 %	93.8 %	87.5 %
	68.1 %	79.2 %	87.2 %	78.3 %

Moyennes par lignes et colonnes en gris

Concernant toutefois la dimension structurale (figure 6.4 page ci-contre), nous observons un effet principal de la consigne ($\eta_p^2 = 0.23$, 95% CI = [0.09, 1.00]) et de la signalisation ($\eta_p^2 = 0.63$, 95% CI = [0.55, 1.00]), et une interaction marginale ($\eta_p^2 = 0.04$, 95% CI = [0.00, 1.00], $p = .0612$). L'analyse des contrastes révèle :

1. selon si l'on regarde la signalisation :

- en l'absence de signalisation, il n'y a pas de différence significative de la compréhension pour les deux consignes ($p = .864$);
- en condition de signalisation discursive, il n'y a pas de différence significative de la compréhension entre les deux consignes ($p = .136$);
- en condition de signalisation typo-dispositionnelle, la compréhension structurale est significativement meilleure pour la consigne de mémorisation que pour la consigne de dessin ($p = .004$);

2. selon si l'on regarde la consigne :

- lorsque la consigne invite à mémoriser, la signalisation discursive améliore significativement la performance par rapport à l'absence de signalisation ($p = .005$), et la signalisation typo-dispositionnelle améliore significativement la compréhension par rapport à la signalisation discursive ($p < .001$);
- lorsque la consigne invite à dessiner, il n'y a pas de différence significative entre l'absence de signalisation et une signalisation discursive ($p = .204$), mais une différence significativement plus importante entre la signalisation typo-dispositionnelle et la signalisation discursive ($p < .001$).

6.4.4 Complexité visuelle

Le nombre de données reste ici aussi insuffisant, mais faisant suite à la démarche initiée dans notre précédente expérimentation, nous avons appliqué les critères de complexité visuelle proposé par Pieters et al. (2010) dans l'analyse

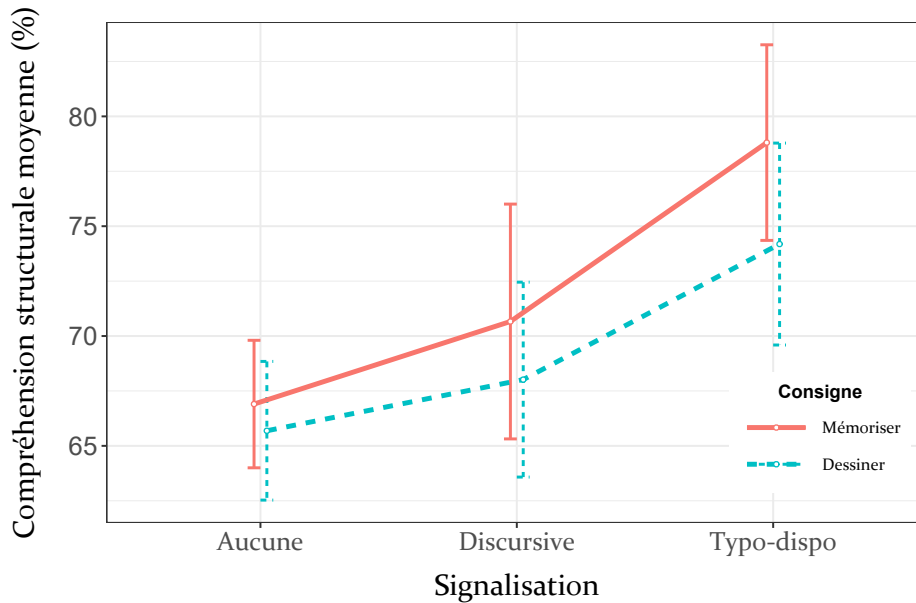


FIGURE 6.4 – Scores de compréhension structurale moyens en fonction de la consigne et des conditions de signalisation (barres d'erreur = SD)

d'images publicitaires,² en calculant pour chacun de nos textes les deux critères de complexité. La conception visuelle est évaluée en appliquant les critères proposés par l'auteur et le critère de complexité des caractéristiques visuelles est opérationnalisé ici comme la taille du fichier image du texte compressé (format JPEG) que nous avons arbitrairement ramené sur une échelle [0, 1] afin de faciliter l'interprétation comparée des deux critères (tableau 6.3 page suivante).

² cf. *supra*, section 3.4 page 64

Nous opérationnalisons de même la complexité textuelle avec l'indice de lisibilité d'Antidote, interprété ici donc comme l'inverse d'une complexité visuelle et reporté dans le tableau 6.3 page suivante) pour comparaison.

Le critère de complexité visuelle ne diffère pas significativement selon la signalisation ($p = .249$), et ne corrèle pas avec le nombre de mots des textes (Pearson $r = .20$, $p = .607$).

Concernant la complexité de conception visuelle, on observe un effet significatif de la signalisation avec un ajustement linéaire quasiment parfait ($p < .0001$) : la complexité de conception visuelle est faible en l'absence de signalisation ou pour la signalisation discursive, et maximale dans le cas de la signalisation typo-dispositionnelle. L'augmentation de la complexité visuelle semble ici positivement corrélée à l'augmentation de la lisibilité du texte ($r = .98$, $p = .003$, voir droite de régression sur la figure incrustée 6.5 page 115).

Si l'on agrège les caractéristiques des textes de l'expérience précédente avec celle-ci, le modèle linéaire complexité textuelle (indice de lisibilité) et visuelle (complexité de conception) s'ajuste toutefois mal aux données ($p = .196$).

TABLEAU 6.3 – Complexité visuelle des textes en fonction des conditions de signalisation (0 : faible complexité, 1 : complexité maximale)
La lisibilité est rapportée ici pour comparaison.

Critère	Signalisation		
	Aucune	Discursive	Typo-dispo
Caractéristiques	0.89 ±0.08	0.95 ±0.04	0.86 ±0.05
Conception	0.17 ±0.0	0.17 ±0.0	1.00 ±0.00
Lisibilité	43.0 ±3.1	43.3 ±1.2	47.6 ±1.6

Écarts-types en gris

6.5 Discussion

Il est généralement estimé que la qualité des données d'expériences interactives en ligne, via Internet, c'est-à-dire sans la présence physique d'un expérimentateur auprès du participant, peut être considérée comme fiable, malgré un problème récurrent d'attrition (Arechar et al., 2018). Les phénomènes observés dans de nombreux paradigmes de psychologie cognitive couramment utilisés sont en effet également observés dans les populations échantillonnées en ligne (type MTurk,³ voir N. Stewart et al., 2017). Nous considérerons donc ici que l'abandon ou le désinvestissement observé n'est pas en relation avec notre expérience et traduit simplement le désintérêt du participant sans compromettre la validité interne des données recueillies.

³ Amazon Mechanical Turk, est un service de micro-travail lancé par Amazon.com

Nous observons des temps de lecture très significativement supérieurs à une lecture normale. Ceci tend à indiquer un réel effort de participation, mais suggère une lecture multiple du texte proposé : il est probable que le participant a lu et relu tout ou partie du texte avant de décider qu'il en avait une représentation suffisante pour satisfaire la consigne. Le mode de passation en ligne ne permet toutefois pas de différencier le temps effectif de lecture d'un temps de réflexion avant que le participant valide l'étape de lecture et passe à l'étape suivante : il est probable qu'une partie du temps mesuré corresponde de fait à un temps d'auto-évaluation du participant au regard de la consigne.

Par ailleurs, l'effet principal de la consigne dans la reconnaissance des dessins est en faveur d'un effort adapté : nous pouvons considérer que les participants ont réellement construit une représentation susceptible de satisfaire la tâche, quelle que soit la stratégie retenue. En ce sens, les instructions de lecture semblent avoir effectivement orienté les représentations construites (Mak et al., 2020).

Notre hypothèse principale, suggérée par l'expérience précédente, nous amenait à considérer qu'il pouvait y avoir compétition au sein du calepin visuospatial entre un effort d'imagerie mentale et le traitement d'une signalisation typo-

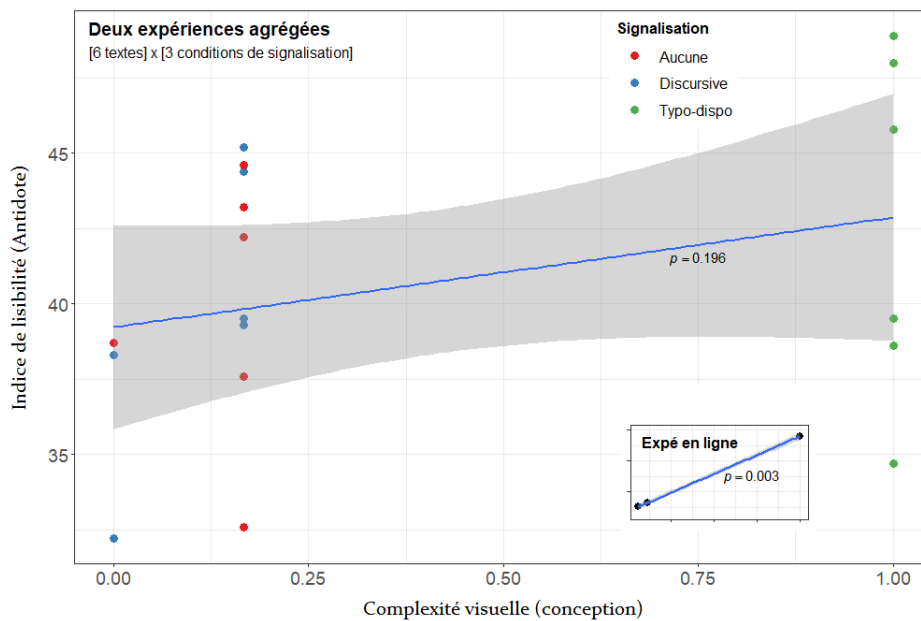


FIGURE 6.5 – Complexité de conception visuelle vs lisibilité textuelle pour les deux expériences. En incrustation : régression linéaire limitée à l'expérience en ligne

dispositionnelle. Pour cela nous avons construit des textes à contenu visuospatial et manipulé la consigne de lecture pour favoriser, ou pas, une représentation picturale de ce contenu par nos lecteurs.

Et, en effet, lorsque l'on demande à nos participants de lire pour dessiner, nous observons tout d'abord qu'ils sont plus à même de choisir une représentation picturale concordante avec le contenu textuel que si on leur demande de lire pour mémoriser. Ensuite, ils le font d'autant mieux si le texte est signalé, et, dans ce cas, la signalisation typo-dispositionnelle semble permettre la meilleure performance. Le premier point favorise une interprétation des résultats en faveur d'une imagerie mentale lorsque la consigne invite à une représentation picturale. Le second point est plutôt en accord avec les observations de notre expérience précédente sur le bénéfice de la signalisation, typo-dispositionnelle en particulier. Toutefois, nous n'observons pas d'interaction négative avec les ressources disponibles au sein du calepin visuospatial.

En ce qui concerne la compréhension évaluée par questionnaire, le résultat est plus mitigé. Nous avons évalué ici aussi trois dimensions de cette compréhension : une dimension littérale et inférentielle, ainsi qu'une dimension structurale associée aux éléments métatextuels pouvant être signalés. Nous n'observons pas d'effet significatif de la consigne ou de la condition de signalisation sur la compréhension totale, et ceci reste vrai pour les deux dimensions littérale et inférentielle.

Concernant plus spécifiquement la dimension structurale, nous observons un effet principal modéré de la consigne, ainsi qu'un effet plus important de la signalisation typo-dispositionnelle. Ceci est cohérent, par construction même de cette dimension, puisque ce sont ces éléments, structuraux, qui sont signalés dans le texte. L'interaction observée entre la consigne et la signalisation est toutefois marginale ce qui ne corrobore pas notre hypothèse. Nous attendions en effet une meilleure performance en situation de signalisation discursive, c'est-à-dire en l'absence de compétition pour les ressources visuospatiales et ce n'est pas ce que nous observons. On remarque toutefois que, par rapport à la signalisation discursive, la signalisation typo-dispositionnelle améliore la compréhension structurale pour les deux consignes. Toutefois cette amélioration est plus faible dans le cas de la consigne de dessin.

Nous pouvons envisager deux catégories d'explications à l'absence d'effet attendu. Une première, évidente, serait d'invoquer un manque de puissance statistique, soit que le design expérimental peine à exprimer l'effet attendu (faiblesse des contenus textuels, stratégies parallèles d'encodage de l'information spatiale, etc.), soit par échantillonnage insuffisant. L'interaction marginale observée pourrait être un argument en ce sens.

Une seconde catégorie renvoie à l'imagerie mentale : l'effort demandé, et répété, d'imagerie visuospatiale peut avoir favorisé la mise en place de stratégies alternatives que notre design expérimental ne permettait pas de contrôler. Il a été remarqué qu'un texte à contenu visuospatial implique néanmoins la construction d'une représentation de niveau intermédiaire, un niveau sémantique (Blanc et Tapiero, 2000, p. 243). Dès lors, certains auteurs soulignent la difficulté à mobiliser les composantes visuospatiales en évitant des stratégies alternatives, notamment verbales (Olive, Lebrave et al., 2010 ; Sadoski et Paivio, 2013). Notamment, l'habileté à construire des représentations visuelles peut être variable d'un individu à l'autre et il a été effectivement proposé que les personnes ayant une forte imagerie mentale s'appuient sur une imagerie sensorielle pour soutenir la performance mnésique, tandis que celles qui ont une faible imagerie font appel à d'autres stratégies (Keogh et J. Pearson, 2011).

Dans le même esprit, la mobilisation d'une imagerie sensorielle comme support à l'imagerie mentale conduit à envisager un effet parasite de l'écran dont la luminance perturberait les mécanismes sensoriels communs à la mémoire de travail visuelle et à l'imagerie mentale (Keogh et J. Pearson, 2011, 2014). Abstraction faite qu'il fut organisé en ligne, le choix d'un design expérimental mobilisant une lecture de contenu spatial sur écran semble sans doute à reconsidérer.

Enfin, et bien que le nombre de données (nombre de textes signalés) soit insuffisant, l'analyse exploratoire de la relation qui pourrait lier la complexité

visuelle avec la complexité textuelle est intéressante. Tout d'abord, on n'observe pas de différence significative en ce qui concerne la complexité visuelle des caractéristiques de base entre les trois différentes conditions de signalisation. La réalisation ne semble pas avoir d'effets sur cet indicateur qui évalue les variations non structurées des caractéristiques visuelles de base. Ceci est sans doute dû à la présence majoritaire de texte sur les pages : les propriétés statistiques des textes susceptibles d'affecter l'indice en question (fréquences des lettres, longueur des mots, etc.) diffèrent peu d'une condition à l'autre.

La complexité de conception visuelle est au contraire très majorée, presque maximale, par la signalisation typo-dispositionnelle. Les variations typographiques et spatiales des éléments sur la page induisent la présence d'éléments visuels disparates.

Cette analyse exploratoire, sans valeur statistique, invite à l'approfondissement. D'abord par une réflexion sur l'adéquation des indicateurs utilisés ici. L'opérationnalisation de la complexité textuelle par un indice de lisibilité semble avoir du sens (Pallotti, 2015), mais, si les indices de complexité visuelle proposés par Pieters et al. (2010) offrent l'intérêt d'une opérationnalisation accessible, ils demandent sans aucun doute à être adaptés aux spécificités des documents textuels écrits afin d'offrir des mesures à la fois plus pertinentes et plus fines. C'est particulièrement vrai pour l'indice de complexité de conception visuelle. Ensuite par la mise à l'épreuve de l'hypothèse d'un transfert de complexité avec une étude sur un corpus de textes signalés selon différentes conditions. La création d'un tel corpus peut gagner en efficacité en partant par exemple d'un corpus existant, comme celui développé à Toulouse (Sajous, 2008) sur la base d'articles Wikipédia en français : le code HTML contient déjà un certain nombre d'informations signalés. Une opérationnalisation un peu brutale, mais qui a l'avantage de l'automatisation, pourrait consister à supprimer ces éléments signalés pour disposer de deux versions de textes expositifs.

7

Discussion-Conclusion

RÉVÉLATEUR du caractère central de l'écrit dans nos cultures, un nombre croissant d'études sont conduites chaque année sur différents aspects de la compréhension écrite : on passe ainsi d'une dizaine de publications annuelles dans les années 1970, à quelques centaines à partir des années 1990, puis un millier à partir de 2015, pour atteindre, de nos jours, quelque 1 500 publications annuelles sur le sujet (« reading comprehension » : données Web Of Science).

Il y a, et il y a toujours eu, précise Ann Blair (2020), « Tant de choses à savoir », et « ...celui qui veut savoir se trouve désemparé devant une prolifération textuelle indomptable... » (Chartier, R. dans Blair, 2020). Dès lors, mieux comprendre comment l'on comprend semble indispensable pour s'assurer que, à défaut de pouvoir être exhaustives, nos lectures puissent être efficaces.

Et, des Anciens aux Modernes, la mise en forme des textes s'est adaptée pour répondre à cette accumulation des savoirs. Les lecteurs ont d'abord annoté, marqué — *signalé* donc — leurs documents pour en faciliter les consultations ultérieures. Autant copieurs-auteurs que lecteurs, ils ont introduit ces signaux directement dans leurs propres productions (Blair, 2020), et l'usage sédimenté de ces dispositifs de *signalisation textuelle* s'est ensuite formalisé et répandu avec l'exploitation des opportunités offertes par l'arrivée du papier et de l'imprimerie (Chartier, 2015). Nous entendons d'ailleurs ici le texte sous une forme écrite, autant sous son aspect linguistique — un ensemble de mots perçus comme cohérents et porteurs de sens (Rastier, 2001) — que typographique — partie de la page recouverte de signes linguistiques (TLFi, 2023).

SARA (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008) conceptualise cette *signalisation textuelle* comme la réalisation d'un discours sur le discours, un contenu métatextuel (Luc et Virbel, 2001) parfois nécessaire en l'absence de structure narrative implicite (Gayraud, 2000). Cette signalisation peut être réalisée *discursivement*, et l'auteur discute alors du texte au sein même du texte (p. ex. « Je vais maintenant aborder ce point crucial... »), mais elle trouve aussi, dans une réalisation *typographique* et *dispositionnelle*, la possibilité d'exprimer cette structure textuelle. Et c'est bien ce qui nous intéresse ici...

Une double hypothèse naît du constat de cette réalisation typo-dispositionnelle. La première oblige à envisager la mobilisation de ressources cognitives visuelles et spatiales pour traiter un nouveau système de signes, certes complémentaire, mais différent du système qui permet de coder la parole. La seconde invite à considérer qu'il y a là bénéfice pour le lecteur, sinon cette pratique n'aurait pas survécu à l'évolution du langage écrit.

D'un point de vue théorique, notre travail permet alors de :

- valoriser l'importance d'une approche globale de l'écrit dans une double sémiotique, linguistique et graphique, qui permet de penser l'existence d'un continuum de réalisation discursive et typo-dispositionnelle de la signalisation textuelle ;
- vérifier le support cognitif de cette sémiotique graphique en précisant les fonctions visuelles susceptibles d'en permettre le traitement.

D'un point de vue pragmatique, il permet ensuite de :

- démontrer l'implication de la composante visuospatiale de la mémoire de travail dans ce traitement ;
- suspecter le transfert d'une partie de la complexité textuelle vers une complexité visuelle, et cette répartition de la charge cognitive entre les deux composantes de la mémoire de travail justifie probablement le bénéfice pour le lecteur ;
- souligner les conséquences des choix de réalisation en ce qui concerne les interactions potentielles avec le contenu textuel.

Reprenons plus en détail ces éléments...

7.1 Discussion

Est-ce que la signalisation textuelle s'inscrit dans un cadre épistémologique qui permet de rendre compte de la spécificité d'une réalisation typo-dispositionnelle ? La réponse est « Oui... »

Notre volonté ici a été « ...d'expliciter des relations non immédiatement apparentes entre concepts... » (Granger, 1992). Avant toute autre chose, il nous a en effet semblé important de nous attarder sur l'évidence, c'est-à-dire sur le fait que penser une signalisation autre que discursive implique d'accepter l'expression d'éléments métatextuels sans utiliser le langage, accepter la possibilité d'une expression textuellement signifiante dans une sémiotique qui n'est pas textuelle. Une ontologie de la signalisation textuelle nécessitait donc un cadre épistémologique de l'écrit inscrit dans une sémiotique plus large que la sémiotique linguistique.¹

¹ cf. chapitre 1
page 7

Néanmoins, envisager que la mise en forme d'un texte puisse être signifiante dans le processus de compréhension écrite ne va spontanément pas de soi. En effet, il a longtemps été considéré que l'écrit n'était guère que le pâle reflet de la parole, seule vérité de la langue (Bachelot, 2021; Klinkenberg, 2018), et l'élaboration du sens était alors habituellement pensée comme une sémantique exclusive du discours écrit (Serafini et Clausen, 2012).

L'évolution contemporaine de la réflexion sur l'écrit permet toutefois maintenant d'associer, à cette sémiotique de la langue, une sémiotique non langagière qui repose sur un code graphique (Kim, 2018; Klinkenberg, 2018). Ceci permet d'envisager l'écrit comme un système de pensée ayant une autonomie propre, indépendant du langage verbal, et institué dans des pratiques sociales stabilisées (R. Harris, 1986; Klinkenberg, 2018). Dès lors, nous pouvons effectivement concevoir la réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation comme fille d'une sémiotique qui convoque l'expression graphique pour l'expression métatextuelle (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008).

On peut donc considérer que la signalisation naît d'un besoin, celui d'explicitement une structure textuelle complexe, et, suivant en cela les recommandations de Bender (2020), adopter une perspective évolutionniste s'avère à cet égard très instructif, car, si l'on en trouve des traces jusque dans l'Antiquité, on s'aperçoit que l'apparition d'un usage systématique d'une signalisation typo-dispositionnelle accompagne l'essor de la production de textes expositifs au Moyen Âge avec l'apparition des universités (Blair, 2020). Nous centrons ici notre réflexion autour du texte expositif, mais tous les types textuels sont susceptibles de mobiliser une signalisation typo-dispositionnelle.

Ce dernier point appelle une perspective élargie : Frost (2012) appelle à une réflexion interculturelle dans la modélisation de la lecture afin d'en mieux dé-

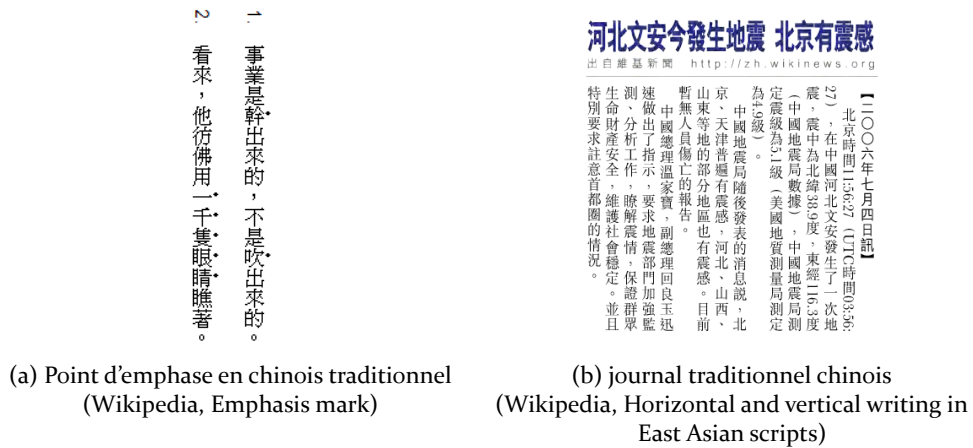


FIGURE 7.1 – Exemples de signalisations en chinois traditionnel

gager les invariants. Une question intéressante invite alors à étudier si toutes les cultures écrites développent une signalisation textuelle similaire à celle que nous observons dans notre système. Sans chercher à répondre ici à cette question, on peut observer effectivement ce qui semble être une réalisation typographique du chinois traditionnel (exemples figure 7.1), mais nous retiendrons que « ...les microsystèmes sémiotiques sont toujours liés à une culture donnée. Leur étude rend donc inévitable l'ouverture de la sémiotique en direction d'une sociosémiotique prenant en considération la variation des codes dans l'espace, la société et le temps. » (Klinkenberg, 2018, p. 121)

Est-ce que la cognition visuelle dispose de processus et de structures susceptibles de permettre le traitement des dispositifs typo-dispositionnels ?

La réponse est aussi « Oui... »

Si l'on continue de faire tomber les dominos (Bennett et Checkel, 2012), en inscrivant tout ou partie de la signalisation textuelle dans une sémiotique graphique, l'ouverture épistémologique que nous venons d'évoquer implique que tout ou partie de son traitement cognitif transite par la modalité visuelle. Il restait alors à vérifier la plausibilité de cette évidence au regard des processus visuo-cognitifs connus. Deux grandes catégories de processus semblent pouvoir rendre compte de ce traitement : des mécanismes complémentaires de capture attentionnelle et de groupement perceptif.

Sous réserve que le lecteur décode correctement le signal proposé (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008), les premiers permettent de réguler la distribution de l'attention aux moments appropriés de la lecture, dans une interaction active (B. A. Anderson, 2021 ; Gaddy et al., 2001). Les seconds vont exprimer la structure textuelle portée par la sémiotique indexicale.

Il a souvent été souligné cette propriété structurante de l'espace (Jacques, 2005). Notons que, dans notre système d'écriture, elle est effectivement première tant elle contribue à faciliter l'accès lexical : l'espace entre les mots favorise probablement le développement de cette voie d'adressage nécessaire à l'automatisation de la lecture (Coltheart et al., 2001).

Mais, au même titre que l'italique ou la mise en gras, l'espace n'est qu'un dispositif typographique, pas un processus. L'espace provoque le groupement perceptif. Le processus qui en tire avantage est le groupement perceptif. Preuve en est par exemple pour cet accès lexical que nous avons rappelé : colorer les mots au lieu de les séparer par des espaces permet d'obtenir sensiblement le même bénéfice dans la lecture (Pinna et Deiana, 2014 ; mais voir D. Wang et al., 2023 pour un bénéfice de l'espace sur d'autres formes de séparations intermots). L'utilisation de la rubrication au Moyen Âge,² et son utilisation plus moderne dans l'exemple de listes que nous avons cité,³ participe d'un même principe : le groupement perceptif (Pinna et Deiana, 2018). C'est lui le processus, et l'espace ou la couleur ne sont que des dispositifs de signalisation dans le sens proposé par Lemarié, R. F. Lorch et al. (2008) qui vont capitaliser sur des processus propres à les traiter.

Nous avons mis en évidence que l'information de structure textuelle est disponible en vision périphérique, et donc parallèlement à la lecture. Ceci implique que ces éléments de structure peuvent être construits avant qu'ils ne soient « remplis » par la lecture des éléments textuels correspondants.

Est-ce que la signalisation améliore la compréhension du lecteur ? La réponse est « Oui, mais plus spécifiquement la construction d'une représentation de la structure thématique du texte... »

Comparativement à une version non signalée, notre expérience en double tâche⁴ met en évidence un bénéfice significatif de la signalisation sur la compréhension générale du texte. Il faut toutefois remarquer que ce bénéfice affecte spécifiquement la dimension structurale de la compréhension, qui correspond dans notre expérience aux éléments signalés, plus précisément ceux qui sont dans la portée du signal, c'est-à-dire l'ensemble des éléments textuels affectés par cette signalisation (Lemarié, R. F. Lorch et al., 2008).

Est-ce qu'une signalisation typo-dispositionnelle est plus avantageuse qu'une signalisation discursive ? La réponse semble aussi être « Oui... »

Nos deux expériences tendent effectivement à mettre en évidence un bénéfice sur la compréhension d'une signalisation typo-dispositionnelle sur une signalisation discursive. Il faut toutefois noter que ce bénéfice affecte essentiellement les

² figure 1.6 page 24

³ figure 2.7 page 50

⁴ cf. chapitre 5
page 87

éléments structuraux du texte, c'est-à-dire ceux qui sont effectivement signalés. Ceci est assez cohérent avec les hypothèses qui découlent d'un traitement réparti entre deux modalités, verbale et visuospatiale : en répartissant la charge cognitive, les composantes correspondantes de la mémoire de travail sont utilisées alors de manière optimale.

Un argument en faveur de ce mécanisme de répartition provient du transfert de complexité, en considérant autant la complexité comme structurale, c'est-à-dire liée au nombre d'éléments disparates à traiter, que cognitive par la charge de traitement induite (Pallotti, 2015). Or, nous l'avons souligné, signaler typodispositionnellement c'est effectivement appliquer une mise en forme différenciée : en différenciant certains éléments du corps du texte, on augmente *de facto* la complexité visuelle de la page. C'est bien ce que nous pouvons observer de l'opérationnalisation proposée par Pieters et al. (2010) : les textes signalés typodispositionnellement voient leur complexité de conception visuelle significativement plus élevée que les textes non signalés, ou signalés discursivement.

Parallèlement, et parce qu'il était facilement disponible, nous avons choisi d'opérationnaliser la complexité textuelle par l'indice de lisibilité, pensé alors comme l'inverse d'une complexité textuelle ce qui n'est pas éloigné de certaines propositions (voir Pallotti, 2015). Compte tenu du mode de calcul des indices de lisibilité (nombre de phrases, de mots dans les phrases, etc.), ce choix renvoie la complexité textuelle à une forme de complexité propositionnelle et l'on observe que les textes signalés typodispositionnellement tendent à être moins complexes, c'est-à-dire plus lisibles. Ceci semble cohérent avec le principe de la signalisation typodispositionnelle qui tend à réduire l'expression discursive du signal (voir les exemples (1) et (2) page 13).

Dès lors, et bien que nos données soient insuffisantes à le démontrer, il semble bien qu'une réalisation typodispositionnelle augmente la complexité visuelle du texte produit, tout en diminuant sa complexité textuelle, autorisant ainsi cette répartition de la charge cognitive entre les deux modalités, c'est-à-dire les deux composantes de la mémoire de travail. Ce travail exploratoire gagnera donc sans doute à être approfondi.

Est-ce que la signalisation typodispositionnelle est accessible en vision périphérique ? La réponse est « Oui... »

Nous avons vu que l'essentiel des travaux adressant la question de la perception visuelle en cours de lecture s'est intéressé au texte, définissant des empan, visuel ou perceptif, en rapport avec le texte, c'est-à-dire en nombre de caractères effectivement perçus ou utiles à la lecture (Rayner, Pollatsek et al., 2012). Les travaux de Cauchard (2008) sont à ce titre précurseurs en ce qu'ils interrogent

la perception visuelle au-delà de la vision centrale mobilisée dans l'accès lexical. Ces travaux démontrent que le lecteur bénéficie d'informations au-delà de la ligne lue lorsque ces informations sont signalées typo-dispositionnellement.

Nous complétons ce travail en vérifiant qu'effectivement, en condition de vision périphérique, c'est-à-dire une perception visuelle limitée en résolution, il est possible d'extraire toute l'information de structure hiérarchique codée dans une signalisation typo-dispositionnelle classique (indentation des paragraphes, titres de sections, etc.), ce qui n'est pas possible à partir d'une signalisation discursive.

On peut trouver là un double bénéfice de la signalisation typo-dispositionnelle. D'abord parce que le traitement de l'information visuelle périphérique est plutôt considéré comme précoce, automatique et surtout pré-attentif (Feldman, 1999, 2003). L'extraction de résumés statistiques permet alors sans doute de récupérer très efficacement une structure réceptrice des éléments textuels en cours de lecture. Ce d'autant que nous avons vu que l'élaboration de cette structure était possible même lors d'une présentation morcelée des éléments constitutifs (Zimmer, 2004), comme c'est le cas lorsque nous tournons les pages d'un document.

Ensuite, parce qu'en offrant un environnement de structure visible, nous pouvons penser que celle-ci participe à accompagner le lecteur dans le maintien de l'activation des informations pertinentes. Le *Landscape Model of Reading* (van Den Broek, 1995 ; Yeari et Van Den Broek, 2011) nous semble ici intéressant à mobiliser : ce modèle prévoit qu'à chaque cycle de lecture certains concepts verront leur activation diminuer tandis que d'autres seront renforcés. Notamment, un élément actif dans le cycle de lecture en cours déclenchera l'activation d'autres éléments qui lui ont été associés au cours de la lecture de parties antérieures du texte ou d'éléments qui lui sont associés.

L'hypothèse que nous pouvons alors émettre, c'est que la perception visuelle périphérique d'une structure de données participe à orienter ce processus associatif (*cohort activation mechanism*) afin de maintenir actifs les éléments participants du même niveau d'interprétation, à moindre coût puisque ce processus est pensé comme automatique, sans que le lecteur en soit conscient et sans effort. Cette hypothèse déborde la précédente en ce qu'elle ne se contente pas de proposer une structure réceptrice de données, elle envisage que la signalisation typo-dispositionnelle oriente les processus d'activation au cours de la lecture.

Ceci pourrait expliquer le bénéfice constaté par Cauchard et al. (2006) dans la perception périphérique d'une signalisation typo-dispositionnelle : la structure textuelle est disponible, le lecteur maintient automatiquement actifs les éléments du niveau en cours de traitement.

Est-ce que le traitement d'une signalisation typo-dispositionnelle mobilise spécifiquement le calepin visuospatial ? La réponse est « Oui... »

Mobiliser une sémiotique graphique semble impliquer que son traitement passe par la modalité visuelle, et probablement mobiliser le calepin visuospatial. L'hypothèse complémentaire consiste à considérer que la signalisation discursive est traitée par la composante verbale de la mémoire de travail. Assez classiquement, nous avons tenté de vérifier ces hypothèses dans une expérience en double tâche : une tâche concurrente visait à induire une charge différentielle sur les composantes de la mémoire de travail, alors que nous manipulions parallèlement la réalisation de la signalisation du texte lu.⁵

⁵ cf. chapitre 5
page 87

Nos résultats mettent en évidence une interaction croisée : avec une réalisation discursive, nous observons une baisse de la compréhension lorsque la tâche concurrente mobilise la composante verbale de la mémoire de travail ; avec une réalisation typo-dispositionnelle, cette baisse de la compréhension s'observe lorsque les composantes visuelles ou spatiales sont parallèlement mobilisées. Selon le principe du paradigme double tâche (Esmaeili Bijarsari, 2021), nous interprétons ce résultat en faveur d'une confirmation de nos hypothèses : une signalisation discursive mobilise essentiellement la composante verbale de la mémoire de travail, alors que son pendant typo-dispositionnel mobilise plus fortement la composante visuospatiale.

Deux éléments importants ressortent par ailleurs de cette expérimentation. Tout d'abord, seule une dimension de la compréhension que nous avons qualifiée de « structurale » est effectivement affectée par la manipulation, les dimensions littérales ou inférentielles n'étant pas significativement différentes selon les conditions. Ceci n'est ici pas surprenant puisque la signalisation mise en œuvre, discursive ou typo-dispositionnelle, affectait uniquement l'organisation thématique du texte (explicitation des enchaînements, titres de section, listes, etc.), mais pas d'emphases par exemple pouvant faciliter la mémorisation d'éléments littéraux. On peut toutefois observer une meilleure performance littérale et inférentielle pour les textes signalés (versus non signalés) en l'absence de tâche concurrente (condition contrôle), mais cet écart n'est statistiquement pas significatif et disparaît complètement en présence d'une tâche concurrente.

Ensuite, nous avons distingué, parmi les tâches concurrentes, la mobilisation des deux sous-composantes, visuelle et spatiale, du calepin visuospatial. Toutefois, nous n'observons pas de mobilisation différentielle de ces composantes, soit parce que notre opérationnalisation de la tâche concurrente peine à être spécifique d'une composante plutôt qu'une autre, soit qu'elles sont effectivement mobilisées toutes deux dans le traitement de la signalisation typo-dispositionnelle.

Nous tendrons à privilégier la seconde option avec une double argumentation en ce sens : nous avons repris une opérationnalisation de la double tâche qui a montré son efficacité dans une étude sur la mémoire de localisation (Le Bigot, Passerault et al., 2012), et il faut bien observer qu'une signalisation typo-dispositionnelle mobilise autant les caractéristiques visuelles du texte (taille, graisse) que leur organisation spatiale sur la page. On peut donc considérer que la signification métatextuelle découle autant de la présence d'éléments différenciés que de leur hiérarchie visuospatiale figurée sur la page.

Nous ne pouvons esquiver la question de la juste répartition de la signalisation textuelle entre les deux réalisations, discursive ou typo-dispositionnelle. Il n'est bien entendu pas question ici d'établir une quelconque primauté d'une sémiotique sur l'autre, surtout pas de considérer qu'une signalisation typo-dispositionnelle pourrait être toujours préférée à une version discursive. Il a d'ailleurs été montré l'insuffisance du graphique à pourvoir seul sa propre signification, soulignant l'importance du texte qui l'accompagne (Stokes et M. Hearst, 2022 ; Stokes et M. A. Hearst, 2021). On peut penser qu'il en est de même de la signalisation, le besoin d'un juste équilibre. Mais, puisque l'auteur a le choix de la réalisation, pourquoi tendre à l'exprimer dans une sémiotique plutôt qu'une autre ? Y a-t-il un bon choix ?

Est-ce que l'on peut avoir une interaction négative entre le contenu textuel et la signalisation typo-dispositionnelle ? La réponse pourrait être « Oui... »

De la théorie du double code et de l'apprentissage multimédia, nous savons que le lecteur construit une représentation intégrée, multimodale, typiquement verbale et visuospatiale, du contenu textuel (Sadoski et Paivio, 2013). L'imagerie mentale est par ailleurs impliquée dès qu'un traitement visuospatial est requis (Blanc et Tapiero, 2000 ; Gyselinck, Jamet et al., 2008), et, nous l'avons vu, cette imagerie mentale est supportée par le calepin visuospatial (Gyselinck, De Beni et al., 2007 ; Tong, 2013).

En situation de double tâche visuospatiale, nous avons observé une dégradation de la compréhension si le texte est signalé typo-dispositionnellement, et nous avons interprété cette dégradation comme la conséquence d'une compétition pour les ressources du calepin visuospatial. Nous nous attendons donc à obtenir une dégradation similaire si le contenu textuel mobilise le calepin visuospatial : l'imagerie mentale jouant alors le rôle de la tâche concurrente.

Nos résultats ne vont toutefois pas dans le sens de cette hypothèse, sans toutefois l'invalider. Comme elle nous semble quand même avoir une certaine crédibilité théorique, nous avons envisagé un manque de puissance statistique

par un design expérimental insuffisant (expérience en ligne, textes trop courts, taille d'échantillon insuffisante, etc.).

Mais une explication alternative est peut-être à chercher dans l'analyse de la répartition des ressources cognitives entre les composantes de la mémoire de travail. Cette répartition est dévolue à l'administrateur central qui distribue au mieux les processus et les représentations en fonction des ressources disponibles. Ainsi, si une composante est trop mobilisée, l'administrateur central peut réorienter, ou maintenir, le traitement dans une composante plus disponible. On peut donc envisager que, si le traitement de la signalisation typo-dispositionnelle est bien dévolue au calepin visuospatial par construction (effet de modalité), le traitement du contenu textuel peut rester attribué à la composante verbale si celle-ci en a les capacités suffisantes. Nous avons vu que les deux modèles de l'imagerie mentale (théorie des modèles mentaux ou théorie des images mentales) sont compatibles avec une dualité des représentations.

Il se trouve que, dans une tâche de compréhension orale, il a été rapporté que le coût cognitif de traitement d'un contenu textuel spatial pouvait dépendre des capacités verbales de la mémoire de travail : la performance des participants disposant de bonnes ressources verbales n'était pas affectée par une tâche concurrente spatiale, contrairement aux participants disposant de ressources plus faibles (Lin et Matsumi, 2022). Ceci permet de supposer que les participants disposant de réserves verbales suffisantes peuvent compenser la charge induite sur le calepin visuospatial en maintenant le traitement et les représentations au sein de la boucle phonologique.

On peut donc envisager une explication similaire dans notre étude, le texte court n'induisant peut-être pas de coût cognitif suffisant, il n'est peut-être même pas nécessaire de supposer de bonnes capacités verbales.

Cette question reste donc irrésolue et demande une investigation qui veille à mieux maîtriser les composantes mobilisées. Par ailleurs, cette problématique de l'interaction avec le contenu textuel invite aussi à poser la problématique du document multimédia en général et du support informatique en particulier, car ils mettent en œuvre en général une signalisation typo-dispositionnelle très riche. En effet, bien qu'il n'ait été initialement rapporté que peu de différence de compréhension entre des documents électroniques et des documents papier (Daniel et Woody, 2013 ; Porion et al., 2016), les dernières études tendent toutefois à confirmer un coût majoré de la lecture sur écrans (Baron, 2021 ; Clinton, 2019 ; Kong et al., 2018). La signalisation, souvent riche sur les documents électroniques, peut participer à majorer le coût cognitif et la lecture papier de documents longs et complexes, typiquement le cas des textes expositifs peut favoriser l'analyse contextuelle et un sentiment de connaissance plus profond (Walsh, 2016).

7.2 Conclusion

Parallèlement à une baisse modérée, mais sensible et constante, de l'édition académique (FEP, 2023), les études les plus récentes soulignent la faible compétence en langage écrit des collégiens dont seulement 44.6 % obtiennent des résultats considérés comme satisfaisants en compréhension écrite (évaluations 4ème, Andreu et al., 2023), ce qui amène le ministre de l'Éducation nationale à qualifier ces résultats d'inquiétants (Le Monde, 2023b).

De fait, il a été souligné les exigences contradictoires imposées aux ressources cognitives et motivationnelles des lecteurs, qui découlent autant de la multiplicité des formes et des contextes de lecture, que des comportements multitâches associés à une difficulté intrinsèque à mobiliser un traitement profond du texte (Alexander et The Disciplined Reading and Learning Research Laboratory, 2012).

Dans ce contexte, ce travail souffre sans doute d'une approche fondamentale qui le conduit à aborder de trop nombreux points pourtant essentiels participant d'une meilleure appréhension des mécanismes de la signalisation textuelle en particulier et, par suite, de la compréhension écrite en général. D'un point de vue théorique, il précise toutefois le cadre qui permet de penser l'expression d'éléments métatextuels dans une modalité qui n'est pas supportée par une sémiotique textuelle, pour ensuite expliciter les processus visuels cognitifs susceptibles de donner du sens à cette réalisation typo-dispositionnelle.

D'un point de vue pragmatique, il confirme le bénéfice, pour la compréhension, d'une signalisation textuelle, discursive autant que typo-dispositionnelle, et témoigne pour le traitement de cette dernière, de l'implication de la composante visuospatiale de la mémoire de travail. Enfin, tirant les conséquences de cette répartition de la charge cognitive, il échoue néanmoins à confirmer la compétition pour les ressources disponibles entre le traitement de cette signalisation et du contenu textuel, lorsque celui-ci tend à mobiliser des représentations imagées.

* * *

Bibliographie

*Les références des logiciels et modules statistiques
sont regroupées en fin de bibliographie
dans une section dédiée.*

- Adam, J.-M. (2012). Le modèle émergentiste en linguistique textuelle. *L'Information Grammaticale*, 134(1), 30-37. <https://doi.org/10.3406/igram.2012.4211>
- Adam, J.-M. (2017). *Les Textes : Types et Prototypes : Récit, Description, Argumentation, Explication et Dialogue* (4^e éd.). Armand Colin
- Adam, J.-M. (2018). *Le paragraphe : entre phrases et texte*. Armand Colin
- AFNOR. (2018). Optique ophtalmique-Mesure de l'acuité visuelle-Optotype normalisé et optotypes cliniques et leur présentation
- Akhmanova, O. & Mikaeljan, G. (1969). Text Signals Its Own Structure. *The Theory of Syntax in Modern Linguistics* (pp. 13-23). De Gruyter Mouton. <https://doi.org/10.1515/9783112414668-003>
- Alexander, P. A. & The Disciplined Reading and Learning Research Laboratory, n. (2012). Reading Into the Future : Competence for the 21st Century. *Educational Psychologist*, 47(4), 259-280. <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.722511>
- Alvarez, G. A. (2011). Representing multiple objects as an ensemble enhances visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(3), 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.01.003>
- Anderson, B. A. (2021). Time to Stop Calling It Attentional "Capture" and Embrace a Mechanistic Understanding of Attentional Priority. *Visual Cognition*, 29(9), 537-540. <https://doi.org/10.1080/13506285.2021.1892894>
- Anderson, M., Bucks, R. S., Bayliss, D. M. & Della Sala, S. (2011). Effect of age on dual-task performance in children and adults. *Memory & Cognition*, 39(7), 1241-1252. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0099-7>
- Andreu, S., Bret, A., de Monestrol, H. D., Heidmann, L., Lacroix, A., M'Bafoumou, A., Garnero, M., Gill-Sotty, C., Hick, M., Laskowski, C., Léger, A., Paul, A., Paillet, V., Paul, A., Persem, É., Rocher, T., Rogie, H., Rue, G., Stachowiak, J.-F., ... Wuillamier, P. (2023). Évaluations de début de quatrième 2023. *Éducation nationale (DEPP)*. <https://doi.org/https://www.education.gouv.fr/evaluations-de-debut-de-quatrieme-2023-premiers-resultats-379872>
- Applegate, A. J. & Applegate, M. D. (2004). The Peter Effect : Reading Habits and Attitudes of Preservice Teachers. *The Reading Teacher*, 57(6), 554-563
- Arechar, A. A., Gächter, S. & Molleman, L. (2018). Conducting interactive experiments online. *Experimental Economics*, 21(1), 99-131. <https://doi.org/10.1007/s10683-017-9527-2>
- Arsenijevic, B. (2008). From Spatial Cognition to Language. *Biolinguistics*, 2(1), 003-023. <https://doi.org/10.5964/bioling.8615>
- Arte Book Club. (2023). *Dune de Frank Herbert [vidéo]* (Arte TV, Éd.). <https://www.youtube.com/watch?v=Fg1UFuBojss>

- Ayres, P. (2015). State-of-the-Art Research into Multimedia Learning : A Commentary on Mayer's Handbook of Multimedia Learning. *Applied Cognitive Psychology*, 29(4), 631-636. <https://doi.org/10.1002/acp.3142>
- Baccino, T. (2004). *La Lecture Électronique*. Presses Universitaires de Grenoble
- Baccino, T. & Colé, P. (1995). *La lecture experte*. Presses Universitaires de France - PUF
- Baccino, T. & Draï-Zerbib, V. (2015). *La Lecture numérique* (2e éd). PUG
- Baccino, T. & Pynte, J. (1994). Spatial Coding and Discourse Models During Text Reading. *Language and Cognitive Processes*, 9(2), 143-155
- Bachelot, L. (2021). La notion de ligne dans l'œuvre d'Anne-Marie Christin. *écriture et image*, (2), 8-22
- Baddeley, A. D. [A. D.], Hitch, G. J. & Allen, R. (2021). A Multicomponent Model of Working Memory. *Working memory : State of the science*, 10-43
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language : An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A. D. [Alan D.]. (2001). Is Working Memory Still Working? *American Psychologist*, 56, 851-864. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.11.851>
- Baker, J. R. (2005). Is Multiple-Column Online Text Better? It Depends. *Usability News*, 7(2), 1-8
- Baron, N. (2021). *How We Read Now : Strategic Choices for Print, Screen, and Audio*. Oxford University Press
- Barthes, R. (1964). Éléments de sémiologie. *Communications*, 4(1), 91-135. <https://doi.org/10.3406/comm.1964.1029>
- Barton, S. B. & Sanford, A. J. (1993). A case study of anomaly detection : Shallow semantic processing and cohesion establishment. *Memory & Cognition*, 21(4), 477-487. <https://doi.org/10.3758/BF03197179>
- Bates, C. J. & Jacobs, R. A. (2020). Efficient Data Compression in Perception and Perceptual Memory. *Psychological Review*, 127(5), 891-917. <https://doi.org/10.1037/rev0000197>
- Bays, P., Schneegans, S., Ma, W. J. & Brady, T. F. (2022). *Representation and computation in working memory* (preprint). PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/kub9>
- Belletier, C., Doherty, J. M., Graham, A. J., Rhodes, S., Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., Barrouillet, P., Camos, V. & Logie, R. H. (2023). Strategic Adaptation to Dual-Task in Verbal Working Memory : Potential Routes for Theory Integration. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 49(1), 51-77. <https://doi.org/10.1037/xlm0001106>
- Benali Amjoud, A. & Amrouch, M. (2020). Convolutional Neural Networks Backbones for Object Detection. *Image and Signal Processing*, 12119, 282-289. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51935-3_30
- Bender, A. (2020). The Role of Culture and Evolution for Human Cognition. *Topics in Cognitive Science*, 12(4), 1403-1420. <https://doi.org/10.1111/tops.12449>
- Bengson, J. J. & Luck, S. J. (2016). Effects of strategy on visual working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(1), 265-270. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0891-7>
- Bennett, A. & Checkel, J. T. (2012). Process Tracing : From Philosophical Roots to Best Practices. *Process Tracing in the Social Sciences*, 3-38
- Berezner, T. & Gorbunova, E. (2021). *The Presence of Images Does Not Moderate the Disfluency Effect*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3960675>
- Bharuthram, S. (2017). The reading habits and practices of undergraduate students at a higher education institution in South Africa : A case study. 12, 13
- Biber, D. (1988). *Variation across Speech and Writing*. Cambridge University Press
- Blair, A. (2020). *Tant de choses à savoir. Comment maîtriser l'information à l'époque moderne* (B. Krespine, Trad.). Seuil
- Blanc, N. & Brouillet, D. (2005). *Comprendre un texte : L'évaluation des processus cognitifs*. In Press

- Blanc, N. & Tapiero, I. (2000). Mode de présentation et organisation de l'information dans l'acquisition de connaissances spatiales. *L'année psychologique*, 100(2), 241-264. <https://doi.org/10.3406/psy.2000.28639>
- Blaži Ostojić, A. (2023). Reading comprehension processes : A review based on theoretical models and research methodology. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 59(1), 122-143. <https://doi.org/10.31299/hrri.59.1.8>
- Bolinger, D. L. (1949). The Sign Is Not Arbitrary. *Thesaurus : Boletín del Instituto Caro y Cuervo*, 5(1-3), 52-62
- Bolter, J. D. (2001). *Writing Space : Computers, Hypertext, and the Remediation of Print*. Routledge
- Bopp, K. L. & Verhaeghen, P. (2020). Aging and N-Back Performance : A Meta-Analysis. *The Journals of Gerontology : Series B*, 75(2), 229-240. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby024>
- Bottemanne, H., Longuet, Y. & Gauld, C. (2022). L'esprit prédictif : introduction à la théorie du cerveau bayésien. *L'Encéphale*, 48(4), 436-444. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2021.09.011>
- Brady, T. F. & Alvarez, G. A. (2011). Hierarchical Encoding in Visual Working Memory : Ensemble Statistics Bias Memory for Individual Items. *Psychological Science*, 22(3), 384-392. <https://doi.org/10.1177/0956797610397956>
- Brady, T. F., Konkle, T. & Alvarez, G. A. (2011). A Review of Visual Memory Capacity : Beyond Individual Items and toward Structured Representations. *Journal of Vision*, 11(5), 4. <https://doi.org/10.1167/11.5.4>
- Brühlmann, F., Petralito, S., Aeschbach, L. F. & Opwis, K. (2020). The Quality of Data Collected Online : An Investigation of Careless Responding in a Crowdsourced Sample. *Methods in Psychology*, 2, 100022. <https://doi.org/10.1016/j.metip.2020.100022>
- Brumberger, E. (2004). The rhetoric of typography : Effects on reading time, reading comprehension, and perceptions of ethos. *Technical Communication*, 51(1), 13-24
- Brunetti, R., Del Gatto, C., Cavallina, C., Farina, B. & Delogu, F. (2018). Did I see your hand moving? The effect of movement-related information on the Corsi block tapping task. *Psychological Research*, 82(3), 459-467. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0834-6>
- Brysbaert, M. (2019). How many words do we read per minute? A review and meta-analysis of reading rate. *Journal of Memory and Language*, 109, 104047. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2019.104047>
- Buffart, H. F. J. M. (2017). *A Formal Approach to Gestalt Theory*. Blurb, Incorporated
- Carver, R. P. (1993). Merging the Simple View of Reading with Rauding Theory. *Journal of Reading Behavior*, 25(4), 439-455. <https://doi.org/10.1080/10862969309547829>
- Carver, R. P. (1997). Reading for One Second, One Minute, or One Year From the Perspective of Rauding Theory. *Scientific Studies of Reading*, 1(1), 3-43. https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0101_2
- Cauchard, F. (2008). *Empan Perceptif En Lecture et En Recherche d'information Dans Un Texte : Influence Des Signaux Visuels*. Université Toulouse Jean-Jaurès
- Cauchard, F., Eyrolle, H. & Cellier, J.-M. (2006). Effet Des Signaux Visuels Sur l'Empan Perceptif Lors de La Compréhension d'un Texte Expositif
- Cavichio, F., Melcher, D. & Poesio, M. (2014). The Effect of Linguistic and Visual Salience in Visual World Studies. *Frontiers in Psychology*, 5
- Cellier, J.-M. & Terrier, P. (2001). Le rôle de la mise en forme matérielle dans le traitement cognitif de consignes. *Langages*, 35(141), 79-91. <https://doi.org/10.3406/lgge.2001.876>
- Chanceaux, M., Guerin-Dugue, A., Lemaire, B. & Baccino, T. (2014). A Computational Cognitive Model of Information Search in Textual Materials. *Cognitive Computation*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12559-012-9200-1>

- Changizi, M. A. & Shimojo, S. (2005). Character Complexity and Redundancy in Writing Systems over Human History. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 272(1560), 267-275. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2942>
- Changizi, M. A., Zhang, Q., Ye, H. & Shimojo, S. (2006). The structures of letters and symbols throughout human history are selected to match those found in objects in natural scenes. *The American naturalist*, 167(5), E117-139. <https://doi.org/10.1086/502806>
- Chartier, R. (2015). *La main de l'auteur et l'esprit de l'imprimeur. XVIe-XVIIIe siècle*. Editions Gallimard
- Chen, L., Wassermann, D., Abrams, D. A., Kochalka, J., Gallardo-Diez, G. & Menon, V. (2019). The visual word form area (VWFA) is part of both language and attention circuitry. *Nature Communications*, 10(1), 5601. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13634-z>
- Chevet, G., Baccino, T., Vinter, A. & Draï-Zerbib, V. (2022). What breaks the flow of reading? A study on characteristics of attentional disruption during digital reading. *Frontiers in Psychology*, 13, 987964. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.987964>
- Claidière, N., Scott-Phillips, T. C. & Sperber, D. (2014). How Darwinian is cultural evolution? *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 369(1642), 20130368. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0368>
- Clinton, V. (2019). Reading from paper compared to screens : A systematic review and meta-analysis. *Journal of Research in Reading*, 42(2), 288-325. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.12269>
- Cohen, M. A., Dennett, D. C. & Kanwisher, N. (2016). What Is the Bandwidth of Perceptual Experience? *Trends in cognitive sciences*, 20(5), 324-335. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.03.006>
- Collins, T. & Wyart, V. (2018). Chapitre VI. La perception visuelle. *La cognition* (pp. 239-269). Gallimard
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). DRC : A Dual Route Cascaded Model of Visual Word Recognition and Reading Aloud. *Psychological review*, 108(1), 204
- Consortium, L. a. R. R. (2015). Learning to Read : Should We Keep Things Simple? *Reading Research Quarterly*, 50(2), 151-169. <https://doi.org/10.1002/rrq.99>
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O. & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks : A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786. <https://doi.org/10.3758/BF03196772>
- Cordier, F. (2019). Chapitre 6. Compréhension du langage : un paradigme pour la cognition. Dans M. Denis (Éd.), *La psychologie cognitive* (pp. 201-224). Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmslh.14805>
- Cowan, N., Morey, C. C. & Naveh-Benjamin, M. (2021). An Embedded-Processes Approach to Working Memory. Dans R. Logie, V. Camos & N. Cowan (Éd.), *Working Memory : State of the Science* (pp. 44-84). Oxford University Press
- Daley, N. M. (2021). *Does Bolding Main Ideas Enhance the Efficacy of Textbook Elaborations*. Kent State University
- Daniel, D. B. & Woody, W. D. (2013). E-Textbooks at What Cost? Performance and Use of Electronic v. Print Texts. *Computers & education*, 62, 18-23
- Daniels, P. T. & Bright, W. (1996). *The World's Writing Systems*. Oxford University Press
- Das, D. (2014). *Signalling of coherence relations in discourse*. Simon Fraser University. Vancouver
- Das, D. & Taboada, M. (2018). Signalling of Coherence Relations in Discourse, Beyond Discourse Markers. *Discourse Processes*, 55(8), 743-770. <https://doi.org/10.1080/0163853X.2017.1379327>

- De Koning, B. B. & van der Schoot, M. (2013). Becoming Part of the Story ! Refueling the Interest in Visualization Strategies for Reading Comprehension. *Educational Psychology Review*, 25(2), 261-287. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9222-6>
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain : The New Science of How We Read*. Penguin
- Dehaene-Lambertz, G., Monzalvo, K. & Dehaene, S. (2018). The emergence of the visual word form : Longitudinal evolution of category-specific ventral visual areas during reading acquisition. *PLOS Biology*, 16(3), e2004103. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004103>
- Denis, M. (1982). Imaging While Reading Text : A Study of Individual Differences. *Memory & Cognition*, 10(6), 540-545
- Denis, M., Beschin, N., Logie, R. H. & Sala, S. D. (2002). Visual perception and verbal descriptions as sources for generating mental representations : Evidence from representational neglect. *Cognitive Neuropsychology*, 19(2), 97-112. <https://doi.org/10.1080/02643290143000105>
- Diemand-Yauman, C., Oppenheimer, D. M. & Vaughan, E. B. (2010). Fortune favors the () : Effects of disfluency on educational outcomes. *Cognition*, 118(1), 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.09.012>
- Donald, M. (1991). *Origins of the Modern Mind : Three Stages in the Evolution of Culture and Cognition*. Harvard University Press
- Donderi, D. C. (2006). Visual Complexity : A Review. *Psychological bulletin*, 132(1), 73
- Duffy, S. A., Henderson, J. M. & Morris, R. K. (1989). Semantic Facilitation of Lexical Access during Sentence Processing. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15, 791-801. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.5.791>
- Duncker, D. (2021). On the integrational approach to reading and writing in the works of Roy Harris. *Language Sciences*, 84, 101366. <https://doi.org/10.1016/j.langsci.2021.101366>
- Dyson, M. C. & Beier, S. (2016). Investigating typographic differentiation : Italics are more subtle than bold for emphasis. *Information Design Journal*, 22(1), 3-18. <https://doi.org/10.1075/idj.22.1.02dys>
- Eco, U. (1977). *Comment écrire sa thèse*. Flammarion
- Eco, U. (1985). *Lector in fabula ou La coopération interprétative dans les textes narratifs*. B. Grasset
- Eco, U. (1993). *Sémiotique et philosophie du langage*. Presses universitaires de France
- Emmott, C., Sanford, A. J. & Morrow, L. I. [L. I.]. (2006). Sentence fragmentation : Stylistic aspects. Dans E. K. Brown & A. Anderson (Éd.). Elsevier
- Emmott, C., Sanford, A. J. & Morrow, L. I. [Lorna I.]. (2006). Capturing the attention of readers ? Stylistic and psychological perspectives on the use and effect of text fragmentation in narratives. 35(1), 1-30. <https://doi.org/10.1515/JLS.2006.001>
- Erickson, T. D. & Mattson, M. E. (1981). From Words to Meaning : A Semantic Illusion. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(5), 540-551
- Esmaili Bijarsari, S. (2021). A Current View on Dual-Task Paradigms and Their Limitations to Capture Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 12
- Facchin, A., Maffioletti, S. & Carnevali, T. (2012). The Developmental Eye Movement (DEM) Test : Normative Data for Italian Population. *Optometry & Vision Development*, 43(4), 162-179
- Facoetti, A., Paganoni, P. & Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research*, 132(4), 531-538. <https://doi.org/10.1007/s002219900330>
- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P., Umiltà, C. & Mascetti, G. G. (2006). The Relationship between Visuo-Spatial Attention and Nonword Reading in Developmental Dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23(6), 841-855. <https://doi.org/10.1080/02643290500483090>

- Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. N. & Calvanio, R. (1988). Visual and Spatial Mental Imagery : Dissociable Systems of Representation. *Cognitive psychology*, 20(4), 439-462
- Fayol, M. (1997). *Des idées au texte : Psychologie cognitive de la production verbale, orale et écrite*. Presses Universitaires de France
- Feldman, J. (1999). The role of objects in perceptual grouping. *Acta Psychologica*, 102(2-3), 137-163. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(98\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(98)00054-7)
- Feldman, J. (2003). What is a visual object ? *Trends in Cognitive Sciences*, 7(6), 252-256. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00111-6)
- Fenesi, B., Sana, F., Kim, J. A. & Shore, D. I. (2015). Reconceptualizing Working Memory in Educational Research. *Educational Psychology Review*, 27(2), 333-351. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9286-y>
- FEP. (2023). *EUROPEAN BOOK MARKET STATISTICS 2022-2023*. Federation of European Publishers. Frankfurt
- Ferreira, F., Bailey, K. G. & Ferraro, V. (2002). Good-Enough Representations in Language Comprehension. *Current Directions in Psychological Science*, 11(1), 11-15. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00158>
- Ferreira, F. & Stacey, J. (2000). The Misinterpretation of Passive Sentences. *Manuscript submitted for publication*, 131
- Ferreira, F. & Yang, Z. (2019). The Problem of Comprehension in Psycholinguistics. *Discourse Processes*, 56(7), 485-495. <https://doi.org/10.1080/0163853X.2019.1591885>
- Findelsberger, E., Hutzler, F. & Hawelka, S. (2019). Spill the load : Mixed evidence for a foveal load effect, reliable evidence for a spillover effect in eye-movement control during reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(5), 1442-1453. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01689-5>
- Fischer, M. H. (2000). Perceiving Spatial Attributes of Print. Dans A. Kennedy, R. Radach, D. Heller & J. Pynte (Éd.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 89-117). Elsevier
- Flajoliet, A. (2011). Approche husserlienne et approche linguistique du signe. *Alter. Revue de phénoménologie*, (19), 83-106. <https://doi.org/10.4000/alter.1377>
- Formankiewicz, M. A. & Waugh, S. J. (2013). The Effects of Blur and Eccentric Viewing on Adult Acuity for Pediatric Tests : Implications for Amblyopia Detection. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(10), 6934-6943. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12543>
- Formatted text. (2023). Dans *Wikipedia* https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Formatted_text&oldid=1135845997
- Fort, M. & Schwartz, J.-L. (2022). Resolving the bouba-kiki effect enigma by rooting iconic sound symbolism in physical properties of round and spiky objects. *Scientific Reports*, 12(1), 19172. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23623-w>
- Foulsham, T. (2015). Eye Movements and Their Functions in Everyday Tasks. *Eye*, 29(2), 196-199. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.275>
- Frost, R. (2012). Towards a universal model of reading. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 263-279. <https://doi.org/10.1017/S0140525X11001841>
- Gaddy, M. L., Broek, P. W. van den & Sung, Y.-C. (2001). The influence of text cues on the allocation of attention during reading. Dans T. J. Sanders (Éd.), *Text representation : Linguistic and psycholinguistic aspects* (pp. 89-110). John Benjamins
- Gao, Z., Gao, Q., Tang, N., Shui, R. & Shen, M. (2016). Organization Principles in Visual Working Memory : Evidence from Sequential Stimulus Display. *Cognition*, 146, 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.10.005>
- Gaonac'h, D. & Fradet, A. (2003). Chapitre 3. La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives. *Les sciences cognitives et l'école* (pp. 91-150). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.coll.2003.01.0091>

- Gayraud, F. (2000). *Le développement de la différenciation oral/écrit vu à travers le lexique*. Université Lumière - Lyon 2. Lyon
<http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2000/fgayraud>
- Geirhos, R., Janssen, D. H. J., Schütt, H. H., Rauber, J., Bethge, M. & Wichmann, F. A. (2018). *Comparing Deep Neural Networks against Humans : Object Recognition When the Signal Gets Weaker*. arXiv : 1706.06969. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.06969>
- Genette, G. (1987). *Seuils* (Poétique). Seuil
- Georges, V., Courtemanche, F., Senecal, S., Baccino, T., Leger, P.-M. & Fredette, M. (2015). Measuring Visual Complexity Using Neurophysiological Data. Dans F. D. Davis, R. Riedl, J. VomBrocke, P. M. Leger & A. B. Randolph (Éd.), *Information Systems and Neuroscience : Gmunden Retreat on Neurois 2015* (pp. 207-212). Springer International Publishing Ag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18702-0_28
- Goldman, S. R., Golden, R. & van den Broek, P. (2007). Why Are Computational Models of Text Comprehension Useful. *Higher-level language processes in the brain*, 27-51
- Goody, J. (1979). *La raison graphique : la domestication de la pensée sauvage* (J. Bazin & A. Bensa, Trad.). Editions de Minuit (Edition originale 1977)
- Gough, P. B. & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, Reading, and Reading Disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10. <https://doi.org/10.1177/074193258600700104>
- Granger, G. G. (1992). A quoi sert l'Epistémologie ? *Droit et société*, 20(1), 39-44. <https://doi.org/10.3406/dreso.1992.1134>
- Groupe μ . (1992). *Traité du signe visuel : pour une rhétorique de l'image* (F. Edeline, J.-M. Klinkenberg & P. Minguet, Éd.). Seuil
- Gyselinck, V., De Beni, R., Pazzaglia, F., Meneghetti, C. & Mondoloni, A. (2007). Working Memory Components and Imagery Instruction in the Elaboration of a Spatial Mental Model. *Psychological research*, 71, 373-82. <https://doi.org/10.1007/s00426-006-0091-1>
- Gyselinck, V., Jamet, E. & Dubois, V. (2008). The role of working memory components in multimedia comprehension. *Applied Cognitive Psychology*, 22(3), 353-374. <https://doi.org/10.1002/acp.1411>
- Gyselinck, V., Picucci, L., Nicolas, S. & Piolino, P. (2006). Construction of a Spatial Mental Model from a Verbal Description or from Navigation in a Virtual Environment. *Cognitive Processing*, 7, 46-48. <https://doi.org/10.1007/s10339-006-0059-5>
- Häffner, S. (2008). Writing systems as symbol systems. *Sixth International Workshop on Writing Systems*
- Halliday, M. A. K. (1989). *Spoken and Written Language*. Oxford University Press, USA
- Harris, R. (1986). *The Origin of Writing*. Duckworth
- Harris, R. (1993). *La sémiologie de l'écriture*. CNRS éditions
- Harris, Z. S. (1991). *Theory of Language and Information : A Mathematical Approach*. Oxford University Press UK
- He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770-778
- Hitch, G. J., Allen, R. J. & Baddeley, A. D. (2020). Attention and binding in visual working memory : Two forms of attention and two kinds of buffer storage. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(1), 280-293. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01837-x>
- Ho-Dac, L.-M., Lemarié, J., Péry-Woodley, M.-P. & Vergez-Couret, M. (2012). Multidisciplinary Perspectives on Signalling Text Organisation : Introduction to the Special Issue. *Discours*, 10
- Hodes, C. (1994). Processing Visual Information : Implications of the Dual Code Theory. *Journal of Instructional Psychology*, 21(1), 36

- Ho-Phuoc, T. (2018). *CIFARIO to Compare Visual Recognition Performance between Deep Neural Networks and Humans*
- Huang, L.-K., Tseng, H.-T., Hsieh, C.-C. & Yang, C.-S. (2023). Deep learning based text detection using resnet for feature extraction. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15449-z>
- Hutcheson, I., Grieve, F. & Coventon, D. (2023). Inside Dyslexia : The Contextual Knowledge and Methodology of a Practice-led Research Through Typographic Design and Autoethnography
- Jacques, M.-P. (2005). Structure matérielle et contenu sémantique du texte écrit. *Corela. Cognition, représentation, langage*, (3-2). <https://doi.org/10.4000/corela.560>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J. & Meier, B. (2010). The Concurrent Validity of the N-back Task as a Working Memory Measure. *Memory*, 18(4), 394-412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jeanneret, Y. (2005). *Sémiotique de l'écriture [vidéo]* (Canal-U, Éd.). <https://www.canal-u.tv/89397>
- Jenkin, M. & Harris, L. (2001). Vision and Attention. *Vision and Attention* (pp. 1-17). Springer Science & Business Media
- Jiang, S. & Liu, D. (2011). On Chance-Adjusted Measures for Accuracy Assessment in Remote Sensing Image Classification. *ASPRS Annu. Conf*
- Jiang, Y., Olson, I. R. & Chun, M. M. (2000). Organization of Visual Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 26(3), 683-702. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.3.683>
- Johnson-Laird, P. N. (1972). The Three-Term Series Problem. *Cognition*, 1(1), 57-82
- Justus, D., Brennan, J., Bonner, S. & McGough, A. S. (2018). Predicting the Computational Cost of Deep Learning Models. *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 3873-3882. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622396>
- Kaakinen, J. K., Ballenghein, U., Tissier, G. & Baccino, T. (2018). Fluctuation in Cognitive Engagement During Reading : Evidence From Concurrent Recordings of Postural and Eye Movements. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 44(10), 1671-1677. <https://doi.org/10.1037/xlm0000539>
- Kałamała, P., Sadowska, A., Ordziniak, W. & Chuderski, A. (2017). Gestalt Effects in Visual Working Memory : Whole-part Similarity Works, Symmetry Does Not. *Experimental Psychology*, 64(1), 5-13. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000346>
- Kendeou, P. & van den Broek, P. (2007). The effects of prior knowledge and text structure on comprehension processes during reading of scientific texts. *Memory & Cognition*, 35(7), 1567-1577. <https://doi.org/10.3758/BF03193491>
- Kennedy, A. (1992). The Spatial Coding Hypothesis. *Eye movements and visual cognition : Scene perception and reading* (pp. 379-396). Springer-Verlag
- Keogh, R. & Pearson, J. (2011). Mental Imagery and Visual Working Memory. *PLOS ONE*, 6(12), e29221. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029221>
- Keogh, R. & Pearson, J. (2014). The Sensory Strength of Voluntary Visual Imagery Predicts Visual Working Memory Capacity. *Journal of Vision*, 14(12), 7. <https://doi.org/10.1167/14.12.7>
- Kessels, R. P. C., van den Berg, E., Ruis, C. & Brands, A. M. A. (2008). The Backward Span of the Corsi Block-Tapping Task and Its Association With the WAIS-III Digit Span. *Assessment*, 15(4), 426-434. <https://doi.org/10.1177/1073191108315611>
- Kessels, R. P. C., van Zandvoort, M. J. E., Postma, A., Kappelle, L. J. & de Haan, E. H. F. (2000). The Corsi Block-Tapping Task : Standardization and Normative Data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252-258. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8
- Kim, S. D. (2018). Une généalogie critique des théories de l'écriture. *Signata. Annales des sémiotiques / Annals of Semiotics*, (9), 155-192. <https://doi.org/10.4000/signata.1662>

- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Psychology Press
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension : A Paradigm for Cognition*. Cambridge University Press
- Kintsch, W. (2018). Revisiting the Construction—Integration Model of Text Comprehension and Its Implications for Instruction. *Theoretical Models and Processes of Literacy* (7^e éd.). Routledge
- Klinkenberg, J.-M. (2018). *Entre langue et espace. Qu'est-ce que l'écriture?* Académie royale de Belgique
- Koch, K., McLean, J., Segev, R., Freed, M. A., Berry, M. J., Balasubramanian, V. & Sterling, P. (2006). How Much the Eye Tells the Brain. *Current Biology*, 16(14), 1428-1434. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.05.056>
- Kockelman, P. (2005). The Semiotic Stance. *Semiotica*, 2005(157), 233-304
- Kong, Y., Seo, Y. S. & Zhai, L. (2018). Comparison of Reading Performance on Screen and on Paper : A Meta-Analysis. *Computers & Education*, 123, 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.005>
- Kosslyn, S. M. [Stephen M.], Thompson, W. L. & Ganis, G. (2006). *The Case for Mental Imagery*. Oxford University Press
- Kosslyn, S. M. [Stephen Michael]. (1994). *Image and Brain*. The MIT Press
- Kravchenko, A. V. (2007). Essential properties of language, or, why language is not a code. *Language Sciences*, 29(5), 650-671. <https://doi.org/10.1016/j.langsci.2007.01.004>
- Kristjánsson, Á. & Draschkow, D. (2021). Keeping it real : Looking beyond capacity limits in visual cognition. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 83(4), 1375-1390. <https://doi.org/10.3758/s13414-021-02256-7>
- Kwon, M. & Legge, G. E. (2012). Spatial-Frequency Requirements for Reading Revisited. *Vision Research*, 62, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.03.025>
- Lakens, D. (2022). Sample Size Justification. *Collabra : Psychology*, 8(1), 33267. <https://doi.org/10.1525/collabra.33267>
- Land, M., Mennie, N. & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 28(11), 1311-1328. <https://doi.org/10.1068/p2935>
- Land, M. & Tatler, B. (2009). *Looking and Acting : Vision and Eye Movements in Natural Behaviour*. OUP Oxford
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11(1), 65-100. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6708.1987.tb00863.x>
- Larson, A. M. & Loschky, L. C. (2009). The Contributions of Central versus Peripheral Vision to Scene Gist Recognition. *Journal of Vision*, 9(10), 6. <https://doi.org/10.1167/9.10.6>
- Lau, H. & Rosenthal, D. (2011). Empirical support for higher-order theories of conscious awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(8), 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.05.009>
- Le Bigot, N. (2008). *Élaboration de La Représentation Visuo-Spatiale Du Texte Pendant l'activité Rédactionnelle : Étude Du Souvenir de La Localisation Des Mots* (thèse non publiée). Université de Poitiers
- Le Bigot, N., Passerault, J.-M. & Olive, T. (2010). Le Souvenir de La Localisation Des Mots d'un Texte. *L'Année psychologique*, 110(02), 321
- Le Bigot, N., Passerault, J.-M. & Olive, T. (2012). Visuospatial Processing in Memory for Word Location in Writing. *Experimental Psychology*, 59(3), 138-146
- Le Monde. (2023a). « M. Gabriel Attal, redonnez à l'écrit, dès l'école primaire, ses lettres de noblesse » [newspaper]. *Le Monde.fr*
- Le Monde. (2023b). Gabriel Attal fait état de « résultats inquiétants » des élèves de 4^e en français et en mathématiques [newspaper]. *Le Monde.fr*
- Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubis, G. S. & Schleske, M. M. (1985). PSYCHOPHYSICS OF READING-I. NORMAL VISION. *Vision Research*, 25(2), 239-252

- Lemaire, B., Guérin-Dugué, A., Baccino, T., Chanceaux, M. & Pasqualotti, L. (2011). A cognitive computational model of eye movements investigating visual strategies on textual material, 1146
- Lemarié, J. (2008). La Signalisation de La Structure Des Textes Comme Élément Facilitateur Des Traitements de l'information - Examen Critique de Cette Conception et Contre-Propositions. *Journées d'études Toulouse II*, (non publié)
- Lemarié, J. (2016). *Signalisation, Compréhension de Textes et Apprentissage Multimédia* (Rapport HDR). Université Jean-Jaurès. Toulouse II
- Lemarié, J. (2020). (Comprendre) les énumérations : Contributions de la logico-linguistique et de la psychologie. Dans C. Angotti, P. Chastang, V. Debiais & L. Kendrick (Éd.), *Le pouvoir des listes au Moyen Âge - I : Écritures de la liste* (pp. 15-26). Éditions de la Sorbonne
- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H. & Virbel, J. (2008). SARA : A Text-Based and Reader-Based Theory of Signaling. *Educational Psychologist*, 43(1), 27-48
- Lemarié, J., Lorch Jr, R. F. & Péry-Woodley, M.-P. (2012). Understanding How Headings Influence Text Processing. *Discours. Revue de linguistique, psycholinguistique et informatique*, (10)
- Levinson, S. C. (2023). Gesture, Spatial Cognition and the Evolution of Language. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 378(1875), 20210481. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0481>
- Lévy-Leblond, J.-M. (2023). *Sans culture linguistique, pas de culture scientifique*. The Conversation. <http://theconversation.com/sans-culture-linguistique-pas-de-culture-scientifique-213487>
- Li, L.-Y., Chen, G.-D. & Yang, S.-J. (2013). Construction of cognitive maps to improve e-book reading and navigation. *Computers & Education*, 60(1), 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.010>
- Lin, Y. & Matsumi, N. (2022). Visuospatial working memory and the construction of a spatial situation model in listening comprehension : An examination using a spatial tapping task. *Cognitive Processing*, 23(1), 41-54. <https://doi.org/10.1007/s10339-021-01063-0>
- Littell, J. H. (2018). Conceptual and Practical Classification of Research Reviews and Other Evidence Synthesis Products. *Campbell Systematic Reviews*, 14(1), 1-21. <https://doi.org/10.4073/cmdp.2018.1>
- Liu, T. T. (2013). *High and Low : The Resolution of Representations in Visual Working Memory*. Hong Kong
- Lock, A. & Gers, M. (2012). The Cultural Evolution of Written Language and Its Effects. *Writing : A Mosaic of New Perspectives (chapter 2)*
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-Spatial working memory*. Lawrence Erlbaum Associates, Incorporated
- Logie, R. H. (2014). The visual and the spatial of a multicomponent working memory. Dans A. Vandierendonck & A. Szmalec (Éd.), *The visual and the spatial of a multicomponent working memory* (p. 19). Psychology Press
- Lohse, G. L. (1997). The Role of Working Memory on Graphical Information Processing. *Behaviour & Information Technology*, 16(6), 297-308. <https://doi.org/10.1080/014492997119707>
- López-Barroso, D., Thiebaut de Schotten, M., Morais, J., Kolinsky, R., Braga, L. W., Guerreiro-Tauil, A., Dehaene, S. & Cohen, L. (2020). Impact of literacy on the functional connectivity of vision and language related networks. *NeuroImage*, 213, 116722. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116722>
- Lorch, R. F. (1989). Text-signaling devices and their effects on reading and memory processes. *Educational Psychology Review*, 1(3), 209-234. <https://doi.org/10.1007/BF01320135>
- Lorch, R. F., Chen, H.-T. & Lemarié, J. (2012). Communicating Headings and Preview Sentences in Text and Speech. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 18(3), 265-276

- Lorch, R. F., Lemarié, J. & Chen, H.-T. (2013). Signaling Topic Structure via Headings or Preview Sentences. *Psicología Educativa*, 19(2), 59-66
- Lorch, R. F., Lorch, E. P. & Matthews, P. D. (1985). On-line processing of the topic structure of a text. *Journal of Memory and Language*, 24(3), 350-362. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(85\)90033-6](https://doi.org/10.1016/0749-596X(85)90033-6)
- Lorch, R. F., Lorch, E. P., Ritchey, K., McGovern, L. & Coleman, D. (2001). Effects of Headings on Text Summarization. *Contemporary Educational Psychology*, 26(2), 171-191
- Lorch Jr., R. F. & Lorch, E. P. (1995). Effects of Organizational Signals on Text-Processing Strategies. *Journal of Educational Psychology*, 87(4), 537-544. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.87.4.537>
- Lorch Jr, R. F. & Lorch, E. P. (1996). Effects of Headings on Text Recall and Summarization. *Contemporary educational psychology*, 21(3), 261-278
- Loschky, L. C., Nuthmann, A., Fortenbaugh, F. C. & Levi, D. M. (2017). Scene perception from central to peripheral vision. *Journal of Vision*, 17(1), 6-6. <https://doi.org/10.1167/17.1.6>
- Lowery, A. & McDonald, J. J. (2023). Revisiting the Automaticity of Reading : Electrophysiological Recordings Show That Stroop Words Capture Spatial Attention. *Journal of Experimental Psychology : General*, 152(2), 309-321. <https://doi.org/10.1037/xge0001260>
- Luc, C. & Virbel, J. (2001). Le Modèle d'architecture Textuelle : Fondements et Expérimentation. *Le modèle d'architecture textuelle : fondements et expérimentation*, (1), 103-123
- Luck, S. J. (2008). Visual Short-Term Memory. *Visual memory*, 43-85
- Maia, J. (2018). *Towards A Typographical Linguistics : The Semantics-Pragmatics Of Typographic Emphasis In Discourse*. University of South Carolina
- Maia, J. & Morris, R. (2019). THE SEMANTICS-PRAGMATICS OF TYPOGRAPHIC EMPHASIS IN DISCOURSE
- Maillet, F. (2015). *Influence de La Signalisation d'un Texte et de l'imagerie Visuelle Sur La Mémoire de Localisation Des Mots* (Mémoire de Master I, sous la direction de Lemarié, J.). Université Jean-Jaurès. Toulouse II
- Mak, M., de Vries, C. & Willems, R. M. (2020). The Influence of Mental Imagery Instructions and Personality Characteristics on Reading Experiences (R. Zwaan & V. Bambini, Éd.). *Collabra : Psychology*, 6(1), 43. <https://doi.org/10.1525/collabra.281>
- Mangen, A. & van der Weel, A. (2016). The evolution of reading in the age of digitisation : An integrative framework for reading research. *Literacy*, 50(3), 116-124. <https://doi.org/10.1111/lit.12086>
- Marcantoni, É. (2015). Les espaces blancs du livre : usages et significations. *Sciences de l'information et de la communication*. <https://doi.org/https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03269616>
- Marcus, N., Cooper, M. & Sweller, J. (1996). Understanding Instructions. *Journal of educational psychology*, 88(1), 49
- Marr, D. (1982). *Vision : A Computational Approach*. Freeman & Co., San Francisco
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press (2e édition)
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2e éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- McAteer, E. (1992). Typeface emphasis and information focus in written language. *Applied Cognitive Psychology*, 6(4), 345-359. <https://doi.org/10.1002/acp.2350060406>
- McConkie, G. W. & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception & Psychophysics*, 25(3), 221-224. <https://doi.org/10.3758/BF03202990>
- McLuhan, M. (1968). *Pour comprendre les média : les prolongements technologiques de l'homme*. Mame (Edition originale 1964)

- Meletis, D. (2018). What is natural in writing? Prolegomena to a Natural Grapholinguistics. *Written Language & Literacy*, 21(1), 52-88. <https://doi.org/10.1075/wll.00010.mel>
- Meyer, B. J. (1975). *The Organization of Prose and Its Effects on Memory* (T. 1). Amsterdam ; Oxford : North-Holland Publishing Company
- Meyer, B. J. (1999). Importance of Text Structure in Everyday Reading. *Understanding Language Understanding : Computational Models of Reading* (pp. 227-252)
- Meyer, J. & Cooney, B. (1994). The Paragraph : Towards a Richer Understanding. *Work Papers of the Summer Institute of Linguistics, University of North Dakota*, 38, 65
- Mitchell, W. J. (2005). There Are No Visual Media. *Journal of visual culture*, 4(2), 257-266
- Molino, J. (1988). André Leroi-Gourhan, Le Langage et Le Symbolique. *André Leroi-Gourhan Ou Les Voies de l'Homme (Actes Du Colloque Du CNRS-mars 1987)*, 137-155
- Nie, Q.-Y., Müller, H. J. & Conci, M. (2017). Hierarchical Organization in Visual Working Memory : From Global Ensemble to Individual Object Structure. *Cognition*, 159, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.11.009>
- Norman, S., Kemper, S. & Kynette, D. (1992). Adults' Reading Comprehension : Effects of Syntactic Complexity and Working Memory. *Journal of gerontology*, 47, P258-65. <https://doi.org/10.1093/geronj/47.4.P258>
- Norton, C. W. (2018). *Typographic emphasis and contrastive focus : An eye tracking study* (thèse de doct.). University of Leeds
- Nuthmann, A. & Canas-Bajo, T. (2022). Visual search in naturalistic scenes from foveal to peripheral vision : A comparison between dynamic and static displays. *Journal of Vision*, 22(1), 10. <https://doi.org/10.1167/jov.22.1.10>
- Nuthmann, A., Kliegl, R. & Engbert, R. (2007). Reading with a Salient Optimal Viewing-Position Letter : Attentional but No Oculomotor Capture. 49. *Tagung Experimentell Arbeitender Psychologen (TeaP)*
- Observatoire national de la lecture. (2000). Le lecteur expert vu par les sciences cognitives. *Maîtriser la lecture* (pp. 269-290). Odile Jacob
- Olive, T. (2014). Toward a parallel and cascading model of the writing system : A review of research on writing processes coordination. *Journal of Writing Research*, 6(2), 173-194. <https://doi.org/10.17239/jowr-2014.06.02.4>
- Olive, T. & Barbier, M.-L. (2017). Processing Time and Cognitive Effort of Longhand Note Taking When Reading and Summarizing a Structured or Linear Text. *Written Communication*, 34(2), 224-246. <https://doi.org/10.1177/0741088317699898>
- Olive, T., Lebrave, J.-L., Passerault, J.-M. & Le Bigot, N. (2010). La dimension visuo-spatiale de la production de textes : approches de psychologie cognitive et de critique génétique. *Langages*, 177(1), 29. <https://doi.org/10.3917/lang.177.0029>
- Olive, T. & Passerault, J.-M. (2012). The Visuospatial Dimension of Writing. *Written Communication*, 29(3), 326-344
- Oppenheimer, D. M. (2008). The secret life of fluency. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), 237-241. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.014>
- O'Regan, J. K., Lévy-schoen, A., Pynte, J. & Brugailière, B. (1984). Convenient Fixation Location within Isolated Words of Different Length and Structure. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 10(2), 250-257. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.10.2.250>
- Paivio, A. (1990). *Mental Representations : A Dual Coding Approach*. Oxford University Press
- Paivio, A. (2014). Intelligence, Dual Coding Theory, and the Brain. *Intelligence*, 47, 141-158. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.09.002>

- Pallotti, G. (2015). A simple view of linguistic complexity. *Second Language Research*, 31(1), 117-134. <https://doi.org/10.1177/0267658314536435>
- Palmer, S. E. (1977). Hierarchical Structure in Perceptual Representation. *Cognitive Psychology*, 9(4), 441-474. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90016-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90016-0)
- Pascual, E. (1991). *Représentation de l'architecture Textuelle et Génération de Texte* (These de doctorat). Toulouse 3
- Payne, S. J. & Reader, W. R. (2006). Constructing Structure Maps of Multiple On-Line Texts. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(5), 461-474
- Pearson, J., Naselaris, T., Holmes, E. A. & Kosslyn, S. M. (2015). Mental Imagery : Functional Mechanisms and Clinical Applications. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(10), 590-602. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.08.003>
- Pearson, P. D. & Hamm, D. N. (2005). The Assessment of Reading Comprehension : A Review of Practices-Past, Present, and Future. *Children's Reading Comprehension and Assessment* (pp. 13-69). Lawrence Erlbaum Associates Publishers
- Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Dardick, W. & Tao, S. (2018). A Meta-Analysis on the Relation between Reading and Working Memory. *Psychological Bulletin*, 144(1), 48-76. <https://doi.org/10.1037/bul0000124>
- Perea, M., Tejero, P. & Winkler, H. (2015). Can colours be used to segment words when reading? *Acta Psychologica*, 159, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.05.005>
- Perec, G. (2022). *Espèces d'espaces*. Seuil (1ère édition 1985)
- Peterson, D. J. (2015). *The Influence of Gestalt Principles of Grouping on Visual Working Memory Representations*. ProQuest Information & Learning. US
- Phillips, C. E., Jarrold, C., Baddeley, A. D., Grant, J. & Karmiloff-Smith, A. (2004). Comprehension of Spatial Language Terms in Williams Syndrome : Evidence for an Interaction between Domains of Strength and Weakness. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 40(1), 85-101
- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L. & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi Test : Which Type of Memory Do You Need? *Neuroscience Letters*, 432(2), 127-131. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.12.044>
- Pieters, R., Wedel, M. & Batra, R. (2010). The Stopping Power of Advertising : Measures and Effects of Visual Complexity. *Journal of Marketing*, 74(5), 48-60. <https://doi.org/10.1509/jmkg.74.5.048>
- Pinna, B. & Deiana, K. (2014). New conditions on the role of color in perceptual organization and an extension to how color influences reading. *Psihologija*, 47(3), 319-351. <https://doi.org/10.2298/PSI1403319P>
- Pinna, B. & Deiana, K. (2018). On the Role of Color in Reading and Comprehension Tasks in Dyslexic Children and Adults. *i-Perception*, 9(3), 2041669518779098. <https://doi.org/10.1177/2041669518779098>
- Porion, A., Aparicio, X., Megalakaki, O., Robert, A. & Baccino, T. (2016). The Impact of Paper-Based versus Computerized Presentation on Text Comprehension and Memorization. *Computers in Human Behavior*, 54, 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.002>
- Pylyshyn, Z. W. (2002). Mental Imagery : In Search of a Theory. *Behavioral and brain sciences*, 25(2), 157-182
- Quilty-Dunn, J. (2019). Perceptual Pluralism. *Noûs*, 1, 1-41. <https://doi.org/10.1111/nous.12285>
- Quilty-Dunn, J. (2023). Sensory Binding without Sensory Individuals. *Sensory Individuals : Unimodal and Multimodal Perspectives*, 77
- Rabinowitz, P. J. (1998). *Before reading : Narrative conventions and the politics of interpretation*. The Ohio State University Press
- Rastier, F. (2001). *Arts et sciences du texte*. Presses universitaires de France
- Rastier, F. (2005). *Discours et Texte (Première Partie)*. Texto

- Rayner, K. & Pollatsek, A. (1996). Reading Unspaced Text Is Not Easy : Comments on the Implications of Epelboim et al.'s (1994) Study for Models of Eye Movement Control in Reading. *Vision research*, 36(3), 461-465
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J. & Clifton, C. J. (2012). *Psychology of Reading* (2^e éd.). Psychology Press
- Reed, S. K. (2010). *Thinking Visually*. Psychology Press
00026
- Reichle, E. D. (2015). Computational Models of Reading : A Primer. *Language and Linguistics Compass*, 9(7), 271-284. <https://doi.org/10.1111/lnc3.12144>
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I. & Lahanier-Reuter, D. (2013). Métalangage — activité métalinguistique. *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (pp. 123-128). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.reute.2013.01.0123>
- Richardson, J. T. E. (1977). Functional Relationship Between Forward and Backward Digit Repetition and a Non-Verbal Analogue. *Cortex*, 13(3), 317-320. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(77\)80042-7](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(77)80042-7)
- Risko, E. F., Lanthier, S. N. & Besner, D. (2011). Basic Processes in Reading : The Effect of Interletter Spacing. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 37(6), 1449-1457. <https://doi.org/10.1037/a0024332>
- Romeyer-Dherbey, G. & Gourinat, J.-B. (Éd.). (2001). *Socrate et les socratiques*. Vrin
- Rooijackers, P., van Silfhout, G., Schuurs, U., Mulders, I. & van den Bergh, H. (2020a). Lezen En Antwoorden Bij de Tekst Met Vragen Geobserveerd Een Eye-Trackstudie Onder Vwo 4-Leerlingen. [Reading Texts and Answering Questions ; an Eye-Tracking Study among Dutch Tenth Grade Preacademic Pupils.] *Pedagogische Studiën*, 97, 42-58
- Rooijackers, P., van Silfhout, G., Schuurs, U., Mulders, I. & van den Bergh, H. (2020b). Lezen En Antwoorden Bij Teksten Met Vragen Een Cross-Sectionele Eye-Trackstudie Onder 52 Vwoleerlingen. [Reading Texts and Answering Questions ; a Cross-Sectional Eye-Tracking Study among Preacademic Students.] *Pedagogische Studiën*, 97, 281-308
- Rooijackers, P., van Silfhout, G., Schuurs, U. & van den Bergh, H. (2021). De Relatie Tussen Het Vooraf Lezen van Teksten En Het Beantwoorden van Begripsvragen : Twee Experimenten Onder 5-Vwo-Leerlingen. [The Relationship between Reading Texts in Advance and Answering Comprehension Questions : Two Experiments among 11th-Grade Preuniversity Students.] *Pedagogische Studiën*, 98, 320-349
- Rosenholtz, R. (2011). What your visual system sees where you are not looking. Dans B. E. Rogowitz & T. N. Pappas (Éd.). <https://doi.org/10.1117/12.876659>
- Rowlands, M. (2009). Extended cognition and the mark of the cognitive. *Philosophical Psychology*, 22(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/09515080802703620>
- Rueckl, J. G., Cave, K. R. & Kosslyn, S. M. (1989). Why Are “What” and “Where” Processed by Separate Cortical Visual Systems ? A Computational Investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1(2), 171-186. <https://doi.org/10.1162/jocn.1989.1.2.171>
- Sachs, J. S. (1967). Recognition Memory for Syntactic and Semantic Aspects of Connected Discourse. *Perception & Psychophysics*, 2(9), 437-442. <https://doi.org/10.3758/BF03208784>
- Sadoski, M. & Paivio, A. (2013). *Imagery and Text : A Dual Coding Theory of Reading and Writing*. Routledge
- Sajous, F. (2008). *Corpus Wikipedia-FR*. CLLE-ERSS, Toulouse II Jean-Jaurès
- Sanchez, R. P., Lorch, E. P. & Lorch, R. F. (2001). Effects of Headings on Text Processing Strategies. *Contemporary Educational Psychology*, 26(3), 418-428
- Sanders, C. (2004). *The Cambridge Companion to Saussure*. Cambridge University Press
- Sanford, A. J. S., Sanford, A. J., Molle, J. & Emmott, C. (2006). Shallow Processing and Attention Capture in Written and Spoken Discourse. *Discourse Processes*, 42(2), 109-130. https://doi.org/10.1207/s15326950dp4202_2

- Sanford, A. J. & Graesser, A. C. (2006). Shallow Processing and Underspecification. *Discourse Processes*, 42(2), 99-108. https://doi.org/10.1207/s15326950dp4202_1
- Sanford, A. J. & Sturt, P. (2002). Depth of processing in language comprehension : Not noticing the evidence. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(9), 382-386. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01958-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01958-7)
- Sarvamangala, D. R. & Kulkarni, R. V. (2022). Convolutional neural networks in medical image understanding : A survey. *Evolutionary Intelligence*, 15(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00540-3>
- Scaltritti, M., Miniukovich, A., Venuti, P., Job, R., De Angeli, A. & Sulpizio, S. (2019). Investigating Effects of Typographic Variables on Webpage Reading Through Eye Movements. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49051-x>
- Schmajuk, N. & Voicu, H. (2006). Exploration and Navigation Using Hierarchical Cognitive Maps. *Animal Spatial Cognition : Comparative, Neural, and Computational Approaches*, MF Brown and RG Cook. p. Available : <http://www.pigeon.psy.tufts.edu/asc/Schmajuk/Default.htm>
- Schmid, S. [S.] & Baccino, T. (1997). Changement de Thème et Indentation Oculomotrice. *Cognition, Discours procédural, Actions*, 75-82
- Schmid, S. [Sabine] & Baccino, T. (2002). Perspective Shift and Text Format : An Eye-Tracking Study. *Current psychology letters*, (9), 73-87
- Schneider, S., Beege, M., Nebel, S. & Rey, G. D. (2018). A meta-analysis of how signaling affects learning with media. *Educational Research Review*, 23, 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.11.001>
- Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 49, 69
- Schotter, E. R., Angele, B. & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(1), 5-35. <https://doi.org/10.3758/s13414-011-0219-2>
- Serafini, F. (2014). *Reading the Visual : An Introduction to Teaching Multimodal Literacy*. Teachers College Press
- Serafini, F. & Clausen, J. (2012). Typography as Semiotic Resource. *Journal of Visual Literacy*, 31(2), 1-16. <https://doi.org/10.1080/23796529.2012.11674697>
- Sharp, P. B. & Eldar, E. (2019). Computational Models of Anxiety : Nascent Efforts and Future Directions. *Current Directions in Psychological Science*. <https://doi.org/10.1177/0963721418818441>
- Sheth, B. R. & Young, R. (2016). Two Visual Pathways in Primates Based on Sampling of Space : Exploitation and Exploration of Visual Information. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 10
- Sima, J. F., Schultheis, H. & Barkowsky, T. (2013). Differences between Spatial and Visual Mental Representations. *Frontiers in Psychology*, 4
- Sithole, S., Datt, R., de Lange, P. & Tharapos, M. (2021). Learning Accounting through Visual Representations. *Accounting Research Journal*, 34(4), 365-384. <https://doi.org/10.1108/ARJ-06-2018-0100>
- Skrzypulec, B. & Chuderski, A. (2020). Nonlinear effects of spatial connectedness implicate hierarchically structured representations in visual working memory. *Journal of Memory and Language*, 113, 104124. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104124>
- Slattery, T. (2016). Eye Movements : From Psycholinguistics to Font Design. https://doi.org/10.1142/9789814759540_0004
- Slattery, T. J., Yates, M. & Angele, B. (2016). Interword and Interletter Spacing Effects during Reading Revisited : Interactions with Word and Font Characteristics. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 22(4), 406-422. <https://doi.org/10.1037/xap0000104>
- Smith, F. (2012). *Understanding Reading : A Psycholinguistic Analysis of Reading and Learning to Read, Sixth Edition*. Routledge

- Snow, C. (2002). *Reading for Understanding : Toward an R&D Program in Reading Comprehension*. Rand Corporation
- Song, H. & Schwarz, N. (2008). Fluency and the Detection of Misleading Questions : Low Processing Fluency Attenuates the Moses Illusion. *Social Cognition*, 26(6), 791-799
- Sperber, D. & Hirschfeld, L. (2004). The Cognitive Foundations of Cultural Stability and Diversity. *Trends in cognitive sciences*, 8, 40-6. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.11.002>
- Spyridakis, J. H. (1989). Signaling Effects : A Review of the Research—Part I. *Journal of Technical Writing and Communication*, 19(3), 227-240. <https://doi.org/10.2190/UA49-PQ9K-H1MN-DYK9>
- Sterelny, K. (2007). SNAFUS : An Evolutionary Perspective. *Biological Theory*, 2(3), 317-328. <https://doi.org/10.1162/biot.2007.2.3.317>
- Stewart, E. E. M., Valsecchi, M. & Schütz, A. C. (2020). A review of interactions between peripheral and foveal vision. *Journal of Vision*, 20(12), 2. <https://doi.org/10.1167/jov.20.12.2>
- Stewart, N., Chandler, J. & Paolacci, G. (2017). Crowdsourcing Samples in Cognitive Science. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(10), 736-748. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.007>
- Stokes, C. & Hearst, M. (2022). *Why More Text Is (Often) Better : Themes from Reader Preferences for Integration of Charts and Text*
- Stokes, C. & Hearst, M. A. (2021). Give Text a Chance : Advocating for Equal Consideration for Language and Visualization. *NL VIZ : Workshop on Exploring Opportunities and Challenges for Natural Language Techniques to Support Visual Analysis*. IEEE
- Sturt, P., Sanford, A. J., Stewart, A. & Dawydiak, E. (2004). Linguistic focus and good-enough representations : An application of the change-detection paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(5), 882-888. <https://doi.org/10.3758/BF03196716>
- Sun, Y., Wang, J., Dong, Y., Zheng, H., Yang, J., Zhao, Y. & Dong, W. (2021). The Relationship Between Reading Strategy and Reading Comprehension : A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 12, 635289. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.635289>
- Tarroux, P. & Auvray, M. (2019). Chapitre I. La perception visuelle. Dans M. Denis (Éd.), *La psychologie cognitive* (pp. 39-69). Éditions de la Maison des sciences de l'homme. <https://doi.org/10.4000/books.editionsmsmh.14769>
- Tatler, B. W., Wade, N. J., Kwan, H., Findlay, J. M. & Velichkovsky, B. M. (2010). Yabus, eye movements, and vision. *i-Perception*, 1(1), 7-27. <https://doi.org/10.1068/i0382>
- Thiessen, M., Beier, S. & Keage, H. (2020). A Review of the Cognitive Effects of Disfluent Typography on Functional Reading. *The Design Journal*, 23(5), 797-815. <https://doi.org/10.1080/14606925.2020.1810434>
- Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K. & Manso, G. F. (2022). *The Computational Limits of Deep Learning*. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2022-05558>
- Timpany, C. (2018). *Typographic emphasis of headings : Methods of typographic emphasis to assist with search of unfamiliar and familiar text* (Thesis). The University of Waikato
- Timpany, C. L. (2020). The Space between Us : How Designers and the General Population See Typographic Emphasis. *DRS Biennial Conference Series*
- TLFi. (2023). Trésor de La Langue Française Informatisé. CNRS
- Tong, F. (2013). Imagery and visual working memory : One and the same? *Trends in Cognitive Sciences*, 17(10), 489-490. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.005>
- Torrance, M., Johansson, R., Johansson, V. & Wengelin, Å. (2016). Reading during the composition of multi-sentence texts : An eye-movement study. *Psychological Research*, 80(5), 729-743. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0683-8>

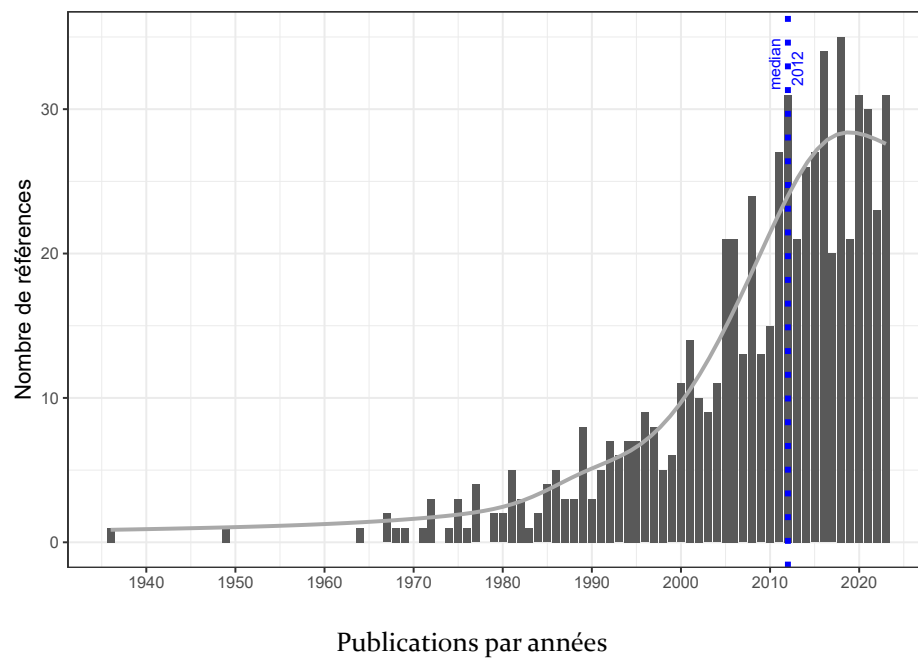
- Touzeau, O. (2016). Intérêt et limites de l'acuité visuelle décimale. *Les Cahiers d'Ophthalmologie*, 196, 10-14
- Tricot, A., Sahut, G. & Lemarié, J. (2016). *Le document : communication et mémoire*. De Boeck Supérieur
- Tschechne, S. & Neumann, H. (2014). Hierarchical Representation of Shapes in Visual Cortex—from Localized Features to Figural Shape Segregation. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 8
- Tsotsos, J. K. & Rothenstein, A. (2011). Computational models of visual attention. *Scholarpedia*, 6(1), 6201. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.6201>
- Tversky, B. (1993). Cognitive maps, cognitive collages, and spatial mental models. Dans A. U. Frank & I. Campari (Éd.), *Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS* (pp. 14-24). Springer Berlin Heidelberg
- Urban, F., Follet, B., Chamaret, C., Le Meur, O. & Baccino, T. (2011). Medium Spatial Frequencies, a Strong Predictor of Saliency. *Cognitive Computation*, 3(1), 37-47. <https://doi.org/10.1007/s12559-010-9086-8>
- van den Boer, M. & Hakvoort, B. E. (2015). Default spacing is the optimal spacing for word reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(4), 697-709. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.964272>
- van den Broek, P., Bohn-Gettler, C. M., Kendeou, P., Carlson, S. & White, M. J. (2011). When a Reader Meets a Text : The Role of Standards of Coherence in Reading Comprehension. *Text Relevance and Learning from Text* (pp. 123-139). IAP Information Age Publishing
- Van Essen, D. C. (2003). Organization of Visual Areas in Macaque and Human Cerebral Cortex. *The visual neurosciences*, 1, 507-521
- van Den Broek, P. (1995). A 'landscape' Model of Reading Comprehension : Inferential Processes and the Construction of a Stable Memory Representation. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 36(1), 53-54. <https://doi.org/10.1037/h0084723>
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. Academic Press
- Varenne, F. (2014). Épistémologie des modèles et des simulations : tour d'horizon et tendances. *Les modèles, possibilités et limites* (pp. 13-46). Éditions Matériologiques. <https://doi.org/10.3917/edmat.levy.2014.01.0013>
- Verhoeven, L. & Perfetti, C. (2008). Advances in text comprehension : Model, process and development. *Applied Cognitive Psychology*, 22(3), 293-301. <https://doi.org/10.1002/acp.1417>
- Voicu, H. (2003). Hierarchical Cognitive Maps. *Neural Networks*, 16(5), 569-576. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(03\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(03)00095-9)
- Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M. & von der Heydt, R. (2012). A Century of Gestalt Psychology in Visual Perception : I. Perceptual Grouping and Figure-Ground Organization. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1172-1217. <https://doi.org/10.1037/a0029333>
- Wagemans, J., Feldman, J., Gepshtein, S., Kimchi, R., Pomerantz, J. R., van der Helm, P. A. & van Leeuwen, C. (2012). A Century of Gestalt Psychology in Visual Perception : II. Conceptual and Theoretical Foundations. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1218-1252. <https://doi.org/10.1037/a0029334>
- Wallace, S., Bylinskii, Z., Dobres, J., Kerr, B., Berlow, S., Treitman, R., Kumawat, N., Arpin, K., Miller, D. B., Huang, J. & Sawyer, B. D. (2022). Towards Individuated Reading Experiences : Different Fonts Increase Reading Speed for Different Individuals. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 29(4), 38:1-38:56. <https://doi.org/10.1145/3502222>

- Walsh, G. (2016). Screen and Paper Reading Research – A Literature Review. *Australian Academic & Research Libraries*, 47(3), 160-173. <https://doi.org/10.1080/00048623.2016.1227661>
- Wang, D., Zeng, M., Zhao, H., Gao, L., Li, S., Niu, Z., Bai, X. & Gao, X. (2023). Effects of syllable boundaries in Tibetan reading. *Scientific Reports*, 13(1), 314. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25759-1>
- Wang, P. & Cottrell, G. W. (2017). Central and Peripheral Vision for Scene Recognition : A Neurocomputational Modeling Exploration. *Journal of Vision*, 17(4), 9. <https://doi.org/10.1167/17.4.9>
- Waters, G. S. (1996). The Measurement of Verbal Working Memory Capacity and Its Relation to Reading Comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 51-79. <https://doi.org/10.1080/713755607>
- Weaver III, C. A. & Kintsch, W. (1991). Expository Text. *Handbook of Reading Research*, Vol. 2. (Pp. 230-245). Lawrence Erlbaum Associates, Inc
- Weiss, B., Knakker, B. & Vidnyánszky, Z. (2016). Visual processing during natural reading. *Scientific Reports*, 6(1), 26902. <https://doi.org/10.1038/srep26902>
- Wertheim, T. & Dunskey, I. L. (1980). Peripheral Visual Acuity. *Optometry and Vision Science*, 57(12), 915
- Wiley, J. & Rayner, K. (2000). Effects of titles on the processing of text and lexically ambiguous words : Evidence from eye movements. *Memory & Cognition*, 28(6), 1011-1021. <https://doi.org/10.3758/BF03209349>
- Wilton, R. N. & File, P. E. (1975). Knowledge of Spatial Relations : A Preliminary Investigation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27(2), 251-257. <https://doi.org/10.1080/14640747508400484>
- Winskel, H., Perea, M. & Ratitamkul, T. (2012). On the Flexibility of Letter Position Coding during Lexical Processing : Evidence from Eye Movements When Reading Thai. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(8), 1522-1536
- Winskel, H., Radach, R. & Luksaneeyanawin, S. (2009). Eye movements when reading spaced and unspaced Thai and English : A comparison of Thai-English bilinguals and English monolinguals. *Journal of Memory and Language*, 13
- Wlassikoff, M. (2023). *Typographie* (E. Universalis, Éd.). <https://www.universalis.fr/encyclopedie/typographie/>
- Wolfe, M. B. W. & Woodwyk, J. M. (2010). Processing and memory of information presented in narrative or expository texts. *British Journal of Educational Psychology*, 80(3), 341-362. <https://doi.org/10.1348/000709910X485700>
- Wu, Y., Wang, Z., Lin, W., Ye, Z. & Lian, R. (2021). Visual Saliency Accelerates Lexical Processing and Subsequent Integration : An Eye-Movement Study. *Journal of Cognitive Psychology*, 33(2), 146-156. <https://doi.org/10.1080/20445911.2021.1879817>
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. Plenum Press
- Yeari, M. & Van Den Broek, P. (2011). A cognitive account of discourse understanding and discourse interpretation : The Landscape Model of reading. *Discourse Studies*, 13(5), 635-643. <https://doi.org/10.1177/1461445611412748>
- Yeatman, J. D. & White, A. L. (2021). Reading : The Confluence of Vision and Language. *Annual Review of Vision Science*, 7(1), annurev-vision-093019-113509. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-093019-113509>
- Young, J. (2014). A Study of Print and Computer-Based Reading to Measure and Compare Rates of Comprehension and Retention. *New Library World*, 115(7/8), 376-393. <https://doi.org/10.1108/NLW-05-2014-0051>
- Zamanian, M. & Heydari, P. (2012). Readability of Texts : State of the Art. *Theory & Practice in Language Studies*, 2(1)
- Zechmeister, E. B. & McKillip, J. (1972). Recall of Place on the Page. *Journal of Educational Psychology*, 63(5), 446-453

- Zechmeister, E. B., McKillip, J., Pasko, S. & Bepalec, D. (1975). Visual Memory for Place on the Page. *Journal of General Psychology*, 92(1), 43
- Zimmer, H. D. (2004). The Construction of Mental Maps Based on a Fragmentary View of Physical Maps. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 603-610. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.3.603>
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C. & Ziegler, J. C. (2012). Extra-Large Letter Spacing Improves Reading in Dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11455-11459

Logiciels & modules statistiques

- Bartoń, K. (2023). *MuMIn : Multi-model Inference*. manual
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Ben-Shachar, M. S., Lüdtke, D. & Makowski, D. (2020). *Effectsize : Estimation of Effect Size Indices and Standardized Parameters*. The Open Journal
- Druide Informatique. (2023). *Antidote II* (Version 11.5.1670). Montreal (Québec) <https://www.antidote.info>
- Falcon, W. & The PyTorch Lightning team. (2023). *PyTorch Lightning* (Version 2.0)
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package : Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1-26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lenth, R. V. (2023). *Emmeans : Estimated Marginal Means, Aka Least-Squares Means*. manual
- LimeSurvey Project Team & Schmitz, C. (2023). *LimeSurvey : An Open Source Survey Tool*. manual. Hamburg, Germany, LimeSurvey Project
- Mathôt, S., Schreij, D. & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame : An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Paszke, A., Gross, S., Massa, F., Lerer, A., Bradbury, J., Chanan, G., Killeen, T., Lin, Z., Gimelshein, N., Antiga, L., Desmaison, A., Kopf, A., Yang, E., DeVito, Z., Raison, M., Tejani, A., Chilamkurthy, S., Steiner, B., Fang, L., ... Chintala, S. (2019). PyTorch : An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32
- R Core Team. (2023). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. manual. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing
- Shaw, Jarry. (2023). *Lorem Ipsum Generator* (Librarie Python)
- Van Rossum, G. & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace



Abbreviations & Symboles

AV Acuité visuelle

LTM Long Term Memory

MdT Mémoire de travail

RSVP Rapid Serial Visual Presentation

SARA Signal Available Relevant Accessible information

TAM Textual Architecture Model

WM Working memory

Index

- Écriture
 - Histoire, 23
 - Sémiologie, 25
- Apprentissage, 57
- Attention
 - Visuelle, 43
- Expositif, 10, 28
- Flou gaussien, 76, 79
- Formatage, *voir* Mise en forme
- Lecture
 - Définition, 8
- Lisibilité, 92
 - Antidote, 92
- Localisation de mots
 - Mémoire de, 61
- Logocentrisme, 25
- Mise en forme, 11
 - Formater, 12
 - Informatique, 11
- Modèle, 72
 - Architecture textuelle, 12
- Multimédia, 58
- Pictural, 58
- Pseudotexte, 75, 77
- Rubrication, 24
- Signal, *voir* Signalisation
- Signalisation
 - Émergence, 23
 - Définition, 14
- Structure
 - Définition, 12
- Texte, 9
- Typographie
 - Définition, 10
- Visuel(le)
 - Cognition, 38
 - Perception, 38
 - Système, 38

Ressources OSF

Liens vers le site OSF (Open Science Foundation) vers les ressources de la partie empirique :

1. [Perception périphérique de la signalisation](#) (chapitre 4 page 71)
2. [Mémoire de travail et signalisation](#) (chapitre 5 page 87)
3. [Contenu spatial et signalisation](#) (chapitre 6 page 105)

ANNEXES



Perception périphérique d'une signalisation spatiale

A.1 Réseau et environnement de programmation

La recherche a beaucoup avancé sur les réseaux de neurones utilisés en apprentissage profond (Deep Learning), notamment par les grands de l'informatique, et l'on dispose aujourd'hui de réseaux extrêmement performants permettant l'identification et la localisation d'objets dans une image (Benali Amjoud et Amrouch, 2020, exemple figure A.1a la page II). C'est très exactement notre besoin ici : reconnaître et localiser des signaux sur une page de texte.

Parmi les réseaux disponibles, nous devons choisir un réseau de neurones qui soit :

- suffisamment puissant pour analyser l'image de pseudotexte complexe que nous générons,
- mais pas trop complexe au point de simplement "apprendre" notre jeu de données sans vraiment généraliser les caractéristiques que nous souhaitons ;
- tout en restant réalisable sur du matériel abordable à notre niveau.

Nous avons prétesté sur nos propres ordinateurs différentes structures de réseau (AlexNet, EfficientNet, GoogleLeNet, ResNet et WideResNet). Resnet est celui qui a donné les résultats les plus probants : ce réseau est disponible avec différentes couches internes de neurones (18, 34, 50, 101 ou 152 couches internes). Les plus petits se sont révélés peu performants, avec une reconnaissance au ni-

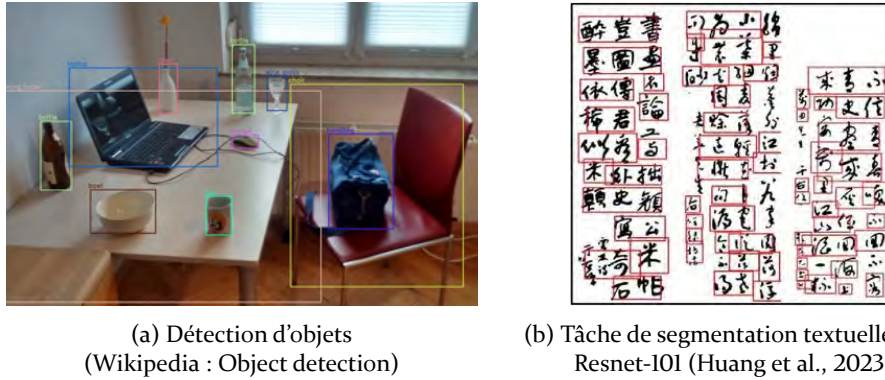


FIGURE A.1 – Apprentissage profond (Deep Learning) : tâches de détection d'objets

veau chance (cf. infra, A.4 page VI), et le plus grand trop performant : le réseau donne l'illusion d'une excellente performance sur les données d'apprentissage, mais sous-performe sur des données qu'il n'a jamais vu. Nous avons donc retenu la version ResNet-101 qui obtient des résultats homogènes, tant sur les données d'apprentissage, que sur les données de validation.

ResNet a été conçu afin de limiter la puissance de calcul nécessaire pour entraîner la reconnaissance d'images (He et al., 2016). Il est une amélioration des réseaux qui existaient alors, comme VGG-19, très puissants, mais aussi très gourmands en puissance de calcul. ResNet améliore la performance tout en demandant moins de puissance de calcul. Il a démontré son efficacité dans des tâches de segmentation textuelle avec un taux de réussite de 86.3 % de calligraphie chinoise (Huang et al., 2023).

ResNet-101 est donc un réseau qui semble bien adapté à notre besoin : puissant (44.5 millions de paramètres) avec une puissance de calcul accessible. Il est possible de faire tourner ce modèle sur des ordinateurs personnels, avec toutefois un temps d'entraînement qui peut être assez long (environ xx heures par condition testée). Les programmes ont donc été mis au point et testés en local, puis exécutés à distance : nous avons loué les services d'une société de "Cloud Computing" (vast.ai) qui met à disposition des ordinateurs puissants afin de gagner du temps (environ deux heures par condition testé).

L'environnement de développement spécialisé pour l'apprentissage profond PyTorch (v2.0.1, sous Python 3.10, Falcon et The PyTorch Lightning team, 2023; Van Rossum et Drake, 2009) a été utilisé car il offre une fiabilité et une reproductibilité des mécanismes qui le rendent précieux dans la recherche (Paszke et al., 2019).

A.2 Pseudotextes écologiques

Aucune information textuelle n'est présentée au réseau. Le réseau de neurones est alimenté par des images, un ensemble de pixels, de textes construits et formatés selon les principes suivants. Les algorithmes de génération fonctionnaient de la façon suivante :

- Signalisation discursive :
 1. créer une structure hiérarchique, sur trois niveaux, de 35 éléments :
123323123233...
 2. pour chaque niveau, générer un bloc constitué d'un nombre aléatoire (entre 10 et 25) de pseudomots eux-mêmes pris aléatoirement d'un générateur Lorem Ipsum ; le bloc commence par une majuscule et finit par un point ;
 3. pour chaque niveau, insérer le mot "un", "deux" ou "trois", selon le niveau hiérarchique correspondant, en début de bloc ;
 4. créer un document PDF d'une page avec tous les éléments précédents, formatés sur deux colonnes, sans indentation, mais retour à la ligne après chaque bloc ;
 5. convertir la page PDF en une image de façon à pouvoir appliquer les fonctions de flou et de déplacement de l'image.
- Signalisation typo-dispositionnelle :
 1. créer une structure hiérarchique, sur trois niveaux, de 35 éléments :
123323123233...
 2. pour les niveaux 1 et 2, choisir aléatoirement un pseudomot parmi la liste ; pour le niveau 3, générer un bloc constitué d'un nombre aléatoire (entre 10 et 25) de pseudomots eux-mêmes pris aléatoirement d'un générateur Lorem Ipsum ;
 3. créer un document PDF d'une page avec tous les éléments précédents, formatés sur deux colonnes de la façon suivante :
 - Niveau 1 : titre en gras police 16, espaces avant et après ;
 - Niveau 2 : titre en gras, police 14, espaces avant et après ;
 - Niveau 3 : paragraphe justifié, police 12, indenté de 10 pointsCette signalisation typo-dispositionnelle devra être décodée par le réseau pour reproduire la structure hiérarchique du document ;
 4. convertir la page PDF en une image de façon à pouvoir appliquer les fonctions de flou et de déplacement de l'image.

Afin de pouvoir alimenter le réseau de neurones, les jeux de données comprenaient :



FIGURE A.2 – Pseudotextes : vérification manuelle de la congruence de structure et formatage

- Phase d’entraînement :
 - Training : 25 000 images
 - Validation : 10 000 images
- Phase de test :
 - Test 1 : 10 000 images
 - Test 2 : 10 000 images
 - Test 3 : 10 000 images

Chacun de ces jeux de données étaient indépendants : le générateur veillait à ce qu’aucune structure n’apparaisse deux fois sur l’ensemble des données. par ailleurs, la construction aléatoire sur tous les paramètres (jeux de pseudomots, longueur des paragraphes) des éléments pseudotextuels assuraient l’unicité de chaque image générée. La congruence entre l’image et la structure enregistrée pour cette image a été vérifiée pour chaque jeu de données par échantillonnage aléatoire : 10 images par jeu étaient imprimées puis vérifiées manuellement (figure A.2).

Au cours de la phase d’entraînement du réseau, les images des textes étaient de plus bougées aléatoirement vers le haut et vers le bas dans les limites de la marge disponible, afin de s’assurer que le réseau ne pourrait pas apprendre par cœur quelque particularité liée à l’image.

A.3 Acuité visuelle et flou gaussien

Définie par l'inverse de l'angle de résolution (en minutes d'arc), l'acuité visuelle (AV) est couramment exprimée sur une échelle décimale, en dixièmes, et maximale à 10/10^e :

$$AV \text{ décimale} = \frac{1}{\text{Angle minimal de résolution}}$$

Cette échelle est très précise pour les acuités élevées, mais pas pour les acuités faibles et cette irrégularité la rend impropre aux calculs statistiques (impossible notamment de calculer une moyenne). Il est recommandé en ophtalmologie d'utiliser une échelle logarithmique (AFNOR, 2018). Exprimés en logMAR, les écarts d'acuités sont alors homogènes et l'acuité devient statistiquement utilisable (Touzeau, 2016) :

$$\log Mar = -\log_{10}(AV \text{ décimale})$$

Le pouvoir discriminatif de l'oeil est maximal au centre de la rétine, la fovéa, puis décroît très rapidement dès que l'on s'en éloigne (voir figure A.3 page VI). On décrit classiquement trois zones :

- Fovéolaire : 0 à 1° d'excentricité, soit une amplitude de 2° sur laquelle le pouvoir discriminatif permet la reconnaissance des mots. À la limite de la fovéa, l'acuité a déjà chuté à 5/10^e, correspondant au seuil de malvoyance ;
- Parafovéolaire : 2 à 5° d'excentricité, le pouvoir discriminatif n'est plus suffisant pour reconnaître avec certitude les mots. À la limite parafovéolaire, l'acuité est à 3/10^e ;
- Périphérique : au-delà de 5°. L'acuité est inférieure à 3/10^e (soit 0.6 log-MAR).

Afin de simuler la vision périphérique, nous avons appliqué un filtre passe-bas connu sous le nom de flou gaussien. Un filtre passe-bas laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences : la technique du flou gaussien tend donc à préserver les hautes fréquences spatiales, tout en dégradant les hautes fréquences spatiales nécessaires à la discrimination fine. Il est donc une bonne simulation de la perception visuelle périphérique déjà été utilisée dans l'évaluation des caractéristiques visuelles de la lecture (Legge et al., 1985). Bien que des méthodes plus précises, mais aussi plus complexes, soient disponibles aujourd'hui (Kwon et Legge, 2012), nos contraintes de réalisation nous ont conduit à préférer le flou gaussien dont l'approximation autant que la mise en œuvre reste suffisante pour nos besoins.

Afin de déterminer la relation entre le flou gaussien appliqué sur nos images de pseudotextes et le pouvoir discriminatif correspondant, c'est-à-dire l'acuité

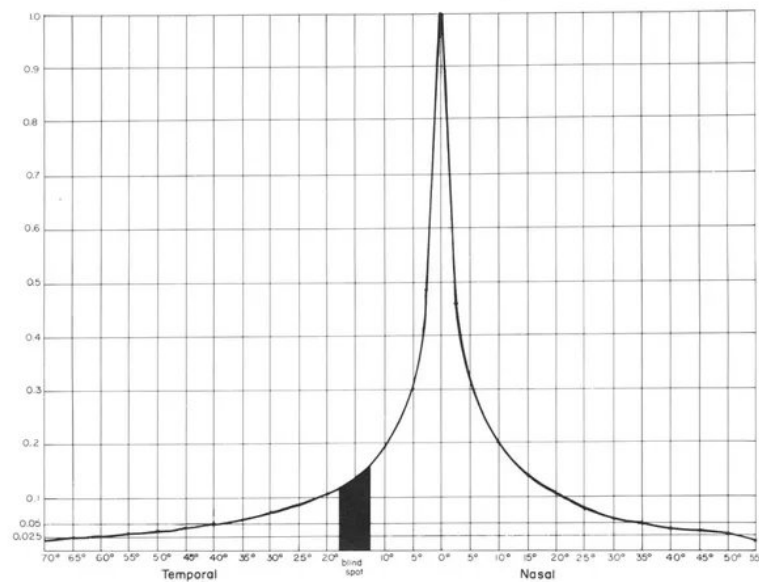


FIGURE A.3 – Acuité visuelle en fonction de l'excentricité rétinienne (Wertheim et Dunsky, 1980)

visuelle qu'aurait un individu si son pouvoir discriminatif était contraint de la même façon. Nous avons estimé cette acuité visuelle résiduelle auprès de 5 participants (age..) en présentant des échelles d'acuité visuelle floutées selon différents niveau gaussiens (figure A.4 page VII). L'acuité retenue est alors la meilleure ligne lue (minimum 3 caractères juste sur 5) ajustée avec le nombre de caractères perçus sur la ligne suivante.

A.4 Estimation du hasard

Avec 35 blocs hiérarchiques répartis sur 3 niveaux, il est en théorie possible de construire $3^{35} \simeq 5.10^{16}$ structures de pseudotextes différentes ! Toutefois, les contraintes de constructions privilégient certaines structures. En effet, le pseudotexte ne peut commencer que par un bloc de niveau 1, qui ne peut être suivi que par un bloc de niveau 2, puis un bloc niveau 3. Ensuite, le hasard de construction peut proposer n'importe quel bloc, tout en respectant la hiérarchie : il est ainsi impossible d'avoir un bloc de niveau 1 directement suivi d'un bloc de niveau 3. Ainsi, si le nombre de possibilités initiales est extrêmement grand, et il est impossible de calculer le nombre exact de structures autorisées.

Pour évaluer le niveau chance, nous mettons en œuvre une approche empirique : nous proposons au réseau une image grise, sans structure (figure A.5). Le réseau ne peut donc rien extraire des images proposées et ne peut que converger vers le hasard : celui-ci se stabilise autour de la valeur 0.790.

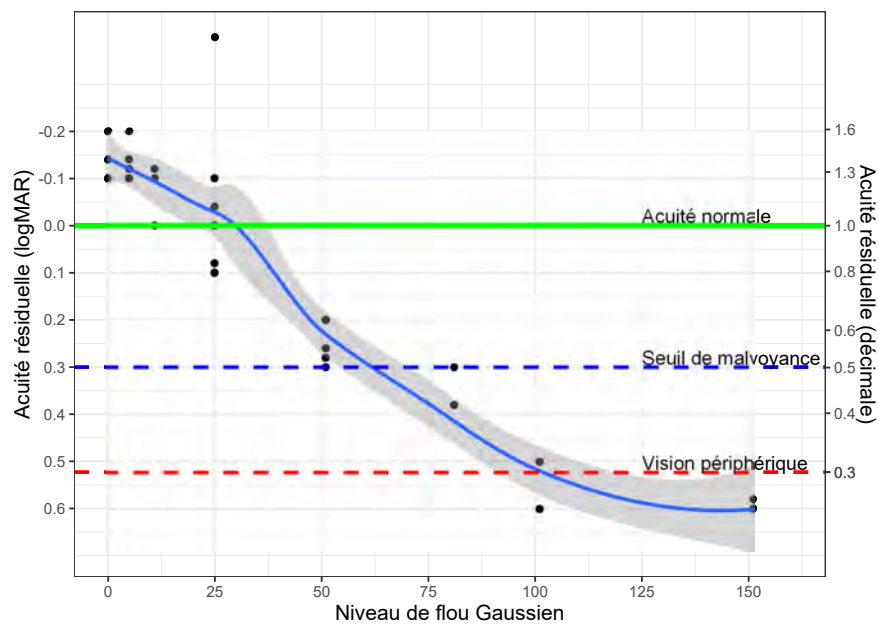


FIGURE A.4 – Acuité visuelle résiduelle en fonction du niveau de flou gaussien (Échelle logMAR inversée pour préserver la perception d'une perte d'acuité visuelle avec l'augmentation du niveau de flou)

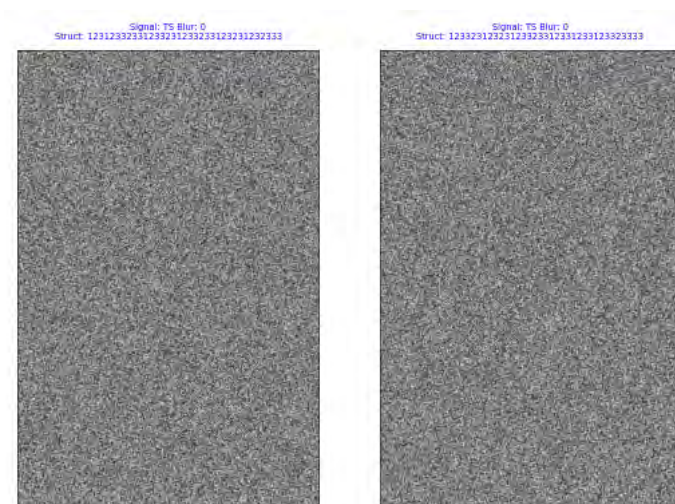


FIGURE A.5 – Images grises (remplissage aléatoire) utilisées pour l'évaluation du hasard : le réseau ne peut pas faire mieux que de converger vers le niveau chance

Il est déconseillé d’afficher des scores de performance corrigés du hasard (S. Jiang et D. Liu, 2011). Afin de rendre toutefois les graphiques plus pertinents, nous appliquons une correction avec la formule de Kappa adaptée pour ramener le niveau chance à 50 % afin d’offrir une lisibilité plus intuitive de la performance du réseau.

A.5 Propriétés du « Lorem Ipsum »

Afin de générer du pseudotexte, nous utilisons la librairie python-lorem (v1.3, Shaw, Jarry, 2023) et nous avons vérifié si ce générateur pouvait produire du pseudotexte avec des caractéristiques similaires au français.

Un programme sous Python (Van Rossum et Drake, 2009) génère un grand nombre de séquences de pseudomots à partir de cette librairie (100 000), afin de comptabiliser le nombre d’apparition de chaque lettre ainsi que les différentes longueurs des pseudomots en nombre de caractères. Nous avons comparé ces valeurs aux données extraites d’un corpus constitué des pages Wikipédia en français (Sajous, 2008).

Nous avons ensuite calculé le pourcentage d’agrément pour chaque lettre et pour chaque longueur de pseudomots en prenant la différence des valeurs, divisée par leur moyenne, ramenée à 100. Nous avons ensuite moyenné ces agréments pour l’ensemble des lettres et des longueurs de mots disponibles.

B

Signalisation et calepin visuospatial

B.1 Prétests : séquences empans

Le tableau B.1 page X détaille les séquences utilisées pour l'évaluation des empans de mémoire de travail, respectivement verbale (empans endroits et envers) et spatiale (empan endroit).

Pour les empans verbaux, les séquences étaient énoncées à l'oral, approximativement un chiffre par seconde, et le participant était invité à répéter à peu près à la même vitesse. Pour l'empan spatial, les cubes étaient pointés par l'examineur, approximativement un cube par seconde, et le participant était invité à répéter la séquence de pointage dans le même ordre, à peu près à la même vitesse.

Pour les trois empans, l'épreuve était stoppée dès lors que deux séries de même longueur était inexacte, l'empan retenu étant donc la longueur de la série précédente, comportant obligatoirement au moins une séquence juste sur les deux.

B.2 Tâches concurrentes : images et sons

Les items utilisés dans les deux tâches visuelle et spatiale sont repris de Le Bigot, Passerault et al. (2012). Ils sont conçus pour limiter un codage verbal. Quelques exemples d'items sont illustrés ici (voir figure B.1 page XI).

TABLEAU B.1 – Séquences utilisées pour l'évaluation des empan

Verbal endroit		Verbal envers		Spatial endroit	
3-5	4-7-8-1-6-3	3-8	1-8-6-9-5-2	8-5	3-9-2-4-8-7
7-2	7-3-9-8-6-4	7-4	3-4-6-9-7-1	6-4	3-7-8-2-9-4
2-8-6	6-1-7-4-2-3-8	4-8-3	8-2-5-4-9-3-2	4-7-2	5-9-1-7-4-2-8
6-3-4	9-3-8-6-5-1-2	3-6-8	4-1-5-8-7-2-9	8-1-5	5-7-9-2-8-4-6
6-2-5-8	5-3-8-7-2-1-6-4	5-2-9-6	6-8-9-5-1-2-6-3	3-4-1-7	5-8-1-9-2-6-4-7
2-4-1-7	2-4-9-5-7-1-6-3	8-3-4-9	3-2-1-8-7-5-9-4	6-1-5-8	5-9-3-6-7-2-4-3
9-5-1-4-8	1-6-4-5-9-7-2-8-3	4-7-1-5-3	5-2-1-8-6	5-3-8-7-1-2-4-6-9	
5-8-2-1-6	4-5-2-3-6-8-9-7-1	9-2-7-5-8	4-2-7-3-1	4-2-6-8-1-7-9-3-5	

L'ensemble est disponible en ressource OSF, ainsi que les fichiers audios utilisés pour la tâche orale.

B.3 Textes et caractéristiques

Les textes utilisés sont repris et étendus de Lorch Jr. et E. P. Lorch (1995) de façon à présenter trois contenus textuels différents ayant pour thème les énergies alternatives et non-renouvelables, ainsi que les enjeux socio-économiques associés.

On trouvera figures B.2, B.3 et B.4 les trois textes (T1, T2 et T3) mis en forme dans les trois conditions de signalisation (N : aucune, D : discursive, TD : typodispositionnelle). Les versions PDFs sont accessibles sur la page OSF.

Les propriétés linguistiques rapportées dans les tableaux B.2 page XV et B.3 page XVI sont reprises du logiciel de correction grammaticale Antidote, développé par la société québécoise *Druide Informatique*, et qui fournit à partir du document l'ensemble des indicateurs rapportés : nombre de mots, de phrases, de paragraphes et indices de lisibilité.

Parmi les indices calculés, nous retenons comme référence l'indice de lisibilité d'Antidote : comme l'indice de Flesch (Flesch reading-ease test), mais spécifique à la langue française, il attribue au texte un score allant de 0 (très difficile) à 100 (très facile). Il se base sur diverses mesures, telles que la longueur des mots et des phrases, la fréquence des mots, etc. Ces deux indices partagent une même échelle, de 0 à 100 : plus le score de lecture est élevé, plus le texte est facile à lire.

On remarque que le texte T3 pourrait être significativement plus difficile que les deux autres textes, de 5 à 6 points selon la condition de signalisation ($p < .001$).

B.4 Questionnaires

Texte 1 (Sources d'énergie alternatives) :

1. Combien d'énergies alternatives sont citées dans ce texte ?

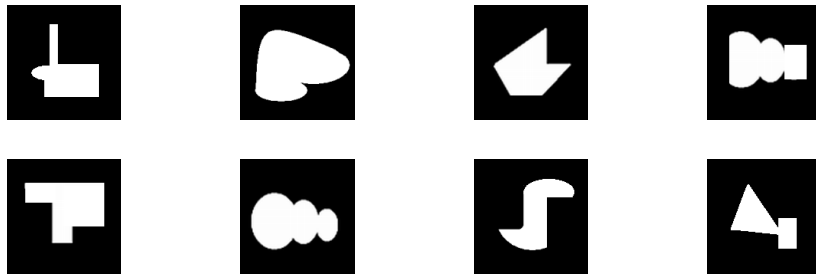


FIGURE B.1 – Exemples d'items utilisés pour les tâches visuelle et spatiale

2. Pouvez-vous les citer ?
3. Avez-vous lu les mots suivants dans le texte :
 - Tectonique ?
 - Radioactive ?
 - Cheminées ?
 - Pleine mer ?
 - Four solaire ?
4. Indiquez si vous pensez vraie ou fausse chacune des affirmations suivantes :
 - On peut produire de l'énergie marémotrice partout dans le monde
 - Il est nécessaire de stocker l'électricité produite dans les centrales océanothermiques
 - Il existe trois méthodes d'extraction de l'énergie océanothermique
 - L'énergie océanothermique est une forme d'énergie solaire
 - Les centrales marémotrices peuvent produire de l'électricité presque tout le temps
 - Toutes ces énergies alternatives sont capables de fournir de l'électricité en continu
5. Quelles énergies alternatives exploitent directement ou indirectement l'énergie solaire ?
6. Quelles sont les méthodes de stockage de l'énergie solaire ?

B.5 Compléments d'analyse

B.5.1 Critères de normalité

Concernant la validité de la régression linéaire mixte utilisé dans l'analyse de la compréhension totale (modèle 5.1 page 98), le graphe des résidus (figure B.5a page XVI) n'indique aucun écart sensible par rapport à une forme linéaire. Il indique également une variance relativement constante.

Les résidus aux extrêmes sont plus petits que ceux prévus par la distribution normale (figure B.5b page XVI), mais cette légère réduction de la variance ap-

Sources d'énergie alternatives

La production d'énergie repose essentiellement sur les combustibles fossiles depuis la révolution industrielle, et sur le nucléaire depuis les années 1950. On est maintenant qui trop concerné des limitations et des problèmes que ces sources d'énergie posent pour l'environnement et la santé, et il devient nécessaire d'explorer des sources d'énergie alternatives.

Certaines et envisageables par la Terre, l'énergie géothermique provient à la fois de la formation originelle de la planète (pour 20 %) et de la désintégration radioactive des minéraux (pour 70 %). On estime que le centre du noyau de la Terre peut atteindre une température de 4000 degrés Celsius. La différence de température entre le noyau de la planète et sa surface amène une conduction continue d'énergie thermique.

Les réserves géothermiques de la planète sont tellement plus que suffisantes pour satisfaire aux besoins énergétiques de l'homme, mais seulement une petite partie a été exploitée jusqu'ici. À travers le monde, plus de 10000 mégawatts d'énergie géothermique sont utilisés dans 24 pays. Quelque 20 gigawatts supplémentaires de capacité de chaleur géothermique pour sont dédiés au chauffage des habitations, aux procédés industriels, à la désalinisation et aux opérations agricoles.

L'obstacle principal au développement de l'énergie géothermique est lié à sa source. En effet, l'énergie géothermique provient uniquement du noyau en fusion de la Terre et accède à cette énergie située en profondeur et est très difficile. Historiquement, l'énergie géothermique a été limitée à l'exploitation des zones proches des centres des plaques tectoniques où l'énergie géothermique parvient à la surface de la Terre sous la forme de sources d'eau chaude, de geysers, de cheminées de vapeur.

C'est en exploitant la différence de température entre la surface de la Terre et les eaux profondes que l'énergie océanothermique génère de l'électricité. Une centrale océanothermique extrait l'énergie solaire des eaux océaniques selon différentes méthodes d'extraction de l'eau en fonction de la nature du cycle.

Dans un système à cycle fermé, les eaux chaudes de surface sont pompées dans un échangeur pour vaporiser un fluide qui bout à faible température pour faire tourner une turbine générant de l'énergie. Dans les systèmes à cycle ouvert, les eaux chaudes de surface sont directement utilisées pour faire de l'électricité. En plaçant de l'eau chaude de surface dans un conteneur à haute pression, on provoque l'ébullition et la vapeur produite fait tourner une turbine à faible pression attachée à un générateur électrique. Avec la méthode de cycle hybride, les eaux tropicales chaudes entrent dans une chambre ouverte et se refroidissent progressivement par évaporation selon le principe de cycle d'évaporation ouverte. La vapeur vaporisée dans le fluide dans une boucle à circuit fermé, ce qui entraîne la turbine et produit de l'électricité.

Une centrale océanothermique possible de nombreux avantages : elle ne requiert pas de combustibles pour générer de l'électricité et ne produit donc pas de pollution. Contrairement aux autres technologies basées sur l'énergie solaire, celle-ci a peu besoin de collecteur et a un coût de stockage de l'énergie, car l'océan rempli est une vaste fonction. Ces centrales peuvent fonctionner presque en continu, contrairement, par exemple, à la plupart des centrales nucléaires qui ne peuvent être utilisées qu'à 55 % de leur capacité.

Source d'énergie depuis plusieurs siècles, la première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en France en 1967, mais les modèles alternatifs par les modèles de océans existants dépendent sur les côtes françaises au XIX siècle.

Une centrale exploitant l'énergie marémotrice est essentiellement un immense barrage comportant une centrale hydroélectrique à l'intérieur.

Quand la marée monte, l'eau passe par les portes de barrage et rempli un bassin en dessous de celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, elle active des aimants hydroélectriques qui produisent de l'électricité. À la fin de la marée montante, les portes de barrage sont fermées et le grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin jusqu'à marée haute. Ce bassin dans les portes et l'eau repasse dans les turbines vers la mer. De l'électricité est ainsi générée chaque fois que l'eau traverse le barrage.

Les centrales marémotrices doivent être situées dans des zones où il y a de grands écarts entre les marées, dans des baies ou des criques étroites, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. Il n'existe guère que 15 sites dans le monde où cela serait possible.

Enfin, une source d'énergie alternative peut être l'énergie solaire, source fondamentalement de notre énergie thermique. L'énergie solaire est transférée d'elle-même de son exploitation dans l'eau à une centrale technologique complexe. Il est ainsi très difficile de la collecter et de la transformer en une source énergétique utilisable. Une technologie pour collecter l'énergie solaire consiste à concentrer l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour focaliser les rayons de soleil en électricité directement en utilisant des systèmes qui focalisent une zone étroite de lumière en un petit faisceau. Le faisceau concentré est utilisé pour chauffer un liquide, qui permet généralement de produire de la vapeur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

L'énergie solaire étant intermittent, une fois convertie en électricité il faut ensuite la stocker pour pouvoir l'utiliser de l'électricité en continu.

Une méthode traditionnellement de stockage consiste à utiliser des batteries rechargeables qui stockent l'énergie de l'électricité. Un autre système consiste à utiliser des vases en fonction pour stocker l'énergie grâce aux très hautes températures. Le sel est un moyen de stockage efficace à haute température. Il est possible de grandes capacités thermiques et peut fournir de la chaleur dans la température est compatible avec les systèmes électriques conventionnels. On peut utiliser un système qui utilise l'énergie d'électricité pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur, jusqu'à un réservoir supérieur. L'énergie est alors récupérée selon les besoins en utilisant l'eau qui fait alors tourner une turbine et génère de l'électricité.

Sources d'énergie alternatives

La production d'énergie repose essentiellement sur les combustibles fossiles depuis la révolution industrielle, et sur le nucléaire depuis les années 1950. On est maintenant qui trop concerné des limitations et des problèmes que ces sources d'énergie posent pour l'environnement et la santé, et il devient nécessaire d'explorer des sources d'énergie alternatives.

Certaines et envisageables par la Terre, l'énergie géothermique provient à la fois de la formation originelle de la planète (pour 20 %) et de la désintégration radioactive des minéraux (pour 70 %). On estime que le centre du noyau de la Terre peut atteindre une température de 4000 degrés Celsius. La différence de température entre le noyau de la planète et sa surface amène une conduction continue d'énergie thermique.

Les réserves géothermiques de la planète sont tellement plus que suffisantes pour satisfaire aux besoins énergétiques de l'homme, mais seulement une petite partie a été exploitée jusqu'ici. À travers le monde, plus de 10000 mégawatts d'énergie géothermique sont utilisés dans 24 pays. Quelque 20 gigawatts supplémentaires de capacité de chaleur géothermique pour sont dédiés au chauffage des habitations, aux procédés industriels, à la désalinisation et aux opérations agricoles.

L'obstacle principal au développement de l'énergie géothermique est lié à sa source. En effet, l'énergie géothermique provient uniquement du noyau en fusion de la Terre et accède à cette énergie située en profondeur et est très difficile. Historiquement, l'énergie géothermique a été limitée à l'exploitation des zones proches des centres des plaques tectoniques où l'énergie géothermique parvient à la surface de la Terre sous la forme de sources d'eau chaude, de geysers, de cheminées de vapeur.

Une autre source d'énergie alternative est l'énergie océanothermique qui exploite la différence de température entre la surface de la Terre et les eaux profondes pour faire générer de l'électricité. Ainsi, une centrale océanothermique extrait l'énergie solaire des eaux océaniques selon trois méthodes d'extraction de l'eau en fonction de la nature du cycle.

Dans un système à cycle fermé, les eaux chaudes de surface sont pompées dans un échangeur pour vaporiser un fluide qui bout à faible température pour faire tourner une turbine générant de l'énergie. Dans les systèmes à cycle ouvert, les eaux chaudes de surface sont directement utilisées pour faire de l'électricité. En plaçant de l'eau chaude de surface dans un conteneur à haute pression, on provoque l'ébullition et la vapeur produite fait tourner une turbine à faible pression attachée à un générateur électrique. Enfin, avec la méthode de cycle hybride, les eaux tropicales chaudes entrent dans une chambre ouverte et se refroidissent progressivement par évaporation selon le principe de cycle d'évaporation ouverte. La vapeur vaporisée dans le fluide dans une boucle à circuit fermé, ce qui entraîne la turbine et produit de l'électricité.

Une centrale océanothermique possible de nombreux avantages : elle ne requiert pas de combustibles pour générer de l'électricité et ne produit donc pas de pollution. De plus, contrairement aux autres technologies basées sur l'énergie solaire, celle-ci a peu besoin de collecteur et a un coût de stockage de l'énergie, car l'océan rempli est une vaste fonction. Ces centrales peuvent fonctionner presque en continu, contrairement, par exemple, à la plupart des centrales nucléaires qui ne peuvent être utilisées qu'à 55 % de leur capacité.

Une troisième source d'énergie alternative existe depuis plusieurs siècles, la première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en France en 1967, mais les modèles alternatifs par les modèles de océans existants dépendent sur les côtes françaises au XIX siècle.

Une centrale exploitant l'énergie marémotrice est essentiellement un immense barrage comportant une centrale hydroélectrique à l'intérieur.

Quand la marée monte, l'eau passe par les portes de barrage et rempli un bassin en dessous de celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, elle active des aimants hydroélectriques qui produisent de l'électricité. À la fin de la marée montante, les portes de barrage sont fermées et le grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin jusqu'à marée haute. Ce bassin dans les portes et l'eau repasse dans les turbines vers la mer. De l'électricité est ainsi générée chaque fois que l'eau traverse le barrage.

Les centrales marémotrices doivent être situées dans des zones où il y a de grands écarts entre les marées, dans des baies ou des criques étroites, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. Il n'existe guère que 15 sites dans le monde où cela serait possible.

Enfin, une source d'énergie alternative peut être l'énergie solaire, source fondamentalement de notre énergie thermique. L'énergie solaire est transférée d'elle-même de son exploitation dans l'eau à une centrale technologique complexe. Il est ainsi très difficile de la collecter et de la transformer en une source énergétique utilisable. Une technologie pour collecter l'énergie solaire consiste à concentrer l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour focaliser les rayons de soleil en électricité directement en utilisant des systèmes qui focalisent une zone étroite de lumière en un petit faisceau. Le faisceau concentré est utilisé pour chauffer un liquide, qui permet généralement de produire de la vapeur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

L'énergie solaire étant intermittente, une fois convertie en électricité il faut ensuite la stocker pour pouvoir l'utiliser de l'électricité en continu.

Une méthode traditionnellement de stockage consiste à utiliser des batteries rechargeables qui stockent l'énergie de l'électricité. Un autre système consiste à utiliser des vases en fonction pour stocker l'énergie grâce aux très hautes températures. Le sel est un moyen de stockage efficace à haute température. Il est possible de grandes capacités thermiques et peut fournir de la chaleur dans la température est compatible avec les systèmes électriques conventionnels. On peut utiliser un système qui utilise l'énergie d'électricité pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur, jusqu'à un réservoir supérieur. L'énergie est alors récupérée selon les besoins en utilisant l'eau qui fait alors tourner une turbine et génère de l'électricité.

Sources d'énergie alternatives

La production d'énergie repose essentiellement sur les combustibles fossiles depuis la révolution industrielle, et sur le nucléaire depuis les années 1950. On est maintenant qui trop concerné des limitations et des problèmes que ces sources d'énergie posent pour l'environnement et la santé, et il devient nécessaire d'explorer des sources d'énergie alternatives.

Certaines et envisageables par la Terre, l'énergie géothermique provient à la fois de la formation originelle de la planète (pour 20 %) et de la désintégration radioactive des minéraux (pour 70 %). On estime que le centre du noyau de la Terre peut atteindre une température de 4000 degrés Celsius. La différence de température entre le noyau de la planète et sa surface amène une conduction continue d'énergie thermique.

Les réserves géothermiques de la planète sont tellement plus que suffisantes pour satisfaire aux besoins énergétiques de l'homme, mais seulement une petite partie a été exploitée jusqu'ici. À travers le monde, plus de 10000 mégawatts d'énergie géothermique sont utilisés dans 24 pays. Quelque 20 gigawatts supplémentaires de capacité de chaleur géothermique pour sont dédiés au chauffage des habitations, aux procédés industriels, à la désalinisation et aux opérations agricoles.

L'obstacle principal au développement de l'énergie géothermique est lié à sa source. En effet, l'énergie géothermique provient uniquement du noyau en fusion de la Terre et accède à cette énergie située en profondeur et est très difficile. Historiquement, l'énergie géothermique a été limitée à l'exploitation des zones proches des centres des plaques tectoniques où l'énergie géothermique parvient à la surface de la Terre sous la forme de sources d'eau chaude, de geysers, de cheminées de vapeur.

Une autre source d'énergie alternative est l'énergie océanothermique qui exploite la différence de température entre la surface de la Terre et les eaux profondes pour faire générer de l'électricité. Ainsi, une centrale océanothermique extrait l'énergie solaire des eaux océaniques selon différentes méthodes d'extraction de l'eau en fonction de la nature du cycle.

Dans un système à cycle fermé, les eaux chaudes de surface sont pompées dans un échangeur pour vaporiser un fluide qui bout à faible température pour faire tourner une turbine générant de l'énergie. Dans les systèmes à cycle ouvert, les eaux chaudes de surface sont directement utilisées pour faire de l'électricité. En plaçant de l'eau chaude de surface dans un conteneur à haute pression, on provoque l'ébullition et la vapeur produite fait tourner une turbine à faible pression attachée à un générateur électrique.

Avec la méthode de cycle hybride, les eaux tropicales chaudes entrent dans une chambre ouverte et se refroidissent progressivement par évaporation selon le principe de cycle d'évaporation ouverte. La vapeur vaporisée dans le fluide dans une boucle à circuit fermé, ce qui entraîne la turbine et produit de l'électricité.

Une centrale océanothermique possible de nombreux avantages : elle ne requiert pas de combustibles pour générer de l'électricité et ne produit donc pas de pollution. De plus, contrairement aux autres technologies basées sur l'énergie solaire, celle-ci a peu besoin de collecteur

qui produisent de l'électricité. À la fin de la marée montante, les portes de barrage sont fermées et le grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin jusqu'à marée haute. On ouvre les portes et l'eau repasse dans les turbines vers la mer. De l'électricité est ainsi générée chaque fois que l'eau traverse le barrage.

Les centrales marémotrices doivent être situées dans des zones où il y a de grands écarts entre les marées, dans des baies ou des criques étroites, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. Il n'existe guère que 15 sites dans le monde où cela serait possible.

Enfin, une source d'énergie alternative peut être l'énergie solaire, source fondamentalement de notre énergie thermique. L'énergie solaire est transférée d'elle-même de son exploitation dans l'eau à une centrale technologique complexe. Il est ainsi très difficile de la collecter et de la transformer en une source énergétique utilisable. Une technologie pour collecter l'énergie solaire consiste à concentrer l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour focaliser les rayons de soleil en électricité directement en utilisant des systèmes qui focalisent une zone étroite de lumière en un petit faisceau. Le faisceau concentré est utilisé pour chauffer un liquide, qui permet généralement de produire de la vapeur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

L'énergie solaire étant intermittente, une fois convertie en électricité il faut ensuite la stocker pour pouvoir l'utiliser de l'électricité en continu.

Une méthode traditionnellement de stockage consiste à utiliser des batteries rechargeables qui stockent l'énergie de l'électricité. Un autre système consiste à utiliser des vases en fonction pour stocker l'énergie grâce aux très hautes températures. Le sel est un moyen de stockage efficace à haute température. Il est possible de grandes capacités thermiques et peut fournir de la chaleur dans la température est compatible avec les systèmes électriques conventionnels. On peut utiliser un système qui utilise l'énergie d'électricité pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur, jusqu'à un réservoir supérieur. L'énergie est alors récupérée selon les besoins en utilisant l'eau qui fait alors tourner une turbine et génère de l'électricité.

Tout d'abord, quand la marée monte, l'eau passe par les portes de barrage et rempli un bassin en dessous de celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, elle active des aimants hydroélectriques qui produisent de l'électricité. Ensuite, à la fin de la marée montante, les portes de barrage sont fermées et le grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin jusqu'à marée haute. Ce bassin dans les portes et l'eau repasse dans les turbines vers la mer. De l'électricité est ainsi générée chaque fois que l'eau traverse le barrage.

Les centrales marémotrices doivent être situées dans des zones où il y a de grands écarts entre les marées, dans des baies ou des criques étroites, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. Il n'existe guère que 15 sites dans le monde où cela serait possible.

Enfin, une source d'énergie alternative peut être l'énergie solaire, source fondamentalement de notre énergie thermique. L'énergie solaire est transférée d'elle-même de son exploitation dans l'eau à une centrale technologique complexe. Il est ainsi très difficile de la collecter et de la transformer en une source énergétique utilisable. Une technologie pour collecter l'énergie solaire consiste à concentrer l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour focaliser les rayons de soleil en électricité directement en utilisant des systèmes qui focalisent une zone étroite de lumière en un petit faisceau. Le faisceau concentré est utilisé pour chauffer un liquide, qui permet généralement de produire de la vapeur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

L'énergie solaire étant intermittente, une fois convertie en électricité il faut ensuite la stocker pour pouvoir l'utiliser de l'électricité en continu.

Une méthode traditionnellement de stockage consiste à utiliser des batteries rechargeables qui stockent l'énergie de l'électricité. Un autre système consiste à utiliser des vases en fonction pour stocker l'énergie grâce aux très hautes températures. Le sel est un moyen de stockage efficace à haute température. Il est possible de grandes capacités thermiques et peut fournir de la chaleur dans la température est compatible avec les systèmes électriques conventionnels. On peut utiliser un système qui utilise l'énergie d'électricité pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur, jusqu'à un réservoir supérieur. L'énergie est alors récupérée selon les besoins en utilisant l'eau qui fait alors tourner une turbine et génère de l'électricité.

ou d'un mode de stockage de l'énergie, car l'océan rempli est une vaste fonction. Par ailleurs, ces centrales peuvent fonctionner presque en continu, contrairement, par exemple, à la plupart des centrales nucléaires qui ne peuvent être utilisées qu'à 55 % de leur capacité.

L'énergie marémotrice

Source d'énergie depuis plusieurs siècles, la première centrale basée sur l'énergie marémotrice a été construite en France en 1967, mais les modèles alternatifs par les modèles de océans existants dépendent sur les côtes françaises au XIX siècle.

Une centrale exploitant l'énergie marémotrice est essentiellement un immense barrage comportant une centrale hydroélectrique à l'intérieur.

1) Quand la marée monte, l'eau passe par les portes de barrage et rempli un bassin en dessous de celui-ci. Lorsque l'eau traverse les portes, elle active des aimants hydroélectriques qui produisent de l'électricité.

2) À la fin de la marée montante, les portes de barrage sont fermées et le grandes masses d'eau restent prisonnières du bassin jusqu'à marée haute. Ce bassin dans les portes et l'eau repasse dans les turbines vers la mer. De l'électricité est ainsi générée chaque fois que l'eau traverse le barrage.

Les centrales marémotrices doivent être situées dans des zones où il y a de grands écarts entre les marées, dans des baies ou des criques étroites, afin de produire de l'électricité de manière compétitive. Il n'existe guère que 15 sites dans le monde où cela serait possible.

L'énergie solaire

Source fondamentalement de notre énergie thermique, l'énergie solaire est transférée d'elle-même de son exploitation dans l'eau à une centrale technologique complexe. Il est ainsi très difficile de la collecter et de la transformer en une source énergétique utilisable. Une technologie pour collecter l'énergie solaire consiste à concentrer l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour focaliser les rayons de soleil en électricité directement en utilisant des systèmes qui focalisent une zone étroite de lumière en un petit faisceau. Le faisceau concentré est utilisé pour chauffer un liquide, qui permet généralement de produire de la vapeur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

L'énergie solaire étant intermittente, une fois convertie en électricité il faut ensuite la stocker pour pouvoir l'utiliser de l'électricité en continu.

- Une méthode traditionnellement de stockage consiste à utiliser des batteries rechargeables qui stockent l'énergie de l'électricité.
- Un système consiste à utiliser des vases en fonction pour stocker l'énergie grâce aux très hautes températures. Le sel est un moyen de stockage efficace à haute température. Il est possible de grandes capacités thermiques et peut fournir de la chaleur dans la température est compatible avec les systèmes électriques conventionnels.
- Une alternative consiste en un système qui utilise l'énergie d'électricité pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur, jusqu'à un réservoir supérieur. L'énergie est alors récupérée selon les besoins en utilisant l'eau qui fait alors tourner une turbine et génère de l'électricité.

FIGURE B.2 – Texte I dans les trois conditions de signalisation, de haut en bas : non signalé, signalisation discursive et visuospatiale

Les énergies non renouvelables

Une énergie est dite non renouvelable si elle est produite à un rythme trop lent pour que son stock puisse être renouvelé à l'échelle d'une vie humaine. Les énergies non renouvelables englobent de nombreux déchets et déchets dans le gaz à effet de serre. Elles sont encore très utilisées, car elles fournissent un très bon rendement énergétique.

Les combustibles fossiles se forment principalement à partir de la matière organique fossilisée par les pressions et la température au sein de la croûte terrestre au cours de millions d'années.

Le principal avantage de ces combustibles fossiles est l'existence, lors de leur combustion, de déchets de carbone qui ont fait de ce gaz à effet de serre responsable de réchauffement climatique actuel.

Le charbon est un combustible fossile d'origine organique. Il est issu de la transformation lente de la biomasse en combustible particulièrement riche en carbone. On classe d'ailleurs le charbon en fonction de sa teneur en carbone. Il s'agit d'une des sources d'énergie les plus utilisées au monde.

Le gaz naturel est une énergie non renouvelable composée de gaz type méthane mélangé dans certaines roches. Ce gaz, dit conventionnel, dérive de la décomposition de matière organique. Il constitue la troisième source d'énergie au monde.

Le pétrole est une énergie non renouvelable composée de hydrocarbures mélangés dans la roche. Il s'agit donc d'une huile minérale composée d'hydrocarbures mélangés dans la roche. Il est issu de la décomposition de matière organique.

Le gaz à effet de serre est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Les combustibles fossiles ont un effet de serre plus important que le gaz à effet de serre.

Les énergies non renouvelables

Une énergie est dite non renouvelable si elle est produite à un rythme trop lent pour que son stock puisse être renouvelé à l'échelle d'une vie humaine. Les énergies non renouvelables englobent de nombreux déchets et déchets dans le gaz à effet de serre. Elles sont encore très utilisées, car elles fournissent un très bon rendement énergétique.

Les combustibles fossiles se forment principalement à partir de la matière organique fossilisée par les pressions et la température au sein de la croûte terrestre au cours de millions d'années.

Le principal avantage de ces combustibles fossiles est l'existence, lors de leur combustion, de déchets de carbone qui ont fait de ce gaz à effet de serre responsable de réchauffement climatique actuel.

Le charbon est un combustible fossile d'origine organique. Il est issu de la transformation lente de la biomasse en combustible particulièrement riche en carbone. On classe d'ailleurs le charbon en fonction de sa teneur en carbone. Il s'agit d'une des sources d'énergie les plus utilisées au monde.

Le gaz naturel est une énergie non renouvelable composée de gaz type méthane mélangé dans certaines roches. Ce gaz, dit conventionnel, dérive de la décomposition de matière organique. Il constitue la troisième source d'énergie au monde.

Le pétrole est une énergie non renouvelable composée de hydrocarbures mélangés dans la roche. Il est issu de la décomposition de matière organique.

Le gaz à effet de serre est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Les combustibles fossiles ont un effet de serre plus important que le gaz à effet de serre.

Les énergies non renouvelables

Une énergie est dite non renouvelable si elle est produite à un rythme trop lent pour que son stock puisse être renouvelé à l'échelle d'une vie humaine. Les énergies non renouvelables englobent de nombreux déchets et déchets dans le gaz à effet de serre. Elles sont encore très utilisées, car elles fournissent un très bon rendement énergétique.

Les combustibles fossiles se forment principalement à partir de la matière organique fossilisée par les pressions et la température au sein de la croûte terrestre au cours de millions d'années.

Le principal avantage de ces combustibles fossiles est l'existence, lors de leur combustion, de déchets de carbone qui ont fait de ce gaz à effet de serre responsable de réchauffement climatique actuel.

Le charbon est un combustible fossile d'origine organique. Il est issu de la transformation lente de la biomasse en combustible particulièrement riche en carbone. On classe d'ailleurs le charbon en fonction de sa teneur en carbone. Il s'agit d'une des sources d'énergie les plus utilisées au monde.

Le gaz naturel est une énergie non renouvelable composée de gaz type méthane mélangé dans certaines roches. Ce gaz, dit conventionnel, dérive de la décomposition de matière organique. Il constitue la troisième source d'énergie au monde.

Le pétrole est une énergie non renouvelable composée de hydrocarbures mélangés dans la roche. Il est issu de la décomposition de matière organique.

Le gaz à effet de serre est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Les combustibles fossiles ont un effet de serre plus important que le gaz à effet de serre.

Le gaz à effet de serre est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Les combustibles fossiles ont un effet de serre plus important que le gaz à effet de serre.

Il y a de plus, un grand nombre d'autres effets secondaires indésirables liés à la technique de fractionnement hydrogène employée pour récupérer les gaz non conventionnels. Ainsi, on peut constater la pollution de nappes phréatiques, des risques de modification de la qualité de l'air, le déplacement possible de gaz et de produits chimiques situés dans la fractionnement hydrogène jusqu'à la surface et des problèmes liés à la gestion des déchets.

On s'interroge également sur les effets de ces conséquences environnementales sur la santé. Il y a eu de nombreux incidents : pollution de l'air, explosion de bâtiments dus au gaz naturel mais par les opérations de fractionnement hydrogène.

L'énergie nucléaire est une énergie non renouvelable, car elle repose essentiellement sur la fission nucléaire de l'isotope 235 de l'uranium qui représente environ 0,7% de l'uranium naturel, un élément radioactif présent dans la croûte de la Terre.

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise comme combustible un ou plusieurs isotopes nucléaires situés en combustible nucléaire. La puissance électrique d'une centrale varie de quelques mégawatts à plusieurs milliers de mégawatts en fonction du nombre et du type de réacteur en service sur le site.

L'énergie d'une centrale nucléaire provient de la fission de noyaux d'atomes lourds. L'énergie dégagée par la fission dégage de la chaleur afin de produire de l'électricité.

On compte dans le monde environ 250 centrales nucléaires pour un total en janvier 2016 de 441 réacteurs en fonctionnement (y compris 41 réacteurs japonais à l'arrêt), et 67 réacteurs sont en cours de construction. En France, le premier réacteur d'essai date de 1966. La France a développé l'exploitation de l'énergie nucléaire pour en faire sa principale source d'énergie (75 % de la production française). Elle compte actuellement 58 réacteurs sur son territoire.

L'unité de l'énergie nucléaire est le produit de grande quantité d'énergie sans émettre de gaz à effet de serre. Les principaux inconvénients de la fission nucléaire de l'uranium sont la production de déchets radioactifs et une longue durée de vie qui fait naître de nombreux problèmes, mais aussi le risque lié à une fuite de substance radioactive lors d'un catastrophe naturelle.

La fission nucléaire est susceptible de constituer une source d'énergie plus propre et avec des risques quasiment négligeables, mais les technologies nécessaires pour la mettre en œuvre ne sont pas encore mûres. La fission nucléaire consiste à séparer des atomes d'hydrogène pour qu'ils fusionnent à des températures très élevées. La réaction ainsi formée artificiellement est instable et le type d'hydrogène tenu de rester en forme stable, ce qui a pour effet d'apporter un neutron et un atome d'hélium et ainsi de continuer de l'énergie.

Il est important de noter que le principal avantage du gaz naturel est qu'il est relativement peu polluant. Le bilan écologique du gaz est conventionnel et est donc discuté.

Il y a de plus, un grand nombre d'autres effets secondaires indésirables liés à la technique de fractionnement hydrogène employée pour récupérer les gaz non conventionnels. Ainsi, on peut constater la pollution de nappes phréatiques, des risques de modification de la qualité de l'air, le déplacement possible de gaz et de produits chimiques situés dans la fractionnement hydrogène jusqu'à la surface et des problèmes liés à la gestion des déchets.

On s'interroge également sur les effets de ces conséquences environnementales sur la santé. Il y a eu de nombreux incidents : pollution de l'air, explosion de bâtiments dus au gaz naturel mais par les opérations de fractionnement hydrogène.

L'énergie nucléaire est une énergie non renouvelable, car elle repose essentiellement sur la fission nucléaire de l'isotope 235 de l'uranium qui représente environ 0,7% de l'uranium naturel, un élément radioactif présent dans la croûte de la Terre.

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise comme combustible un ou plusieurs isotopes nucléaires situés en combustible nucléaire. La puissance électrique d'une centrale varie de quelques mégawatts à plusieurs milliers de mégawatts en fonction du nombre et du type de réacteur en service sur le site.

L'énergie d'une centrale nucléaire provient de la fission de noyaux d'atomes lourds. L'énergie dégagée par la fission dégage de la chaleur afin de produire de l'électricité.

On compte dans le monde environ 250 centrales nucléaires pour un total en janvier 2016 de 441 réacteurs en fonctionnement (y compris 41 réacteurs japonais à l'arrêt), et 67 réacteurs sont en cours de construction. En France, le premier réacteur d'essai date de 1966. La France a développé l'exploitation de l'énergie nucléaire pour en faire sa principale source d'énergie (75 % de la production française). Elle compte actuellement 58 réacteurs sur son territoire.

L'unité de l'énergie nucléaire est le produit de grande quantité d'énergie sans émettre de gaz à effet de serre. Les principaux inconvénients de la fission nucléaire de l'uranium sont la production de déchets radioactifs et une longue durée de vie qui fait naître de nombreux problèmes, mais aussi le risque lié à une fuite de substance radioactive lors d'un catastrophe naturelle.

La fission nucléaire est susceptible de constituer une source d'énergie plus propre et avec des risques quasiment négligeables, mais les technologies nécessaires pour la mettre en œuvre ne sont pas encore mûres. La fission nucléaire consiste à séparer des atomes d'hydrogène pour qu'ils fusionnent à des températures très élevées. La réaction ainsi formée artificiellement est instable et le type d'hydrogène tenu de rester en forme stable, ce qui a pour effet d'apporter un neutron et un atome d'hélium et ainsi de continuer de l'énergie.

Le gaz de charbon qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

Le gaz de schiste qui est très important dans le charbon qui est formé, le charbon est issu de la roche mère.

FIGURE B.3 – Texte 2 dans les trois conditions de signalisation, de haut en bas : non signalé, signalisation discursive et visuospatiale

TABLEAU B.2 – Nombre de mots/phrases/paragraphes par condition de signalisation

		Signalisation		
		N ^a	D ^b	TD ^c
T1	Sources d'énergie alternatives	1043/43/15	1116/46/13	1070/48/19
T2	Énergies non-renouvelables	1154/49/15	1184/49/16	1152/52/20
T3	Enjeux socio-économiques	1099/38/17	1136/40/18	1112/48/20

^a aucune, ^b discursive, ^c typo-dispositionnelle

parente à droite et à gauche du graphique est probablement due au fait qu'il y a moins d'observations dans ces zones, et l'on peut considérer que le modèle utilisé ne pose pas de problème significatif en ce qui concerne la normalité des résidus.

B.5.2 Compréhension littérale, inférentielle et structurale

Résultats figure B.6 page XVI et figure B.7 page XVII

TABLEAU B.3 – Lisibilité Antidote(Flesch) par condition de signalisation

		Signalisation		
		N ^a	D ^b	TD ^c
T1	Sources d'énergie alternatives	39.3 (38.0)	38.7 (37.1)	39.5 (39.1)
T2	Les énergies non-renouvelables	38.3 (44.4)	37.6 (43.5)	38.6 (45.8)
T3	Les enjeux socio-économiques	32.2 (32.3)	32.6 (32.8)	34.7 (37.6)

^a aucune, ^b discursive, ^c typo-dispositionnelle

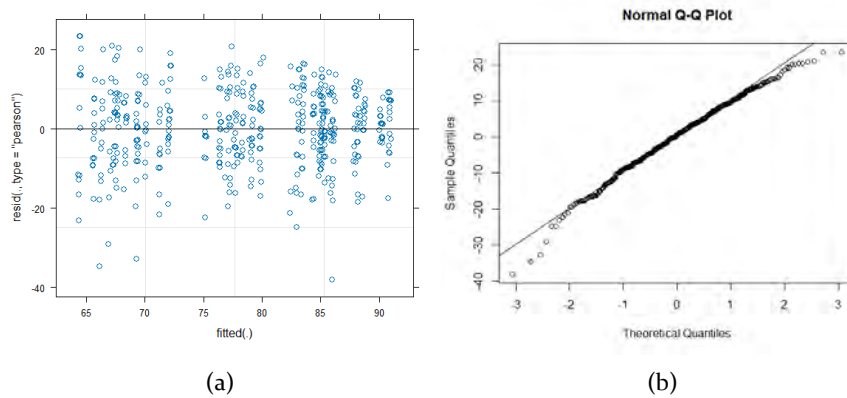


FIGURE B.5 – Visualisation des résidus après régression linéaire mixte

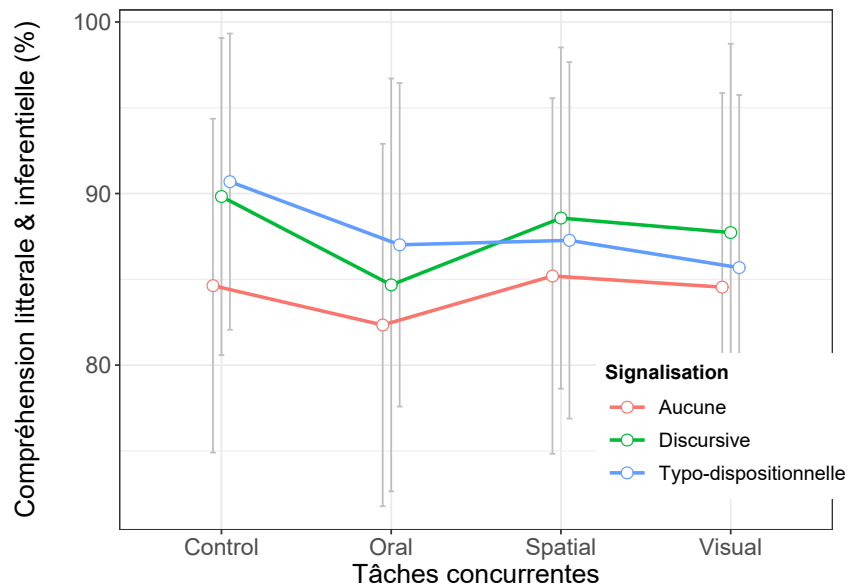


FIGURE B.6 – Performance moyenne de compréhension littérale et inférentielle

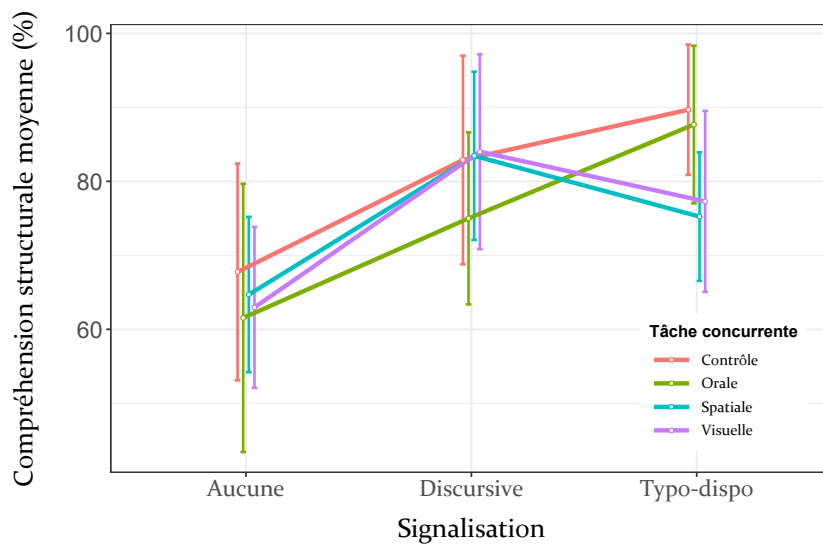


FIGURE B.7 – Performance moyenne de compréhension structurale



Signalisation et contenu textuel spatial

C.1 Textes et caractéristiques

Les textes utilisés évoquent un univers imaginaire de façon à limiter l'influence de connaissances préalables : trois contenus textuels différents ayant pour thème une capsule spatiale (T1 : La Capsule), un palais et un campus universitaire imaginaire (T2 : Le palais, T3 : l'Université).

On trouvera figures C.1, C.2 et C.3 les trois textes (T1, T2 et T3) mis en forme dans les trois conditions de signalisation (N : aucune, D : discursive, TD : typodispositionnelle). Cette expérience a été proposée en ligne (serveur limeSurvey), la présentation sur écran peut alors différer selon la configuration informatique des participants.

Les propriétés linguistiques rapportées dans les tableaux C.1 page XXIII et C.2 page XXIV sont reprises du logiciel de correction grammaticale Antidote, développé par la société québécoise *Druide Informatique*, et qui fournit à partir du document l'ensemble des indicateurs rapportés : nombre de mots, de phrases, de paragraphes et indices de lisibilité.

C.2 Questionnaires

Texte 1 : La capsule

- Littérales :

La Capsule

Son existence fut découverte dans notre système solaire en 3058. Cette nef interplanétaire porte toutefois mal son nom, car sa forme évoque finalement que grossièrement celle d'une capsule.

La double coque constitue le mode de propulsion de la capsule. Il ne fut compris que tardivement tant ce système était inhabituel.

L'épaisse double coque intègre en effet le mécanisme de courbure de l'espace-temps qui permet au vaisseau de se propulser dans toutes les directions de l'espace. La capsule n'a donc ni « avant » ni « arrière » et ces notions ne furent introduites que par commodité de représentation.

Le système de propulsion interagit avec un ensemble complexe de motifs dessinés sur la coque.

Des courbes entrelacées parcourent la surface extérieure de la coque. Ils sont mouvants et semblent clairement destinés à l'orientation du vaisseau : les motifs s'adaptent au gré des changements d'orientation et de vitesse de la trajectoire.

Plus précisément, ils semblent être à l'origine de ces changements. Plus les lignes sont droites, plus le vaisseau est rapide. Plus elles sont courbes, plus il ralentit.

C'est en jouant sur la distribution de ces changements sur la coque extérieure que la Capsule semble pouvoir déformer l'espace-temps à proximité et donc se diriger.

On peut donc concevoir le système de double coque et de motifs extérieurs comme un seul système de propulsion-direction.

L'intérieur de la capsule forme une seule et même immense cavité. Certains disent « univers monde ». La surface est partout couverte d'une épaisse végétation ou vivent les

créatures de cette civilisation extra-terrestre. Cet écosystème n'est pas uniforme et les forêts arborées sont majoritairement présentes vers l'avant de la capsule. On trouve de larges étendues d'eau à l'opposé et une savane couverte d'herbes hautes couvre l'espace intermédiaire.

De grands ronds construits dans les branches des arbres forment autant de cabines qui servent d'espaces de vie et de repos aux êtres qui peuplent la Capsule.

Excroissance de la surface, à la manière d'un cactus, trois branches capsulaires émanent du corps de la capsule et en constituent le centre nerveux.

Mal connus, elles semblent viser trois fonctions. La régulation écologique de l'espace de vie central, de la végétation et des cabines ; le contrôle de la trajectoire, vitesse et accélération ; le réseau de neurones, l'intelligence artificielle du vaisseau.

Ces excroissances, mini-capsules, sont distribuées à équidistance l'une de l'autre sur le même axe à la surface de la Capsule. On trouve la régulation écologique au plus proche du niveau arboré et le réseau de neurones à l'opposé.

La Capsule

Son existence fut découverte dans notre système solaire en 3058. Cette nef interplanétaire porte toutefois mal son nom, car sa forme évoque finalement que grossièrement celle d'une capsule.

Indétectables nous tout d'abord aux moteurs : la double coque constitue le mode de propulsion de la capsule. Il ne fut compris que tardivement tant ce système était inhabituel.

L'épaisse double coque intègre en effet le mécanisme de courbure de l'espace-temps qui permet au vaisseau de se propulser dans toutes les directions de l'espace. La capsule n'a donc ni « avant » ni « arrière » et ces notions ne furent introduites que par commodité de représentation.

Le système de propulsion interagit avec un ensemble complexe de motifs dessinés sur la coque.

On remarque ensuite les motifs, des courbes entrelacées qui parcourent la surface extérieure de la coque. Ils sont mouvants et semblent clairement destinés à l'orientation du vaisseau : les motifs s'adaptent au gré des changements d'orientation et de vitesse de la trajectoire.

Plus précisément, ils semblent être à l'origine de ces changements. Plus les lignes sont droites, plus le vaisseau est rapide. Plus elles sont courbes, plus il ralentit.

C'est en jouant sur la distribution de ces changements sur la coque extérieure que la Capsule semble pouvoir déformer l'espace-temps à proximité et donc se diriger.

On peut donc concevoir le système de double coque et de motifs extérieurs comme un seul système de propulsion-direction.

Concernant les cabines, l'intérieur de la capsule forme une seule et même immense cavité.

Certains disent « univers monde ». La surface est partout couverte d'une épaisse végétation ou vivent les créatures de cette civilisation extra-terrestre. Cet écosystème n'est pas uniforme. Tout d'abord, les forêts arborées sont majoritairement présentes vers l'avant de la capsule, à la manière d'un cactus, trois branches capsulaires émanent du corps de la capsule et en constituent le centre nerveux.

Mal connus, elles semblent viser trois fonctions. La régulation écologique de l'espace de vie central, de la végétation et des cabines ; en second, le contrôle de la trajectoire, vitesse et accélération ; en troisième, un réseau de neurones, l'intelligence artificielle du vaisseau.

Ces excroissances, mini-capsules, sont distribuées à équidistance l'une de l'autre sur le même axe à la surface de la Capsule. On trouve la régulation écologique au plus proche du niveau arboré et le réseau de neurones à l'opposé.

La Capsule

Son existence fut découverte dans notre système solaire en 3058. Cette nef interplanétaire porte toutefois mal son nom, car sa forme évoque finalement que grossièrement celle d'une capsule.

Les moteurs : La double coque constitue le mode de propulsion de la capsule. Il ne fut compris que tardivement tant ce système était inhabituel.

L'épaisse double coque intègre en effet le mécanisme de courbure de l'espace-temps qui permet au vaisseau de se propulser dans toutes les directions de l'espace. La capsule n'a donc ni « avant » ni « arrière » et ces notions ne furent introduites que par commodité de représentation.

Le système de propulsion interagit avec un ensemble complexe de motifs dessinés sur la coque.

On remarque ensuite les motifs, des courbes entrelacées qui parcourent la surface extérieure de la coque. Ils sont mouvants et semblent clairement destinés à l'orientation du vaisseau : les motifs s'adaptent au gré des changements d'orientation et de vitesse de la trajectoire.

Plus précisément, ils semblent être à l'origine de ces changements. Plus les lignes sont droites, plus le vaisseau est rapide. Plus elles sont courbes, plus il ralentit.

C'est en jouant sur la distribution de ces changements sur la coque extérieure que la Capsule semble pouvoir déformer l'espace-temps à proximité et donc se diriger.

On peut donc concevoir le système de double coque et de motifs extérieurs comme un seul système de propulsion-direction.

Les cabines

L'intérieur de la capsule forme une seule et même immense cavité. Certains disent « univers monde ». Sa surface est partout couverte d'une épaisse végétation ou vivent les créatures de cette civilisation extra-terrestre. Cet écosystème n'est pas uniforme :

- Les forêts arborées sont majoritairement présentes vers l'avant de la capsule ;
- De larges étendues d'eau à l'opposé ;
- Une savane couverte d'herbes hautes couvre l'espace intermédiaire.

De grands ronds construits dans les branches des arbres forment autant de cabines qui servent d'espaces de vie et de repos aux êtres qui peuplent la Capsule.

Les mini-capsules

Excroissance de la surface, à la manière d'un cactus, trois branches capsulaires émanent du corps de la capsule et en constituent le centre nerveux.

Mal connus, elles semblent viser trois fonctions :

- La régulation écologique de l'espace de vie central, de la végétation et des cabines ;
- Le contrôle de la trajectoire, vitesse et accélération ;
- Le réseau de neurones, l'intelligence artificielle du vaisseau.

Ces excroissances, mini-capsules, sont distribuées à équidistance l'une de l'autre sur le même axe à la surface de la Capsule. On trouve la régulation écologique au plus proche du niveau arboré et le réseau de neurones à l'opposé.

FIGURE C.1 – Texte I dans les trois conditions de signalisation, de haut en bas : non signalé, signalisation discursive et visuospatiale

- la capsule fut découverte en 3058 ? (V/F)
- l'intérieur est divisé en plusieurs cavités ? (V/F)
- les forêts sont à l'avant de la cavité intérieure ? (V/F)
- Inférentielles :
 - les étendues d'eau sont au milieu de la cavité intérieure ? (V/F)
 - la Capsule n'est pas habitée ? (V/F)
 - le réseau de neurones est à l'arrière ? (V/F)
- Structurales :
 - le texte décrit 4 grandes structures : rappelez-les
 - quelles sont les fonctions des mini-capsules ?
 - rappelez l'écosystème intérieur de la capsule

Le Palais Présidentiel

Symbole de la révolution victorieuse, le Palais Présidentiel domine la ville et s'épouse dans une allégorie architecturale du drapeau national. Les pièces du bâtiment s'intègrent dans une organisation spatiale colorée.

La Grande Salle est à la pointe de cette généreuse pièce triangulaire, rouge du sang versé des révolutionnaires et qui accueille les réunions nationales ou internationales et les festivités se complète d'un balcon majestueux qui domine la place principale de la ville propre à donner la superbe nécessaire aux discours du chef suprême, le Réformateur.

Les fresques qui habitent les murs décrivent la misère du peuple opprimé, sa colère dans la lutte réprimée et la victoire inespérée du Réformateur.

Le Bureau Ovale, clin d'œil à l'Amérique toute proche, est le bureau du chef suprême, teinté du vert de l'espérance portée par la victoire du peuple. Situé à l'opposé de la Grande Salle, il symbolise la volonté du chef suprême de se glisser dans une simplicité éloignée des fastes du pouvoir.

Le bureau du Réformateur tourne le dos à la triple porte imposante encadrée par les bureaux de ses deux assistants, et épouse la courbure de l'immense baie vitrée convexe qui s'ouvre sur le parc National.

Sur surface à la simplicité austère du personnage. À droite, deux téléphones dont un pour les échanges cryptés. De l'autre côté, une édition rare de Guerre et Paix, source d'inspiration permanente. Au

centre, un bloc de papier et deux crayons, noir et rouge.

La Petite Salle, de la couleur du soleil qui illumine cette pièce simple, pourtant sans fenêtres du fait de sa position centrale. Elle assure la transition entre le faste de la première et l'humilité volontaire de la seconde.

Rectangulaire, la porte nord s'ouvre sur la Grande Salle et le mur droit s'orne d'éléments guerriers pour rappeler la puissance révolutionnaire. On y trouve la machette du paysan, le fouet du cavalier, la lance du chasseur.

Le mur opposé est gravé de la liste infinie des victimes de l'oppression et de la révolution. Les portes qui s'ouvrent sur le bureau ovale sont gravées des héros révolutionnaires. Deux ouvertures triangulaires, sans portes, donnent sur les deux dernières salles.

Le mur guerrier s'ouvre sur la Salle de la Garde rapprochée du chef suprême. D'un sombre bleu nuit, elle invite à la prudence : 12 gardes veillent nuit et jour sur la sécurité du palais et de son prestigieux occupant.

Le mur des victimes donne sur le Hall d'entrée, seule pièce grise du bâtiment.

Sans portes, tout citoyen peut pénétrer quand il le souhaite dans le Palais Présidentiel et admirer les fresques de la petite salle.

Quelques sièges autorisent la détente. Le visiteur chanceux peut croiser ainsi le Chef Suprême qui s'attarde toutefois rarement à la discussion.

Le Palais Présidentiel

Symbole de la révolution victorieuse, le Palais Présidentiel domine la ville et s'épouse dans une allégorie architecturale du drapeau national. Les cinq pièces du bâtiment s'intègrent dans une organisation spatiale colorée.

Tout d'abord la Grande Salle : la pointe de cette généreuse pièce triangulaire, rouge du sang versé des révolutionnaires et qui accueille les réunions nationales ou internationales et les festivités se complète d'un balcon majestueux qui domine la place principale de la ville propre à donner la superbe nécessaire aux discours du chef suprême, le Réformateur.

Les fresques qui habitent les murs décrivent tour à tour la misère du peuple opprimé, sa colère dans la lutte réprimée et la victoire inespérée du Réformateur.

Le Bureau Ovale, clin d'œil à l'Amérique toute proche, est le bureau du chef suprême, teinté du vert de l'espérance portée par la victoire du peuple. Situé à l'opposé de la Grande Salle, il symbolise la volonté du chef suprême de se glisser dans une simplicité éloignée des fastes du pouvoir.

Le bureau du Réformateur tourne le dos à la triple porte imposante encadrée par les bureaux de ses deux assistants, et épouse la courbure de l'immense baie vitrée convexe qui s'ouvre sur le parc National.

Sur surface à la simplicité austère du personnage. À droite, deux téléphones dont un pour les échanges cryptés. De l'autre côté, une édition rare de Guerre et Paix, source d'inspiration permanente. Au centre, un bloc de papier et deux crayons, noir et rouge.

Troisième pièce importante, la Petite Salle, de la couleur du soleil qui illumine cette pièce simple, pourtant sans fenêtres du fait de sa position centrale. Elle assure la transition entre le faste de la première et l'humilité volontaire de la seconde.

Rectangulaire, la porte nord s'ouvre sur la Grande Salle et le mur droit s'orne d'éléments guerriers pour rappeler la puissance révolutionnaire. On y trouve la machette du paysan, le fouet du cavalier, la lance du chasseur.

Le mur opposé est gravé de la liste infinie des victimes de l'oppression et de la révolution. Les portes qui s'ouvrent sur le bureau ovale sont gravées des héros révolutionnaires. Deux ouvertures triangulaires, sans portes, donnent sur les deux dernières salles.

Le mur guerrier s'ouvre sur l'antenne dernière pièce : la Salle de la Garde rapprochée du chef suprême. D'un sombre bleu nuit, elle invite à la prudence : 12 gardes veillent nuit et jour sur la sécurité du palais et de son prestigieux occupant.

Enfin, le mur des victimes donne sur le hall d'entrée, seule pièce grise du bâtiment. Sans portes, tout citoyen peut pénétrer quand il le souhaite dans le Palais Présidentiel et admirer les fresques de la petite salle.

Quelques sièges autorisent la détente. Le visiteur chanceux peut croiser ainsi le Chef Suprême qui s'attarde toutefois rarement à la discussion.

Le Palais Présidentiel

Symbole de la révolution victorieuse, il domine la ville et s'épouse dans une allégorie architecturale du drapeau national, chaque partie du bâtiment s'intégrant dans une organisation spatiale colorée.

La Grande Salle
La pointe de cette généreuse pièce triangulaire, rouge du sang versé des révolutionnaires et qui accueille les réunions nationales ou internationales et les festivités se complète d'un balcon majestueux qui domine la place principale de la ville propre à donner la superbe nécessaire aux discours du chef suprême, le Réformateur.

Les fresques qui habitent les murs décrivent tour à tour :

- La misère du peuple opprimé ;
- Sa colère dans la lutte réprimée ;
- La victoire inespérée du Réformateur.

Le Bureau Ovale
Clin d'œil à l'Amérique toute proche, le bureau du chef suprême est teinté du vert de l'espérance portée par la victoire du peuple. Situé à l'opposé de la Grande Salle, il symbolise la volonté du chef suprême de se glisser dans une simplicité éloignée des fastes du pouvoir.

Le bureau du Réformateur tourne le dos à la triple porte imposante encadrée par les bureaux de ses deux assistants, et épouse la courbure de l'immense baie vitrée convexe qui s'ouvre sur le parc National.

Sur surface à la simplicité austère du personnage. À droite, deux téléphones dont un pour les échanges cryptés. De l'autre côté, une édition rare de Guerre et Paix, source d'inspiration permanente. Au centre, un bloc de papier et deux crayons, noir et rouge.

La Petite Salle
La couleur du soleil illumine cette pièce simple, pourtant sans fenêtres du fait de sa position centrale. Elle assure la transition entre le faste de la première et l'humilité volontaire de la seconde.

Rectangulaire, la porte nord s'ouvre sur la Grande Salle et le mur droit s'orne d'éléments guerriers pour rappeler la puissance révolutionnaire :

- La machette du paysan ;
- Le fouet du cavalier ;
- La lance du chasseur.

Le mur opposé est gravé de la liste infinie des victimes de l'oppression et de la révolution. Les portes qui s'ouvrent sur le bureau ovale sont gravées des héros révolutionnaires. Deux ouvertures triangulaires, sans portes, donnent sur les deux dernières salles.

La Salle des Gardes
Le mur guerrier s'ouvre donc directement dans la Salle de la Garde rapprochée du chef suprême. D'un sombre bleu nuit, elle invite à la prudence : 12 gardes veillent nuit et jour sur la sécurité du palais et de son prestigieux occupant.

Le Hall d'entrée
Le mur des victimes donne sur le hall d'entrée, seule pièce grise du bâtiment. Sans portes, tout citoyen peut pénétrer quand il le souhaite dans le Palais Présidentiel et admirer les fresques de la petite salle.

Quelques sièges autorisent la détente. Le visiteur chanceux peut croiser ainsi le Chef Suprême qui s'attarde toutefois rarement à la discussion.

FIGURE C.2 – Texte 2 dans les trois conditions de signalisation, de haut en bas : non signalé, signalisation discursive et visuospatiale

Texte 2 : Le Palais

- Littérales :
 - la Grande Salle est rouge ? (V/F)
 - 12 gardes veillent dans la salle des gardes ? (V/F)
 - le bureau du Réformateur fait face à la porte ? (V/F)
- Inférentielles :
 - la grande salle est au nord ? (V/F)
 - la petite salle à l'ouest ? (V/F)
 - le roman « Guerre et Paix » est à gauche sur le bureau ? (V/F)
- Structurales :
 - rappelez le nom des pièces décrites



FIGURE C.3 – Texte 3 dans les trois conditions de signalisation, de haut en bas : non signalé, signalisation discursive et visuospatiale

- que décrit les fresques de la Grande Salle ?
- quels sont les éléments qui ornent le mur droit de la petite salle ?

Texte 3 : L'Université

- Littérales :
 - la bibliothèque est heptagonale ? (V/F)
 - le forum est couvert de végétation ? (V/F)
 - l'UFR d'Histoire est à droite du bâtiment de Psycho ? (V/F)
- Inférentielles :
 - la bibliothèque est au centre ? (V/F)
 - l'UFR de psychologie est gauche de l'UFR d'histoire ? (V/F)
 - l'UFR de Psycho et d'Histoire sont au sud de l'université ? (V/F)

TABLEAU C.1 – Nombre de mots/phrases/paragraphes par conditions de signalisation

		Signalisation		
		Aucune	Discursive	Typo-dispo
T1	La Capsule	441/26/14	473/25/14	446/34/15
T2	Le Palais	473/24/13	488/25/13	476/34/13
T3	L'Université	425/20/15	436/25/15	423/30/15

- Structurales :
 - rappelez les bâtiments décrits
 - rappelez le décor des trois séries d'allées
 - quels motifs ornent la porte de l'UFR de Psycho ?

C.3 Compléments d'analyse

C.3.1 Critères de normalité

Concernant la validité de la régression linéaire mixte utilisé dans l'analyse de la compréhension totale (modèle 6.1 page 110), si l'on tient compte d'une tendance à l'agrégation des scores parce que l'échelle n'utilise pas toutes les valeurs possibles, le graphe des résidus (figure C.4a page XXIV) n'indique aucun écart sensible par rapport à une forme linéaire. Il indique également une variance relativement constante.

Les résidus aux extrêmes s'écartent de ceux prévus par la distribution normale (figure C.4b page XXIV), mais cette légère réduction de la variance apparente à droite et à gauche du graphique est probablement due au fait qu'il y a plus ou moins d'observations dans ces zones, et l'on peut considérer que le modèle utilisé ne pose pas de problème significatif en ce qui concerne la normalité des résidus.

C.3.2 Compréhension

TABLEAU C.2 – Lisibilité Antidote par conditions de signalisation

		Signalisation		
		Aucune	Discursif	Typo-dispo
T1	Sources d'énergie alternatives	45.2	42.2	48.9
T2	Les énergies non-renouvelables	44.4	44.6	48.0
T3	Les enjeux socio-économiques	39.5	43.2	45.8

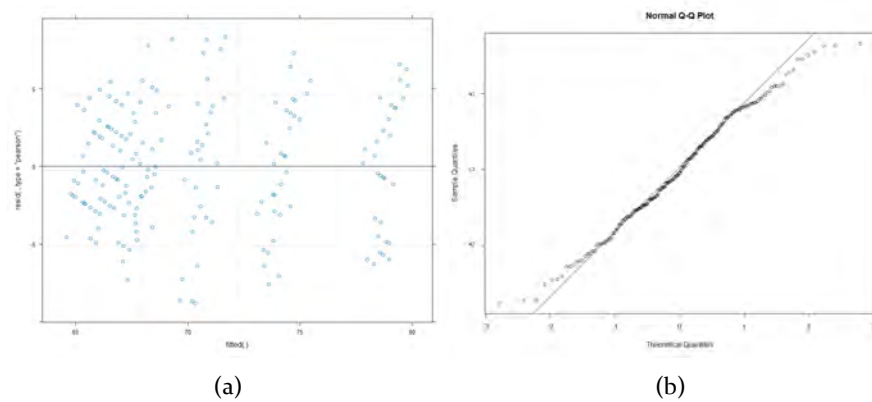


FIGURE C.4 – Visualisation des résidus après régression linéaire mixte

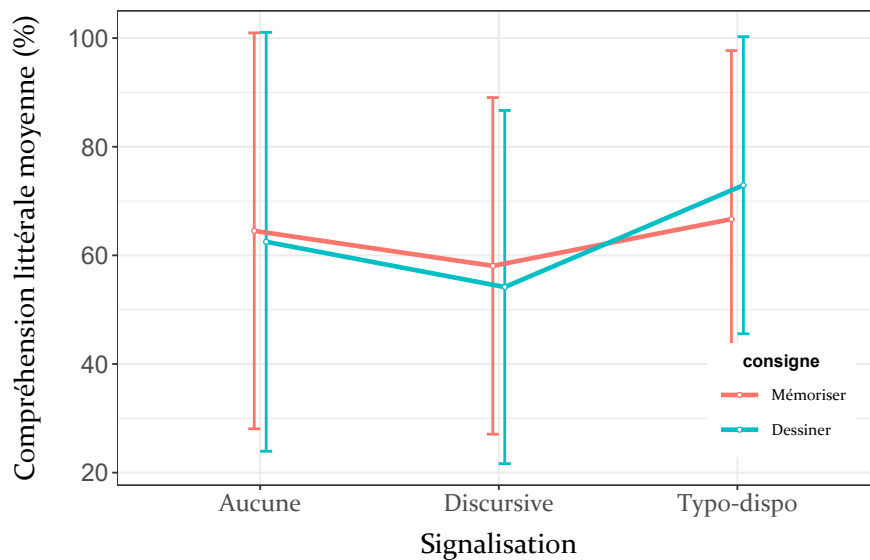


FIGURE C.5 – Performance moyenne de compréhension littérale

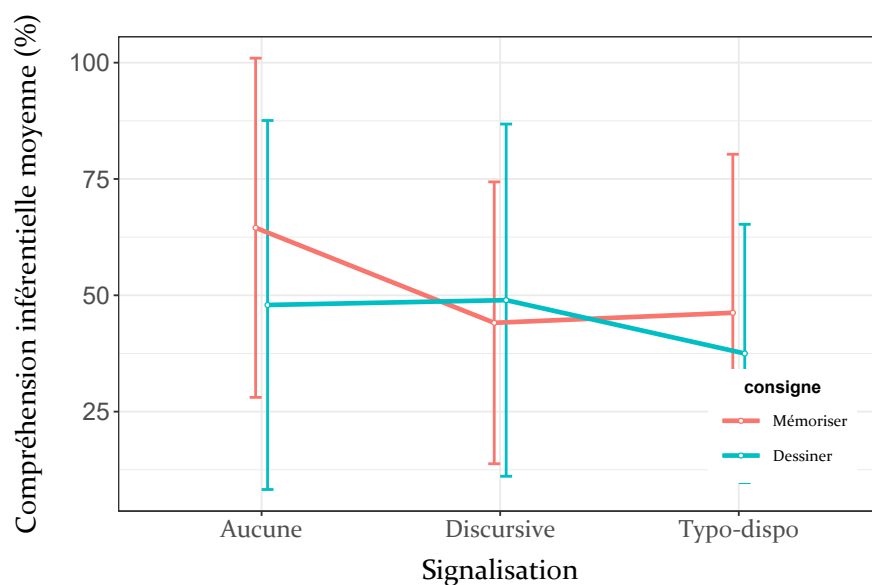


FIGURE C.6 – Performance moyenne de compréhension inférentielle

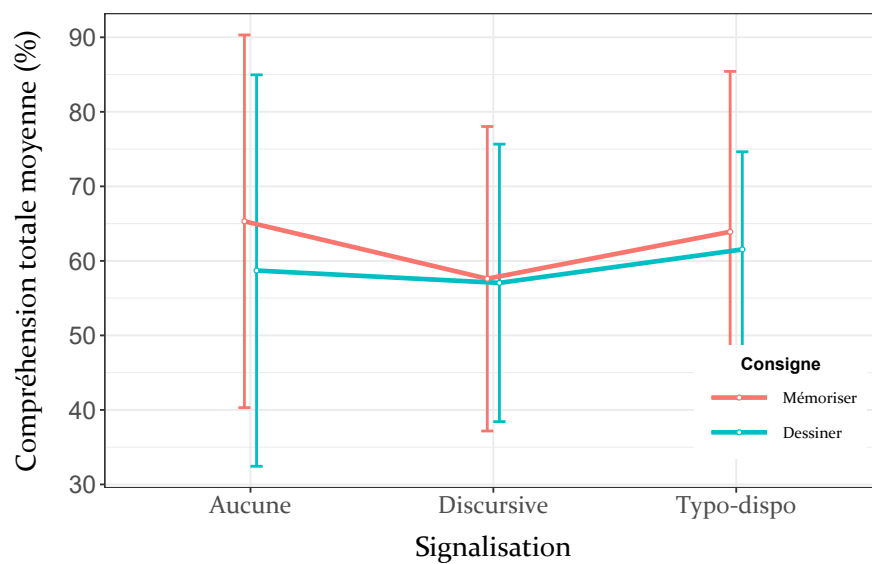


FIGURE C.7 – Performance moyenne de compréhension totale

Titre : Structures et processus du traitement cognitif de la signalisation textuelle

Mots clés : Représentations, Signalisation, compréhension, Lecture, Visuospatial, structures

Résumé : L'aspect visuel d'une page est rarement homogène : les titres et sous-titres, l'indentation des paragraphes, les listes, les mots soulignés ou en italique, etc., reflètent l'intention de l'auteur d'accompagner le lecteur dans sa compréhension. Ces dispositifs de mise en forme du texte sont autant de signaux que l'auteur entend envoyer à son lecteur. Dans l'histoire récente de la production écrite, nous avons assisté à l'évolution de cette notion pragmatique, cette mise en forme du texte que nous venons d'évoquer, vers sa conceptualisation sémiotique, la signalisation textuelle, qui distingue deux composantes : un signifiant, la mise en forme du texte, réalisation du signal, et un signifié, les éléments métatextuels, la macrostructure. Ce cadre conceptuel autorise l'appréhension de deux formes souvent intriquées de réalisation de cette signalisation. Une réalisation discursive, qui exprime textuellement les éléments métatextuels, comme dans « Notre argumentation repose sur trois points. Le premier,... », et une réalisation qui mobilise des dispositifs de mise en forme et de disposition typographique des éléments textuels sur la page, une réalisation typo-dispositionnelle. Souvent intriqués, car un titre par exemple est bien un élément discursif, typographiquement autant que dispositionnellement distingué sur la page. Au-delà du prisme consistant à apprécier l'intérêt de la signalisation par l'effet qu'elle produit, nous nous intéressons ici à cette réalisation typo-dispositionnelle de la signalisation textuelle, car elle mobilise une sémiotique graphique qui diffère de la sémiotique textuelle. Dès lors, la question de son traitement cognitif reste incertaine et largement ignorée dans la littérature et fait l'objet de ce travail de recherche avec une idée assez simple : si l'écrit a évolué pour exploiter des propriétés de mise en forme particulières, tant typographiques que dispositionnelles, c'est sans doute parce que son traitement cognitif doit mobiliser des ressources visuelles et spatiales au côté des composantes linguistiques, en leur trouvant un intérêt qui conduit à améliorer la compréhension du texte lu. Dans ce contexte, ce travail de recherche aborde plusieurs points essentiels. D'un point de vue théorique, il précise le cadre qui permet de penser l'expression d'éléments métatextuels dans une modalité qui n'est pas supportée par une sémiotique textuelle, pour ensuite expliciter les processus visuels cognitifs susceptibles de donner du sens à cette réalisation typo-dispositionnelle. D'un point de vue pragmatique, il confirme le bénéfice, pour la compréhension, d'une signalisation textuelle, discursive autant que typo-dispositionnelle, et témoigne pour le traitement de cette dernière, de l'implication de la composante visuospatiale de la mémoire de travail. Enfin, tirant les conséquences de cette répartition de la charge cognitive, il souligne la compétition pour les ressources disponibles entre le traitement de cette signalisation et du contenu textuel, lorsque celui-ci tend à mobiliser des représentations imagées.

Title: Structures and processes involved in textual signalisation cognitive processing

Key words: Representations, Visuospatial, Reading, Understanding, Structures, Signalisation

Abstract: The visual appearance of a page is rarely homogeneous: headings and sub-headings, indentation of paragraphs, lists, underlined or italicized words, etc. All reflect the author's intention to assist the reader's understanding of the text. These text formatting devices are all signals that the author intends to send to the reader. In the recent history of written production, we have witnessed the evolution of this pragmatic notion, this shaping of the text that we have just mentioned, towards its semiotic conceptualization, textual signaling, which distinguishes two components: a signifier, the shaping of the text, the realization of the signal, and a signified, the metatextual elements, the macrostructure. This conceptual framework allows us to actualize two often intertwined realization of signalization. A discursive realization, which expresses the metatextual elements textually, as in "Our argument rests on three points. The first is...", and the second involves the typographic layout and arrangement of textual elements on the page, a typo-dispositional realization. These realizations are often intertwined, because a title, for example, is both a discursive element, typographically distinguished on the layout on the page. Beyond the prism of appreciating the interest of signalization through the effect it produces, we are interested here in this typo-dispositional realization of textual signalization, because it mobilizes a graphic semiotics that differs from textual semiotics. As a result, the question of its cognitive processing remains uncertain and largely ignored in the literature, and is the subject of this research with a fairly simple idea: if written language has evolved to exploit particular formatting properties, both typographic and dispositional, it is undoubtedly because its cognitive processing must mobilize visual and spatial resources alongside linguistic components, finding in them an interest that leads to improved comprehension of the text read. In this context, this research addresses several essential points. From a theoretical point of view, it clarifies the framework that makes it possible to think about the expression of metatextual elements in a modality that is not supported by textual semiotics, and then explains the visual cognitive processes likely to give meaning to this typo-dispositional realization. From a pragmatic point of view, it confirms the benefits for comprehension of textual signaling, both discursive and typo-dispositional, and demonstrates the involvement of the visuospatial component of working memory in the processing of the latter. Finally, drawing the consequences of this distribution of cognitive load, he highlights the competition for available resources between the processing of this signaling and textual content, when the latter tends to mobilize pictorial representations.