



Ergonomie de la connaissance : outils cognitifs appliqués à l'analyse des activités de connaissances

Denis Chavez

► To cite this version:

Denis Chavez. Ergonomie de la connaissance : outils cognitifs appliqués à l'analyse des activités de connaissances. Psychologie. Université Paris sciences et lettres, 2022. Français. NNT : 2022UP-SLP034 . tel-04502103

HAL Id: tel-04502103

<https://theses.hal.science/tel-04502103>

Submitted on 13 Mar 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.



THÈSE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITÉ PSL

Préparée à l'École Pratique des Hautes Études

**Ergonomie de la connaissance : outils cognitifs
appliqués à l'analyse des activités de connaissances**

Soutenue par

Denis Ismaël CHAVEZ

Le 07 juillet 2022

École doctorale n° 472

**École doctorale de l'École
Pratique des Hautes Études**

Spécialité

Sciences Cognitives



École Pratique
des Hautes Études

PSL

Composition du jury :

Marie-Jeanne LESOT
Maître de conférences HDR, Lab. LIP6
Sorbonne Université *Président*

Christian BASTIEN
Professeur des universités, Lab. PERSEUS
Université de Lorraine *Rapporteur*

Laure LEGER-CHORKI
Maître de Conférences HDR, Lab. LINP2- 2APS
Université Paris Nanterre *Rapporteur*

Sandra JHEAN-LAROSE
Professeure des universités, Lab. Ercaé
Université d'Orléans *Examineur*

François JOUEN
Directeur d'Étude, Lab. CHArt
EPHE *Directeur*

Charles TIJUS
Professeur des universités, Lab. CHArt
Université Paris 8 *Co-Directeur*

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur François Jouen pour avoir été le directeur de ce travail, pour tous ses conseils et commentaires pertinents, la liberté et la confiance qu'il m'a offertes pour développer ce travail.

Je tiens également à remercier M. Charles Tijus, pour m'avoir ouvert les portes de CHArt et Lutin et m'avoir accueilli lors de mon séjour en France pendant les 5 dernières années, où j'ai développé ce travail.

Je remercie également Geoffrey, Lea et Ugo pour avoir été l'équipe de soutien et de discussion tout au long de ce travail, pour avoir été les amis qui ont rendu le temps passé à travailler sur cette recherche amusant et enrichissant.

Je remercie le Secrétariat National de la Science et de la Technologie de l'Equateur pour le soutien financier de mon séjour d'étude en France.

Je remercie tous les doctorants, chercheurs et artistes qui ont collaboré à ce travail, tous les collègues de l'EPHE, PSL, Paris 8, Paris 6 et autres qui ont partagé avec moi des conseils, des cafés ou des boissons pour réfléchir à mes idées.

Enfin, un GRAND MERCI à mon frère Henry, ma sœur Pamela et mon neveu Aron, pour leur soutien à chaque instant de cette aventure qu'a été le travail de doctorat, ainsi qu'à mes parents Henry et Adriana pour leur confiance et leur soutien émotionnel durant toutes ces années.

Table des matières

Remerciements	I
Table des matières	II
Liste de tableaux.....	VI
Liste de figures.....	VII
Liste de Annexes	IX
Introduction	10
Chapitre 1 : Contexte et problématique.....	14
1. L’ergonomie et les cycles de transformation techno-économique	14
1.1. Les révolutions industrielles, l’hygiénisme et la santé au travail.....	15
1.2. Transformations politiques, sociales et institutionnelles.....	17
1.3. Du calcul humain aux ordinateurs personnels.....	18
1.4. L’ergonomie à l’heure de la société informationnelle.....	21
2. Vers une ergonomie de la connaissance	24
2.1. Technologie, cognition et ergonomie :	25
2.2. L’interaction homme-connaissance-machine « IHKM »	27
3. Activités, travailleurs et objets de connaissance.....	28
3.1. L’Activité de la connaissance	29
3.2. Les travailleurs de la connaissance	31
3.3. Objets de connaissance.....	32
4. Objectif de recherche	36
Chapitre 2 : Cadre théorique	37
1. Cognition humaine et artificielle pour la représentation de connaissance	37
1.1. Le problème de la représentation des connaissances	38
1.1.1. Qu’est-ce que la représentation.....	38
1.1.2. Les agents cognitifs (<i>AgC</i>) et leurs fonctions cognitives	41
1.1.3. De la représentation à l’acte de représenter	46
1.2. Les systèmes à base de connaissances	48
1.2.1. Intelligence artificielle, systèmes experts et architectures cognitives.....	48
1.2.2. Techniques de représentation de la connaissance en IA	52
1.2.3. Représentation de connaissance : entre cognition humaine et cognition artificielle.....	58
2. L’ergonomie de l’activité dans un système sociotechnique des connaissances	59

2.1. L'ergonomie de l'activité de connaissance	59
2.1.1. Les facteurs humains liés à la gestion des connaissances	59
2.1.2. De l'activité prescrite à l'analyse de l'activité réelle	60
2.1.3. La genèse instrumentale, artefacts et cognition	62
2.1.4. L'instrumentation et instrumentalisation de la connaissance	66
2.1.5. Genèse instrumentale de la représentation des connaissances	69
2.2. Interaction et connaissance.....	73
2.2.1. Approche systémique et complexe des interactions Humain-Connaissance.....	73
2.2.2. L'approche « Interaction-Humain-Connaissance-Machine » (IHKM).....	77
2.2.3. Collecte d'information lors des activités de connaissance : le regard.....	83
3. Synthèse.....	87
Chapitre 3 - Expérimentation	89
1. Exploration 1 – Lexicométrie Grammaticale vectorielle (LGV)	90
1.1. Introduction au TALN et prétraitement d'un texte	91
1.2. Lexicométrie et statistique textuelle.....	93
1.3. Dimensions d'analyse d'un texte à partir d'une approche cognitive	94
1.4. La cartographie et les propriétés cartographiques appliquées aux textes.....	95
1.5. Méthodes fondées sur la cooccurrence de mots	97
1.5.1. Fréquences des termes (TF).....	97
1.5.2. TF-IDF (<i>term frequency-inverse document frequency</i>)	98
1.6. Méthodes fondées sur la sémantique du texte et des espaces vectoriels	99
1.6.1. LSA (analyse sémantique latente)	99
1.6.2. RRI (<i>Reflective Random Indexing</i>).....	100
1.6.3. Méthode mixte : lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV).....	101
1.7. Analyse comparative des méthodes	104
2. Exploration 2 - Cartographie des stratégies visuo-cognitives	109
2.1. Matériels et méthodes	109
2.1.1. Caractéristiques des équipements de mesure et réglages de l'expérience	109
2.1.2. Le corpus des mouvements oculaires	109
2.1.3. Configuration des données de l'expérience de laboratoire original :.....	110
2.1.4. Prétraitement du corpus des mouvements oculaires	110
2.2. Macro-analyse : espaces de travail à n-dimensions.....	110
2.2.1. Le comportement des yeux comme un type de vecteur à k-dimensions.....	111
2.2.2. Vecteurs oculaires de référence	111
2.2.3. Mesures de la similarité et de la distance entre les vecteurs	112
2.2.4. Traitement et organisation des données oculométriques dans des espaces vectoriels	113
2.2.5. Analyse des données et résultats : données oculaires à n dimensions.....	113
2.2.6. Discussion : différence entre G1 et G2	119

2.3. Méso-analyse : espaces vectoriels de type « Document ».....	126
2.3.1. Prétraitement du corpus et structure de la base de données	126
2.3.2. Création de l'espace à n-dimensions et identification des vecteurs de référence	127
2.3.3. Zones d'intérêt et vecteurs de type mots	128
2.3.4. Relations entre les vecteurs dans un espace à n dimensions	128
2.3.5. Analyse des données et résultats : espaces vectoriels de type Document.....	129
2.3.6. Discussion : explications cognitives du phénomène	134
2.4. Micro-analyse : syntagmes.....	137
2.4.1. Prétraitement et configuration des données	137
2.4.2. Analyse des données et résultats : syntagmes et espaces vectoriels de type Document ...	138
2.4.3. Discussion : différences comportementales dans la structure syntagmatique.....	141
2.5. Discussion générale : entre l'analyse et la théorie	142
3. Expérimentation 1 : conception d'objets de connaissance (OC).....	144
3.1. Conception et l'évaluation des objets de connaissance en tant qu'activité.....	144
3.2. Matériaux et méthodes	146
3.2.1. Activité pédagogique et analyse préalable.....	146
3.2.2. Sélection de l'échantillon	147
3.2.3. Objets de connaissance (OC).....	147
3.2.4. Questions directrices et sélection des outils.....	148
3.3. Le traitement des données et les résultats	149
3.3.1. Traitement des données	149
3.3.2. Résultats.....	152
3.3.3. Utilisabilité des OC.....	163
3.3.4. Analyse de la facilité d'apprentissage d'un OC en termes d'utilisabilité.....	164
3.3.5. Analyse de la robustesse d'un OC au regard de son utilisabilité.....	165
3.4. Analyse qualitative exploratoire de l'interaction avec des objets de connaissance	167
3.4.1. Auto confrontation avec les concepteurs et les utilisateurs sur l'utilisabilité	167
3.4.2. La conception de l'OC comme acte d'instrumentation.....	168
3.4.3. L'instrumentalisation d'un OC comme <i>feedback</i> pour la régulation de l'activité	170
3.5. Discussion générale.....	171
3.5.1. Cognition et objets de la connaissance	172
3.5.2. Objets de connaissance et ergonomie	172
3.5.3. Utilisabilité du OC, lisibilité linguistique et interaction	172
4. Expérimentation 2 : la genèse instrumentale des artefacts de connaissance (AC).....	174
4.1. Artefacts de connaissances.....	174
4.1.1. La genèse instrumentale des AC de type document.....	175
4.1.2. Les hypothèses de l'étude.....	176
4.2. Matériels et Méthodes	176
4.2.1. Les textes stimulus.....	176

4.2.2. Appareillage.....	177
4.2.3. Participants	177
4.2.4. Procédure	178
4.3. Macro-analyse : oculométrie et espaces vectoriels	180
4.3.1. Prétraitement des données et analyse descriptive	180
4.3.2. Comportements visuels et type d'instrumentation des AC.....	183
4.3.3. Artefacts des connaissances à n-dimensions.....	190
4.4. Méso-analyse : dimensions internes pour l'analyse d'un AC	193
4.4.1. Prétraitement des données et analyse des données	193
4.4.2. Indice de charge cognitive, complexité structurelle d'un AC.....	195
4.4.3. Exemple : l'indice de charge cognitive lors de l'interaction avec des AC.....	196
4.5. Micro-analyse : syntagmes et relations entre conception et usage.....	201
4.5.1. Effets du type d'instrumentation au niveau des syntagmes	202
4.5.2. Instrumentation et instrumentalisation d'une AC.....	208
4.5.3. Charge cognitive lors de la genèse instrumentale d'un AC	213
4.6. Discussion générale.....	214
Conclusions	216
1. Outils proposés pour l'analyse des activités de connaissance	218
1.1. Lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV)	218
1.2. Cartographie visuo-cognitive (CVK)	219
2. Mise à l'épreuve des outils proposés en situation réelle avec des travailleurs de la connaissance.....	221
2.1. L'utilisation des ressources cognitives lors de la conception d'objets de connaissance	221
2.2. Analyse de la genèse instrumentale dans les artefacts de connaissance	223
3. Portée, limites et perspectives	225
Bibliographie.....	228

Liste de tableaux

Tableau 1 : <i>Activités de connaissance par métiers</i>	30
Tableau 2 : <i>Labélisation POS et DEP d'une phrase</i>	92
Tableau 3 : <i>Comparaisons Post Hoc - groupe et catégorie du texte</i>	126

Liste de figures

Figure 1 : Évolution historique de la pensée ergonomique par rapport à la technologie en cours.	23
Figure 2 : Triade des éléments pour la représentation.	40
Figure 3 : Cognition et processus cognitifs.	41
Figure 4 : Cycle de reconnaissance – action.	57
Figure 5 : Scénario d'analyse - Sujet H en face d'une représentation de connaissance.	71
Figure 6 : Scénario d'analyse - Sujet H' au moment T.	72
Figure 7 : Ensemble U (Humain-Connaissance) - opérations	73
Figure 8 : Système Humain-Connaissance - Interactions	74
Figure 9 : IHKM – Modèle intégratif d'analyse de l'activité de connaissance.	83
Figure 10 : POST, Chunking et Tokenization	93
Figure 11 : Effets du type de méthodes sur le pourcentage d'efficacité de différenciation (EfD)	104
Figure 12 : Deux phrases d'exemples, proximité calculée avec la méthode LGV	106
Figure 13 : Trois phrases d'exemple, proximité calculée avec la méthode LGV.	108
Figure 14 : Similarité(cos) des stratégies visuocognitives particulières par catégorie de texte	115
Figure 15 : Distribution des sujets par rapport aux comportements oculaires moyens.	116
Figure 16 : Caractérisation des sujets par stabilité des comportements oculaires et classification (K-means)	117
Figure 17 : Effets de la catégorie de texte sur la similarité (cos) des comportements oculaires	117
Figure 18 : Distance des stratégies visuocognitives par facteur « groupe du contrebalancement »	118
Figure 19 : Effets du comportement visuo-cognitif (MOD) par groupes et type de texte	124
Figure 20 : Comportement de mesures de relation interne.	130
Figure 21 : Comportement de la similarité interne entre groupes et type de configuration de l'expérience.	133
Figure 22 : Effets du facteur « catégorie du texte » sur la similarité interne (COS).	133
Figure 23 : Exemple de changement de référent linguistique.	136
Figure 24 : Effets de l'élément du syntagme et de la catégorie du texte sur la similarité.	138
Figure 25 : Effets de la configuration de l'expérience sur la similarité.	139
Figure 26 : Effets de la « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité – D,S+V,C.	140
Figure 27 : Effets de la configuration de l'expérience et l'élément du syntagme sur la similarité.	141
Figure 28 : Flux du processus pour appliquer la méthode - LGV	149
Figure 29 : Distribution de données par dimension et catégorie d'OC	152
Figure 30 : Effets de la catégorie d'OC sur les mesures de relation interne – Dim morphologique.	154
Figure 31 : Effets de la catégorie d'OC sur les mesures de relation interne – Dim syntaxique.	155
Figure 32 : Effets du type de dimension analysé et du type d'OC sur la mesure de relation interne.	156
Figure 33 : Interaction des effets par dimensions d'analyse sur les mesures de relation moyenne groupées par OC et type de mesure.	159
Figure 34 : Interaction des effets par dimensions d'analyse par type d'OC.	161
Figure 35 : Interaction des effets du type d'OC par mesures de relation et dimension.	162
Figure 36 : Relation entre stabilité morphologique et IFZ.	164
Figure 37 : Relation entre Magnitude et IFZ.	166
Figure 38 : Écran d'instructions.	179
Figure 39 : Écran de texte.	180
Figure 40 : Écran de sélection de mots.	180
Figure 41 : Comportement du nombre de fixations par type d'instrumentation.	182
Figure 42 : Comportement de la durée des fixations par type d'instrumentation.	182
Figure 43 : Comportement de la durée de la saccade par type d'instrumentation.	182
Figure 44 : Comportement de l'amplitude de la saccade par type d'instrumentation.	183
Figure 45 : Comportement de la durée des pauses.	183
Figure 46 : Effets du type d'instrumentation sur des variables oculométriques.	188
Figure 47 : Effets du type d'instrumentation sur les fixations, saccades, pauses.	188
Figure 48 : Comportement des données de similarité et quantité de ressources par type d'instrumentation.	191
Figure 49 : Effets de similarité et quantité de ressources par type d'instrumentation.	191
Figure 50 : Effets du type d'instrumentation dans les mesures de structure interne – Méso-analyse	194
Figure 51 : Demande de ressources par artefact de connaissance (AC).	197

Figure 52 : <i>Divergence des stratégies visuelles par artefact de connaissance (AC)</i>	198
Figure 53 : <i>Adaptation des stratégies par AC</i>	199
Figure 54 : <i>Indice de charge cognitive, par AC et groupé par type d'AC</i>	200
Figure 55 : <i>Effets au niveau du syntagme (dimension, sélection, instrumentation)</i>	202
Figure 56 : <i>Interaction des effets de dimension et sélection par type d'AC</i>	203
Figure 57 : <i>Interaction des effets de dimension sur le syntagme sélectionné par type d'AC</i>	207
Figure 58 : <i>Effets du type d'AC sur la magnitude de vecteur POS</i>	209
Figure 59 : <i>Interaction des effets de POS sur les ressources utilisées (mag) par type d'AC</i>	209
Figure 60 : <i>Flux du processus de prétraitement de données - Vecteurs des dépendances syntaxiques</i>	211
Figure 61 : <i>Effets du type d'AC sur la magnitude de vecteur DEP</i>	212
Figure 62 : <i>Interaction des effets de DEP sur les ressources utilisées (mag) par type d'AC</i>	212
Figure 63 : <i>Relation entre charge cognitive et magnitude moyenne de vecteur mots</i>	214

Liste de Annexes

Annexe 1 - Exemple de Corpus textuelle.....	241
Annexe 2 - Matérielle expérimental pour la recollection de données oculaires CVK	249
Annexe 3 - Exemple de Objets de Connaissance (OC).....	255
Annexe 4 - Matérielle textuelle expérimental pour la recollection de données oculaires Expérimentation 2.....	259

Introduction

En 2006, j'ai été invité à rejoindre une équipe chargée de mettre en place un système de santé et de sécurité au travail dans une université en Équateur. Jusqu'alors, mon travail de psychologue s'était concentré sur les situations de risque professionnel dans des contextes de production de biens et de services. Appliquer cette expérience et ces connaissances à une université est alors devenu un défi. En effet, les universités ont la particularité de développer un éventail extrêmement large d'activités professionnelles à une échelle relativement réduite. Cette situation est rare dans la sphère productive, où les activités sont généralement spécifiques et à grande échelle. Cette particularité des universités, comprises comme des espaces de travail, met en jeu un certain nombre d'interactions entre les travailleurs, les équipements, les outils et les lieux, qui permettent le développement de la connaissance en tant que valeur ajoutée délivrée sous forme de service par l'enseignement, la recherche et les liens avec la communauté. L'expérience au sein de ce vaste système sociotechnique focalisé sur la connaissance m'a permis d'identifier le besoin de développer une forme spécifique d'ergonomie qui permette aux personnes travaillant dans ces contextes de mener un travail sain et une activité constructive.

Actuellement, la population active de cette université compte 75 % de professionnels dont les profils sont associés à la recherche et à l'enseignement. Dans 80 % des cas, l'activité de ces travailleurs utilise principalement des ressources cognitives pour l'acquisition, la transformation et la diffusion des connaissances. Cependant, la pratique classique de l'ergonomie n'étudie pas les aspects cognitifs de ces activités. En général, elle est limitée et centrée sur les problèmes biomécaniques, psychosociaux et organisationnels des différents travailleurs et de leurs groupes au sein de l'entreprise. Depuis plusieurs années, cette réalité m'a encouragé à réfléchir au type d'outils qui pourraient être utilisés ou développés pour faire de l'ergonomie dans ce contexte.

Outre les limites de l'ergonomie classique, les transformations technologiques se sont accélérées ces dernières années. Ces transformations ont révolutionné les manières de travailler dans tous les domaines, mais particulièrement ceux dont la principale matière première est la connaissance. L'immédiateté et l'accès à une grande quantité d'informations de type multimédia ont mené à une surexploitation et une saturation des ressources cognitives et temporelles de ces travailleurs. Nombre d'entre eux sont contraints de résoudre et de satisfaire les exigences des

activités fondées sur la connaissance, compromettant de plus en plus leurs propres ressources et portant atteinte à leur santé et à leur bien-être.

Par exemple, à la fin des années 1980, un professeur d'université n'avait pas d'Internet, les ordinateurs avaient une capacité limitée et une faible portabilité, et la téléphonie mobile était encore peu répandue. Dans ces conditions, cet enseignant exerçait son activité – le transfert de connaissances – envers un groupe d'élèves qui disposait de conditions technologiques d'apprentissage identiques ou inférieures aux siennes. L'accès à l'information était limité et exigeait une capacité et un temps de traitement conséquent par semaine.

En 2021, ce même enseignant a accès à Internet depuis son téléphone portable et à travers celui-ci à des bases de données et à des bibliothèques dans le monde entier, à des moteurs de recherche intelligents, à des machines capables de traiter des millions de données dans des délais relativement courts, et ses élèves disposent souvent de meilleures conditions technologiques. Il ne fait aucun doute que l'ouverture et la facilité accrue de l'accès à l'information et à la connaissance dans le monde entier constituent deux des grandes réussites de la révolution technologique des trois dernières décennies. Toutefois, si l'on analyse ce phénomène du point de vue de l'activité concrète des enseignants, ceux-ci disposent du même temps par semaine pour traiter une quantité d'informations beaucoup plus importante qu'il y a trois décennies. Malgré l'existence de nouveaux outils qui facilitent l'accès et le traitement de ces informations, ces changements ont considérablement augmenté l'effort requis de ce travailleur de la connaissance. Ces nouveaux outils exigent du temps et un processus d'apprentissage. L'information doit être plus spécifique, mieux traitée et vérifiée. En outre, l'hyper connectivité signifie que ces connaissances sont en constante évolution. Ainsi, même si l'objectif de l'activité reste le même et que nous semblons disposer de meilleurs outils, le transfert de connaissances en 2021 risque d'être une tâche beaucoup plus ardue et exigeante que trente ans plus tôt.

Il existe un écart considérable entre les formes, les outils et les engagements auxquels les travailleurs sont confrontés au quotidien dans le contexte actuel. Les logiques de l'enseignement, de l'éducation et de la recherche en tant qu'activités professionnelles mutent et se transforment avec les nouvelles technologies, et les travailleurs font un effort pour s'adapter à ces nouvelles activités. Actuellement, les nouvelles technologies orientent leur développement vers le traitement d'informations massives. Cela génère un écosystème de travail et d'interaction beaucoup plus complexe, où la logique de l'activité ne se limite pas à l'université et à l'enseignant qui prépare un cours ou au chercheur qui rédige un article. L'activité

est partagée et interagit avec d'autres agents, aussi bien humains que non humains : universités, bibliothèques, laboratoires, centres de recherche, le WEB. Cela produit un écosystème sociotechnique de travail où les connaissances sont mises en relation et échangées de manière rapide et exponentielle. Malheureusement, le type de solutions offert par la pratique ergonomique reste limité face à la vitesse de ces transformations. En effet, les outils dont disposent les psychologues et les ergonomes n'ont pas évolué au même rythme et ne permettent pas une analyse approfondie de cette activité d'interaction avec la connaissance.

Pour ces raisons, cette thèse cherche à ouvrir un dialogue entre l'ergonomie et les sciences cognitives qui permette le développement d'une nouvelle génération d'outils pour la pratique de l'ergonomie et pour le développement d'applications adaptées au contexte actuel. Ces outils devraient permettre de relever les défis imposés par l'évolution technologique, la production et l'interaction avec des quantités toujours plus grandes d'informations et les nouvelles exigences des travailleurs confrontés à des activités éminemment cognitives qui augmentent de jour en jour, et sont partagées entre des agents humains et non humains. Ce travail de réflexion est nécessaire pour développer une nouvelle façon de faire de l'ergonomie dans un contexte connecté avec un flux et un échange de connaissances toujours plus important. Sans cette nouvelle génération d'outils, il n'est pas possible de comprendre l'activité et sans la comprendre, nous ne pouvons pas la transformer. En ce sens, l'objectif principal de cette recherche est d'explorer les possibilités d'utiliser certaines techniques et méthodes issues des sciences cognitives, telles que l'oculométrie et le traitement du langage naturel, dans l'analyse et la compréhension de l'activité des travailleurs, spécifiquement celle qui se fait en interaction avec la connaissance.

À cette fin, nous avons organisé cette recherche en trois parties. Tout d'abord, nous définissons et situons le problème de recherche dans le contexte techno-productif actuel. Ici, nous ferons une brève analyse historique de l'évolution de l'ergonomie et de sa relation avec les transformations techno-productives, afin de comprendre la spécificité du problème dans une perspective ergonomique à l'heure actuelle. Nous établirons ensuite le lien entre le problème ergonomique et la perspective des sciences cognitives, qui servira de base à l'élaboration des outils et des méthodes que nous utiliserons par la suite. Une fois la problématique générale définie et contextualisée, nous développerons certains éléments conceptuels qui nous permettront de préciser la portée de cette recherche. À cette fin, nous définirons les activités de connaissance comme des processus d'interaction et d'échange entre agents cognitifs au sein d'un système de connaissance sociotechnique. Afin d'extraire des pistes de travail pour le

développement de nos outils, nous développerons et proposerons la notion de « travailleur de la connaissance » et analyserons ses activités clés et récurrentes, les gestes du travailleur et les relations systémiques entre les travailleurs et la connaissance comme matière première et comme produit de leur activité.

Dans un deuxième temps, nous examinerons les fondements théoriques des sciences cognitives et de l'ergonomie en trois parties. La première partie portera sur la compréhension des mécanismes cognitifs naturels et artificiels de traitement des connaissances, ainsi que sur les possibilités d'utilisation de ces connaissances comme des objets. Nous inclurons les caractéristiques de l'activité de représentation en tant qu'acte agencé¹ et les outils artificiels et modèles informatiques associés à l'objet de la connaissance. La seconde partie se concentrera sur l'activité de connaissance d'un point de vue ergonomique. Nous discuterons et approfondirons des concepts tels que la régulation, les facteurs humains, la gestion des ressources et la genèse instrumentale, considérés dans le cadre spécifique de la connaissance. La troisième section analysera l'interaction homme-machine et l'interaction entre agents dans les systèmes complexes. Dans cette section, nous inclurons les aspects de la prise d'informations et l'étude des mouvements oculaires et leurs applications possibles dans le cadre de notre recherche.

Enfin, dans un troisième temps, nous développerons et mettrons à l'épreuve expérimentalement deux possibles outils ergonomiques de travail et d'évaluation pour les activités de connaissance. Pour cela, nous développons deux études exploratoires et deux études expérimentales qui testent leur utilisation et définissent des perspectives pour leur amélioration et leur développement. Ces études fourniront des outils de travail et d'évaluation pour faire de l'ergonomie dans le cadre des activités de connaissance. Une fois ces outils développés, nous les testerons sur le terrain. Les expériences de test nous permettront d'identifier les possibilités d'utilisation et d'amélioration de ces outils et méthodologies. Nous concluons en résumant les résultats globaux de la recherche et en présentant ses principales conclusions.

¹ Nous faisons ici référence à l'acte qui inclut un sens de l'agence. Ce concept en psychologie et en neurosciences fait référence à l'explication causale de l'action et au mécanisme de contrôle conscient de l'action (Balconi, 2011).

Chapitre 1 : Contexte et problématique

Il faut situer cette recherche à l'intersection de deux disciplines : l'ergonomie et les sciences cognitives. Les aller-retours et les dialogues entre ces deux domaines donnent à ce travail son caractère interdisciplinaire. Ce premier chapitre présente le contexte sociotechnique et théorique dans lequel s'inscrit cette recherche, ainsi que certains concepts clés qui permettront d'encadrer notre problématique et de guider notre travail de recherche.

À partir d'une approche historique, nous analysons l'évolution de l'ergonomie et de sa relation avec les transformations techno-productives afin de comprendre la spécificité du problème dans une perspective ergonomique à l'heure actuelle. Dans un deuxième temps, nous analysons les questions liées à l'explosion de la production de données et d'informations dans la société contemporaine, ainsi que les implications cognitives et ergonomiques de l'interaction entre les humains, les connaissances et les machines. Enfin, nous délimitons notre objet de recherche en trois dimensions : l'activité, les travailleurs et les objets de connaissance. Dans le cas spécifique de cette recherche, nous nous concentrons sur l'activité des enseignants-chercheurs et leur interaction avec la connaissance à travers la lecture. Nous concluons ce premier chapitre par la formulation de notre objectif général de recherche.

1. L'ergonomie et les cycles de transformation techno-économique

Situer notre problématique à l'intersection de l'ergonomie contemporaine et des sciences cognitives demande d'abord une compréhension de l'histoire de l'évolution de ces domaines et de son rapport avec les transformations techno-économiques et sociotechniques des deux derniers siècles. Cela nous permettra, d'une part, de comprendre la spécificité du type d'ergonomie que nous proposons d'utiliser dans ce travail, d'autre part, de nous donner des repères pour établir un lien logique entre le contexte actuel, l'activité de travailleurs de la connaissance et les conditions matérielles et psychologiques qui la déterminent.

Héritière de la psychologie expérimentale de Wundt au XIX^e siècle (Nicolas, 2005), l'ergonomie s'est développée comme une discipline pratique dont le but était de trouver des méthodes plus appropriées pour mesurer et comprendre l'activité humaine. Étymologiquement, la notion d' *activité* fait référence à l'état de celui, celle ou ce qui est actif, qui agit. Cette

propriété, l'action, a été au cœur de plusieurs réflexions tout au long de l'histoire de l'humanité. De la philosophie à l'informatique, en passant par la théologie, la biologie, la physiologie, l'anthropologie, la psychologie, toutes ces disciplines ont essayé de comprendre le rapport entre l'être humain et ses actes. Cette même réflexion a été à la base de l'émergence du métier d'ergonome.

Le cœur de cette nouvelle discipline est l'étude de l'activité dans le milieu spécifique du travail ou des activités productives. Elle cherche à améliorer aussi bien l'activité elle-même que ses conditions contextuelles afin qu'elle puisse mieux se développer. L'ergonomie rassemble ainsi des connaissances provenant de différentes disciplines et de différentes époques afin de construire un savoir-faire qui joue avec les aspects techniques, biologiques, psychologiques et sociaux de ces contextes.

Ce qui suit présente une synthèse de l'histoire de cette discipline afin de rendre visibles ses liens avec l'évolution des contextes historiques, scientifiques, économiques, technologiques et sociaux auxquels elle a été confrontée. Cet exercice nous permettra également de repérer les différentes approches qui ont contribué progressivement au développement du corpus scientifique et technique qui composent l'ergonomie contemporaine.

1.1. Les révolutions industrielles, l'hygiénisme et la santé au travail

Même si la notion contemporaine de l'ergonomie n'apparaît que dans les années 1960, on pourrait faire remonter ses origines jusqu'à la littérature historique et philosophique de la Grèce antique. Toutefois, notre analyse se limite ici aux faits historiquement documentés dès le début du XVIII^e siècle. C'est à cette époque que la médecine commence à s'intéresser aux aspects productifs comme réponse aux nouvelles questions philosophiques de l'époque et aux approches de l'humanisme, de la science et de la société. Les ouvrages de Bernardino Ramazzini, *De morbis artificum diatriba* (1700), et d'Auguste Tissot (1768), *Sur la santé de gens de lettres*, sont les premiers à traiter systématiquement la question des effets de l'activité professionnelle sur la santé. Ces auteurs soulèvent aussi l'importance de prendre soin de l'être humain pendant l'activité productive.

Les progrès scientifiques et techniques de l'époque ont donné lieu à plusieurs innovations qui ont progressivement été intégrées dans la vie productive des sociétés. C'est le cas des premières machines à vapeur à la fin du XVIII^e siècle. Les logiques sociales et économiques changent afin de s'adapter à un modèle de production à grande échelle fondé sur l'utilisation du

charbon comme principale source énergétique. La première révolution industrielle est en cours, et s'accompagne d'une prolifération des problèmes de santé des travailleurs.

Les changements des structures politiques et sociales contribuent également au développement du mouvement hygiéniste (Léoni, 2017 ; Roux, 2010). À la demande du gouvernement, Louis-René Villermé (1840) procède pour la première fois à une évaluation technique de la santé des travailleurs associée aux aspects productifs : *Tableau de l'état physique et moral des ouvriers dans l'industrie du coton*. Vincent (2012) souligne l'importance des facteurs politiques et sociaux dans l'évolution de ce savoir-faire durant cette période, particulièrement en Europe.

L'essor de la deuxième révolution industrielle et l'utilisation de l'électricité et du gaz comme ressources énergétiques ont été accompagnés de progrès technologiques en ingénierie. L'industrie sidérurgique, le développement de la chimie et les nouvelles formes de communication ouvrent des perspectives dans le développement des formes productives. Une nouvelle ère est arrivée, et encore une fois de nouveaux types de travail.

Comme l'hygiénisme auparavant, un nouveau courant commence à se pencher sur l'activité dans le travail : la physiologie. Cette discipline développe une série de connaissances sur le fonctionnement du corps humain qui ont énormément contribué à l'ergonomie. Des ouvrages comme *La machine animale* de Marey (1873), *Le Travail musculaire et l'énergie qu'il représente* de Chauveau (1891) ou *La Fatigue intellectuelle et physique* de Mosso (1894) ont été essentiels pour comprendre l'infrastructure biomécanique humaine et son fonctionnement dans l'activité productive.

Parallèlement, une deuxième courant de pensée émerge aux États-Unis : la psychologie industrielle. Ce nouveau courant introduit une série de connaissances ultérieurement utilisées par l'ergonomie, notamment sur les liens entre production et temps de travail, base empirique utilisée par Taylor dans *L'organisation scientifique du travail* (1911), ouvrage emblématique de l'administration et gestion moderne. Ce travail suscite l'intérêt dans les milieux politiques et économiques. Les gouvernements de l'époque investissent des ressources dans la recherche de nouvelles formes de production dans des entreprises directement liées à la vague technologique du moment.

Dans la continuité des travaux de Taylor et avec une approche économique proche du capitalisme, le couple Gilbreth (1916) (Frank, ingénieur et Lillian, psychologue) commencent une série d'études sur les temps et les mouvements des travailleurs dans des entreprises aux

États-Unis. Les connaissances issues de ces expériences pratiques montrent l'importance de l'étude du geste. Ces connaissances sont la base de l'approche des facteurs humains et de ce que l'on appellera plus tard « *Human Engineering* ».

1.2. Transformations politiques, sociales et institutionnelles

Le processus d'industrialisation suscite un intérêt politique, économique et social pour l'étude du travail et de l'activité dans différents pays. Ainsi, à l'époque où les Américains mènent des études sur le temps et l'optimisation pour améliorer les conditions de développement de l'industrie, une autre histoire se déroule en Europe. Les avancées de la science, de la recherche et de l'innovation, ainsi que d'une politique économique à caractère plus social, incitent les gouvernements à commander plusieurs études aux universités, collèges et conservatoires afin de développer l'industrie et d'obtenir une amélioration des conditions de travail et des compétences des travailleurs.

En France en particulier, les études appliquées commandées à l'EPHE et au CNAM laisseront un héritage énorme pour l'ergonomie. Les études sur le fonctionnement de la mémoire et de l'intelligence menées au laboratoire de psychologie expérimentale par Alfred Binet (1894), et celles sur la physiologie humaine dirigées par Jules Amar (1914) au conservatoire sont des ouvrages de référence. Ceux-ci sont suivis par les travaux en psychotechnique de Henri Piéron (1922) et Jean-Maurice Lahy (1936), entre autres. Pour des raisons politiques et administratives, les différentes équipes de recherche convergent dans un même espace de travail situé au 41, rue Guy Lussac, dans le V^e arrondissement de Paris. Cela donne lieu à une série de relations de travail qui aboutiront à la création de l'Institut national d'étude du travail et d'orientation professionnelle (INETOP) (1941). Cet institut, resté à la même adresse jusqu'à aujourd'hui, abrite une branche de l'ergonomie et une section d'études qui ont guidé en grande partie la production scientifique française dans ce domaine jusqu'à nos jours.

Les contextes économique et politique associés aux deux guerres mondiales ont orienté le développement de l'étude du travail et des facteurs humains vers la conception des outils et des machines pour la guerre : trains, voitures, avions, sous-marins, etc. Plus tard, dans les années de l'après-guerre, ces efforts se sont réorientés vers les études de cockpits, la fiabilité humaine, les erreurs et les accidents (Laville, 2004).

La création des organismes internationaux, les efforts de reconstruction de l'Europe et le plan Marshall mènent les politiciens à faire appel à une structure d'experts pour réorganiser le

travail et remettre au point la production de toute l'Europe. La création de l'Agence européenne pour la productivité, en 1953, marque les origines formelles de l'ergonomie. Un ensemble de professionnels issus de différentes disciplines décident alors de s'organiser comme une association. Leur but est l'étude de l'activité productive avec une vision systémique, centrée sur la relation entre l'homme, les moyens, les méthodes et l'environnement de travail. En 1960, la création de l'Association internationale d'ergonomie (IEA) marque le début officiel de ce nouveau domaine et lui offre une reconnaissance mondiale. Son but était d'améliorer l'adaptation des technologies de production, de travail et de vie à l'être humain.

1.3. Du calcul humain aux ordinateurs personnels

Les guerres mondiales laissent des blessures sociales et humaines énormes et irréparables, mais aussi des progrès technologiques importants. Centrées sur la nécessité de réaliser des calculs complexes et de réduire le temps nécessaire pour les résoudre, les avancées technologiques de cette période ont conduit à l'invention de ce nous appelons aujourd'hui les ordinateurs. Avec eux, une nouvelle révolution industrielle et technologique est déclenchée. Cela entraîne de nouvelles formes de travail et de nouveaux types d'activité.

Deux événements clés ont déclenché cette révolution. D'un côté, les travaux d'Allan Turing (1937) sur la calculabilité des problèmes, mis en pratique par lui-même quelques années plus tard, ont permis de déchiffrer le système de communication nazi pendant la Seconde Guerre mondiale. D'un autre côté, l'invention du transistor en 1948 par les ingénieurs John Bardeen, Walter Brattain et William Shockley, de Bell Labs, a permis de réduire la consommation énergétique et d'ouvrir les portes au processus de miniaturisation des circuits. En 1958, Texas Instruments présente le premier circuit intégré. En 1960, IBM (USA) construit le premier ordinateur à base de transistors. Dix ans plus tard arrivent les premiers micro-ordinateurs : le Kenback 1 (1971) et le microprocesseur d'Intel 4004 (1971). L'avancement de la miniaturisation est vertigineux : cinq ans plus tard, Intel commercialise des processeurs dix fois plus rapides et comportant plus de mémoire.

Parallèlement, entre 1945 et 1955, les idées sur la cybernétique et les hypothèses sur la similitude entre le cerveau et l'ordinateur influencent la façon dont les nouvelles technologies sont conçues. Les conférences Macy à New York avec Wiener (1950) et Neumann (1951) ouvrent le débat sur les systèmes autorégulés, soutenus par les travaux en logique booléenne, en théorie de l'information et sur le fonctionnement neuronal. La possibilité d'associer le calcul et un support électrique devient une réalité.

En 1956, McCarthy organise le premier séminaire sur l'intelligence artificielle (IA), avec la présence de Claude E. Shannon, créateur de la théorie de l'information, Herbert A. Simon (1956), spécialiste des organisations, et Allan Newell (1956), mathématicien. Ces deux derniers présentent le premier logiciel algorithmique : un programme informatique qui, à partir de la compréhension logique de problèmes, est capable de résoudre des problèmes complexes. Ce prototype devient plus tard le « *General Problem Solver* ».

L'industrie et l'économie s'adaptent à ces nouvelles technologies à l'aide d'une nouvelle vague théorico-pratique : l'informatique. Elle se configure comme un secteur d'activité qui sera peu à peu introduit dans les processus productifs jusqu'à leur intégration totale. Ce nouveau cadre technologique propose de nouveaux défis pour l'ergonomie. L'existence des appareils *intelligents* ouvre une porte à l'étude des interactions homme-machine. L'intégration des formes de communication entre l'ordinateur et l'utilisateur est essentielle pour la continuité du processus d'actualisation industrielle.

Les idées de Miller (1956) et Bruner (1961) sur la façon de penser ont marqué les débuts de la psychologie cognitive ainsi que le développement d'une série d'outils pour mettre en évidence les stratégies mentales des sujets confrontés à une tâche. Les idées de Chomsky (1965) et Fodor (1975) sur le langage et la théorie de la modularité de l'esprit ont aussi contribué à ce corpus. Vers 1966, Joseph Weizenbaum programme *Eliza* (1966), un logiciel de dialogue homme-machine.

En 1972, Alain Wisner définit l'ergonomie comme « l'ensemble des connaissances scientifiques relatives à l'être humain et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec une sécurité, une commodité et une efficacité maximales ». Cette proposition synthétise l'histoire de l'ergonomie : d'un côté, un métier héritier de la santé et de la productivité, avec ces objectifs de sécurité, commodité et efficacité ; de l'autre côté, un esprit d'adaptation aux nouvelles vagues technologiques et de travail, avec ce but de conception.

En 1976, Steve Wozniak et Steve Jobs créent le Apple I, un ordinateur avec clavier et interface graphique et en 1981, IBM commercialise le premier *PC*. L'informatique passe de la sphère de travail à celle de la vie privée et de l'activité quotidienne.

Cette période de transformations technologiques et industrielles a aussi vu émerger les sciences cognitives, mises au service de nouveaux prototypes et produits industriels. Le développement de la robotique et de la course à l'espace devient aussi une source d'idées et de

techniques pour concevoir de nouveaux dispositifs et logiciels capables de s'adapter à différentes situations dans les environnements les plus hostiles. Ils permettent le développement des méthodes de mesure des capacités humaines et de leurs limites. Ces méthodes nourrissent ainsi le développement de l'ergonomie, qui s'approprie ces contributions théoriques et méthodologiques. Le stress et la charge cognitive deviennent un nouveau sujet d'étude pour l'ergonomie.

Le développement de la recherche et la stabilisation de la technologie des années précédentes permettent à l'industrie d'accélérer l'automatisation des processus productifs. L'activité industrielle change et les efforts mécaniques des travailleurs sont réduits au minimum. Certains sont réaffectés à des postes de supervision. L'introduction des écrans de visualisation de données se généralise, et avec elle, de nouvelles formes de travail sont adoptées.

Les ordinateurs déclenchent un processus de modernisation à tous les niveaux de la société et des activités productives. Dans les années 1990, les ordinateurs sont déjà intégrés au travail et commencent à entrer dans les sphères éducationnelle et familiale. En 1995, l'appropriation de ces technologies commence à montrer des effets sur la productivité et la vie quotidienne. L'apparition d'Internet accélère ces processus. L'étude du travail coopératif et assisté par ordinateur commence à prendre sa place. Même si ce concept a déjà été développé par Cashman et Greif, (1984), ce n'est qu'avec Internet et les progrès dans le champ des télécommunications que s'ouvrent de nouvelles perspectives d'étude pour plusieurs disciplines, dont l'ergonomie.

Dans ce nouveau contexte, le courant des facteurs humains et les études des interactions homme-machine (IHM) deviennent le principal centre d'intérêt de l'ergonomie. Des perspectives hygiénistes quant à la limitation de l'utilisation des écrans apparaissent. L'analyse des erreurs devient populaire dans l'industrie. Les aspects cognitifs redeviennent plus importants pour l'analyse des problèmes liés à ces nouvelles activités.

Deux approches de l'interaction et de la coopération homme-machine s'opposent. La première, de type technocentrique, propose de limiter l'action de l'être humain, en tant qu'il complète l'action de la machine et représente un facteur de risque. Cette approche restreint donc l'intervention humaine aux activités qui ne peuvent être automatisées. La deuxième approche est de type anthropocentrique : les machines sont conçues pour assister les activités humaines. L'objectif de cette approche est de développer un système technique conçu en référence à l'activité de l'opérateur pour être utilisée de façon performante. Dans ce débat, les apports de

Faverge, Ombredame et Pacaud sur l'analyse ergonomique du travail marquent le développement d'une ergonomie de l'activité (Falzon, 2004 ; Karnas et Salengros, 2017 ; Leplat, 2006 ; Ouvrier-Bonnaz et Weill-Fassina, 2015). Celle-ci se nourrit aussi des contributions de Wisner (1985) sur l'importance du terrain et de la réflexion sur l'action en situation. Dans cette approche, l'intelligence du travailleur est un élément incontournable du processus productif et constitue donc la base de l'étude de l'activité en situation de travail comportant des éléments cognitifs.

1.4. L'ergonomie à l'heure de la société informationnelle

L'apparition d'Internet a marqué une transformation des modes de communication, de production et de vie. Internet offre une communication plus rapide et plus versatile : nous sommes passés d'un système avec plusieurs moyens de communication d'efficacité différente à un unique moyen multimédia de plus en plus efficace. Ce changement dynamise les processus productifs et financiers. Les différentes infrastructures utilisées dans le domaine économique et productif au niveau global produisent de nouvelles formes de travail. La portabilité de la communication, la quantité d'informations, la mondialisation, la connectivité transforment l'activité productive et les modes de vie.

Selon Manuel Castells (2004), dans cette « société informationnelle », la connaissance et l'information deviennent des éléments décisifs pour tous les modes de développement. Qu'il soit particulier, organisationnel ou social, ce développement utilise comme sources premières l'information et la connaissance. Selon cet auteur, cela a été rendu possible par une révolution technologique basée sur le traitement de l'information, la création des connaissances et les technologies de l'information. Ces dernières deviennent alors des éléments différentiels pour la configuration de la productivité et le pouvoir à tout niveau (Castells, 2010).

Pendant ces dernières années, nous avons été témoins de l'avancement vertigineux de ces technologies, de l'habitation aux ordinateurs et de l'inclusion de ces derniers dans notre quotidien grâce à leur portabilité et aux efforts en ergonomie accomplis dans la conception des produits et des interfaces. Nous sommes entrés dans une société où les *GAF*A (Google, Apple, Facebook, Amazon) influencent toutes les sphères : économie, politique, travail, société, éducation, culture.

Dans ce nouveau contexte, l'ergonomie a dû adapter ses conceptions. Ainsi, lors du congrès international d'ergonomie de l'année 2000, l'ergonomie (ou *Human Factors*) est définie comme

La discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes (IEA, 2000).

Cette nouvelle vision de l'ergonomie incorpore différents niveaux d'interaction. Dans un monde connecté par de nouvelles technologies, cette connexion est une source d'information très riche pour le développement de *hardware*² et de *software*³, mais aussi pour analyser les rapports entre des agents humains et virtuels, intelligents ou non intelligents.

L'ergonomie s'offre ainsi un champ d'action large qui permet d'expliquer l'activité humaine au cours des interactions à différentes échelles : les gestes, l'action, l'activité, l'organisation, jusqu'à la société. En outre, elle peut travailler avec différentes approches : physique, organisationnelle ou cognitive.

Le développement de nouvelles technologies, le *software* et le *hardware* utilisent ce qu'on appelle l'ergonomie cognitive : une approche qui permet de traiter les problématiques des interactions, basée sur la compréhension des processus cognitifs qui œuvrent au sein de chaque individu en situation. Elle utilise régulièrement des outils importés du domaine cognitif, plus particulièrement de la compréhension de la cognition humaine, pour permettre d'améliorer l'interaction homme machine (IHM).

L'ensemble de cette trajectoire historique peut être synthétisé par une courbe d'évolution technologique, à l'instar du « cycle du hype » développé par Gartner⁴. La *Figure 1* montre les différents cycles d'évolution technologique et leurs relations avec l'évolution de l'ergonomie, ainsi que les contextes historique, technologique et productif. Cette analyse suggère que les processus de reconfiguration de l'ergonomie ont généralement lieu après la phase nommée le « gouffre des désillusions », qui se consolide lors de la « pente de l'illumination », laquelle permet la stabilisation des technologies dans le « plateau de productivité ». L'évolution de

² Anglicisme relative au matériel en informatique.

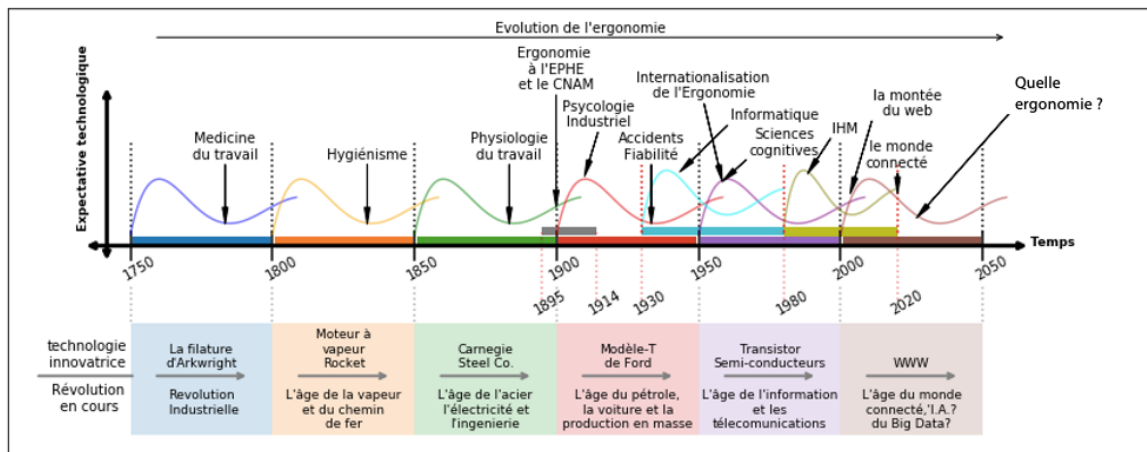
³ Anglicisme relative au logiciel en informatique.

⁴ Modèle introduit par Gartner Inc. en 1995, qui explique la trajectoire générale d'une technologie en termes d'attente ou de visibilité de la valeur de la technologie (ordonnée - y) par rapport au temps (abscisse - x). Elle utilise comme base la fusion de deux équations. La première est centrée sur l'homme et décrit les attentes sous la forme d'une courbe en cloche. La seconde est la courbe en S de la technologie, qui vise à représenter la maturité de la technologie (Fenn et Raskino, 2008).

l'ergonomie suit donc ces cycles de changement et de développement productif. Par exemple, l'avant-dernier cycle de transformation lié à la massification des ordinateurs (1980-2000) a introduit, en matière d'ergonomie, des innovations liées aux études IHM. Celles-ci se sont généralisées à partir des années 1990, améliorant les interfaces et permettant leur massification. Depuis la popularisation du WEB, nous entrons dans un nouveau cycle de transformations technologiques, qui vont au-delà de ces interfaces et présentent de nouveaux défis liés à l'interaction avec la connaissance elle-même. De quelles innovations l'ergonomie a-t-elle besoin pour relever ces nouveaux défis ?

Figure 1 :

Évolution historique de la pensée ergonomique par rapport à la technologie en cours.



Note : Chronologie présentant l'évolution de la pensée ergonomique liée aux différents cycles technologiques marqués par une technologie particulière et un type de révolution technologique, chacun des cycles étant représenté par une courbe d'attente technologique (Hype Cycle), élaboration personnelle (2021).

Cette analyse historique de l'évolution du concept d'ergonomie permet de mettre en relation les contextes (historique, économique, technologique) et les différents domaines d'intérêt de cette discipline : la santé, la production, la cognition humaine, l'interaction, l'information et la connaissance. Ces rapports justifient notre intérêt à mener cette recherche en sciences cognitives à partir d'une approche ergonomique, qui aborde les problèmes de l'interaction entre les individus, l'information et la connaissance. En effet, les cycles d'évolution technologique montrent que notre sujet de recherche est pertinent dans le contexte sociotechnique actuel. Par ailleurs, étant donné que l'évolution technique et conceptuelle de l'ergonomie a eu lieu lors des phases de stabilisation des vagues technologiques au sein de chaque période historique, on peut envisager la possibilité de développer des innovations dans ce domaine et de présenter de nouvelles approches et de nouveaux outils méthodologiques.

Dans la section suivante, nous tentons d'analyser les principaux enjeux de cette société dite de l'information, de délimiter le cadre de notre problématique de recherche et d'identifier

les possibles contributions de cette thèse doctorale au développement d'une nouvelle ergonomie.

2. Vers une ergonomie de la connaissance

Si l'analyse des processus cognitifs est l'objet des sciences cognitives, l'analyse de leur relation avec l'usage de la technologie et de la connaissance correspond davantage au domaine de l'ergonomie. Dans cette section, nous tenterons d'identifier et de caractériser plus en détail les principaux enjeux pour l'ergonomie découlant de ce nouveau contexte technologique, dans lequel les flux d'informations produites et échangées dépassent la capacité humaine à les traiter.

Sur la base des observations menées en Asie, en Europe et aux États-Unis, Castells (1996) suggérerait que le processus de production était en train de se transformer en un capitalisme informationnel. Cette transformation valorise davantage le travail concentré sur la gestion de l'information que celui qui ne l'est pas. Comme dans les révolutions industrielles des XIX^e et XX^e siècles, une nouvelle vague de technologies, informationnelles cette fois, remplacent de plus en plus les travailleurs traditionnels. Selon Castells (2000), la logique d'organisation dominante de cette période est le fonctionnement de type réseau. En effet, les sociétés contemporaines s'organisent autour de l'information. Les choix comportementaux des individus répondent aux traitements et manipulations de ces informations. L'ensemble de ces comportements reflètent les capacités cognitives propres à chaque individu ainsi que leur capacité à interagir les uns avec les autres. Cette situation donne lieu à une structure de réseaux où ces échanges se dynamisent et produisent un phénomène complexe de relation individu-société. Les processus de socialisation au sein de cette organisation en réseaux produisent une communauté globale, connectée en permanence, où les relations humaines se traduisent par des interactions multimédia au moyen de technologies toujours plus personnalisées. Ce réseau transforme tous les domaines de la vie sociale et économique, reconfigurant ainsi les relations de production, de pouvoir et de socialisation. Résultat de cette transformation, les États se trouvent de moins en moins en mesure de contrôler ces changements, contraints de partager leur pouvoir avec les grandes compagnies qui rentabilisent les données et l'information. Face aux dangers de ce processus, Castells (2000) propose de promouvoir les bons usages de ces technologies et la démocratisation de l'information et des connaissances. Or, une telle promotion exige non seulement une compréhension approfondie de ces processus et transformations, mais aussi la création de nouveaux outils et méthodes qui permettraient de reprendre le contrôle de ces nouvelles technologies et, surtout, des flux d'informations et de

connaissances en constante augmentation. En effet, en 2010, il existait 130 millions de livres publiés dans le monde entier (Google, 2021) mais depuis 2010, ce corpus augmente de 2,2 millions en moyenne chaque année (Worldmeter, 2021). Pour la seule France, 107 000 nouveaux ouvrages ont été publiés en 2015 (DEPS, 2017). Cette même année, on a compté environ 2,3 millions d'articles scientifiques, chiffre qui confirme la croissance exponentielle de ce type de production depuis plusieurs années (World Bank, 2021). Cet essor des publications est permis par les producteurs et utilisateurs de cette connaissance : en 2021, on compte plus de 4,66 milliards d'internautes dans le monde, 35,82 milliards d'appareils connectés, plus de 1,88 milliards de sites web ; plus de 91,8 millions d'articles de blog sont publiés chaque mois. Et tous ces chiffres sont en hausse (Alioze, 2021 ; Statista, 2021b, 2021a ; We Are Social, 2021).

Comment des individus limités temporellement et physiquement peuvent-ils faire face à ces flux illimités d'informations et de connaissances ? Cette recherche vise à fournir quelques pistes pour relever ce défi à partir d'une approche interdisciplinaire entre l'ergonomie et les sciences cognitives. Sur la base de certains outils issus des sciences cognitives, nous visons à développer une ergonomie qui dépasse l'analyse de l'interaction avec les interfaces (IHM) pour inclure l'interaction avec la connaissance en tant qu'artefact.

2.1. Technologie, cognition et ergonomie :

Dans le rapport mondial de l'UNESCO (2005), « *Vers les sociétés du savoir* » qui présente les résultats de l'agenda 2003-2005 du Sommet mondial sur la société de l'information (SMSI), différents académiciens et experts manifestent la nécessité de diriger les efforts mondiaux vers une société où l'information permettra le développement humain dans le sens plus large. Dans un contexte où la technologie permet une interconnexion globale, ils proposent de penser une société qui puisse se nourrir de la diversité et des compétences de tous. Cette société doit garantir le partage des connaissances pour faire face aux obstacles au développement. Ils proposent de surpasser la notion de *société de l'information* pour aller vers une *société du savoir*, où l'accès à l'information et les technologies assureraient la capacité d'identifier, de produire, de traiter, de transformer, de diffuser et d'utiliser cette information afin de créer et d'appliquer des connaissances qui facilitent le développement humain dans tous ses aspects.

Cette révolution numérique en réseau demande une maîtrise du virtuel, de l'immatériel et du savoir produit et échangé entre les unités de connaissance qui l'intègrent. Les informations

produites et héritées des régimes du savoir fondés sur l'oralité, sur l'écrit ou sur l'imprimé sont intégrées par le numérique, qui devient le support parfait pour l'interaction et la diffusion des savoirs grâce à sa structure en réseaux.

L'accélération des transmissions horizontales et verticales favorise une communication plus rapide et plus riche. Cependant, les connexions se densifient à une telle vitesse que l'interaction humaine épuise plus rapidement sa capacité à traiter les unités de connaissance dispersées dans le réseau. Cette situation est un bouillon de culture pour de nouvelles possibilités de transformation de l'humain. D'un côté, le cerveau et les capacités humaines se trouvent dépassés par les machines créées par nous-mêmes. D'un autre côté, les activités humaines comme l'imagination et la créativité trouvent un nouvel espace pour se développer. C'est dans cet espace que les défis et les enjeux de l'ergonomie commencent à se manifester : un métier centré sur l'activité est essentiel pour faire face à ces défis tout en mettant l'accent sur le développement humain.

Dans ce contexte, la cognition n'est pas un acte psychologique individuel, mais est influencée par un processus cognitif partagé et distribué (Cannon-Bowers et al., 1993 ; Cooke et al., 2000 ; Johnson et al., 2007 ; Mathieu et al., 2000 ; Razzouk et Johnson, 2012 ; Seel, 2012). En outre, il ne s'agit plus d'un acte purement humain. Le traitement du langage naturel et les moteurs de recherche avec leurs algorithmes font déjà partie de la vie quotidienne (Langton, 1997). Les activités cognitives humaines sont amalgamées à des processus activés par ordinateur, à leur tour réorganisées et affinées à l'aide des données des utilisateurs. Cela conduit à une activité cognitive de nature collective et synergique, où l'interaction homme-machine produit progressivement une sorte de cognition partagée homme-machine.

Il faut souligner l'aspect cognitif de ces nouvelles technologies, car au fur et à mesure qu'elles augmentent leurs capacités, les possibilités de la cognition augmentent également. Ces technologies ont une influence sur le traitement et les usages que nous pouvons donner aux unités de connaissance distribuées dans les réseaux des humains et des machines intelligentes.

Or, comme nous l'avons déjà montré, chaque nouveau cycle de transformations technologiques demande un nouveau type d'ergonomie qui doit permettre de l'approprier et de la rendre utile au contexte, pour permettre une évolution adaptée aux enjeux sociaux. Cette ergonomie nous permettra de comprendre les liens étroits entre l'homme, la connaissance et la machine.

2.2. L'interaction homme-connaissance-machine « IHKM »

La connaissance implique une réorganisation en termes d'information psychique, qu'elle soit de nature externe (environnementale) ou interne (relative au sujet). Autrement dit, notre capacité à connaître le monde qui nous entoure dépend de la façon dont nous recueillons et organisons l'information interne et externe. Ce processus se manifeste de façon dynamique, constante et relativement univoque. Nous utilisons nos ressources, réparties en différents types de processus *bottom-up* ou *top-down*. Connaître quelque chose implique de la perception, de l'attention, de la mémoire, du langage, de la prise de décision, de l'imagination, entre autres (Rock, 1985 ; Ganeri, 2017 ; Schank et Abelson, 1995 ; Öim, 1981 ; Soskic, 2013 ; Bronowski, 2008). Or, tous ces types de processus sont difficiles à analyser ou étudier à l'œil nu. Cela pose un premier problème : comment pouvons-nous analyser cette interaction avec la connaissance si nous ne pouvons pas la percevoir ?

Une première approche pour analyser cette interaction avec la connaissance se trouve dans la biologie et les structures morphologiques qui la soutiennent. Nous partons de l'idée que tous les éléments propres de l'esprit ont une structure morphologique de soutien qui permet la dynamique électrique des neurones donnant lieu aux processus cognitifs (Lecerf, 1997). Par conséquent, nous pouvons accéder à la dynamique du cerveau, plus précisément aux structures neuronales, afin d'établir une relation entre le phénomène qui nous intéresse et son activation. Une deuxième approche consiste à analyser *a posteriori* la tâche finalisée c'est-à-dire que nous pouvons déclencher l'activité et observer ensuite les réactions du sujet dans l'état A et dans l'état A'.

Tout ce qui se passe au niveau cognitif a un impact dynamique qui se manifeste par des changements morphologiques internes ou externes (Lecerf, 1997). Ces changements fournissent les éléments pour l'étude de l'interaction. Or, si la cognition est un processus dynamique constant, prendre une photographie à un moment donné pour l'analyser après l'interaction semble illogique car nous analysons alors un objet qui n'est plus le même. En effet la connaissance change à chaque interaction de l'individu avec son entourage. Ce changement restructure la connaissance qui existe auparavant et prépare la connaissance qui arrive après.

Les organismes biologiques, la vie telle quelle est, se créent et se recréent dans une dynamique constante, complexe et autonome : l'autopoïèse (Maturana et Varela, 1980). Nous ne pouvons pas penser la vie sans la vie. Étant donné que nous, les êtres humains, ne sommes pas capables de nous penser sans nous altérer par la même action de penser, les outils d'analyse

qui semblent les plus adéquats pour cette tâche sont l'interaction en temps réel et les états de changement. Certes, ceux-ci montrent aussi le passé, mais ils peuvent être anticipés grâce à des modèles mathématiques et statistiques qui mettent en relation ce qui est connu et comment il est connu avec ce qui ne l'est pas.

Aujourd'hui, certaines technologies pour l'analyse du comportement humain comme l'oculométrie ou l'électroencéphalographie (EEG) permettent d'accéder aux données presque en temps réel. Toute interaction produit une empreinte physiologique qui rend compte d'un processus psychologique sous-jacent. Cette empreinte peut être captée et traitée par des machines. De nos jours, cela est possible même si cette interaction se manifeste à grande vitesse (quelques millisecondes) et dans un espace très restreint (nano, micro et millimètre). Toutes ces informations forment un système complexe de données physiologiques dont la variabilité ressemble à la représentation du monde en termes psychologiques et de connaissances. La mise en relation de ces technologies d'analyse du comportement avec des humains qui interagissent en temps réel avec ces connaissances au sein d'un système sociotechnique permet l'émergence d'une nouvelle ergonomie, une ergonomie de la connaissance. Celle-ci vise à comprendre et à améliorer les interactions entre les humains, les connaissances et les machines.

Dans la section suivante, nous définissons certains éléments conceptuels utiles pour encadrer la problématique spécifique de cette recherche. Tout d'abord, nous analyserons les activités de connaissance en tant que processus d'interaction et d'échange entre agents cognitifs à l'intérieur de systèmes sociotechniques. Ensuite, nous introduirons la notion de travailleur de la connaissance et nous identifierons ses principales activités et gestes afin de développer des outils pour son analyse.

3. Activités, travailleurs et objets de connaissance

L'analyse précédente a montré la nécessité de développer un nouveau type d'ergonomie axé sur les problèmes liés à l'interaction avec la connaissance, une situation qui caractérise le contexte sociotechnique contemporain. À cette fin, il est nécessaire de développer de nouveaux outils et méthodes qui permettent l'évolution de la pratique ergonomique vers un exercice interdisciplinaire entre l'ergonomie et les sciences cognitives. L'objectif principal de cette recherche doctorale est de contribuer au développement de ces outils. Cependant, afin de délimiter le cadre de ce travail, tant du point de vue de l'ergonomie que des sciences cognitives, nous nous concentrerons sur l'analyse d'une activité représentative du contexte sociotechnique

actuel. Elle devra rendre visibles les principaux changements produits dans cette nouvelle configuration sociotechnique que certains auteurs appellent « société de l'information » (Castells, 1996), « société de la connaissance » (Courrier, 2005) ou « village global » (McLuhan et Powers, 1989). Mais en quoi cette activité consiste-t-elle, à quelle profession appartient-elle, où se déroule-t-elle et à quelle fréquence ? et avec quels instruments ? Ces questions nous amènent à proposer l'étude d'une activité spécifique, *l'Activité de la connaissance*. Celle-ci est réalisée par un certain type de travailleur avec des outils (objets, artefacts et instruments) également spécifiques à la connaissance. « Activité de la connaissance », « travailleur de la connaissance » et « objets de connaissance » sont donc l'objet, le sujet et les moyens de cette recherche.

3.1. L'Activité de la connaissance

L'activité est un concept vaste, utilisé par plusieurs disciplines. Pour cette recherche, nous utilisons deux approches. Du point de vue de la psychologie du travail, l'activité est l'ensemble des actions humaines qui permettent d'atteindre un objectif dans le cadre d'un processus productif. Selon ce concept, l'activité englobe une série de relations structurées et orchestrées par l'action humaine. En revanche, pour l'ergonomie, l'*activité* est la mobilisation des ressources physiologiques et psychologiques à un moment donné et dans un but précis. Efros (2015) fait ainsi référence à la conception de Laville de l'activité comme un « ensemble de régulations mises en place en réponse à la variabilité de la situation réelle confrontée à la variabilité de l'individu ». Dans de nombreux manuels de psychologie et d'ergonomie, le terme *activité* désigne un ensemble de comportements observables et non observables. Falzon (2013) souligne pour sa part que l'activité est un processus complexe, original et évolutif, où l'être humain s'adapte à la tâche. Cette adaptation permet la transformation du travail et l'amélioration des conditions des travailleurs.

Lorsque nous faisons référence à l'activité de connaissance, nous envisageons une activité présentant plusieurs caractéristiques : a) Il s'agit d'une activité qui existe et s'exprime en tant que telle au sein d'un système sociotechnique structuré par et pour l'information et la connaissance. b) Il s'agit d'un phénomène multi-acteurs, c'est-à-dire d'une activité essentiellement collective, qui peut également impliquer des acteurs non humains. Même si les buts et les objectifs sont toujours définis par les besoins humains, il existe dans ce type d'activité d'autres types d'agents cognitifs, tels que des machines et des algorithmes qui évoluent en fonction de l'état de ces connaissances et de l'environnement. c) Cela implique une série de

régulations physiologiques, psychologiques et cognitives par les agents cognitifs humains pour stabiliser les structures internes et externes de la connaissance.

Dans le contexte actuel, ces types d'activités sont associés à divers métiers et professions dans différents secteurs productifs : santé, médias, banque, technologie, éducation, etc. Dans chacun de ces métiers, les travailleurs réalisent différentes activités de connaissance telles que : l'évaluation et le diagnostic, l'expérimentation, la production de connaissances, la gestion des informations et des données, etc. En croisant ces professions avec certaines de ces activités, nous avons identifié que la gestion de l'information et des données est une activité commune à toutes ces professions. D'autre part, nous avons également observé que la profession d'enseignant-chercheur est celle qui concentre le plus grand nombre de ces activités (*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). Sur la base de cet exercice, nous avons décidé de concentrer notre analyse sur les caractéristiques associées aux travailleurs du secteur de l'éducation et de la gestion de l'information et des données.

Tableau 1 :

Activités de connaissance par métiers

Activité de connaissance	Métier							
	Enseignant Chercheur	Médecin	Ingenieur	Banquier	Manager	Journaliste	Avocat	Architecte/ Designateur
Constrution d'opinion publique	X					X		
Design et conception	X		X					X
Developement de competences et savoirs	X							
Évaluation et Diagnostique	X	X	X	X	X		X	X
Experimentation	X	X	X					X
Production de connaissance	X	X	X					X
Gestion de l'information et données	X	X	X	X	X	X	X	X

Note : Identification des activités de connaissance par type de métier, élaboration personnelle (2021).

Le secteur de l'éducation joue un rôle fondamental dans toutes les sociétés. L'éducation affecte directement la vie des individus et a donc un impact sur les aspects sociaux, politiques, technologiques, économiques et productifs des pays et des régions. Les statistiques mondiales montrent que l'enseignement primaire et secondaire compte environ 7,52 milliards d'élèves et 78 millions d'enseignants. D'après ces statistiques, au moins 69 millions d'enseignants supplémentaires sont nécessaires pour atteindre les objectifs de développement durable d'ici à 2030 (UNESCO, 2016). En France, selon les chiffres du ministère de l'Éducation nationale (2019), on compte 870 000 enseignants dans les écoles et les lycées publics et privés, et 92 000 enseignants dans les établissements publics d'enseignement supérieur, dont 55 000 enseignants-chercheurs.

Cependant, que connaît-on de l'activité productive de ces professionnels ? Au-delà des chiffres et des statistiques qui peuvent intéresser les décideurs politiques et les sociologues, la plupart des études analysent des questions liées à la performance éducative, la pédagogie et la

didactique. Cependant, parmi ces études, très peu se concentrent sur l'activité de l'enseignant ou du chercheur lui-même. Si les études s'attachent à comprendre *comment enseigner*, elles en disent peu sur les défis et les limites de l'activité en tant que processus de régulation. Elles ne se penchent pas non plus sur les limites en termes de ressources et de possibilités de transformation pour permettre la mise en place d'une activité constructive.

3.2. Les travailleurs de la connaissance

Dans les années 1950, Drucker a caractérisé la transformation vers la société post-industrielle comme le passage du travail manuel au travail non manuel (1959). Cette évolution introduit une différence essentielle entre ce que nous pourrions appeler un travailleur classique et un travailleur de la connaissance : l'activité de travail de ces derniers est centrée sur la pensée. Cela signifie résoudre des problèmes *non routiniers*, dont la solution est généralement non linéaire et nécessite l'utilisation créative de toutes sortes de compétences et d'aptitudes. Selon Reinhardt (2011), une activité clé de ce type de travailleur est la gestion des connaissances. Il s'agit d'une ressource organisationnelle qui permet d'utiliser les connaissances pour obtenir des avantages concurrentiels d'un point de vue organisationnel et productif. Pour Schement (1990), le travailleur de la connaissance traite et manipule l'information comme une fin en soi. Par conséquent, c'est le contenu informationnel du travail qui définit la tâche, le produit et le travailleur.

Le secteur de l'éducation, qui fera l'objet de notre analyse, partage avec d'autres secteurs productifs un certain nombre de professions liées au management, à la gestion budgétaire, à la logistique, aux services technologiques, etc. Cependant, sa spécificité réside dans le fait que certaines de ses professions sont focalisées sur la gestion et le transfert des connaissances (Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, 2011). Cette spécificité est ce qui permet le développement du secteur de l'éducation en tant que système sociotechnique et productif. Pour cette recherche, nous nous focalisons sur la profession d'enseignant-chercheur, cœur de ce secteur. Selon le profil de compétences de ces travailleurs de la connaissance, la « maîtrise des connaissances ou savoirs disciplinaires » est l'une des compétences clés.

Du point de vue de la psychologie du travail et du développement professionnel, une compétence est ce qui permet le bon développement de l'activité productive. Par conséquent, cette *maîtrise des connaissances* est ce qui rend possible le développement de la gestion des connaissances. En effet, chaque enseignant-chercheur doit d'abord connaître son domaine

d'étude, puis trouver les moyens de le transmettre. Pour ce faire, ils se servent d'autres compétences, notamment celles de type relationnel ou social comme la compréhension du contexte ou la capacité à adapter les stratégies de transmission des connaissances selon celui-ci. Tout cela fait partie des domaines de la didactique et de la pédagogie. Or, sans la *maîtrise des connaissances*, les autres compétences ne pourraient pas être mobilisées. C'est-à-dire, pour un enseignant-chercheur, que la première étape consiste essentiellement à appréhender ou s'approprier des connaissances, et la seconde à les transmettre.

Les capacités cognitives du sujet, enseignant-chercheur, sont sollicitées afin de tirer l'information de l'environnement de connaissance et de l'organiser par rapport à l'état des connaissances précédent. Celui-ci est donc continuellement mis à jour. Mais que se passe-t-il lorsque la quantité d'information dans l'environnement augmente ? Les ressources cognitives resteront alors disponibles pendant de longues périodes, jusqu'à ce qu'elles atteignent leur objectif ou qu'elles soient complètement épuisées. Dans un contexte d'*hyper-connexion* comme celui de nos sociétés contemporaines, la quantité croissante d'information dépasse largement les capacités humaines. Cela place au sujet face à un choix régulateur : soit nous essayons de tout apprendre et nous n'aurions alors plus le temps de faire autre chose ; soit nous nous contentons d'apprendre une partie seulement de ces informations et nous parions que cela suffira pour achever l'étape de transfert des connaissances. Or, ce dernier choix entraînera très probablement une certaine dégradation de l'information initiale.

Alors, si la connaissance du domaine est le point de départ, nous devons nous intéresser à son déroulement. Pour cela, nous devons chercher à identifier quel type de gestes est mis en œuvre dans l'acte cognitif de *connaître quelque chose*. En ergonomie, le geste fait référence à la façon de faire, c'est le lien entre l'intention du sujet et les modes opératoires qui rendent possible l'activité (Leplat, 2013). Comment alors peut-on définir un geste dans le cadre d'une ergonomie de la connaissance ? Quel sont les modes opératoires de ces activités de connaissance et sur quel type d'objets s'appliquent-ils ?

3.3. Objets de connaissance

Face à l'impossibilité d'accéder directement au savoir d'autrui, l'évolution et l'histoire ont conduit l'humanité à développer différents moyens de sauvegarde et de transmission des informations. Dans le domaine biologique et évolutif, la génétique transfère l'information morphologique et fonctionnelle d'une cellule à une autre. Dans le domaine social, l'humanité a développé un système complexe de représentations alphanumériques et sonores organisé

selon des règles d'usage communes : le langage. Dans le champ socio-relationnel, les représentations sont manipulées et organisées à l'aide de ce langage et permettent la transmission des informations entre sujets. Ce processus de transmission favorise la construction historique et sociale. Au fil du temps, la nécessité de sauvegarder certaines informations a augmenté. Cette nécessité a mené à l'élaboration de différents types de supports matériels. De Lascaux au nuage informatique, l'humanité a enregistré ses connaissances sur différents *objets de connaissance*.

Afin de comprendre ce que nous signifions par *objet de connaissance*, il est nécessaire de distinguer un objet naturel d'un objet technique. Un objet naturel désigne tout élément trouvé dans la nature qui peut être utilisé à des fins dans le cadre d'une action donnée. Par exemple, une pierre ou une branche qui sert à tenir, frapper ou atteindre quelque chose est un objet naturel. Les objets techniques, quant à eux, désignent les objets utiles créés par l'homme à partir d'objets naturels. Il s'agit d'objets naturels qui ont été transformés par l'utilisation de la technologie et dont le but est d'être utilisés comme outils dans l'activité humaine, c'est-à-dire une nouvelle technologie. Dans notre exemple de la pierre ou de la branche, elles peuvent être transformées en marteau pour frapper et construire des objets, en canne à pêche ou en lance de combat. À partir du moment où ces objets sont adaptés à un certain usage et acquièrent un nom tel que : canne, marteau, lance, etc., nous sommes devant un objet technique fini. Sur la base de ces distinctions entre objets naturels et finalisés, nous pouvons dire qu'un objet de connaissance est un objet technique de type finalisé dont la particularité est que sa matière première est de nature cognitive. C'est-à-dire que sa composition en tant qu'objet est fondée sur et structurée par la connaissance. Par exemple, prenons un objet finalisé : une fourchette peut être utilisée pour manger. Alors que le concept de cette même fourchette, on ne peut pas l'utiliser pour l'action de manger, mais il est un objet de connaissance qu'on peut utiliser et inscrire dans une action distincte comme celle d'expliquer comment manger ou la forme de quelque chose. Il faut souligner que la construction et l'achèvement de ce type d'objets sont permis par une technologie spécifique de type linguistique, dans le cadre d'un schéma cognitif de transfert de connaissances. Une pierre sur laquelle a été inscrit un dessin, un texte ou une esquisse d'activité humaine peut être considérée comme un objet de connaissance. Il en va de même pour une feuille de papier, un papyrus, un fichier numérique contenant un texte. En outre, avec l'invention du phonographe et de la photographie au milieu du XIX^e siècle, d'autres types de support de stockage des connaissances sont apparus, et avec eux, de nouvelles formes de

langage. Des objets de connaissance plus complexes et plus utiles sont ainsi générés, combinant la technologie linguistique avec d'autres types de technologies analogiques ou numériques.

Aujourd'hui, nous disposons des supports multimédias qui combinent des textes, des images et des sons. Toutefois, la plupart des connaissances sont encore stockées sous forme de texte. Au long de son histoire, l'humanité a produit des milliards des pages de connaissances. Tout ce savoir est inscrit dans des objets de connaissances de type texte qui ont été lus et enrichis dans le temps même de leur usage par des générations successives pendant plus de 4 000 ans. Quels sont les modes opératoires mis en place pour la conception et l'utilisation de ces objets ? Comment sont-ils construits ?

L'ergonomie de la connaissance que nous proposons met l'accent sur la relation étroite entre les travailleurs de la connaissance et ces objets particuliers, par leur conception et leur usage. Par exemple, un sujet qui lit un texte mobilise la lecture comme action primaire d'utilisation de cet objet, et cela sert de base au processus plus complexe de la représentation des connaissances. Par conséquent, si l'on veut analyser l'usage ou la construction de ce texte, nous devons nous intéresser aux aspects logiques, linguistiques et cognitifs de cette action. Dans le cadre de cette recherche, nous analyserons l'acte lecteur et son association avec les processus cognitifs dans un contexte sociotechnique spécifique : l'enseignement et la recherche. Il s'agit de déterminer comment cet acte est orienté par des processus cognitifs de haut niveau qui rendent compte des processus de régulation de l'activité de connaissance. Pour cela, il faut analyser comment lit le sujet. En effet, l'intention du sujet se manifeste dans l'acte de lecture, c'est-à-dire dans le geste. Par conséquent, il faut déterminer dans quelle mesure ces déclencheurs cognitifs guident la stratégie de lecture d'un sujet.

Les processus cognitifs qui guident le geste lecteur s'organisent à partir d'un état de connaissance/non-connaissance des éléments de l'objet de connaissance. Du point de vue des sciences cognitives, *connaître quelque chose* signifie avoir une *représentation* de cette chose (Tijus et Cordier, 2003). Ce phénomène se produit lorsque l'on parvient à générer une unité de contenu sémantique, qui sera accompagnée de ses modes de fonctionnement et de référence. Cette représentation peut être utilisée dans différents contextes selon un critère de pertinence déterminé par l'objectif du sujet lors de la lecture. Sur la base de ces prémisses, nous proposons de considérer que le geste lecteur est influencé ou guidé par des stratégies cognitives qui précèdent la construction ou l'utilisation de cette représentation. La relation entre l'usage des objets de connaissance, la lecture et la production de nouveaux objets de connaissance s'avère cyclique : nous avons des représentations de connaissance externalisées dans des objets de

connaissance et internalisées par le sujet lisant. Ce geste lecteur est guidé par d'autres représentations internalisées précédemment ainsi que par le contexte de l'acte lecteur. Ensuite, ces nouvelles représentations peuvent être extériorisées à nouveau grâce à d'autres objets de connaissance, dans le cadre d'un système sociotechnique de connaissance. Dans ce sens, l'un des défis de cette recherche est d'élargir la compréhension de ces phénomènes à la lumière des outils des sciences cognitives et de l'ergonomie appliqués à la lecture et à la conception des objets de connaissances par des travailleurs de la connaissance.

En résumé, nous avons identifié une activité représentative du contexte technologique et social contemporain afin d'appliquer une analyse ergonomique qui permette de le caractériser et de développer des outils plus adaptés pour ce type d'analyse. Nous avons restreint nos analyses à une population de travailleurs spécifiques, celle des travailleurs de la connaissance, dont les activités se concentrent sur la gestion de l'information et l'interaction avec la connaissance : les enseignants-chercheurs. Nous nous focaliserons sur l'étude des gestes lecteurs qui expriment les aspects régulatoires de l'activité de ces travailleurs lors de l'interaction avec des objets de connaissances. Pour ce faire, nous nous servirons de certains éléments théoriques des sciences cognitives et des techniques de l'ergonomie. Ainsi, cette thèse vise à étudier la lecture et la représentation des connaissances à la lumière des outils des sciences cognitives comme partie de l'activité des travailleurs de la connaissance afin de développer une pratique ergonomique adaptée aux enjeux actuels.

4. Objectif de recherche

Les sections précédentes ont présenté le cadre général de cette recherche. Ce cadre comprend le contexte historique, social, culturel et technologique. Nous avons brièvement décrit l'évolution du champ de l'ergonomie pour justifier notre choix méthodologique et la pertinence de cette recherche, qui vise à développer des outils méthodologiques pour l'analyse de l'interaction des travailleurs de la connaissance avec les objets de connaissance, dans une perspective interdisciplinaire à mi-chemin entre les sciences cognitives et l'ergonomie. La délimitation de notre objet d'analyse s'est organisée en trois parties. En premier lieu, nous avons travaillé sur l'idée d'activité de connaissance. Nous avons analysé différents secteurs productifs et choisi le secteur de l'éducation, en nous concentrant sur la gestion de l'information et des données en tant que macro-activité. Cette activité est réalisée par un travailleur inséré dans ce système sociotechnique de connaissance qui implique nécessairement une interaction courante avec des objets de connaissance. En second lieu, nous abordons la question des travailleurs de la connaissance, en analysant les activités des enseignants-chercheurs et les compétences impliquées dans l'activité de représentation et de transfert des connaissances. Cette situation de travail est médiatisée par des objets de connaissance. Enfin, nous travaillons sur cette idée d'objets de connaissance, en tant qu'objets techniques finalisés permettant l'interaction avec la connaissance. Ces objets sont amalgamés à des supports qui peuvent prendre la forme d'un texte, d'une image, etc. Nous analysons cette interaction en nous concentrant sur ses possibilités et limites à partir d'une approche cognitive et ergonomique.

L'objectif de cette recherche est de contribuer au développement d'une ergonomie de la connaissance fondée sur l'analyse des activités d'enseignement et de recherche dans un système complexe d'interaction entre des agents humains et non humains qui produisent et manipulent des connaissances. Nous analysons la conception de ces objets de connaissance, leurs caractéristiques artefactuelles depuis une approche instrumentale et les stratégies d'instrumentalisation par les gestes lecteurs sur ce type d'objets. Pour ce faire, nous nous servons du traitement automatique du langage et de l'analyse des mouvements oculaires. Ces deux techniques nous permettront de proposer de nouveaux outils pour l'analyse de l'interaction avec la connaissance et d'encourager de nouvelles méthodes en ergonomie. Cette recherche s'inscrit dans les problématiques liées aux transformations contemporaines vers la société de l'information et la connaissance.

Dans le chapitre suivant, nous analyserons les différents éléments conceptuels qui serviront de base théorique à cette recherche.

Chapitre 2 : Cadre théorique

Ce deuxième chapitre présente les différents concepts et approches qui forment le cadre théorique utilisé dans cette thèse. Il est divisé en deux sous-chapitres, chacun présentant un groupe de théories et de concepts nécessaires au développement de cette recherche. En premier lieu, nous discutons les principaux concepts et théories sur la représentation de connaissances et les cognitions humaine et artificielle. Pour cela, nous analysons les notions de représentation, d'agent et de fonctions cognitives, ainsi que leur rôle à l'intérieur d'un système sociotechnique. Nous analysons aussi les systèmes à base de connaissance qu'incluent les systèmes experts et les architectures cognitives, ainsi que les techniques de représentation de la connaissance en IA(intelligence artificielle) . En second lieu, nous présentons différents concepts qui servent à l'analyse des activités de connaissance. Tout d'abord, nous révisons les aspects ergonomiques liés à la gestion des connaissances, les différences entre activité prescrite et réelle, les notions d'instrumentation et d'instrumentalisation et de genèse instrumentale. Ensuite, nous analysons les rapports entre l'interaction et la connaissance à partir d'une approche systémique et complexe des interactions entre les humains, les connaissances et les machines. Enfin, nous concluons ce chapitre en discutant l'utilité de l'étude du regard dans la collecte d'information lors des activités de connaissance.

1. Cognition humaine et artificielle pour la représentation de connaissance

Lorsque nous parlons de cognition, nous faisons référence aux processus et aux structures qui permettent la connaissance. Étant donné que la question de la représentation des connaissances est un défi aussi bien du point de vue humain qu'artificiel, nous avons divisé ce sous-chapitre en deux sections. Dans la première section, nous traitons de la problématique globale de la représentation de la connaissance. Nous commençons par revisiter des concepts classiques concernant l'acte de représenter. Puis, nous explorons cette problématique à la lumière des processus cognitifs chez les êtres humains, leurs relations et leurs limites dans la structuration de la connaissance. Enfin, nous nous servons de certains concepts de l'ergonomie

afin d'analyser la représentation de la connaissance comme une activité. Dans la deuxième section, nous abordons ce sujet du point de vue des systèmes artificiels et nous nous intéressons aux systèmes fondés sur la connaissance. Nous présentons une perspective historique des principaux jalons dans le développement de l'intelligence artificielle (IA) et des sciences cognitives. Enfin, nous caractérisons les différentes techniques de représentation de la connaissance couramment utilisées dans le domaine de l'IA.

1.1. Le problème de la représentation des connaissances

La représentation de la connaissance est un élément central dans plusieurs domaines : la documentation, l'indexation des savoirs, la structure des bases de données, la programmation informatique, la syntaxe, la structure sémantique du langage naturel, le développement de l'intelligence artificielle, la mémoire humaine, parmi d'autres. Tous ces domaines utilisent la représentation de la connaissance pour produire des objets de connaissance manipulables. Dans cette section, nous présentons les différentes approches concernant la représentation de la connaissance, afin de trouver une intersection des différentes disciplines adaptée à notre recherche.

1.1.1. Qu'est-ce que la représentation

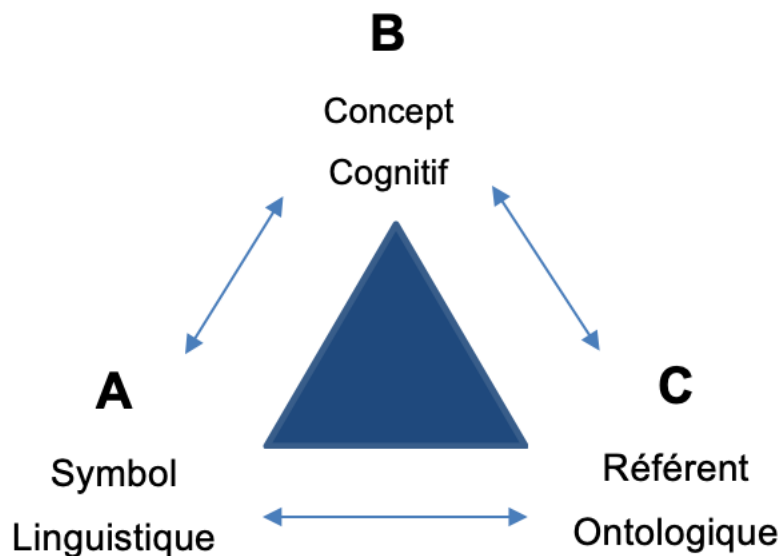
Selon le dictionnaire Larousse (2020), la représentation « est l'action de rendre sensible quelque chose au moyen d'une figure, d'un symbole, d'un signe ». Analysons cette définition à la lumière des sciences cognitives. L'idée d'une « action de rendre sensible » nous permet d'inférer l'existence de deux états cognitifs différents soit chez un même agent, soit chez plusieurs agents. Un premier état pour diriger l'action, l'acte de « sensibilisation », et un deuxième pour la recevoir. Même si, à un moment donné, ce peut être le même sujet qui rend sensible quelque chose pour lui-même, cette action répond à une nécessité dialectique (deux sujets ou le même sujet à deux moments différents). Cet acte fait référence à l'utilisation de nos sens, c'est-à-dire, percevoir afin de permettre à un autre de percevoir ou sentir la même chose. Ceci implique qu'il existe une sorte d'accord préalable entre agents cognitifs concernant la valeur sensitive de quelque chose qui se représente. Cette valeur sensitive se matérialise par le « moyen » utilisé à chaque fois, dans ce cas concret un « symbole » ou le « signe ». Celui-ci fait directement référence au langage, laissant trois points clés mis en évidence : les agents cognitifs, la perception et le langage.

Commençons par le langage, car il nous permettra de proposer un modèle de base pour situer les agents cognitifs et les aspects de la perception. Dans les études de linguistique, la représentation est une action qui s'organise autour d'une triade d'éléments : un « symbole », un « concept » et un « référent ». Le référent constitue l'essence de la représentation, c'est-à-dire une entité réelle, ce qui existe dans le monde. Au point opposé de la triade, nous plaçons le concept. Celui-ci est la façon dont cette entité réelle entre en rapport avec une structure de connaissance préalable propre au sujet qui réalise l'action de représenter. Autrement dit, c'est le lien entre l'entité et ce que nous avons connu auparavant. Au troisième sommet de la triade, on trouve le symbole, qui désigne la façon de représenter ce concept et permet la manipulation dans le monde interne (par rapport au sujet) et externe (par rapport au monde). Le langage est un acte de représentation en soi, qui utilise une structure symbolique construite par des mots (la langue) et nous permet de manipuler le monde en utilisant un ensemble de règles. Cette triade est un modèle qui accompagne les différentes conceptualisations de la représentation dans différents champs théoriques et à différentes époques : la philosophie (Aristote, 1936), la sémiotique (Peirce et al., 1931), la linguistique (Ogden et al., 1923 ; Saussure, 1916), la sémantique (Peirce et al., 1931 ; 1978), la psycholinguistique cognitive (Marin et Legros, 2008), la grammaire cognitive (Langacker, 1987). Tous utilisent cette triade pour parler de la représentation, que ce soit du point de vue de la linguistique, de la sémiotique ou de la sémantique.

Choi (2001) reprend le graphe de la triade de Peirce (Peirce et al., 1931 ; 1978), et la logique proposée par Wildgen (1999) pour introduire l'idée d'un centre organisateur : A (*symbole*) , B (*concept*), C (*objet*). Puis, il les associe à des catégories épistémologiques et fonctionnelles liées à chaque élément : linguistique (A), cognitif (B) et ontologique (C). Cette proposition est une tentative de passer d'un triangle sémiotique fondé sur la structure du signe vers un triangle épistémologique où nous pourrions retrouver les différentes disciplines qui utilisent la représentation de la connaissance comme une base pour leur développement. Choi mobilise également des théories et théoriciens linguistes, sémiologues et sémanticiens afin de présenter un cadre logique de relation entre la triade de Pierce, le point de Wildgen et les différents courants qui vont se développer autour de la représentation en tant qu'un phénomène de type linguistique, humain et biologique.

Figure 2 :

Triade des éléments pour la représentation.



Note : Éléments constitutifs du triangle de Peirce (A) symbole, (B) concept et (C) réfèrent, en termes de catégories épistémologiques : linguistique (A), cognitive (B) et ontologique (C), adaptés par Choi à partir de Widgen (1994) et Thom (1988). Élaboration personnelle d'après Choi (2021).

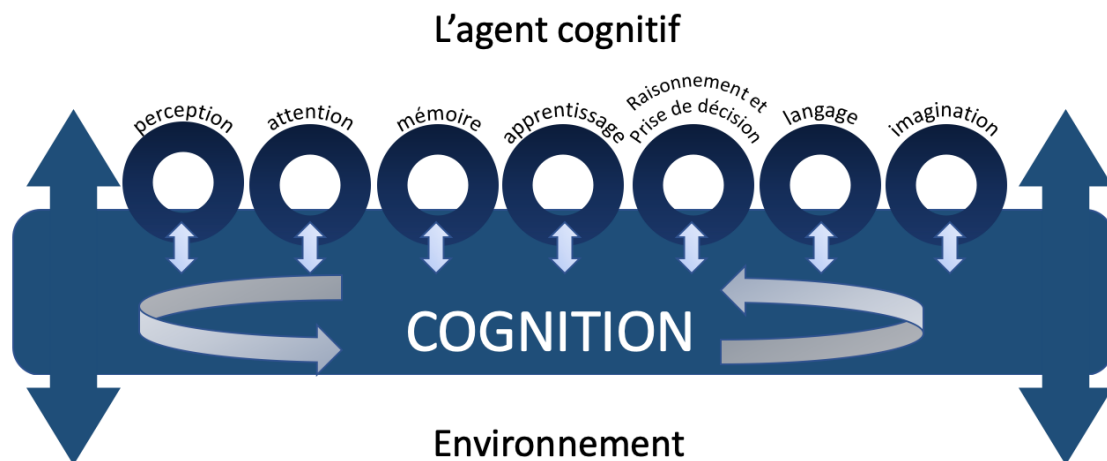
La Figure 2 présente la triade des éléments ABC. Selon Choi (2001) cette triade peut être lue de trois façons. Si nous regardons la triade à partir du point A (*langue*) comme le sommet organisateur, nous entrons dans une logique structuraliste où le langage permet l'acte cognitif (B), en référence à une réalité (C). Sans A — la langue —, ni B ni C ne pourraient exister ni être reliés. Si, au contraire, nous prenons la réalité (C) comme le sommet organisateur de la triade, nous trouvons une logique comportementaliste où l'aspect ontologique (C) est le stimulus qui articule le tout. Cela entraîne l'articulation d'un processus sensorimoteur que nous connaissons sous le nom de langage (A) par un processus cognitif (B). Celui-ci se manifeste comme une sorte de boîte noire sur laquelle nous n'avons pas d'autres informations. Enfin, prenons l'aspect cognitif (B) comme le sommet principal. Dans ce cas, le langage (A) sera le résultat d'une représentation interne de la réalité (C). Cela révèle la relation cognitive entre le monde réel et le langage en tant qu'outil permettant l'interaction entre deux mondes : le monde interne avec la propre construction représentationnelle du monde par l'agent cognitif, et le monde externe avec tout ce qui entoure réellement l'agent cognitif. Dans notre recherche, nous utiliserons ce dernier type de lecture de la triade de représentation (*vision cognitive*) : une réalité C organisée selon un agent cognitif B à l'aide d'outils de type A.

1.1.2. Les agents cognitifs (AgC) et leurs fonctions cognitives

En général, lorsque nous parlons de « *cognition* », nous faisons référence au processus par lequel quelque chose est connu. Ce processus complexe de connaissance est le résultat d'une série de relations entre des processus sous-jacents à la cognition de celui qui connaît. L'agent cognitif est un élément dynamique dans un environnement réel avec la capacité de connaître. Nous nous intéressons à montrer les relations entre la connaissance et les processus cognitifs de manière générale. L'intérêt est d'obtenir une vision globale des processus internes à l'agent cognitif qui peuvent intervenir dans la représentation de la connaissance.

Figure 3 :

Cognition et processus cognitifs.



Note : La cognition en tant que macro-processus agencé et l'interrelation des différents processus cognitifs, Élaboration personnelle (2021)

La cognition peut être représentée comme un processus continu avec plusieurs sous-processus interdépendants (*Figure 3*). Dans ce schéma, nous présentons les plus pertinents par rapport à notre recherche afin d'avoir une vision d'ensemble. Chacun de ces sous-processus produit une valeur ajoutée dans cette relation entre l'agent cognitif (AgC) et l'environnement.

Dans ce schéma, la **perception** permet l'assimilation de l'information par les sens. Ces informations permettent à l'AgC de réagir et d'interagir dans et avec l'environnement. Le deuxième sous-processus, l'**attention**, a une fonction de filtrage. Il permet de se concentrer sur un stimulus spécifique dans cet environnement. Il faut noter que la perception donne une lecture en continu des informations et des stimuli issus de l'environnement. Cette fonction est vitale pour l'interaction et la survie de l'AgC, mais coûteuse sur le plan psychophysiologique. La fonction attentionnelle est une sorte de première autorégulation pour faire face aux limitations

internes exigées par l'environnement. Ensuite, la **mémoire** est chargée de coder, de stocker et de récupérer les informations. Elle a une utilité majeure en termes d'autorégulation et permet le développement de sous-processus plus complexes tels que l'apprentissage et le raisonnement. L'**apprentissage** est un sous-processus qui révèle la capacité à assimiler de nouvelles informations en fonction de celles déjà acquises. Cette intégration rend possible la capacité de synthèse et de réorganisation d'autres sous-processus dans ce continuum d'interactions qui mènent à ce que nous connaissons comme le **raisonnement** et la **prise de décision**. Cette dernière permet de résoudre les problèmes. Elle est généralement traitée comme un sous-processus cognitif de haut niveau, puisqu'elle fait appel à d'autres sous-processus et se manifeste comme la capacité qui permet à l'AgC de faire face à des situations nouvelles ou inconnues. Le sous-processus suivant, le **langage** et son développement, permet l'interaction avec d'autres agents cognitifs. Cette fonction est considérée comme un élément clé dans le processus évolutif de l'être humain. Elle détermine : a) la capacité de comprendre et d'exprimer des éléments intégrés dans l'appareil cognitif (sensations, souvenirs, pensées) par l'utilisation d'unités de sens sonores, tactiles ou visuelles communes à d'autres AgC ; et b) la capacité de signification qui permet l'utilisation représentative ou symbolique de l'environnement. Enfin, **l'imagination** est un sous-processus au potentiel créatif et simulateur. Il permet à l'AgC d'utiliser des ressources cognitives préalablement intégrées et de produire une structure symbolique qui lui permet de recréer et de manipuler une réalité existante comme une possibilité parmi tant d'autres.

Sur la base de ce schéma sur le processus cognitif et ses sous-processus, nous pouvons entamer l'analyse de la connaissance et de sa relation avec la machinerie cognitive humaine. De prime abord, la connaissance peut être comprise comme le résultat global du processus cognitif. Or, à ce stade nous ne pouvons pas savoir dans quelle mesure ces connaissances sont médiatisées, modifiées, ou intégrées dans les différentes étapes de ce processus. Il est important de noter que la connaissance réorganise le processus cognitif comme une sorte de boucle qui se répète et s'optimise en permanence. La connaissance change en fonction de notre capacité de **perception**, mais en même temps, notre capacité de perception s'adapte aux nouvelles connaissances. Ce processus est continu dans la vie quotidienne. Il est presque imperceptible, mais il est en cours en permanence. Dans le cas du sous-processus de **l'attention**, nous observons le même phénomène. Lorsqu'un nouveau stimulus « non familier » apparaît dans l'environnement, notre attention se concentre sur lui. Cependant, au fil du temps, nous acquérons et intégrons des connaissances sur lui, sur sa forme, sur ses caractéristiques, sur son comportement. Cela produit une diminution de la charge attentionnelle. Concernant la

mémoire — la possibilité de stocker des informations et de les mettre à disposition —, il faut prendre en compte la différenciation entre la connaissance et l'information. Si la capacité à traiter l'information est bien le moteur du processus cognitif, cette capacité dépend de la façon dont la mémoire l'organise, la codifie et l'intègre. Ce processus est à l'origine de ce que nous appelons « connaissance ». C'est dans ce sous-processus que l'information acquiert une valeur ajoutée à l'intérieur de notre appareil cognitif. Au même temps, il permet de la récupérer pour l'action.

Différents modèles rendent compte de ce sous-processus. Le plus répandu est celui d'Atkinson et Shiffrin (1968) selon lequel la mémoire est une structure macro cognitive composée de trois éléments qui fonctionnent de manière séquentielle : une mémoire sensorielle à très court terme, une mémoire à court terme et une mémoire à long terme. Ce modèle prend en compte les thèses proposées par Waugh et Norman (1965), James (1890) et Miller (1956). Bien que généralement accepté, ce modèle présente certaines limites. Par exemple, le processus de test de l'information effectué par l'agent cognitif, devient un élément clé dans le contrôle du flux d'information du système à court terme (STS) vers le système à long terme (LTS). Cependant, Eysenck et Keane (2005) cataloguent ce modèle comme un schéma non écologique et critiquent l'utilisation du *buffer* (atténuateur) de données et ses limites naturelles, hypothèse soutenue par Miller (1956) sur la base de son chiffre magique sept. Ils soutiennent aussi que le modèle présente une structure rigide avec différents modules de stockage au fonctionnement linéaire (de SS vers STS et de STS vers LTS) qui ne reflète pas l'expérience quotidienne, laquelle est plutôt une activité multitâche et non linéaire de l'esprit, comment le montrent d'autres études. En effet, à partir de ces critiques, Baddeley et Hitch (1974) proposent un modèle de mémoire de travail qui suppose : a) l'existence d'un administrateur central, une sorte de contrôleur de l'attention (Baddeley et Hitch, 1974 ; Eysenck et Keane, 2005) ; b) une boucle phonologique et c) un calepin visuo-spatial. Ces deux derniers servent d'interprètes des informations acoustiques et spatiales et guident l'action dans un processus continu qui les intègre à l'aide d'un *buffer* épisodique dans cet espace de mémoire sensorielle et de mémoire de travail.

Nous disposons également d'une taxonomie sur la mémoire à long terme. Celle-ci a été développée à partir des études sur la mémoire et l'oubli chez les patients souffrant de lésions cérébrales (Brion et al., 2001; Dieguez et Annoni, 2013 ; Kopelman et Bright, 2012 ; Langer, 2019 ; L. R. Squire et Zola, 1996 ; Larry R. Squire, 2004 ; Ullman, 2006). Cette taxonomie propose deux types de mémoire : une non déclarative ou implicite et une autre déclarative ou

explicite. La mémoire non déclarative comprend la mémoire procédurale, le conditionnement classique, l'apprentissage non associatif et l'amorçage. La mémoire déclarative fait à son tour l'objet d'une bipartition : épisodique et sémantique. La mémoire non déclarative implique généralement un type de codage modal dans lequel interviennent les sens et les structures d'interaction telles que l'appareil moteur et glandulaire, entre autres. La mémoire déclarative, en revanche, semble coder de manière amodale. Elle est chargée d'établir une logique des événements temporaires et aussi de tout ce qui concerne le langage et les concepts. Même si ce dernier est normalement appelé stockage des connaissances en raison de son caractère amodal, il est important de signaler que pour notre recherche, la connaissance est bien plus que des structures d'information amodales. Cette hypothèse est fondée sur la théorie de la cognition incarnée (Varela et al., 1992) selon laquelle la connaissance couvre à la fois les processus modaux et amodaux, que ceux-ci se manifestent dans la mémoire à long terme ou à court terme. Pour nous, la mémoire à court terme fonctionne en termes d'informations connues de nature potentielle pour une action immédiate, tandis que la mémoire à long terme fonctionne en termes d'informations connues organisées, catégorisées, hiérarchisées et connectées, avec un certain nombre de possibilités d'utilisation latente mais non imminente. Lorsque l'action l'exige, ces informations peuvent être récupérées efficacement. Ces informations caractérisées peuvent alors être assimilés à l'idée des connaissances. Il est également important de noter que cette connaissance, une fois activée et/ou récupérée pour l'action, génère une boucle de mise à jour produisant sa propre réorganisation évolutive à partir de l'action entreprise.

L'**apprentissage** ainsi que le **raisonnement** et la **prise de décision** sont des processus de haut niveau qui utilisent la connaissance comme ressource de base. Dans le processus de mémoire, nous avons vu que la connaissance est le résultat d'une action de traitement de l'information. Cette information est organisée, codifiée et intégrée dans une série de structures en fonction du temps (court, moyen ou long terme). Ceci permet l'utilisation continue, pour l'action, de cette information codée de façon modale ou amodale. Quand nous parlons d'apprentissage, nous nous référerons à la manière dont la connaissance acquiert une valeur d'utilisation. L'apprentissage regroupe les ressources et les stratégies que l'agent cognitif a développées et qui sont disponibles pour être utilisées lors de son interaction avec l'environnement. Ensuite, le raisonnement et la prise de décision guident l'action en fonction des informations disponibles, par le biais des processus d'attention et de perception. Ces informations sont fournies par les stratégies et les ressources résultant d'une interaction antérieure avec des connaissances déjà acquises, c'est-à-dire des informations précédemment

traitées en mémoire. L'ensemble de ces processus et de leurs registres temporels respectifs à un niveau de mémoire épisodique donne lieu à l'action et à un flux constant d'information entre l'agent cognitif et l'environnement.

Concernant le **langage**, il existe différentes lignes de recherche, par exemple la linguistique cognitive (Fuchs, 2004) ou la logique propositionnelle (Desclés, 2005 ; Piaget, 1923). Celles-ci rendent compte de la relation entre le langage et la pensée. Le langage peut être compris comme un processus de représentation qui donne lieu à la connaissance. Ce processus entretient une relation étroite entre la réalité et les possibilités de sa manipulation par l'esprit. De ce fait, la stratégie de codage amodal s'exprime dans les relations entre signes et signifiants face à une réalité ontologique. Cette stratégie est limitée au caractère personnel et individuel de l'agent cognitif. Or, la connaissance ne se limite pas à une action individuelle, puisqu'elle répond à un processus dynamique entre un environnement où se trouvent plusieurs agents cognitifs. Pour cette raison, d'autres auteurs (Nyckees, 2007 ; Thomas et Michel, 1994) proposent que le langage est un processus cognitif résultant d'une action communicationnelle nécessaire à la survie. Dans cette perspective, le langage est une sorte de pont entre les connaissances collectives et individuelles. Ceci assure une dynamique durable de l'espèce dans un environnement devenant agressif au fil du temps. Une troisième et dernière idée considère la langue comme le résultat d'un processus d'apprentissage. Dans cette perspective, le langage est le moyen de donner un sens à la réalité. L'individu organise cette réalité en termes sémantiques, ce que lui permet de fonctionner sur un pied d'égalité avec ses pairs, assurant ainsi une interaction adéquate avec l'environnement. Toutes ces perspectives montrent la relation étroite entre la connaissance et le langage, boucle existentielle qui rend possible l'action entre l'agent cognitif et l'environnement. Cela est valable aussi bien dans une relation individuelle avec lui-même que dans une relation collective avec les autres agents cognitifs. Il est important de tenir compte du fait que le langage se manifeste comme un processus cognitif de haut niveau qui utilise des structures lexicales et grammaticales partagées par plusieurs agents cognitifs pour dynamiser leur action dans l'environnement de manière continue et prolongée. Il permet ainsi de générer un système de connaissances partagées, comparable, gérable et transférable, qui se manifeste dans le comportement des agents cognitifs et dans l'évolution même de la connaissance au fil du temps.

1.1.3. De la représentation à l'acte de représenter

Après avoir analysé la représentation comme un acte linguistique et cognitif, et la connaissance comme le résultat de l'interaction et des opérations au sein de notre machinerie cognitive, nous nous intéressons à l'analyse de la représentation de la connaissance en tant qu'activité. Nous nous servons pour cela de l'approche de l'ergonomie. Nous souhaitons traiter l'activité de représentation des connaissances non seulement comme une activité cognitive ou linguistique, mais aussi comme une activité productive qui peut être améliorée ou facilitée. Pour cela nous utiliserons les éléments théoriques et méthodologiques propres à l'ergonomie de l'activité.

Dans le domaine ergonomique, l'activité désigne le processus d'interaction intelligente d'un opérateur avec les exigences de sa tâche, les limites de l'environnement, son état interne et ses objectifs individuels (Teiger et Falzon, 1995). C'est le résultat d'une construction personnelle ou collective qui implique une série d'éléments qui ne sont pas nécessairement axés sur la tâche ou sur l'agent cognitif qui fait l'action tout seul. C'est l'interaction de tous les processus de régulation constante des opérateurs dans le milieu. C'est dans cette interaction qu'il est possible de faire de l'ergonomie.

Un premier point à traiter dans cette perspective est de situer cet acte de représenter, en tant qu'activité, au sein d'un milieu productif. Dans le cas particulier de notre recherche, cette activité se place dans un secteur très spécifique : l'enseignement et la recherche. Revenons alors à l'acte de représentation. Si nous nous concentrons uniquement sur l'action linguistique ou cognitive, nous pouvons éclairer certains éléments du phénomène au niveau d'un agent cognitif. Cependant, cela ne permettra pas de comprendre les effets de ce phénomène au sein d'un système sociotechnique, tel que l'enseignement et la recherche. Il est donc nécessaire de situer cet agent cognitif et son acte de représentation dans un contexte dit « productif ». Ce contexte nous permet de comprendre cet acte comme un maillon d'une chaîne plus complexe qui associe d'une certaine manière une dynamique de changement et des échanges des connaissances. Cette dynamique est le résultat d'une sorte de phénomène d'émergence produit par l'interaction des agents cognitifs et des connaissances dans un milieu qui a besoin de cette dynamique. Le deuxième point dans cette perspective ergonomique, une fois que l'activité et l'environnement où elle est réalisée sont définis, est d'identifier les actants (Latour, 1996). Dans ce cas, nous parlons de deux entités : d'une part, les agents cognitifs qui ont la capacité de représenter, c'est-à-dire qu'ils possèdent de la perception, du langage et de la cognition pour manipuler des

éléments du plan ontologique (réalité), et de les amener au plan cognitif (connaissance), par l'utilisation de symboles (langage). D'autre part, les connaissances échangées, modifiées et transférées par ces agents cognitifs. Ces deux entités forment un système qui permet de l'interaction, donc de la dynamique et du mouvement. Un troisième et dernier point de cette approche ergonomique est que l'acte de représenter requiert une *interaction intelligente*. Cela signifie que la représentation doit répondre aux demandes du système, en utilisant des informations explicites ou non, sur l'état interne, l'environnement externe, la situation, l'action, etc., afin d'atteindre l'équilibre entre le sujet et le système. Dans cet acte de représentation de la connaissance, des agents cognitifs interagissent avec la connaissance permettant à l'agent de tracer ses propres objectifs adaptés, seul ou en groupe, afin de réguler l'activité. La représentation n'est donc pas seulement le résultat d'un processus perceptif, linguistique et cognitif : c'est aussi une activité qui s'inscrit dans un système sociotechnique productif où les connaissances sont échangées par l'interaction intentionnelle et intelligente des agents cognitifs qui assurent leur fonctionnement et celui du système.

En résumé, nous avons analysé le problème de la représentation des connaissances à partir de différents points de vue : le langage, la cognition et l'ergonomie. Le premier de ces éléments a montré que la représentation est un acte linguistique qui met en relation l'ontologique, l'abstrait et le symbolique avec des objectifs opérationnels dans un environnement réel. Ensuite, nous avons mis en avant le fait que la connaissance est le résultat d'un processus complexe de cognition. Nous avons mis en évidence les relations entre les différentes structures cognitives et ce potentiel de connaissance, l'apport de l'acte de représentation et la manière dont celui-ci s'enrichit du continuum d'interactions entre agent cognitif et environnement. Enfin, pour l'ergonomie de l'activité, la représentation de la connaissance doit être analysée comme une activité au sein d'un système productif. Nous avons souligné l'importance des concepts comme la régulation, le contexte, le système, ainsi que de ses relations internes, entre autres l'interaction, les actants. Ces trois éléments théoriques nous permettent d'établir un lien entre l'activité de représentation des connaissances, notre objet d'étude, et les différentes relations intrinsèques qui existent aussi bien au niveau des structures cognitives et fonctionnelles de l'esprit qu'au niveau de la relation avec l'environnement et le système de connaissances. Dans la section suivante, nous analyserons la représentation dans les systèmes à base de connaissances. Cette analyse nous permettra de rendre compte des aspects particuliers de la représentation non humaine et de certains outils dont nous nous servirons pour la partie expérimentale de cette recherche.

1.2. Les systèmes à base de connaissances

Le terme système à base des connaissances désigne tout système qui utilise une masse importante de données, de faits et d'expériences plus ou moins spécifiques relatives à un espace d'action délimité, pour résoudre intelligemment un problème. Ces systèmes cherchent à résoudre des problèmes clairement définis comme le ferait un être humain expert dans un domaine spécifique. Dans cette section, nous nous intéressons aux systèmes fondés sur la connaissance afin de faire émerger certains éléments conceptuels nécessaires pour notre recherche.

1.2.1. Intelligence artificielle, systèmes experts et architectures cognitives.

Dans le domaine des sciences cognitives, l'informatique fait partie des structures de connaissances qui développent des méthodes, des théories et des modèles pour faire avancer la recherche et la compréhension des phénomènes cognitifs de manière pragmatique. Un domaine particulièrement actif est celui de l'intelligence artificielle (IA) qui se spécialise dans l'étude du phénomène de l'intelligence parmi d'autres processus cognitifs de haut niveau. Ces phénomènes fournissent aux systèmes artificiels des processus de décision et de résolution de problèmes dont les réponses et les résultats sont proches de ceux d'un être humain dans la même situation. À cette fin, le domaine de l'IA a développé des modèles, des méthodes et des architectures qui permettent la création de systèmes fondés sur la connaissance et le savoir-faire. Cependant, cette manipulation des connaissances et du savoir-faire conduit à des problèmes complexes tels que l'apprentissage symbolique, la modélisation, l'acquisition et la gestion de bases de données de connaissances, la représentation et les formes d'utilisation de ces connaissances, entre autres. Pour cette raison, ce domaine travaille main dans la main avec d'autres axes des sciences cognitives, notamment la psychologie et la linguistique, afin de pouvoir s'approcher à l'usage de la connaissance dans la pratique.

L'origine des systèmes experts remonte aux années 1960. La communauté scientifique des sciences cognitives qui travaillait sur l'IA tentait de relier les règles du raisonnement et de la logique mathématique afin de créer un superordinateur capable de résoudre efficacement et de façon performante des situations dans lesquelles les êtres humains étaient limités. L'une des grandes avancées à ce sujet est le célèbre *General Problem Solver (GPS)* de Newel (1956). La base du système utilise une série d'étapes nécessaires pour changer un état initial vers un état attendu à partir de la résolution d'un espace problème. Chaque problème peut être posé comme un ensemble de conditions qui contiennent à la fois un ensemble d'opérations et de conditions

préalables qui permettent au système de réduire les différences entre l'état initial et l'état final⁵. Même si les résultats du GPS n'ont pas répondu aux attentes⁶ de ses créateurs, ce premier exercice a donné lieu à la conception de systèmes tels que le MYCIN⁷, DENDRAL⁸ et des architectures dites cognitives comme SOAR⁹ et ACT-R¹⁰ qui ont posé les bases pour les avancements des architectures plus modernes pour l'IA.

Selon Naylor (1983), un système expert se caractérise non seulement par la prise de décisions intelligentes, mais aussi par la possibilité de justifier la logique de son raisonnement. Le but est que l'utilisateur puisse à un moment donné comprendre comment la réponse a été construite. Ainsi, les contributions de la psychologie cognitive dans le champ des techniques de simulation psychologique ont permis de reproduire des modèles et des fonctions cognitives de haut niveau et de l'IA. L'intérêt est de construire une machine dont le comportement soit intelligent. Plus tard, ces travaux sur l'IA ont été enrichis par l'intégration des théories linguistiques. Celles-ci ont permis le développement des travaux sur le traitement du langage naturel et des théories connexionnistes qui permettent la création des architectures cognitives artificielles. Ces dernières permettent aux machines de développer ce qu'on appelle *l'apprentissage profond*, une sorte de technologie ayant connu d'importantes avancées dans les deux dernières décennies. C'est le cas des modèles d'intelligence artificielle capables de maîtriser de jeux complexes comme le *Go* ou le *Starcraft*, de parler de manière cohérente avec un humain ou d'imiter des processus complexes tels que la production écrite ou l'interprétation visuelle d'une scène naturelle.

Les systèmes fondés sur la connaissance sont développés comme des outils-soutien pour résoudre des problèmes complexes, pour lesquels il n'existe pas une procédure de solution clairement définie ou qu'il est impossible de réduire à une heuristique des procédures algorithmiques classiques. En général, ces systèmes utilisent des séquences d'actions connues et convenues au préalable par une communauté d'experts dans le domaine d'application dans

⁵ Par exemple, la formalisation du problème de la tour de Hanoï.

⁶ Le passage du problème de laboratoire au monde réel était compliqué car les permutations exploratoires de l'espace du problème pouvaient être extrêmement longues et presque infinies si la formalisation du problème était complexe.

⁷ Système à base de connaissance utilisé pour le diagnostic hématologique.

⁸ Système à base de connaissance qui a facilité l'inférence des structures moléculaires. Il est devenu populaire parmi les chimistes et les biologistes dans les années 80.

⁹ *State, Operator And Result* (État, opérateur et résultat), développé par John Laird et Allen Newell, pour la représentation et la résolution de problèmes.

¹⁰ *Adaptive Control of Thought-Rational* (Contrôle adaptatif de la pensée rationnelle) développée par John Robert Anderson et Christian Lebiere pour définir les opérations cognitives et perceptuelles discrètes et irréductibles qui permettent à l'esprit humain de fonctionner.

lequel le système est développé. L'idée centrale est que ces systèmes aident à prendre des décisions dans des conditions d'informations insuffisantes ou imprécises. Un exemple de ce développement de systèmes fondés sur la connaissance a été présenté par Elstein et Bordage (1988) pour des tâches de diagnostic clinique. Ils ont travaillé en analysant les séquences d'actions liées au diagnostic clinique comme un processus complexe réalisé par des médecins experts. Dans leur étude, ils postulent l'existence d'un cycle en quatre étapes qui caractérise le processus de diagnostic : une première où il est nécessaire d'obtenir des indices sur les symptômes du patient, une deuxième étape où des hypothèses possibles sont générées, une troisième étape où ces symptômes et indices sont interprétés et vérifiés et une quatrième et dernière étape où les hypothèses sont évaluées pour choisir celle qui correspond le mieux aux indices évalués. Si ces derniers indices sont satisfaits, le diagnostic est élaboré et accepté, sinon un nouveau cycle de recherche d'indices est lancé. Ce type d'activité, difficile à simuler sur l'ordinateur, et d'autres similaires, ont été largement étudiés dans le domaine de la décision. Depuis vingt ans, plusieurs implémentations informatiques de processus décisionnels fondés sur ce type d'études ont permis la conception d'algorithmes utilisant des techniques telles que les réseaux neuronaux artificiels, les machines à vecteurs de support, l'apprentissage par renforcement, l'apprentissage multi-agents, les algorithmes bio-inspirés, les chaînes de Markov, les réseaux bayésiens, les algorithmes génétiques et la logique floue entre autres.

La mise en œuvre d'un système fondé sur la connaissance comporte des éléments structurels et fonctionnels. Nous avons vu l'importance des algorithmes de prise de décision. Ceux-ci sont essentiels dans la dynamique fonctionnelle d'un système de ce type. Cependant, il est important de souligner les caractéristiques structurelles de ces systèmes. De nombreux systèmes fondés sur la connaissance ont une structure à trois composantes : la mémoire de travail, la base de connaissances et le moteur d'inférence (García Leal et Pedroza Cabrera, 2011 ; Jackson, 1987 ; Libório et al., 2005 ; Ohsuga, 1983 ; Ramirez et Valdes, 2012). La mémoire de travail stocke des informations et des connaissances déclaratives relatives au problème à résoudre ainsi que les différents états du système tout au long de l'activation. La base des connaissances, de son côté, stocke les représentations de la connaissance et les relations entre les concepts. Ces relations peuvent être du type interne ou liées au type de la tâche exécutée. Enfin, le moteur d'inférence contient des informations fonctionnelles pour la prise de décision, ainsi que pour structurer ses fonctions déductives et ses actions possibles sur la connaissance et ses représentations. L'avantage de ce type de système est que l'organisation interne de son contenu est significative concernant les connaissances représentées. Ces

systèmes comprennent suffisamment de connaissances pour pouvoir raisonner comme le ferait un expert dans une certaine situation. Cependant, pour cela il faut un ensemble important de connaissances, concernant aussi bien des concepts que leur utilisation. Quant à ces dernières, il faut un entraînement de type heuristique, surtout dans les aspects de manipulation et de gestion de ces connaissances. Garcia Leal (2011) propose quelques lignes directrices sur les caractéristiques minimales que doit avoir un système de ce type. Selon Hayes-Roth (1984), un système fondé sur la connaissance doit a) résoudre des problèmes très difficiles aussi bien ou mieux qu'un expert humain ; b) raisonner de manière heuristique, en utilisant des règles que les experts humains considèrent comme efficaces ; c) interagir efficacement et en langage naturel avec les humains ; d) manipuler des descriptions symboliques et raisonner à leur sujet ; e) fonctionner avec des données erronées et des règles imprécises ; f) envisager simultanément plusieurs hypothèses alternatives ; g) expliquer pourquoi ils posent leurs questions ; et h) justifier leurs conclusions. Dans son application pratique, Waterman (1985) souligne également que : a) il doit posséder un haut degré d'efficacité pour résoudre efficacement les problèmes spécifiques à son domaine d'intervention – cette efficacité est considérée comme équivalente à celle dont font preuve les experts humains dans ce domaine – ; b) il doit être flexible, il doit permettre l'incorporation immédiate des nouvelles connaissances acquises par la communauté scientifique ; c) il doit servir de modèle de résolution efficace des problèmes dans son domaine d'intervention ; d) il doit servir de modèle pour la résolution des problèmes dans son domaine de connaissance, de telle sorte qu'il n'apporte pas seulement des solutions adéquates et valables aux problèmes connus, mais qu'il soit capable de résoudre avec succès des problèmes nouveaux auxquels il n'a jamais été confrontée auparavant ; et, enfin, e) il doit permettre un entraînement spécialisé. Ces exigences ont incité à développer la structure de ces systèmes en cherchant à organiser la connaissance ou le corpus indépendamment de leurs procédures de manipulation. Cette proposition a été régularisée avec le temps et elle est habituellement maintenue jusqu'à aujourd'hui dans le développement de ces systèmes. Les structures actuelles permettent que les connaissances spécifiques sur le champ d'action ou le domaine du système soient représentées de manière explicite et visible afin d'être séparées du reste du système. C'est-à-dire, dans un système réel fondé sur la connaissance, que nous avons clairement organisé la connaissance sous la forme d'un corpus qui sera exploité par un moteur d'inférence pour obtenir des résultats cohérents. Ce corpus peut être modifié, amélioré, mis à jour de manière à ne pas altérer le reste des composants. D'autre part, le moteur d'inférence peut être réutilisé avec un autre corpus ou amélioré en fonction des cas heuristiques de son utilisation. Un tel moteur est généralement organisé sur la base de règles de production de la forme *si-alors*, ce qui permet d'esquisser un

processus de raisonnement et de l'améliorer par sa mise en œuvre. Dans la pratique, les systèmes fondés sur la connaissance ont été mis en œuvre avec succès au cours des dernières décennies et constituent une technologie puissante au fort potentiel pour les années à venir.

Cependant, ces systèmes présentent également des inconvénients. Le premier réside dans la taille du corpus que certains types de domaines peuvent exiger. La base de connaissances requise est de plus en plus importante, et les limitations en termes d'organisation et de structure minimale de ces connaissances génèrent une série de problèmes qui doivent être résolus. Un autre inconvénient est la nature computationnelle de ces informations et la puissance d'exécution des tâches. Les architectures cognitives ont permis un large développement dans ce domaine, mais restent coûteuses. Si la tâche peut être résolue par des méthodes algorithmiques dans un délai raisonnable, la création d'un tel système serait trop coûteuse et ne présenterait aucun avantage par rapport à un système commun développé à partir de l'informatique classique. La tendance actuelle fait référence à la possibilité de créer des systèmes compétents qui impliquent également un exercice d'interprétation, d'évaluation et d'élaboration de nouvelles connaissances. C'est-à-dire qu'il faut chercher des solutions performantes, mais aussi en tirer des enseignements pour les améliorer. Les réseaux neuronaux convolutifs (Lecun et Bengio, 1995) et les transformeurs (He, 2021) montrent des améliorations considérables dans le domaine de l'IA. Ce parcours historique révèle de quelle manière les systèmes à base de connaissance ont permis le développement de l'IA. Dans la section suivante, nous nous focalisons sur les aspects pragmatiques de la représentation de la connaissance dans le cas des agents non humains.

1.2.2. Techniques de représentation de la connaissance en IA

Cette section fait une présentation générale des principales techniques de représentation des connaissances dans le domaine de l'intelligence artificielle : la représentation logique, les réseaux sémantiques, les *frames* et les règles de production. L'objectif de cette présentation est de connaître le type d'outils que nous pourrions utiliser dans le cadre de cette recherche.

a) Représentation logique

L'une des premières techniques utilisées pour la représentation des connaissances dans le domaine de l'IA est la représentation logique. Il s'agit d'un langage qui utilise des règles concrètes pour organiser une série de propositions ou de déclarations sur le monde réel reflétant d'une certaine manière les connaissances existantes sur un sujet. Cette connaissance est

représentée par la structure logique de ces propositions. Celles-ci sont définies comme des déclarations vraies ou fausses, évitant ainsi toute sorte d'ambiguïté. Grâce à la représentation logique, on peut arriver à une conclusion (vraie ou fausse) si les propositions précédentes remplissent certaines conditions. Il est également important de noter que ce type de représentation établit certaines règles minimales pour sa mise en œuvre. Ces règles génèrent ainsi une sorte de syntaxe et de sémantique propres et bien définies. Ceci facilite et permet une inférence solide dans les opérations effectuées avec ces propositions. Lorsque nous parlons de syntaxe dans cette représentation logique, nous faisons référence aux règles qui déterminent comment nous pouvons construire des phrases. En même temps, ces règles définissent le type de symboles que nous pouvons utiliser pour représenter tout type de connaissances et les mettre en relation. Par ailleurs, lorsque nous parlons de sémantique au sein de cette représentation logique, nous nous référons aux règles avec lesquelles ces propositions sont interprétées. C'est-à-dire que nous évaluons le sens de chaque phrase par rapport à sa vérité ou sa fausseté. La représentation logique peut être classée principalement en deux types : la logique propositionnelle et la logique des prédicats.

La logique propositionnelle ou calcul des propositions en logique mathématique est l'étude des relations de vérité et de fausseté qui se produisent par des opérations logiques appliquées à ces déclarations. Ces relations peuvent être de négation, de conjonction, de disjonction, d'implication ou d'équivalence. Ceux-ci ont leur contrepartie dans le langage naturel comme : non, et, ou, alors, égales respectivement. Ce type de logique a été la base des premiers langages de programmation dans le domaine de l'informatique. Elle utilise une séquence de déclarations vraies ou fausses pour construire une structure logique qui déclenche une réponse soit vraie ou fausse à partir d'une inférence. Cette dernière vérifie que certaines ou toutes les conditions définies précédemment soient remplies. Il est important de noter que cette représentation logique a certaines limites. La logique peut ne pas être très naturelle ou inexpressive pour certain type de connaissance, surtout si celui-ci est difficile à aborder. Cela peut entraîner une mauvaise inférence. Un autre inconvénient courant est que l'utilisation des ressources peut être exponentielle, puisque pour une simple connaissance un nombre assez important de règles est parfois nécessaire. Par ailleurs, nous disposons du calcul des prédicats qui, dans la même logique mathématique, est utilisé comme un système formel permettant l'analyse des inférences dans un langage du premier ordre ou langage formel. Un langage formel peut à son tour être compris comme un ensemble de mots bien formés ou de mots conformes à une syntaxe spécifique. Le langage formel pourrait également être compris comme un macro-

ensemble qui comporte un ensemble de symboles primitifs (alphabet) et un ensemble de règles pour joindre ces symboles (grammaire) formellement spécifiés, et qui donnent lieu à une logique d'utilisation (syntaxe). C'est-à-dire que les possibilités combinatoires des règles et de l'alphabet qui produisent un ensemble d'éléments combinés corrects (formules) font un langage formel. Mathématiquement parlant, un langage formel serait égal à l'ensemble de toutes ces formules correctes. Ce type de logique utilise des prédicats afin de relier différentes expressions ou entités linguistiques et de former des phrases. Ces liaisons expriment des *propriétés* lorsqu'elles relient une seule entité ou des *relations* lorsqu'elles en relient plusieurs. Toutefois, dans le domaine de la logique, elles sont utilisées dans le seul but de déterminer le raisonnement entre les différentes entités. Les prédicats dans ce domaine sont considérés davantage comme une sorte de fonction et les entités comme leurs arguments. Pour mettre en pratique ce type de logique et manipuler ces arguments, on utilise une forme de représentation fondée sur des expressions linguistiques au sein de l'alphabet. Ces expressions peuvent être du type : a) *constant*, lorsqu'elles se réfèrent à une entité de caractère unique dans le langage formel, indépendamment de son existence ; ou b) *variable*, lorsqu'elles se réfèrent à une entité qui existe selon le contexte en question. Enfin, ces entités ou arguments sont reliés au moyen d'un *prédicat fonction* qui permet d'établir la logique de relation de ces éléments. De plus, en logique mathématique, on formalise les notions de quantificateurs, qui sont des expressions qui affirment la véracité d'une condition donnée entre deux arguments ou entités de caractère numérique. En logique classique, il existe deux quantificateurs couramment étudiés : l'universel et l'existentiel, qui ont leur équivalent en langage naturel dans les expressions « pour tous » et « au moins ». La logique des prédicats et les langages formels ont été largement utilisés dans les domaines des mathématiques, de la linguistique et, bien évidemment, dans le développement de l'informatique et de ses langages de programmation.

b) Représentation dans les réseaux sémantiques

Une autre des techniques de représentation des connaissances en IA est les réseaux dits sémantiques, proposés dans les années 1960 (Collins, 1969 ; Quillian, 1966). Ils essaient de modéliser certaines caractéristiques de la mémoire sémantique chez l'homme. Cette technique a ensuite été utilisée comme alternative à la logique prédictive. L'objectif central est d'établir non seulement une inférence de caractère véritable, mais aussi l'instanciation d'un objet ou d'un concept par des connexions avec d'autres objets ou concepts, dans le cadre de la connaissance que nous essayons de représenter. Les réseaux sémantiques représentent la connaissance avec

des expressions linguistiques sous forme de réseaux graphiques. Ces graphes sont organisés à l'aide de nœuds et d'arcs de connexion. Les nœuds sont des espaces de réseau capables de représenter tout objet ou concept du monde réel, quel que soit son caractère abstrait. Les arcs sont utilisés pour décrire les relations entre les objets ou les concepts au sein du savoir représenté. Ainsi, un réseau est capable de s'étendre ou de se développer facilement de manière très complexe, en reliant les objets et les concepts de manière simple et en permettant l'émergence de caractéristiques communes qui facilitent leur catégorisation au sein d'un espace de connaissance. Les relations de base au sein d'un réseau sémantique sont de type *est un* (appartenance) et *sorte de* (inclusion) qui implique un sentiment d'appartenance et en même temps d'héritage. C'est-à-dire, les concepts ou objets qui ont une relation de ce type acquièrent par défaut les caractéristiques de l'objet parent. L'un des principaux problèmes de ce type de représentation est le coût de calcul. Une routine de requête doit passer par une partie représentative dans l'arborescence complexe du réseau. Cela peut prendre du temps et des ressources de calcul importantes selon la complexité, le nombre de concepts et de relations existantes. Il est important de tenir compte du fait que dans le pire des cas, après avoir parcouru l'ensemble du réseau, une solution peut ne pas être trouvée parce qu'elle n'existe pas pour ce réseau. Dans ce type de représentation, il n'y a pas de quantificateur du type pour tous, pour certains, pour aucun, etc. Ceci rend difficile la représentation des généralités et si on prend en compte qu'il n'y a pas de norme dans les noms des relations entre concepts, ni dans les routines de consultation, toute représentation de ce type s'organise par rapport à la logique utilisée par le créateur de la même. Cependant, l'un des principaux avantages de ce type de représentation est qu'elle manifeste de manière naturelle la logique de représentation sur laquelle s'appuie une connaissance. D'ailleurs, cette représentation transmet de manière transparente le sens des choses, et elle est facile à comprendre aussi bien par un agent humain qu'artificiel.

c) La représentation en *frames*

La représentation des connaissances au moyen de *frames* utilise comme technique un type de structure similaire à un enregistrement dans une base de données. On peut dire que c'est un ensemble d'attributs et de valeurs permettant de décrire n'importe quelle entité dans le monde. Ces structures de données divisent les connaissances en sous-structures qui peuvent représenter des situations d'utilisation particulière et se relier les unes aux autres pour rendre compte des connaissances sur un objet, un concept ou une situation. Ce type de méthode fait que les connaissances peuvent être facilement agrégées sans avoir besoin d'être calculées en

permanence. Elles prennent plutôt la forme d'un bloc d'informations récupéré selon les besoins. Les relations entre les *frames* peuvent être facilement décrites dans un réseau sémantique. Un *frame* peut être considéré comme un *réseau sémantique structuré*. En outre, un *frame* permet également la combinaison avec la logique des prédicats, qui génère des structures de raisonnement et rend possible le développement d'un moteur d'inférence à partir des connaissances manipulées. Une structure de *frames* permet également des constructions hiérarchiques fondées sur l'héritage. Pour cela, il faut établir une structure minimale : a) un nom, b) un parent ou sa nature et c) un ensemble d'attributs ou d'emplacements où sont instanciées des valeurs qui montrent la connaissance que nous avons de cet objet. À son tour, l'emplacement ou *slot* possède une sous-structure d'attributs organisée par un nom unique dans le *frame*. La valeur assignée à ce *slot* est une séquence d'informations procédurales concernant l'objet. Grâce à cette structure, les *frames* ont des méthodes ou des fonctions qui permettent de récupérer des informations à partir d'autres *frames* liés. Par exemple, vous pouvez obtenir des informations et des définitions qui se trouvent dans un *frame* parent, les utiliser et le transmettre facilement à un *frame* enfant. Ces types de cadres et de méthodes ont des caractéristiques communes avec les principes de la programmation orientée à objets et avec la structuration de base de données.

Le principe psychologique qui soutient ce type de représentation repose sur des inférences pour la prise de décision, fondées sur des normes et des situations familières qui précèdent la production de connaissances. Pour Minsky (1974), concepteur de la théorie des *frames*, il ne s'agit que de structures de données utilisées pour représenter une situation stéréotypée, c'est-à-dire une situation où la logique des événements et des comportements est récurrente et similaire à un prototype dont le résultat est relativement prévisible et ajustable. Ainsi, un *frame* contient plusieurs types d'informations associées : a) comment utiliser le *frame* ; b) résultat possible une fois le *frame* activé ; c) que faire si les attentes comportementales du *frame* ne sont pas satisfaites. Les informations contenues dans les *slots* sont utilisées pour connaître à la fois le *frame* et sa relation avec d'autres *frames*. Ceci peut permettre l'émergence d'un réseau d'activation, où les informations initialement reçues par un *frame* peuvent activer d'autres informations connectées permettant de prévoir ou d'anticiper les informations requises pour une situation donnée. Les *frames* sont largement utilisés dans le développement de l'IA, en particulier dans la construction des taxonomies et dans des applications de traitement automatique du langage. Parmi leurs principaux avantages, ils facilitent la programmation puisqu'ils regroupent des données connexes qui peuvent être récupérées sans avoir recours au

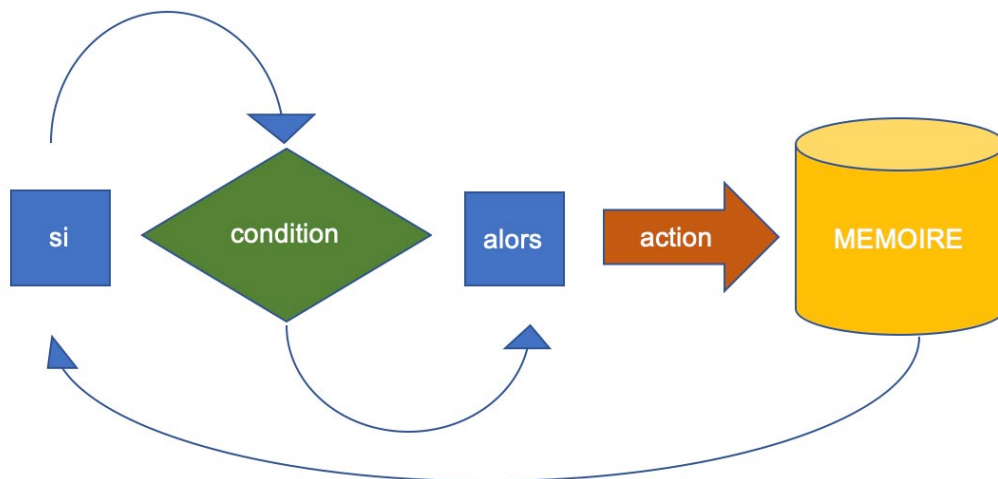
calcul. La représentation elle-même est flexible et permet son utilisation récursive tout au long d'un développement. L'assignation de nouveaux attributs à une entité basée sur une nouvelle connaissance acquise est facile à relier à celle qui existe déjà. Il est possible de créer des moules avec des valeurs par défaut et de ne chercher que celles qui sont nécessaires. Cela facilite le processus de calcul et réduit la consommation de ressources. Il est également lisible pour un agent de type humain, car il s'agit d'un outil où la connaissance stockée est compréhensible et exprimable en termes visuels. L'un des principaux inconvénients est que les mécanismes d'inférence requièrent un traitement plus coûteux en calcul ce qui empêche de mettre en place un mécanisme d'inférence efficiente et de généraliser l'outil.

d) La représentation en règles de production.

Les règles de production sont une méthode procédurale fondée sur des relations inférentielles au sein d'un processus de type algorithmique pour représenter la connaissance. D'une certaine manière, elles s'opposent aux autres méthodes, uniquement fondées sur un processus déclaratif de faits. Les règles de production sont des déclarations conditionnelles du type *SI – ALORS*. C'est-à-dire que ce sont des caractéristiques de la condition d'action organisée par l'instanciation d'une règle et l'utilisation d'une mémoire de travail lors d'un cycle reconnaissance – action (*Figure 4*).

Figure 4 :

Cycle de reconnaissance – action.



Note : Diagramme de flux d'une règle de production If - then, élaboration personnelle (2021)

Dans la structure d'une règle SI – ALORS, les antécédents sont les conditions et les conséquences sont les conclusions, les actions ou les hypothèses. Ainsi, chaque règle elle-même est une connaissance encapsulée et couplée afin de rendre compte d'un processus d'inférence dans le système. Si ce couplage utilise l'activation d'une règle où les antécédents sont des faits

du système, on parle de *chaînage avant*. Si, au contraire, le couplage utilise l'activation de la règle lorsque les conséquences sont des faits du système, on parle de *chaînage arrière*. Lorsque l'on travaille sur le développement d'un système fondé sur des règles de production, il faut une architecture fonctionnelle minimale composée d'une base de connaissances, d'une mémoire active et d'un interpréteur de règles. La base de connaissances rassemble toutes les connaissances du système, aussi bien les faits que les règles. La mémoire active contient les faits qui représentent l'état actuel du problème : ceux initialement instanciés *a priori* et ceux inférés *a posteriori*, ainsi que l'ensemble des règles activées ou en conditions d'exécution. Enfin, l'interprète est celui qui orchestre l'activation des règles sur la base d'une certaine priorité ou hiérarchie si plusieurs d'entre elles sont activées en même temps. Il existe des règles spéciales *si tous* et *s'il y en a/si certains* qui ont une logique de prédicat correspondante aux connecteurs *et* et *ou*. Les règles de production présentent certains avantages importants : a) elles présentent une grande modularité. C'est-à-dire que chaque règle est une unité de connaissance relativement indépendante, petite et facile à manipuler et à calculer. b) Elles ont une bonne incrémentalité et modifiabilité. Il est possible de changer ou d'ajouter des règles sans affecter le reste du système. c) Elles présentent un caractère naturel et transparent. D'une part la connaissance exprimée est assez proche de la réalité et compréhensible pour les agents humains. D'autre part, les règles elles-mêmes n'expriment pas une capacité d'apprentissage : les résultats du problème ne sont pas stockés pour des utilisations futures. Ceci peut générer des problèmes d'inefficacité lorsque, dès les premières déclarations, plusieurs règles sont activées, créant ainsi des conflits.

Ces quatre techniques de représentation des connaissances font partie du domaine de l'IA. Leurs caractéristiques, leurs avantages et désavantages nous permettent d'identifier leurs possibilités de développement de l'activité de représentation chez les agents artificiels, ainsi que leurs relations avec les agents humains.

1.2.3. Représentation de connaissance : entre cognition humaine et cognition artificielle

Dans ce sous-chapitre, nous avons souligné les caractéristiques de la machinerie humaine et artificielle pour traiter, organiser et relier ce que nous appelons la connaissance. Dans la première partie, nous avons présenté certains éléments conceptuels sur l'acte de représentation selon différentes disciplines : la philosophie, la linguistique et la psychologie. Cela nous a permis de conceptualiser la représentation et de comprendre ses implications dans la relation entre le monde réel et le monde abstrait grâce à la médiation de l'être humain. Cet être humain

ne peut être compris autrement que comme un agent qui possède une machinerie cognitive organisée en structures permettant à la connaissance d'exister. Nous avons présenté cet appareil cognitif, en montrant la complexité qui existe entre le traitement de l'information et la construction de la connaissance, lorsque cet agent exerce l'activité de représentation de la connaissance. Ensuite, l'approche de l'ergonomie de l'activité nous a permis de caractériser les interactions entre cet agent cognitif et son environnement. Cet exercice a mis en avant le fait qu'il s'agit d'un système beaucoup plus complexe que nous le pensions. Puis, dans la deuxième partie, nous avons examiné les concepts clés des systèmes fondés sur la connaissance, leur histoire, leur fonctionnement, leurs implications cognitives et leurs caractéristiques. Enfin, nous avons présenté quelques éléments conceptuels importants sur les aspects pragmatiques de la représentation des connaissances dans le domaine de l'IA, ainsi que les techniques les plus connues pour représenter les connaissances dans ce domaine. L'ensemble de ces éléments serviront de base pour les arguments et les hypothèses développés dans les sections suivantes de cette thèse. La section suivante se focalise sur l'activité de la représentation de la connaissance à l'intérieur d'un système sociotechnique. Nous utilisons différents outils de l'ergonomie de l'activité et de la théorie des systèmes complexes pour expliquer les bases conceptuelles de l'interaction entre les agents cognitifs et les connaissances.

2. L'ergonomie de l'activité dans un système sociotechnique des connaissances

Dans ce sous-chapitre, nous analyserons la notion d'activité dans le cadre des études ergonomiques. Nous nous servirons de cette base conceptuelle pour analyser les phénomènes d'interaction entre les agents cognitifs et les informations instrumentées qui circulent dans un contexte hautement connecté et complexe. Ce sous-chapitre est divisé en deux sections. La première analysera les facteurs humains liés à l'activité de connaissance et la deuxième se concentrera sur la problématique des systèmes complexes, leurs caractéristiques et leurs outils.

2.1. L'ergonomie de l'activité de connaissance

2.1.1. Les facteurs humains liés à la gestion des connaissances

Dans la section précédente, nous avons défini la machinerie cognitive humaine comme une série de structures et de processus permettant de manipuler l'information et la connaissance. Nous avons également signalé que cette machinerie renforce le pouvoir de l'être humain en tant

qu'agent cognitif et lui permet d'interagir avec d'autres agents humains et non humains. Dans cette section, nous analyserons la façon dont ces agents gèrent l'information et la connaissance à l'intérieur d'un système sociotechnique. Nous nous focaliserons sur leur condition d'agent, c'est-à-dire d'entité qui agit, qui agence ou qui dirige quelque chose, en l'occurrence la connaissance.

L'être humain est un sujet bio-psycho-social en interaction constante. Il joue un rôle dans des contextes multiples. D'une part, il fait partie d'un monde biologique qui le dépasse et interagit avec lui. D'autre part, il fait aussi partie d'un monde sociétal et interagit aussi avec lui. Ce monde sociétal est l'expression d'une entité relationnelle et collective, résultat de milliers d'années d'histoire. Le rôle multiple d'interaction de cet agent cognitif lui permet d'être le médiateur dans les relations entre ces contextes biologique et social. Cet agent adapte ses propres états internes afin de parvenir à un équilibre fonctionnel et constant avec ces contextes. L'ergonomie appelle ce processus *régulation*. Au sein d'un système sociotechnique, cette régulation permet le maintien du macro système (environnement) et du micro système (sujet). Sur la base de ces prémisses, cette section analyse la question de la représentation de la connaissance dans le cadre d'une activité productive. Pour cela, nous utiliserons les outils fournis par l'ergonomie de l'activité et certains de ses concepts.

2.1.2. De l'activité prescrite à l'analyse de l'activité réelle

Dans *Repères pour l'analyse de l'activité*, Leplat (2008) fait une réflexion sur le travail qui sert à comprendre pourquoi nous nous intéressons à l'activité comme objet d'analyse :

« Pour le psychologue, comme pour l'ergonome, le travail est considéré comme une activité exercée par un homme ou une femme ou un ensemble de ces derniers. [...] on travaille toujours [...] pour et avec quelqu'un. Cette activité est la réponse que le travailleur donne aux exigences d'une tâche en même temps qu'il essaie de satisfaire à travers elle des finalités personnelles. Analyser l'activité, c'est chercher à découvrir les conditions dont dépend cette activité et par quels mécanismes elles la règlent » (Leplat, 2008, p. 4)

Notre objectif est donc d'analyser la représentation de la connaissance comme une activité au sein d'un travail concret, c'est-à-dire à l'intérieur d'un espace complexe d'interaction sociotechnique. À l'ère de la technologie et de l'information, le volume des données ne cesse d'augmenter. De plus en plus, le travail et les autres activités quotidiennes se développent dans un contexte mondial interconnecté où l'information et la connaissance sont facilement accessibles à tout moment et depuis n'importe quel endroit. Notre analyse se focalisera donc sur le coût psychophysiologique de cette accessibilité pour un travailleur issu

d'une activité représentative de ce nouveau contexte : la recherche et l'enseignement. Des phénomènes de surcharge cognitive, des problèmes de santé ou de basse performance sont de plus en plus fréquents dans ce type de contextes de travail. Quelques recherches sur le sujet montrent l'association entre ces problématiques et la quantité des informations à gérer quotidiennement par ce type de travailleurs (Isaac et al., 2007). La gestion de l'information est au cœur de l'activité professionnelle de ce type de travailleur.

L'un des principaux outils de l'ergonomie est ce qu'on appelle *l'analyse d'activité*. Il s'agit de l'application d'un ensemble de techniques ergonomiques et psychologiques qui utilisent des outils d'observation et de collecte systématique d'informations afin d'obtenir des données sur l'activité réelle exercée par un sujet dans une situation et dans un contexte déterminé. Sur la base de ces données, nous pouvons modéliser et comprendre les déterminants de l'activité. L'ergonomie établit une distinction fondamentale entre l'activité réelle et la tâche ou l'activité prescrite. La première est la configuration des événements d'une interaction donnée entre le sujet en situation et le contexte, tandis que la seconde est l'objectif requis par des tiers qui peuvent exiger des formes et des contraintes particulières, propres à l'organisation ou à l'environnement. Leplat (1982, 2006, 2008) signale qu'il existe une différence significative entre ces deux types d'activité, et que cette différence se manifeste dans les gestes et les comportements du travailleur. Ces derniers sont les données de base sur lesquelles l'ergonome réalise ses analyses. Dans la même ligne théorique, Falzon (2004) distingue la tâche (tout ce qui doit être fait, avec une série d'objectifs et de conditions de réalisation prescrits : quantité, lieu, forme, temps, etc.) et l'activité elle-même (tout ce qui est fait, tout ce que le sujet met en jeu pour accomplir cette tâche).

Dans le cas de cette recherche, nous avons réalisé une analyse de l'activité réelle. Pour cela, nous avons décomposé la tâche prescrite *gestion de l'information* en deux activités subséquentes et connectées : une première activité de représentation des connaissances et une seconde de sauvegarde et transmission des informations. Notre intérêt est de montrer quels sont les facteurs déterminants qui permettent à un travailleur d'agir dans le contexte dynamique et complexe qui implique l'interaction avec la connaissance. D'un côté, la représentation, *situation a priori*, organise les possibilités de régulation individuelle, tout ce qui fait référence à l'incorporation des connaissances. D'un autre côté, le transfert, *situation a posteriori*, organise les possibilités de régulation collective pour le maintien des connaissances dans le temps et l'espace. Selon Falzon (2004), les déterminants de l'activité peuvent être de deux types : internes, propres au sujet, et externes, propres à l'environnement. L'individu au cours de l'action

cherche à établir un équilibre entre ces déterminants en faveur de l'exécution de l'activité. Cela permet, en fin de compte, l'accomplissement de la tâche de la meilleure façon possible. Ainsi, la compréhension des déterminants permet de rendre compte de tout ce qui facilite ou limite l'action et la réalisation des multiples objectifs que l'individu peut se fixer pour l'exécution d'une tâche particulière. Il est important de souligner que ces déterminants ne se manifestent que pendant l'action, avec le travailleur en situation. La régulation, de son côté, est un mécanisme de contrôle psychophysiologique de type boucle qui, à la fin d'un cycle d'activité, compare les résultats obtenus aux résultats attendus et reconfigure le processus interne et ses réponses en essayant de minimiser la différence détectée entre les deux (Faverge, 1966 ; Leplat, 1993 ; Falzon, 2004)

Cet exercice ergonomique nous permet de mener trois actions simultanées : a) Étudier l'individu en activité, ce qui facilite la modélisation claire et cohérente de l'activité réelle. b) Produire des connaissances utiles pour l'activité elle-même, c'est-à-dire nous donner des éléments pour favoriser le développement d'une action ergonomique de l'activité elle-même ou pour la conception des outils. c) Produire des connaissances qui contribuent à l'ergonomie comme discipline, c'est-à-dire générer des expériences méthodologiques et pratiques pour l'analyse et l'intervention dans des situations de travail similaires dans le domaine spécifique des travailleurs de la connaissance.

2.1.3. La genèse instrumentale, artefacts et cognition

L'analyse de l'activité réelle et du travailleur en situation demande de réfléchir à la problématique instrumentale. Pour Rabardel (1995), cette problématique est centrée sur l'être humain et adopte, par conséquent, une perspective anthropocentrique des artefacts. Pour lui, l'être humain est inscrit dans une dynamique d'activité, puisque, sans lui, l'idée d'instrument ne pourrait être. L'approche instrumentale prend en compte les aspects techniques et psychologiques qui interviennent dans une situation. Il tente d'expliquer empiriquement les relations existantes au sein d'un système sociotechnique centré sur l'être humain, que ce soit dans des contextes de travail, de formation ou de vie quotidienne. L'instrument est le résultat de l'activité sur et avec l'artefact. C'est tout ce qui se passe pendant l'utilisation d'un objet artefactuel, non seulement sur le plan médiatique, en tant qu'élément permettant d'atteindre un objectif ou une fin, mais aussi pour tout ce qui implique le développement et le déploiement du comportement humain au moment de son utilisation. Vygotsky (1978) a tenté d'expliquer ce processus en s'intéressant particulièrement à la conception de l'acte instrumental et à la

construction d'instruments psychologiques. Il suggère que les processus psychiques supérieurs, c'est-à-dire nos fonctions cognitives, sont nécessairement ancrés à trois éléments : la tâche (une structure complexe de stimuli), les instruments (connaissances sur les manières d'utiliser les ressources naturelles et psychiques propres du sujet) et l'activation des processus nécessaires à la résolution de la tâche (une réponse complexe d'interaction biomécanique, émotionnelle et corticale avec l'environnement). Rabardel adapte ces idées au domaine de l'interaction entre l'homme et les artefacts, en soulignant que ces derniers existent et sont transformés dans et par l'activité. Par conséquent, l'interaction entre le sujet et l'objet artefactuel dépasse la simple utilisation de l'objet comme moyen d'action et fait valoir l'interaction avec cet objet, qui devient un instrument. Celui-ci acquiert des caractéristiques significatives tant pour le sujet *travailleur* que pour l'activité *travail*. Ce raisonnement est la base du concept de genèse instrumentale développé par Rabardel .

Pour mieux comprendre cette proposition, il faut analyser la triade qui caractérise une situation d'activité avec des instruments (Rabardel, 1995, p. 53). Dans une action instrumentée il y a, en principe, un sujet (utilisateur, opérateur, travailleur, agent, etc.), un instrument (outil, machine, système, ustensile, produit, etc.) et un objet qui reçoit l'action de l'instrument dirigée par le sujet (matière première, situation, réalité, processus productif, conglomerat social, etc.). Cette triade est un outil non seulement pour l'analyse de l'activité en situation, mais aussi pour l'étude de l'interaction homme-machine, articulant une vision beaucoup plus complexe que la vision technocentrée qui se concentre sur l'échange d'informations avec l'artefact (l'interface). Lorsque nous analysons la machine comme un instrument, nous assurons l'existence de deux processus intelligents qui cohabitent : celui du sujet en tant qu'utilisateur dudit instrument pour l'action dans la tâche, et celui du sujet dans la conception de la machine en tant qu'instrument qui coordonne et coopère stratégiquement à l'activité d'un autre pour l'exécution de ladite tâche. Ainsi, la conception des machines dans le cadre de cette approche doit inclure d'une certaine manière une représentation de l'utilisateur et de son univers d'action, ce qui nous permet de concevoir des stratégies d'utilisation et de coopération entre les artefacts et l'utilisateur. Ceci peut-être similaire ou complémentaire à la conception des artefacts cognitifs proposé par Norman (1991), qui explique que lorsque la structure informationnelle et de traitement d'un artefact est combinée à la tâche et à la structure informationnelle et de traitement de l'être humain, le résultat final est une amplification ou une amélioration des capacités cognitives du système global (être humain, artefact et tâche). L'activité en situation permet de comprendre le processus de travail comme un système sociotechnique avec des travailleurs et des machines

qui interagissent de manière instrumentale. Ils entremêlent des objectifs qui émergent comme une activité productive à la fois individuelle et collective.

Dans leurs développements, Rabardel et Norman utilisent l'approche historico-culturelle de Vygotsky (1978) et de ses collègues Leontyev (1981a) et Luria (cité par Cole, 2017). Vygotsky comprend l'activité comme une configuration d'actions liées à l'utilisation d'instruments et/ou d'artefacts psychologiques conduisant à l'émergence d'un *acte instrumental*. Celui-ci révèle des processus psychiques supérieurs ainsi qu'un capital cognitif donné par la culture, que ces artefacts peuvent acquérir et transmettre. D'où l'importance de postuler l'acte instrumental comme une unité d'analyse essentielle pour sa psychologie. Leontiev, de son côté, utilise cette unité d'analyse pour développer sa propre théorie de l'activité, ou *conscience*. Celle-ci est un processus supérieur qui émerge de la relation constante entre le sujet, l'instrument et l'activité. Ce modèle sera complété plus tard par les travaux d'Engeström (1987) au sein de l'école nordique de l'activité. Enfin, à partir d'une approche neuropsychologique, Luria a étudié le fonctionnement du cerveau pendant l'activité. Il produit ainsi une conception fonctionnelle, distribuée et complexe de l'esprit, où les relations morpho-fonctionnelles rendent possible l'extériorisation des fonctions mentales en instruments avec des principes de *feedback* et de *feedforward* qui deviennent les régulateurs d'une activité complexe. Ces derniers sont aujourd'hui repris pour la conception de réseaux de neurones dans le domaine de l'IA(cf. Ch. 2 § 1.2). Vygotsky, Luria et Leontiev conçoivent l'instrument humain comme une possibilité d'externalisation des fonctions cognitives qui permet leur portabilité, puisqu'il emporte avec lui l'expérience humaine et permet sa transmission dans le temps et dans l'espace. Ainsi, l'instrument englobe plus qu'un simple univers en tant que support statique de l'action et deviendra un support dynamique, qui intègre l'expérience et la connaissance humaines pour l'exécution de ladite action. Celle-ci est à son tour configurée en fonction d'un objectif inhérent dont elle ne peut être détachée. Ainsi, les instruments finissent par remplir une fonction régulatrice, tant pour la transformation du milieu extérieur en fonction de l'objectif tracé par le sujet que pour le comportement de ce même sujet dans la séquence d'actions choisie dans l'utilisation de l'outil pour atteindre cet objectif. Cette fonction régulatrice se matérialise par la médiation des interactions entre le sujet et les caractéristiques artefactuelles de l'objet. Rabardel et Vigotsky sont d'accord sur le fait que le langage, les plans et les schémas sont des instruments psychologiques qui permettent de médiatiser la relation du sujet avec lui-même et avec les autres. Vigotsky organise les instruments par types : ceux qui permettent au sujet d'agir sur le monde matériel et ceux qui lui permettent d'agir sur lui-même. Cependant, dans l'utilisation de

ces deux types, il y a une unité d'analyse commune : l'activité instrumentée. Le prétendu acte instrumental fait toujours référence au sujet en train d'utiliser l'artefact. Les instruments peuvent alors être externes ou internes au sujet au même moment. Par exemple, un artefact sémiotique tel qu'un texte ou une lettre n'est pas seulement un instrument de connaissance qui sert à transmettre un savoir, un sentiment, une idée, vers l'extérieur, vers l'autre, mais aussi un instrument psychologique qui permet au sujet de gérer ses capacités cognitives au moment de son utilisation. Rabardel reprend également quelques éléments de Cuny (1993) pour définir les instruments comme une ressource d'informations dans le système « homme-tâche » de toute situation de travail. Cette ressource instrumentée garantit que les modes opératoires sont rendus manifestes pendant l'activité. Il est également pertinent de penser à l'importance du geste avec lequel l'action de l'instrument est matérialisée. Un instrument acquiert toujours une valeur cognitive dans l'utilisation par le geste, lorsque les connaissances avec lesquelles l'instrument a été conçu sont intégrées à l'action et finissent par optimiser le caractère opérationnel de l'activité, en prenant sur lui une partie de la charge de travail. Ce constat rejoint les réflexions de Rogalski et Samurçay (1993) sur l'utilisation des outils cognitifs, ainsi que les conclusions de Hutchins (2006) concernant les activités collectives et les systèmes de cognition distribuée dans son travail d'analyse des systèmes de navigation sociotechniques dans les avions et les bateaux.

Sur la base de toutes ces conceptions, nous reprenons la critique de Rabardel sur la vision prothétique avec laquelle sont développés les systèmes experts où le rôle de l'opérateur est réduit à un alimentateur de données pour la machine. La notion de *genèse instrumentale* donne une place à cet instrument comme un moyen de capitalisation de l'expérience humaine accumulée. L'instrument a par nature une fonction de connaissance qui s'imprègne naturellement dans ses formes et ses schémas d'utilisation. Cela confirme la nécessité de comprendre les usages instrumentaux dans le cadre contextuel de l'activité, qu'elle soit de nature collective ou individuelle, surtout lorsque cette analyse est réalisée dans un système sociotechnique. À cette fin, il faut penser que l'artefact et les schémas d'utilisation sont intrinsèquement associés, tout en conservant une relative indépendance en fonction des circonstances dans lesquelles ils sont utilisés. La situation et le contexte sont des variables auxquelles le sujet est confronté au cours de l'activité. Évidemment, ceux-ci modifient l'utilisation d'un artefact. L'acte d'instrumentalisation capitalise une activité donnée en situation, puisqu'il génère de nouveaux schémas d'utilisation pour des actions futures. La totalité de l'instrument, ainsi que chacun de ses composants, constitue une forme de capitalisation de

l'expérience humaine, c'est-à-dire de la connaissance. Celle-ci est enrichie par chaque situation d'action dans laquelle l'instrument est utilisé de manière circonstancielle. Cette palette de schémas capitalisés a été baptisée par Rabardel « champ instrumental » d'un artefact. On peut définir ce dernier comme l'ensemble des possibilités d'usage qui ont été accumulées et associées à l'artefact au fil du temps, par un processus de capitalisation des expériences d'action instrumentale.

L'approche instrumentale se concentre sur l'étude de ces différences entre l'artefact et l'instrument, ainsi que sur les processus qui permettent cette transformation progressive appelée genèse instrumentale. Le développement de cette approche nécessite également les contributions de la psychologie cognitive concernant la polyvalence des schémas d'utilisation et des objets. Dans le domaine de la catégorisation (Anderson, 1991 ; Tijus et Cordier, 2003), on constate qu'un même schéma peut être utilisé dans plusieurs objets et qu'un même objet peut être utilisé dans une infinité de schémas. Le choix de ce schéma dépend de la catégorie à laquelle l'objet est affecté dans la situation où il s'inscrit. Rabardel propose que ce caractère polaire entre artefact et schéma soit analysé dans deux dimensions : une d'*instrumentation* qui englobe les éléments cognitifs chargés dans l'artefact et dirigés vers le sujet pour être utilisés dans l'activité ; une autre d'*instrumentalisation*, qui implique les processus cognitifs que le sujet met en jeu lorsqu'il applique ses propres schémas d'utilisation sur l'artefact. Ces deux dimensions donnent naissance à l'instrument au cours de ce processus multiforme, qui associe l'artefact et l'action du sujet. La genèse instrumentale décrit l'artefact comme un objet matériel ou symbolique utilisé et élaboré pour être inscrit dans une activité intentionnelle. Celui-ci est traversé par divers schémas d'utilisation (organisations complexes de comportements structurés cognitivement pour faire face à certaines situations) pour se constituer comme une entité mixte et complexe, « *instrument* », qui se manifeste au cours de l'action du sujet.

2.1.4. L'instrumentation et instrumentalisation de la connaissance

Lorsque nous abordons le sujet des artefacts et du processus de genèse instrumentale, nous avons généralement tendance à imaginer des objets artefactuels externalisés, par exemple un marteau ou une calculatrice, utilisés pour réaliser une activité particulière. Cependant, dans cette section, nous essaierons de mettre en lumière des objets artefactuels aux caractéristiques mixtes : ceux qui peuvent être externalisés mais ont aussi des caractéristiques d'internalisation dans leur usage. Cette analyse est proche de la façon dont Vygotsky conçoit les instruments psychologiques liés au langage ou aux constructions de la pensée tels que les plans, les

diagrammes, les cartes conceptuelles, etc. Nous présentons certains éléments théoriques qui nous permettent de comprendre comment la représentation de la connaissance peut être comprise comme un objet artefactuel aux caractéristiques mixtes. Celle-ci possède un potentiel instrumental qui peut entrelacer des processus d'instrumentation et d'instrumentalisation au cours de l'activité d'un travailleur de la connaissance.

Léontyev (1981a) soutient qu'une caractéristique fondamentale et constitutive de l'activité est l'existence d'un objet et que celui-ci existe de deux façons différentes. La première est l'existence indépendante de l'objet dans le monde réel. Celle-ci guide l'activité du sujet sous forme de gestes généraux. La seconde est l'existence de l'objet en tant qu'image mentale. Celle-ci est le résultat de la détection des propriétés de l'objet qui permet au sujet de réaliser l'activité d'une manière particulière également intégrée dans le geste. Ce phénomène de double existence de l'objet est ce qui nous amène à penser les objets artefactuels comme des entités aux caractéristiques mixtes, à la fois externalisées et internalisées. La représentation de la connaissance en tant qu'objet a des caractéristiques extériorisées qui s'expriment concrètement dans le monde matériel sous forme de texte, de carte, de gravure, etc. L'existence de cet objet déclenche l'activité du sujet à un moment donné, afin d'intégrer cette représentation. Cependant, pour que cette intégration se manifeste et se matérialise sous forme d'activité et de geste, elle requiert des caractéristiques intériorisées de cet objet. Les aspects caractéristiques et perceptifs du texte (paragraphe, phrases, mots, etc.) activent un processus de saillance chez le sujet et à leur tour donnent les conditions d'activation des éléments internes. Ceux-ci (des signifiants et des significations du champ sémantique de ces représentations) activent les ressources cognitives et façonnent le comportement opératoire du sujet, c'est-à-dire le geste choisi spécifiquement pour ce moment et cette situation particuliers. Ces modes de fonctionnements comportementaux nous renvoient à un autre concept nécessaire à notre propos, celui des schémas.

Vergnaud (2008) explique que les schémas sont une sorte d'organisation invariante de l'activité pour faire face à une situation donnée. Selon cet auteur, un schéma est aussi nécessairement formé de quatre composantes : a) les buts, b) les règles d'action, de prise et de contrôle de l'information, c) les invariants opératoires et d) les possibilités d'inférence de la situation. Les schémas s'adressent à un type particulier de situations, mais ils ont une tendance à l'universalité. En effet, le même schéma peut être utilisé pour plusieurs situations selon les limites et les portées avec lesquelles ce schéma a été créé. Un schéma n'est pas une camisole de force du comportement. Il peut être variable. C'est l'organisation de l'action qui ne varie pas et

qui permet son analyse. Les schémas ne sont pas des stéréotypes ou de formes d'action préfixées ; ils sont des enchaînements de la pensée sous-jacente qui organise le comportement observable lors de l'activité.

a) Buts

Tout schéma a besoin d'un but, puisqu'il détermine les règles d'action utilisées. Ce but implique la volonté du sujet en action, c'est-à-dire la possibilité d'agence dont dispose le sujet par rapport à l'environnement ou, dans ce cas, aux artefacts, qu'ils soient de type externe, interne ou mixte. Pour Vergnaud, les buts peuvent être décomposés en sous-buts qui permettent le développement adéquat de l'action. Cette décomposition est orchestrée par le sujet de manière séquentielle et hiérarchique, permettant à l'action de répondre au but initial. Ainsi, il enchaîne une série de petits sous-buts qui, au fur et à mesure qu'ils sont remplis, permettent d'atteindre l'objectif final. De la sorte, les anticipations cognitives nécessaires à l'action sont simplifiées, même lorsque le but n'est pas entièrement prévisible ou clair pour le sujet. Il existe une tendance intentionnelle qui enchaîne les actions. La force de l'intention varie d'un sujet à l'autre, de même que le type d'intentions. Celles-ci peuvent coexister au cours d'une même activité.

b) Les règles d'action, de prise d'information et de contrôle

Elles sont la base constitutive à partir de laquelle se construit un schéma. Ces règles permettent d'inscrire l'action dans une logique temporelle, un espace de temps délimité avec un début et une fin. Le comportement final ne se forme pas uniquement à partir de l'action observable : l'action est construite à partir de la prise des informations nécessaires qui la déclenchent. Elle a un champ d'application et une marge minimale. Tout cela est constaté par le sujet grâce à une *règle de contrôle* qui lui permet de s'assurer que l'action répond aux paramètres fournis en interne, c'est-à-dire que ce qui est fait est ce que l'on veut faire. Il est nécessaire de souligner que ces règles sont conditionnées par les buts précédents et par l'activation de concepts qui nous permettent d'identifier les possibilités d'action des artefacts. Ces possibilités d'action peuvent se manifester dans les propriétés, ainsi que dans les relations et les transformations qui peuvent se produire dans l'environnement et dans la temporalité de l'action.

c) Les invariants opératoires

Ils renvoient à l'activation de structures cognitives qui permettent l'action. Vergnaud (2011, p. 8) en identifie de deux types : a) les *concepts-en-acte* qui permettent de prélever des informations pertinentes dans l'environnement, comme une sorte d'état des lieux et b) les *théorèmes-en-acte* qui sont des propositions prises comme vérités et soutiennent le cours de l'action. Les deux sont nécessaires pour la conformation et la décomposition des buts ainsi que pour l'élaboration des règles d'action.

d) Possibilités d'inférence dans la situation

Pour Vergnaud (2011, p. 10), l'activité ne se limite pas à l'activation d'un schéma. Elle enchaîne plutôt une série d'activations liées de manière complexe. Dans ce sens, les schémas rendent possible l'interconnexion de ce cadre complexe. Les inférences de la situation permettent d'organiser et de connecter les comportements observables au sein d'un système, avec des caractéristiques singulières pour chaque cas. Cette propriété des schémas simplifie l'indexation des mêmes, à différentes échelles, individuelle, de groupe ou sociale.

Un dernier aspect qu'il faut considérer est la logique de la relation sujet-artefact. En principe, dans la psychologie de l'activité, le premier acte de médiation entre le sujet et l'artefact est la sélection de la situation et des schémas respectifs. La relation sujet-artefact finit par être structurée comme une relation schéma-situation et non comme une relation objet-concept. Cette sélection de schémas évolue au cours de l'activité du travailleur. Pour Vergnaud (2008, p. 8), la situation est du côté du réel, tandis que les schémas sont du côté du sujet. Ceci est directement lié aux conceptions d'instrumentalisation et d'instrumentation proposées par Rabardel (2005, p. 7) en référence à la genèse instrumentale.

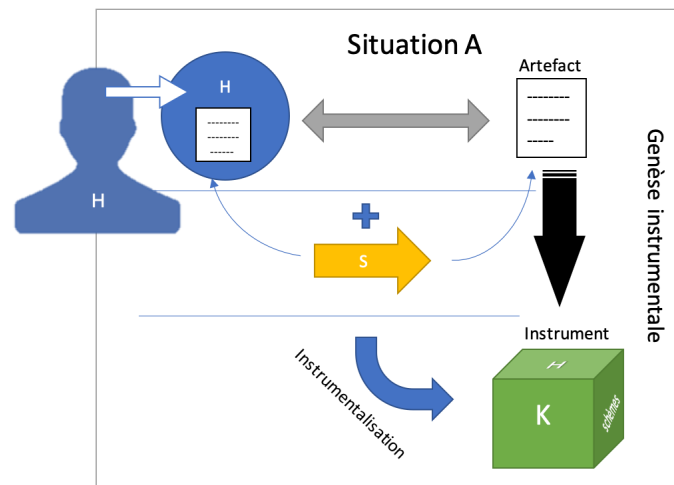
2.1.5. Genèse instrumentale de la représentation des connaissances

Sur la base des éléments théoriques présentés ci-dessus, nous avons défini un scénario d'analyse que nous appellerons *situation A*. Dans la

Figure 5, le sujet H est confronté à une représentation de connaissance (artefact) sous la forme d'un texte.

Figure 5 :

Scénario d'analyse - Sujet H en face d'une représentation de connaissance.



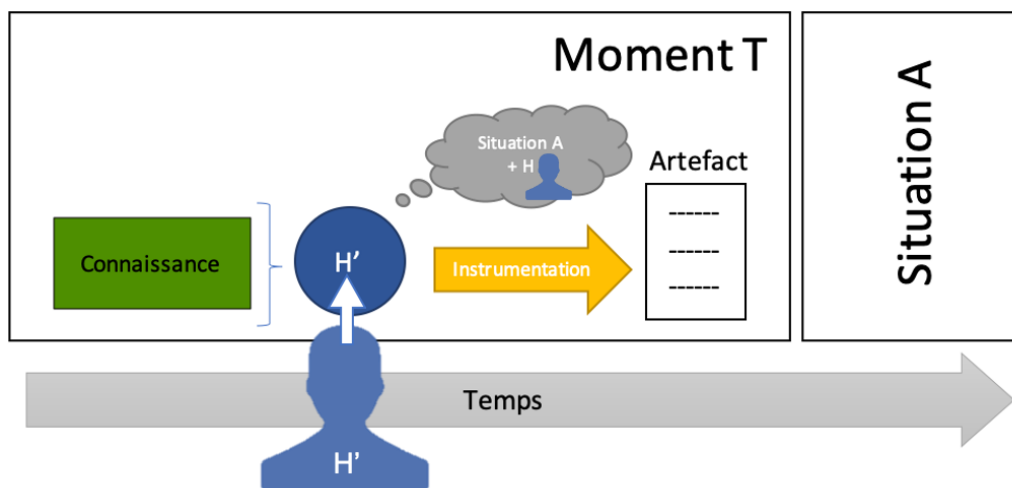
Note : Schéma explicatif de la situation A, où un sujet H instrumentalise la connaissance en attribuant des schémas d'utilisation *S* à un artefact de connaissance de type textuel, tant dans le plan réel que dans sa représentation mentale. Le processus rend compte d'un processus de genèse instrumentale où un artefact de type texte devient un instrument K, élaboration personnelle (2021).

Le premier acte médiatique entre ce sujet *H* et le texte (artefact) est de choisir un schéma *S*, appliqué au texte tant sur le plan réel qu'au niveau de l'image mentale. Ce choix d'un schéma est guidé par les caractéristiques du texte. Les caractéristiques linguistiques activent certaines possibilités d'action et *H* pondère les plus pertinentes pour élaborer un objectif situationnel devant l'artefact, par exemple : explorer l'information, extraire l'information utile, intégrer la connaissance du contenu, analyser la syntaxe et rechercher les erreurs, etc. La saillance perceptive et sémantique du texte permet à *H* d'établir certaines règles d'action, de prise d'information et de contrôle. Cela aide l'ajustement du schéma choisi tout au long de l'action avec l'artefact. Cet ajustement matérialise l'*acte lecteur*. Les concepts représentés dans le texte par les mots, les phrases et les paragraphes activent les invariants opératoires. *H* traite et organise les connaissances contenues dans le texte selon sa propre structure cognitive. Cela lui permet d'élaborer des idées et de prendre des décisions qu'il mettra en jeu en même temps que les possibilités d'action déduites de la *situation A*. Nous devons tenir compte du fait que l'activation d'un schéma déclenche un processus de genèse instrumentale qui fait évoluer le *texte-artefact* vers un *texte-instrument (K)*. Ce dernier est une représentation de ces connaissances adaptée au sujet. Les connaissances sont ainsi organisées en fonction de la structure cognitive et des possibilités d'utilisation préalablement intégrées par *H*. Tout ceci se déroule dans le cadre d'un processus de régulation pour faire face à une situation dans le développement de l'activité en tant que travailleur de la connaissance.

Analysons maintenant l'existence de l'objet *texte* antérieur à la *situation A*. Cet objet, matérialisé sur le plan réel sous forme de texte, est le point de départ de notre analyse. Cependant, sur le plan instrumental, il est nécessaire de prendre en compte le moment antérieur à la *situation A*, le moment où l'objet *texte* a été créé. Nous appelons ce moment « *T* » (Figure 6). Le texte-objet est une élaboration humaine et, en tant que tel, est un artefact pensé et instrumenté par un sujet *H'* au moment *T*. La logique de composition du texte, ses caractéristiques, la sélection des mots, des structures linguistiques et sémantiques, font partie d'un objectif et d'un schéma choisi par *H'* au moment *T*. Ce choix a été fait dans le but d'instrumenter une connaissance particulière préalablement travaillée et de faciliter son utilisation future dans une *situation hypothétique A*.

Figure 6 :

Scénario d'analyse - Sujet H' au moment T.



Note : Schéma explicatif du moment *T*, où un sujet *H'* prévoit une situation future *A* dans laquelle un sujet *H* utilisera un artefact de connaissance de type texte. Cette prévoyance permet à *H'* d'instrumenter l'artefact sur la base de connaissances préalablement intégrées dans ses propres représentations mentales, élaboration personnelle (2021).

Dans ce sens, l'artefact est pensé et créé avec des caractéristiques instrumentales et des perspectives d'utilisation, pensées en fonction de futurs utilisateurs. Cela confirme qu'il existe un processus d'instrumentation préalable qui, avec l'instrumentation *a posteriori* de l'artefact pendant la *situation A*, donne vie à l'instrument de connaissance *K*. Ce processus d'instrumentation simplifie l'activité et optimise le geste cognitif de *H* sur cette connaissance. *L'instrument K* prend en charge une partie du poids de l'activité cognitive et prépare certains circuits de la structure mentale de *H* pour rendre plus efficace l'utilisation des connaissances précédemment intégrées par *H'*. Tout cela vise à atteindre les objectifs et les utilisations que *H* choisit pour la *situation A*. Cette situation intègre la caractéristique collective du travail puisqu'elle relie l'activité de *H* dans sa situation individuelle à l'activité de *H'* et d'autres *Hⁿ* qui

ont préalablement instrumenté et instrumentalisé la connaissance pour que cette représentation soit utile dans cette *situation A*. Ce schéma suppose ainsi qu'une activité individuelle est chargée des éléments d'une activité collective asynchrone.

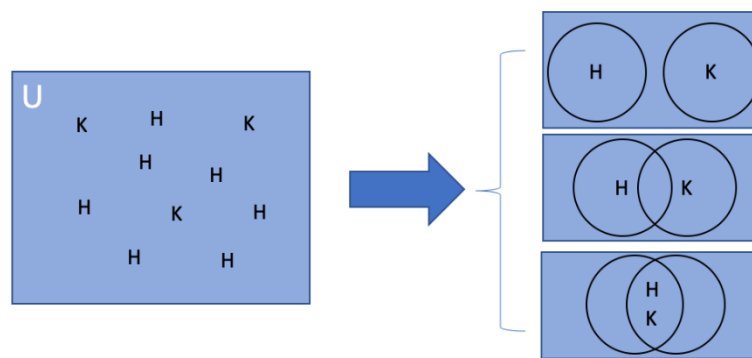
2.2. Interaction et connaissance

2.2.1. Approche systémique et complexe des interactions Humain-Connaissance

Les possibilités instrumentales de la connaissance posent la question de l'aspect systémique qui découle de cette relation entre l'humain et la connaissance. La *Figure 7* présente cette relation Humain-Connaissance du point de vue de la théorie des ensembles.

Figure 7 :

Ensemble U (Humain-Connaissance) - opérations



Note : Schéma explicatif des opérations possibles dans un ensemble U avec des éléments humains (H) et des éléments type connaissance (K), élaboration personnelle (2021).

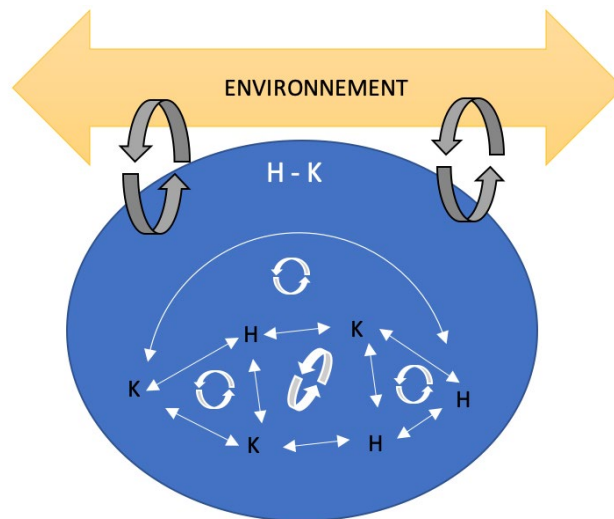
U étant un ensemble universel qui inclut des éléments de type H (agents cognitifs de type humain) et de type K (connaissances instrumentées), il est possible d'effectuer sur ces éléments des opérations de réunion, d'exclusion et de complémentarité. Cependant, le problème central est que les relations qu'on peut établir sont toujours statiques. Cela limite toute interrelation et interdépendance entre les groupes d'éléments que nous étudions (H et K). Si l'on regarde en perspective, cette logique des ensembles est celle qui a généralement servi de macrostructure pour l'étude du travail de la connaissance. Par exemple : d'une part, les chercheurs et les enseignants sont considérés comme des ressources humaines dotés de profils, de caractéristiques et de compétences pour mener à bien une certaine tâche encadrée dans leur domaine ; d'autre part, les connaissances sont considérées comme des produits finis (livres, articles, matériel scientifique, cours, programmes, etc.) ayant des caractéristiques informatives, éducatives, pédagogiques, etc. La recherche sur ces phénomènes a suivi des chemins séparés

qui ont essayé de trouver des logiques d'opération à la manière de la théorie des ensembles, c'est-à-dire à partir de relations, différences et intersections.

Nous cherchons à dépasser cette approche et à analyser ces relations Humain-Connaissance à partir de l'approche systémique et de la pensée complexe. Pour cela, il nous faut penser ces mêmes éléments reliés entre eux et interagissant de manière extrêmement variée. Ils se modifient mutuellement et constamment à chaque interaction ou activation du système. Comment pouvons-nous étudier ces interactions entre les agents cognitifs et les artefacts de connaissance instrumentée ?

Figure 8 :

Système Humain-Connaissance - Interactions



Note : Schéma des interactions possibles dans un système Humain - Connaissance (H-K), élaboration personnelle (2021).

La Figure 8 présente les éléments H^{11} et K^{12} organisés en un système H-K {Citation}. Dans ce cas, les éléments sont interconnectés de telle manière que toute interaction entre eux influence mutuellement les deux types d'éléments. Cette interaction change le système global dans le cadre d'un champ de connaissance spécifique dans lequel H met en œuvre K, et K modifie les modalités d'instrumentation de H. Cela potentialise de nouvelles relations avec les autres éléments du système et l'environnement, qui à son tour influence et produit de nouveaux changements à l'intérieur du système. Nous nous trouvons ainsi face à une boucle complexe d'interactions et de changements qui produisent un ensemble organisé dont le résultat est l'activité du travailleur de la connaissance

¹¹ Éléments dynamiques avec capacité cognitive et agence.

¹² Connaissances organisées en réseaux conceptuels dynamiques qui évoluent lorsqu'ils sont mis en œuvre par des agents cognitifs.

Un système H-K est perméable et interagit avec d'autres systèmes H-K en échangeant constamment des informations. Ce système importe des connaissances instrumentées afin de les utiliser et de les instrumentaliser. Cela produit des changements et des phénomènes d'adaptation dans la structure du système où les éléments H sont réorganisés par rapport aux éléments K. Ce processus contribue à la création des relations instrumentales qui stabilisent le système. Ces relations, à leur tour, peuvent favoriser des processus de *néguentropie* et de maintien du système ou, au contraire, elles peuvent générer des dislocations qui augmentent l'entropie (désarticulation des éléments à l'intérieur du système) en provoquant du chaos. Cette dislocation rend possible la création de nouveaux systèmes H-K. Ces relations de perméabilité et d'interaction rendent le système plus complexe, d'où la nécessité de travailler non seulement à partir de la pensée systémique, mais aussi à partir de la pensée complexe (Morin, 1977) et des conceptions comme celle de l'autopoïèse (Maturana et Varela, 1980). Un système H-K présente des caractéristiques typiques des systèmes complexes. Il est constitué d'un grand nombre d'éléments aux caractéristiques similaires, mais hétérogènes entre eux (agents cognitifs H). L'interaction entre ces éléments est locale et elle est à l'origine de comportements émergents qui ne peuvent être expliqués à partir des éléments isolés. C'est-à-dire que la connaissance (*éléments K*) ne se trouve pas dans des concepts isolés mais dans des réseaux conceptuels dynamiques et instrumentés par l'interaction. Pour cette raison, le système ne peut être compris de manière fragmentaire. Les éléments doivent continuer à interagir pour donner une structure et une fonction au système dans un horizon temporel limité : la durée de l'action. Une autre conséquence est que le système subit des transformations et des changements soudains.

Un système H-K montre les caractéristiques d'un système complexe :

a) Interconnecté :

Les éléments d'un système complexe sont connectés les uns aux autres de telle sorte qu'il est possible d'organiser une carte avec différents degrés de connexion. Dans un système H-K, il existe des éléments K plus ou moins liés aux différentes structures cognitives de chaque élément H du système. Ces structures cognitives ont des degrés de relation et de pertinence à partir desquels émergent différentes stratégies instrumentales susceptibles de stabiliser le système selon un certain K dans une période de temps donnée. Par exemple, l'utilisation d'un certain terme dans une communauté scientifique, ou l'importation d'un nouveau concept qui finit par changer le paradigme dans une discussion théorique.

b) Interdépendance :

Si un élément change au sein du système complexe, ce changement affecte le reste des éléments et le système global lui-même. Ceci reflète l'importance de la force des connexions et pas seulement de leur quantité. Dans un système H-K, on peut trouver des éléments K communs à tous les éléments H, c'est-à-dire plus interconnectés. Cependant, c'est l'interaction constante des différents éléments H qui permet l'intégration de leurs usages réguliers. Ces possibilités instrumentales adhèrent aux différents éléments K comme un processus de cognition collective et asynchrone qui permet à l'ensemble du système d'évoluer et de se reconfigurer constamment selon la dynamique du système. Un exemple est le changement des paradigmes dans l'utilisation des connaissances au fil du temps.

c) Diversité :

Les éléments d'un système complexe partagent certaines caractéristiques, mais, en même temps, diffèrent les uns des autres avec un niveau minimum d'hétérogénéité. Un système H-K a cette variété intrinsèque parce que même s'il existe une structure similaire dans tous les H, le processus cognitif de chacun est complètement différent. Donc, les interactions possibles avec K sont très variées. Les éléments K ont à leur tour une structure similaire de réseau dynamique de concepts, mais chacun de ces réseaux a ses propres particularités. Pour illustrer ce point, nous pouvons penser à la façon dont l'utilisation d'un concept se manifeste dans un espace de temps donné. Cette utilisation est construite dans une dialectique entre plusieurs penseurs qui interagissent sur la base de leur propre machinerie cognitive. Ils utilisent ledit concept en produisant un réseau sémantique déterminé par la pensée de chacun. Une fois que cette relation dialectique est stabilisée, le champ sémantique dudit terme ou concept l'est aussi. Cependant, pour atteindre cette stabilité, chaque concept suit sa propre histoire d'interactions.

d) Adaptatif :

Un système complexe peut modifier sa structure ou sa fonction pour faire face aux besoins de l'environnement. Un système H-K est caractérisé par des changements dans le type d'interaction entre les éléments H et K en raison de la capitalisation des processus instrumentaux au fil du temps. À un moment donné, un élément K peut être connecté avec plusieurs H et le moment suivant rester pratiquement isolé. La relation globale d'interaction au sein du système peut changer l'utilisation d'un certain K par rapport aux besoins de l'environnement ou d'autres systèmes H-K. Ceci peut être observé dans la dynamique de l'évolution de la pensée dans les différents axes de recherche des sciences. Certains thèmes acquièrent une plus grande

pertinence à un moment donné et changeant en fonction de la façon dont l'environnement et l'évolution de la science et de la technologie avancent ou stagnent.

e) Phénomène d'émergence :

Dans un système complexe, les variables internes ne répondent pas à un phénomène linéaire. Elles expriment généralement des logiques d'auto-organisation à différentes échelles. Dans un système H-K, la stabilisation d'un certain geste instrumental, que ce soit au moyen du langage ou de l'usage courant de certains K, pourrait produire des comportements émergents dans l'ensemble de H. Un exemple de ce phénomène sont les lignes de pensée particulières qui ont réussi à s'insérer collectivement dans le développement des sciences et les modes de pensée de certains auteurs devenant ainsi des axes de discussion. Cela c'est le résultat d'un phénomène d'émergence donné par l'instrumentation collective et stable de certains concepts qui, séparément, sont impossibles à voir ou à manipuler. Selon Morin (1977), la complexité de l'organisation de l'ensemble apparaît sous la pression des combinaisons infinies d'interactions simultanées, désordonnées, aléatoires. Ce *chaos créatif*, comme il l'appelle, nous montre comment cette idée de désordre prend une place prépondérante à toutes les échelles : la macroscopique (l'univers), la microscopique (l'atome) et la nôtre. Les atomes forment des molécules et les molécules forment des cellules. Ensuite, celles-ci forment des animaux et des êtres humains qui plus tard formeront des sociétés. Ces sociétés font émerger une culture et cette culture capitalise et produit des connaissances et des informations. Ces connaissances et ces informations activent des cycles de processus phylogénétiques, ontogénétiques, évolutifs, qui soutiennent cette dynamique du système dans le temps comme une forme d'auto-organisation qui se balance entre chaos et ordre.

2.2.2. L'approche « Interaction-Humain-Connaissance-Machine » (IHKM)

La section précédente a montré comment l'interaction entre les agents cognitifs et la connaissance rend possible l'émergence d'un système complexe. Puisque notre travail s'inscrit dans l'étude de l'activité des travailleurs de la connaissance, dans cette section nous nous tournons à nouveau vers l'ergonomie et ses outils pour l'étude de l'activité. Nous nous focalisons spécifiquement sur le domaine de l'interaction.

Pour Falzon (2004), l'ergonomie est une discipline pratique qui utilise de manière récurrente les connaissances développées par d'autres disciplines et sciences. Elle prend comme pivot la discipline ou la science qui correspond le mieux à la situation particulière sur laquelle

on souhaite agir. Par exemple, des situations telles que l'ergonomie d'un programme informatique ou la conception d'interfaces homme-machine nécessitent l'intégration des méthodes de la psychologie cognitive dans l'analyse ergonomique de l'activité. Cette intégration permet d'extraire des informations pertinentes pour concevoir des systèmes plus fonctionnels et améliorer le couplage entre les humains et les machines. De même, lorsque nous analysons le développement de l'automatisation, des outils intelligents ou de la résolution de problèmes de codage, de représentation ou de traitement de l'information, il est alors nécessaire d'intégrer à l'analyse certains outils et connaissances du domaine de l'IA. Il en va encore de même lorsque le développement des interfaces d'interaction requiert d'intégrer certains éléments de la linguistique tels que la sémiotique et le traitement automatique du langage naturel. C'est dans cet espace des connaissances multidisciplinaires que l'ergonomie se développe et étudie les interactions entre les humains et les machines (artefacts).

Falzon (2004, p. 234) distingue trois approches fonctionnelles de la pratique ergonomique qui gardent un rapport avec l'étude de l'interaction : a) l'interaction homme-machine (IHM), b) le système homme-machine (SHM) et c) la médiation de l'activité par l'utilisation d'artefacts. Ces trois approches cherchent à améliorer les interactions entre les humains et les artefacts, mais chacune d'entre elles s'intéresse à des aspects différents de la même interaction. Dans l'approche IHM, l'homme et la machine sont considérés comme des entités hétérogènes qui interagissent à travers un support. Ce support explicite est un dispositif de communication qu'on appelle *interface*. Montmollin (1997) définit l'interaction comme le processus de confrontation entre l'homme et la machine, et l'interface comme une entité mixte matérielle et/ou conceptuelle qui sert à l'échange d'informations entre la machine et l'utilisateur. L'un des éléments fondamentaux de cette approche est que le type d'analyse effectué se concentre sur l'interaction dans le cadre d'une tâche explicite. Ainsi, le but ultime est de mettre en évidence les caractéristiques de la tâche qui compromettent l'interaction et sa qualité. Par exemple, il s'intéresse à : des dialogues, des commandes, des menus, des gestes opératoires avec des éléments artefactuels externes comme le clavier ou la souris. Le défi central de cette approche est de faire face à la diversité et la variabilité des utilisateurs. L'objectif est d'optimiser la qualité de l'interaction pour un éventail suffisamment large d'utilisateurs possibles afin de rendre l'artefact plus utilisable. Les critères d'analyse et d'action évalués dans une interface incluent : la facilité d'apprentissage, la qualité de la visualisation, les moyens d'action, l'adaptation à différents types d'utilisateurs, le contrôle des erreurs, entre autres. Dans cette lignée, des travaux empiriques tels que ceux de Bastien et Scapin (1993, 1995) ont permis de formuler des

recommandations générales dans la conception d'interfaces. Dans ce type d'analyse, l'ergonomie inclut plusieurs éléments de la psychologie cognitive et de la psychophysiologie.

Dans l'approche des systèmes homme-machine (SHM), les humains et les machines sont considérés comme des composants d'un même système fonctionnel engagé globalement dans l'exécution d'une tâche spécifique. Falzon (2004, p. 236) les définit comme « une combinaison opérationnelle d'un ou plusieurs humains interagissant avec une ou plusieurs machines afin d'atteindre un objectif ». Ces systèmes sont caractérisés par deux principes : a) Le couplage entre les processus cognitifs de l'opérateur et les aspects fonctionnels de la machine ; b) La tâche doit être conçue dans la globalité des actions du système, c'est-à-dire qu'elle n'est pas possible si les deux composants, hommes et machines, travaillent séparément. L'analyse ergonomique de l'interaction dans le cadre de cette approche se concentre sur le couple homme-machine impliqué dans l'exécution de la tâche. Hoc (2003) souligne que cette interaction ne se limite pas à l'action de partager des informations (interface). Elle cherche quelque chose de plus complexe : étudier comment une telle interaction permet de partager l'activité. Cet objectif est en accord avec les conclusions de Vanderhaegen (1999, 2010) sur l'organisation des systèmes coopératifs et le partage des tâches entre les machines et les hommes dans des situations telles que le contrôle du trafic aérien et l'autonomie décisionnelle. Dans ce type d'étude, l'ergonome considère la performance, la sécurité et la fiabilité du système pendant la résolution de la tâche, sans négliger la recherche de l'ajustement optimal qui doit exister entre les composants humains et non humains du système pour atteindre l'objectif. L'approche SHM fait également référence aux travaux de Hollnagel et Woods (2005) sur les systèmes cognitifs conjoints. Ils utilisent les théories de la complexité pour comprendre cette relation entre les humains et les machines dans le cadre d'un système qui adapte continuellement sa structure et son comportement afin de maintenir une faible entropie. Pour ce type d'approche, l'ergonomie se sert des sciences cognitives, de la théorie systémique et de l'ingénierie cognitive¹³.

Enfin, l'approche de l'activité médiatisée par des artefacts se concentre sur l'utilisation d'outils comme éléments culturels. Cette approche utilise comme base théorique les postulats de la psychologie socioculturelle de Vigotsky (1978) et de ses successeurs. Pour eux, l'utilisation même des artefacts transforme la relation entre l'être humain et l'environnement, en adaptant les processus cognitifs qui articulent l'activité. Ainsi, les artefacts machines agissent comme des médiateurs de l'activité finalisée par des opérateurs humains en situation. Ils

¹³ Certaines applications dans le domaine des théories de l'activité et de la coopération en situation dynamique peuvent être examinées dans le travail de Hoc (2000).

transforment les tâches et l'activité elle-même. En outre, ces artefacts représentent également des objets de transmission des connaissances au sein de communautés ou de contextes spécifiques. Dans ce sens, l'activité remplit un double objectif qui découle de la médiation artefactuelle : d'une part, atteindre l'objectif productif de l'activité elle-même, et d'autre part, la génération de ressources d'interaction internes et externes chez l'utilisateur, qui permettent la création de significations et de moyens pour une action future individuelle ou collective. Pour Falzon (2004), l'activité médiatisée est un candidat idéal comme unité d'analyse dans la recherche ergonomique sur l'utilisation humaine des outils, car elle englobe intrinsèquement une approche constructive de l'activité.

Dans la pratique ergonomique, avec cette approche l'analyse se concentre sur les interactions qui rendent possibles ces activités constructives, dont beaucoup impliquent l'appropriation des outils (genèse instrumentale) qui apportent une valeur ajoutée à l'activité, à l'individu et au système dans son ensemble. Ce processus favorise le développement à tous les niveaux, individuel, collectif et culturel. Les défis de cette approche résident dans la compréhension de la nature et de l'étendue des boucles de transformation de l'activité et de l'individu par l'utilisation d'artefacts. Cette approche s'aligne sur le modèle d'activité à double régulation de Leplat (2006) et sur les perspectives de développement humain à partir d'une activité constructive proposées par Falzon (2013). L'interaction homme-artefact provoque aussi intrinsèquement une genèse instrumentale (Rabardel, 1995) qui facilite l'activité et permet le développement de l'individu, ainsi que la capitalisation des connaissances. Dans ce sens, l'interaction passe d'une échelle humain-machine à une interaction globale agencée dans le système par un humain augmenté grâce à l'instrument. Dans cette approche, l'ergonomie utilise des éléments de la psychologie socioculturelle, de la théorie de l'activité, de l'approche instrumentale et des technologies cognitives. Sur la base de ces trois approches de l'interaction, des relations hommes-machines et de l'activité, nous introduisons ce que nous appelons *l'Interaction Homme-Connaissances-Machine* (IHKM). Cette approche considère l'interaction avec la connaissance sur trois niveaux : le premier en tant qu'interface, le second en tant qu'artefact et le troisième en tant qu'instrument. Ils sont tous reliés dans le cadre de la relation entre les agents cognitifs et la connaissance. Ce qui suit montre la logique de l'action ergonomique dans chacun de ces trois niveaux afin de produire une vision pour l'ensemble du système.

L'interface est une entité mixte qui permet l'interaction. Dans le cadre de l'IHKM, nous nous concentrons sur l'analyse du *support* sur lequel se manifeste la connaissance. Celui-ci

remplit une fonction similaire à l'interface dans l'IHM. Ce *support*, en tant que support de connaissance, se manifeste sous la forme d'un document¹⁴, une structure médiatrice entre la connaissance et le travailleur de la connaissance. L'étude des interactions entre l'homme et la connaissance implique les activités de création/conception et d'interprétation de ce *document-interface*. Le but ultime de l'action ergonomique dans ce cadre est d'étudier les interactions de l'individu avec ce document-interface afin d'optimiser les processus de conception de celui-ci pour que l'interprétation couvre un éventail suffisamment large d'utilisateurs de ces connaissances. Or, ce document est plus qu'une interface : il est le résultat d'une interaction un peu plus complexe. Il est construit et trouve son origine dans l'interaction entre les connaissances *au pluriel* et les utilisateurs/concepteurs de connaissances, également au pluriel. Cette origine complexe du document nous permet d'intégrer des éléments de l'approche SHM et de réfléchir à la manière dont notre approche IHKM permet l'accomplissement partagé d'une tâche. L'action ergonomique dans ce sens dépasse l'étude des interactions de l'individu avec le document-interface à des fins de conception ou d'interprétation. Elle passe à l'étude de la nature coopérative de cette relation médiatisée par un *document-artefact*. Cette perspective d'analyse cherche à comprendre comment le document passe de cette condition d'interface à une condition d'artefact avec des propriétés individuelles et collectives qui rendent possible la coopération lors de l'activité. Ces documents-artefacts prennent une partie de la charge de travail des agents cognitifs. En plus d'avoir une structure linguistique, morphologique et sémantique destinée à transmettre l'information, ils acquièrent une utilité qui dépasse le simple transfert d'information. En effet ces documents-artefacts mobilisent et encapsulent les connaissances afin d'être utilisés comme une valeur ajoutée pour l'activité du même agent cognitif ou d'autres au sein du même système. Enfin, le caractère utilitaire de la connaissance introduit un troisième niveau : le *document-instrument*. Lorsque nous parlons d'utilité et d'usage, apparaît intrinsèquement une activité médiatisée : un agent cognitif qui utilise le document-artefact pour atteindre un but — dans ce cas particulier, une représentation de connaissance —, fait partie de l'activité de connaissance en tant qu'instrument. L'approche interactionnelle montre que l'utilisation de la connaissance met en jeu des processus d'instrumentation et d'instrumentalisation capitalisés dans les multiples interactions entre les agents cognitifs au sein du système. Ces processus produisent un phénomène émergent de

¹⁴ Unité d'information correspondant à un contenu singulier (Larousse, 2021), Cette unité peut être présentée sous une infinité de formes (texte, vidéo, audio, image). Il est également important de mentionner que l'usage que nous donnerons à ce terme est lié aux transformations et aux caractéristiques du document à partir d'une approche pédaquienne (Pédaque, 2006).

connaissance synergique. L'action ergonomique comprend non seulement la conception du document-interface et les possibilités de coopération à partir du document-artefact, mais aussi les possibilités constructives de ce document, c'est-à-dire son caractère instrumental. Ce document-instrument permet le développement de l'individu, du collectif et du système car il :

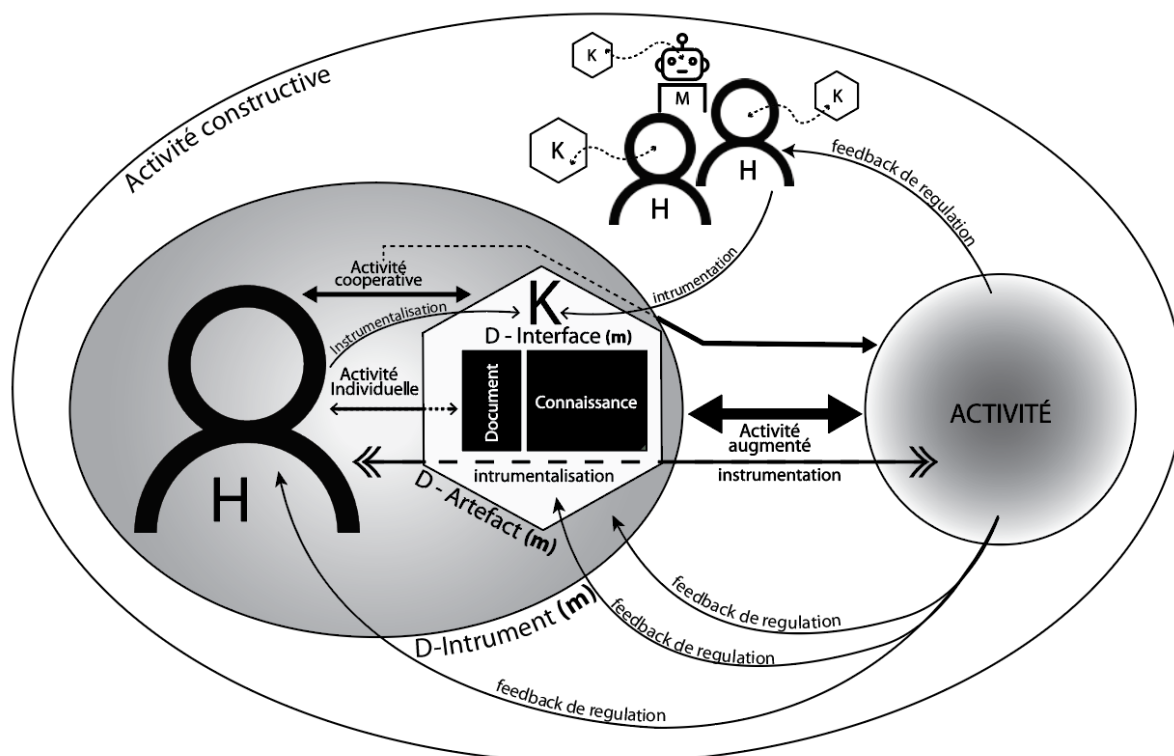
- a) Rend possible l'activité ;
- b) Potentialise les actions de connaissance futures ;
- c) Permet les changements et les régulations dans la même activité et
- d) Capitalise les informations des usages individuels et collectifs diffusées parmi les agents cognitifs et les autres documents-instrument du système.

Cette capitalisation réduit l'entropie et permet la pérennité de ces connaissances dans le temps.

Si nous analysons pragmatiquement l'IHKM, elle inclut l'étude des relations entre les agents cognitifs humains (H) et non humains (M) et la connaissance (K) dans une perspective holistique (*Figure 9*). Trois niveaux d'analyse sont possibles, une pour chaque conception du document en tant que représentation de la connaissance. La première est l'interaction avec le document *D-interface* qui s'exprime comme une activité individuelle et organisée en termes cognitifs de H en relation avec les caractéristiques de K. Ces caractéristiques se manifestent dans un large spectre (linguistique, perceptuel, émotionnel, etc.) et sont organisées dans le document de manière instrumentée pour permettre une instrumentalisation de K. Le deuxième niveau est l'interaction avec le document *D-artefact* : elle est configurée comme une activité coopérative entre H et K convergeant vers un microsystème qui optimise la gestion de K et son interaction avec d'autres microsystèmes similaires lesquels alimentent et instrumentent K. Une fois cette configuration stabilisée, le microsystème s'oriente vers l'activité globale. Enfin, le troisième niveau est l'interaction médiatisée par le document *D-instrument*. Ce type d'interaction apparaît lorsque H utilise K pour faire face à l'activité globale. Dans ce cas, nous avons un processus de genèse instrumentale où H instrumentalise K et l'instrumente ensuite vers l'activité globale. Il en résulte un processus synergique qui se traduit par une activité augmentée en vue de la réalisation d'un objectif fixé par H en fonction de l'activité globale. Ce processus génère des informations pertinentes qui reviennent sous la forme d'une rétroaction *feedback* et permettent de réguler à la fois l'individu H et le collectif des autres H ou M du système en reconfigurant les relations avec K. Cette nouvelle connaissance qui émerge de cette boucle d'interactions à tous les niveaux est capitalisée globalement comme une activité constructive qui connecte et développe tous les éléments du système à la fois (H, K, M). Il ne faut pas oublier que tout ce processus a lieu sur une base matérielle composée de l'ensemble de médiateurs technologiques (m).

Figure 9 :

IHKM – Modèle intégratif d'analyse de l'activité de connaissance.



Note : Modèle intégratif d'analyse de l'activité de connaissance basé sur l'interaction homme-connaissance-machine (IHKM). Les différents niveaux d'interaction avec la connaissance (K) médiée par un document (D) sont représentés. L'interaction avec une D-interface, un D-artefact et un D-instrument facilite les feedbacks régulatoires pour le développement de l'activité et permet des processus continus d'instrumentation et d'instrumentalisation des connaissances entre les agents humains (H) et non humains (M). Ces interactions permettent une activité augmentée qui met en jeu les aspects individuels et coopératifs de l'activité et permet le développement d'une activité constructive dans un contexte sociotechnique de connaissance, élaboration personnelle (2021).

2.2.3. Collecte d'information lors des activités de connaissance : le regard

Analysons maintenant certains éléments nécessaires pour que l'interaction évoquée dans la section précédente puisse avoir lieu. En principe, toute interaction génère un échange des informations et/ou de l'énergie qui permet au système de fonctionner. Dans cette section, nous nous concentrerons sur la première : l'information.

Les débuts de l'IHM relient les théories de la cybernétique et de la physiologie humaine pour tenter d'expliquer cette relation entre les machines et les humains en termes d'échange d'informations (Chanel, 1964). Au début, cette relation a été conçue de manière élémentaire : les machines ou les humains émettent ou reçoivent des messages, lesquels sont codés et transitent par des canaux où le bruit est possible. Ce processus génère des échanges de nature entropique, comme le soulignent les travaux de Shannon (1948). Au fil du temps, des éléments ont été intégrés à ce modèle et ont élargi l'action de cette relation d'échange des informations. En plus d'un émetteur, d'un message et d'un récepteur (élément passif du système), l'idée de

considérer l'information comme un acte cognitif a été intégrée, tant du point de vue de l'homme que de celui de la machine autonome, conformément aux postulats de la cybernétique (Martin, 2013 ; Wiener, 1948). Les humains et les machines peuvent ainsi échanger des informations valables qui leur permettent d'adapter leur comportement pour utiliser plus efficacement leur environnement, comme l'a suggéré Wiener dans son célèbre ouvrage *The human use of human beings : cybernetics and society* (1950).

Pour Desnoyer (2004), l'origine de toute activité passe nécessairement par l'acquisition des informations préalables qui situent l'opérateur dans l'espace-temps du système dans lequel il agit. Ce processus se déroule en continu et la collecte d'informations est un maillon essentiel de la chaîne d'exécution du processus de régulation de toute activité. De la plus rudimentaire à la plus complexe, la collecte d'informations fournit à l'opérateur un retour sur l'état global du système et lui permet de faire des ajustements dans l'utilisation de ses ressources internes. Ce processus permet ainsi l'anticipation de variables externes qui pourraient entraver le développement des différentes actions nécessaires dans cet espace-temps particulier dans lequel l'opérateur se situe et agit dans un but donné. Cette prise d'information implique tous nos sens, y compris les informations provenant du système vestibulaire, de la proprioception et de l'interception. Pour notre recherche, nous nous concentrerons uniquement sur ses aspects visuels, entendus comme l'étude du regard.

En ergonomie, le regard peut être compris comme un geste moteur. Il s'agit de la combinaison d'actes moteurs coordonnés qui utilisent les organes sensoriels appelés yeux et permettent le traitement cognitif de l'environnement dans un continuum pour réguler et synchroniser d'autres processus : cognitifs, moteurs ou mixtes. Ceux-ci constituent le réseau complexe d'actions qui se manifestent dans cet ensemble que nous appelons activité.

C'est un ajustement musculaire du cristallin, l'accommodation, qui sert à faire la mise au point sur un objet donné dont l'image serait sinon floue et inutilisable. Ce réglage s'accompagne de celui de la convergence, qui fait basculer les deux yeux vers le même objet, évitant ainsi la duplication de l'image produite par un appareil binoculaire mal réglé. L'ensemble est complété par le réglage de l'iris, qui adapte l'ouverture des yeux en fonction de la luminosité ambiante, en ajustant l'éclairage rétinien à la sensibilité de la rétine, en évitant autant que possible les surexpositions éblouissantes ainsi que les sous-expositions (Desnoyers, 2004).

Il est important de tenir compte de la complexité de la machinerie cognitive humaine qui sous-tend ce processus et de situer ce geste comme un acte lié aux fonctions attentionnelles, mnésiques et décisionnelles, parmi d'autres qui peuvent être de nature réflexive ou agentive. En ergonomie, le regard fait partie intégrante de l'activité. Donc, dans le cadre de l'analyse de l'activité, l'étude de la direction dans laquelle l'opérateur place son regard est un outil précieux.

Falzon (2004) soutient que l'étude de la direction du regard dans le cadre de l'analyse de l'activité permet d'identifier et de caractériser les éléments clés de l'information visuelle que le travailleur prend en considération lors de la réalisation de l'activité. L'identification d'une cible visée ou la logique d'observation d'une source d'information peuvent être fondamentales dans l'amélioration d'un poste de travail. La mesure des éléments caractéristiques de cette prise d'information visuelle se concentre sur la collecte de données temporelles et sur la durée et la fréquence de consultation d'une cible ou d'une source potentielle d'information. Le phénomène de stimulus/réponse est largement utilisé en expérimentation cognitive. Un stimulus perçu est traité à différents niveaux cognitifs. Le temps de réponse au stimulus varie selon ce niveau de traitement. Cette variation est enregistrable et permet son analyse en termes expérimentaux et pratiques, en intégrant des informations psychophysiologiques complémentaires.

L'étude du regard ou des mouvements oculaires associés à un traitement cognitif n'est pas nouvelle en psychologie. Dès la fin du 19^e siècle, les premières études ophtalmologiques sur le sujet ont été menées par Emile Javal (1905). Puis Earl, James et Carl Taylor ont mis au point le métronome et l'ophtalmographe aux *Educational Laboratories* de Brownwood en 1933. Dans les années 1950 existait déjà le « *Reading Eye Tabletop* », une caméra capable de capturer le mouvement des yeux, également développée par Taylor et son équipe. Dès lors, la conception et les méthodes de développement de la technologie d'*eye-tracking* ont connu plusieurs avancées qui ont amélioré l'intrusion, la précision temporelle et spatiale, ainsi que la portabilité. Grâce à l'utilisation de ce type de matériel expérimental, l'étude de la relation entre le traitement cognitif et le regard a été approfondie. Ces avancées ont aidé à la validation et à la construction d'hypothèses dans les domaines les plus variés : psychologie cognitive, ergonomie, IHM, santé, entre autres (Alemdag et Cagiltay, 2018 ; Kredel et al., 2017 ; Martinez-Marquez et al., 2021 ; Scott et al., 2019 ; Sharafi et al., 2015 ; Stasi et al., 2018 ; Wipfli, 2015).

L'un des travaux de référence entre la relation cognitive et le regard est celui de Yarbus (1967) sur l'attention dans la scène visuelle, qui a permis d'associer ces mouvements à l'activité cognitive intentionnelle du sujet. Plus tard, les études de Just et Carpenter (1980) sur le temps de fixation par rapport au traitement cognitif et le développement de l'ergonomie des interfaces dans la même décennie ont donné une nouvelle place à ce type de recherche sur l'utilisation du système visuel dans l'activité. Pour Baccino et Colombi, « l'oculométrie cognitive fournit un ensemble de mesures objectives et relativement directes des processus cognitifs » (2001). Si l'on connaît les mouvements du regard et/ou l'organisation avec laquelle l'attention de l'utilisateur est régulée, il est possible de modéliser la trajectoire temporelle des opérations

cognitives dans différents contextes. En ergonomie de l'activité, des travaux tels que ceux de Neboit, 1983 ; O'Regan et Lévy-Schoen, 1978 ; Rabardel et al., 1985 ; Sperandio et Boujou, 1983, entre autres, soulignent l'importance de l'étude scientifique du regard pour l'ergonomie du travail. Cependant, ils soulignent également les difficultés et les limites rencontrées, notamment pour identifier l'intersection exacte entre les méthodes expérimentales et les études écologiques de l'activité.

Dans les années 1990, plusieurs recherches sur l'amélioration des interfaces ont vu le jour (Backs et Walrath, 1992 ; Byrne et al., 1999 ; Goldberg et Kotval, 1999 ; Henderson, 1992 ; Yamamoto et Kuto, 1992). Puis, l'innovation des *eye-trackers* non intrusifs ont permis d'élargir les possibilités d'expérimentation et de fermer l'espace complexe de l'intersection entre activité écologique et expérimentation. Dès l'année 2000, des *eye-trackers* portables sans fil sont utilisés pour l'étude de l'activité ainsi que la conception et l'amélioration des produits et des services, avec une intrusion quasi nulle et donc des possibilités d'action presque totalement libres et proches d'un scénario écologique. Outre les avancées technologiques et la structuration de la recherche qui combine la collecte d'informations et le mouvement des yeux, il faut prendre en compte les aspects plus spécifiques liés aux activités de connaissance. Comme nous l'avons défini précédemment (cf. Ch. 2 § 3) l'acte lecteur est un composant central des activités de la connaissance. Cependant, ce qui nous intéresse pour cette recherche est de comprendre comment les différents mouvements oculaires (fixations, saccades, etc.) révèlent le travail de traitement de l'information et comment celui-ci déclenche un traitement cognitif lors de l'activité. Nous souhaitons également identifier comment nous pouvons utiliser les mouvements oculaires afin d'étudier les activités de la connaissance. Les études de Rayner (1998) sur la lecture avec des méthodes oculométriques, ainsi que les travaux de Sperandio (1988 ; 1983) sur le travail mental et les ajustements opérants chez les travailleurs du trafic aérien, rendent compte de la relation privilégiée des processus cognitifs dans les stratégies visuelles pour les activités de prise de décision, ainsi que pour la lecture et l'apprentissage. Le développement de la technologie est allée de pair avec la recherche et a contribué au développement des méthodes et des outils d'expérimentation, ainsi qu'à la génération d'hypothèses croisant les variables de la lecture, du mouvement des yeux et des processus cognitifs (Amadiou et al., 2008 ; Baccino et al., 2008 ; Dinot et Tricot, 2008 ; Jamet et al., 2008 ; Koszowska-Nowakowska et Renucci, 2011 ; Strahm et al., 2008).

Notre recherche tente d'utiliser ces variables et ces outils en les combinant avec des techniques de traitement du langage naturel (cf. Ch. 3 § 1 et § 2) et des modèles vectoriels, afin

d'analyser les stratégies visuelles utilisées dans la lecture (cf. Ch. 3 § 2 et § 4), cœur des activités de la connaissance. Nous adoptons une vision systémique du travailleur de la connaissance et nous nous servons de l'ergonomie de l'activité afin d'identifier certains phénomènes émergents résultant de l'interaction complexe entre les agents en situation et la connaissance.

3. Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux concepts et approches qui forment le cadre théorique de cette recherche. Dans la première partie, nous avons discuté les principaux concepts et théories sur la représentation de connaissances et ses implications pour la cognition humaine et artificielle. Nous avons tout d'abord analysé la notion de représentation et sa structure triadique (concept, symbole et référent) ainsi que les différents angles (linguistique, ontologique et cognitif) sous lesquels on peut l'analyser. Pour notre recherche, nous avons choisi d'utiliser une lecture cognitive de la triade où la réalité s'organise selon un agent cognitif à l'aide du langage. Ensuite, nous avons analysé la machinerie cognitive de ces agents et les différentes fonctions qui leur permettent de manipuler de la connaissance. Ces fonctions rendent possible l'interaction entre l'environnement et l'agent cognitif aux échelles individuelle et collective. De cette interaction émerge un système de connaissances partagées, comparable, gérable et transférable. Nous avons aussi analysé le rôle de cet agent cognitif au sein d'un système sociotechnique, ainsi que l'acte de représentation comme activité au sein d'un système productif. Nous avons souligné l'importance des concepts comme la régulation, le contexte, le système, ainsi que leurs relations internes, l'interaction et les actants. Enfin, nous avons discuté les concepts clés des systèmes à base de connaissance et leurs implications cognitives. Cela inclut les systèmes experts et les architectures cognitives, ainsi que les techniques de représentation de la connaissance en IA. Cela nous a permis d'identifier certaines techniques qui seront utilisées dans la partie expérimentale de cette recherche.

Dans la deuxième partie, nous introduisons les théories ergonomiques et des systèmes complexes qui servent à l'analyse des activités de connaissance. Tout d'abord, nous avons revu les aspects ergonomiques concernant la gestion des connaissances. Nous avons expliqué en quoi cette activité a des fonctions régulatrices dans le cadre d'une activité productive. Ensuite, nous avons analysé la différence entre l'activité prescrite et l'activité réelle afin d'identifier les déterminants de l'activité de connaissance. Puis nous présentons les notions d'artefact, instrument, leur instrumentation et instrumentalisation pour pouvoir analyser la genèse instrumentale de la représentation de connaissance. Dans la dernière partie nous avons analysé

les rapports entre interaction et connaissance à partir d'une approche systémique et complexe des interactions entre les humains, les connaissances et les machines. À partir de ces notions ergonomiques et de cette approche complexe, nous avons modélisé l'activité de connaissance comme une interaction Humain-Connaissance-Machine (IHKM). Ce modèle servira de base conceptuelle pour le développement de la partie exploratoire et expérimentale de cette recherche. Enfin, concernant la collecte d'informations sur l'activité cognitive des agents, nous avons analysé l'utilité de l'étude du regard appliquée à des activités de connaissance.

Chapitre 3 - Expérimentation

Sur la base des éléments analysés dans les chapitres précédents, nous présentons ici la procédure expérimentale que nous avons conçue et suivie afin d'analyser des activités de connaissance. Nous expliquerons les détails de la démarche suivie, ainsi que les différents choix méthodologiques que nous avons faits. Ce chapitre est divisé en quatre sections.

La première section présente une recherche exploratoire visant à caractériser les textes. Nous proposons une méthode de cartographie du texte et nous l'appliquons à un corpus expérimental. L'hypothèse à l'origine de cette exploration est que nous pouvons cartographier un texte en détail. Pour ce faire, nous utilisons un processus de traitement automatique du langage (TALN), dont les principaux éléments méthodologiques sont décrits dans cette section. Enfin, nous présentons les différentes possibilités de cartographie et les usages de ce type de modélisation pour la caractérisation de textes.

La deuxième section complète la recherche précédente avec une exploration du rapport entre la caractérisation et la cartographie des textes et les stratégies visuelles de sujets humains. Pour cette expérience, nous utilisons un ensemble de données oculaires enregistrées lors de la réalisation d'une tâche de lecture sur un corpus de textes expérimentaux. Sur la base de ces données, nous construisons une structure d'espaces vectoriels qui est ensuite analysée. Notre hypothèse dans cette deuxième étude est qu'il est possible de caractériser les stratégies visuelles en les associant aux espaces linguistiques des textes. Pour ce faire, nous utilisons les mêmes principes de la cartographie des textes, mais appliqués à des données oculaires. Les résultats montrent les possibilités de caractérisation des stratégies visuo-cognitives en rapport aux textes définis et ouvrent de nouvelles perspectives d'analyse et d'application de cette technique au champ de l'analyse de l'activité de la connaissance.

Dans la troisième section, nous présentons une étude expérimentale qui cherche à analyser et à caractériser la production écrite en tant qu'objet finalisé sur les plans cognitif et ergonomique. Pour ce faire, nous analysons la production écrite des textes descriptifs lors d'une tâche pratique menée avec 38 sujets humains. Deux questions ont guidé cette expérience : a) Est-il possible de retracer la logique d'utilisation de ressources cognitives à partir de textes finalisés et b) Comment pouvons-nous classifier ou regrouper ce corpus de textes à partir des stratégies d'utilisation identifiées auparavant. En matière de méthodologie, l'étude utilise des

algorithmes de traitement du langage naturel, l'analyse des espaces vectoriels n-dimensionnels, les fonctions de densité de probabilité, l'analyse et la classification de séries temporelles, notamment la déformation temporelle dynamique (DTW), et les techniques de regroupement (*clustering*) pour organiser les résultats. Cette expérience montre les possibilités d'analyse linguistique-cognitive à partir des objets finalisés en forme de texte, les perspectives de traçabilité des stratégies cognitives utilisées pour la construction du texte, et la possibilité de caractérisation de ces stratégies par la classification et le regroupement de textes.

Enfin, dans une quatrième section, nous présentons une deuxième expérience qui vise à analyser et à caractériser les éléments linguistiques-cognitifs de la stratégie visuelle sur un ensemble de textes descriptifs. Pour cette deuxième expérience, nous travaillons avec un groupe de 12 textes expérimentaux divisé en trois catégories d'instrumentation : journalistique, historique et littéraire. Sur la base des méthodes d'oculométrie cognitive, nous avons enregistré le mouvement oculaire pendant la tâche de lecture et de sélection de mots importants sur un corpus de textes présenté à un échantillon de 30 personnes. Pour l'analyse et le traitement des données, nous avons utilisé des algorithmes de traitement automatique du langage, l'analyse des espaces vectoriels n-dimensionnels, l'analyse et la classification de séries temporelles et des techniques de regroupement (*clustering*). Nous avons obtenu comme résultat un modèle d'espaces vectoriels oculaires qui permet l'analyse des comportements oculaires et des stratégies récursives dans un contexte de lecture prenant en compte les caractéristiques du texte.

1. Exploration 1 – Lexicométrie Grammaticale vectorielle (LGV)

Cette section décrit la procédure méthodologique et les résultats d'une recherche exploratoire qui cherche à caractériser un ensemble de textes. Nous proposons le concept de *cartographie du texte*, qui fait référence à la procédure permettant de montrer les caractéristiques organisatrices d'un texte par rapport aux éléments linguistiques qui le composent. Nous présentons aussi la *lexicométrie grammaticale vectorielle* comme une technique pour cartographier le texte. Cette technique se fonde sur la contextualisation sémantique, syntaxique et morphologique des éléments constatifs en utilisant des modèles vectoriels. Pour ce faire, nous avons utilisé différents outils du TALN. Dans cette section nous introduisons le TALN et les techniques de prétraitement du texte. Puis, nous discutons certains éléments théoriques concernant la linguistique quantitative et l'analyse linguistique du point de vue cognitif. Ensuite, nous nous focalisons sur l'idée de cartographie et ses applications sur les textes. Dans la deuxième partie, nous présentons les différents types de méthodes du TALN

(cooccurrences de mots et espaces vectoriels). Enfin, nous présentons quelques exemples et une comparaison des différents types de méthode.

1.1. Introduction au TALN et prétraitement d'un texte

Le traitement automatique du langage naturel (TALN) est un axe de recherche qui applique les connaissances autour du langage afin de développer des systèmes informatiques intelligents capables de reconnaître, de comprendre et d'interpréter le langage oral ou écrit. Tout traitement TALN commence par un prétraitement du texte qui attribue des caractéristiques à ses différents éléments afin de pouvoir les exploiter numériquement.

La première action du prétraitement consiste à associer l'information morphosyntaxique à chaque élément d'une chaîne de caractères. Ce processus est connu sous le nom de *part of speech tagging* (POST) et consiste à attribuer à chaque mot une information morphosyntaxique *POS* qui fait référence aux catégories possibles des mots (par exemple si c'est un nom ou un verbe, etc.), ainsi que des informations de dépendance syntaxique *DEP* qui font référence à la fonction du mot dans le syntagme. Ensuite, on entame la phase de *chunking*. Celle-ci fait référence à la fragmentation des chaînes de caractères en unités linguistiques cohérentes. Enfin, le processus de *tokenisation* permet d'organiser les résultats de *POST* et de *chunking* comme une structure de données cohérente susceptible d'être interprétée par un système à base de connaissances.

Exemple :

Phrase : Je suis un étudiant équatorien qui habite à Paris

Processus - POS :

Cette phrase a 9 mots. On labélise chaque mot par sa fonction morphosyntaxique (POS) et la dépendance syntaxique (DEP) en utilisant des annotations de l'*Universal Dependencies*¹⁵ et on obtient le Tableau 2:

¹⁵ Projet qui développe des annotations de banques d'arbres cohérentes sur le plan interlinguistique pour de nombreuses langues, dans le but de faciliter le développement d'analyseurs syntaxiques multilingues, l'apprentissage interlinguistique et la recherche sur l'analyse syntaxique dans une perspective de typologie linguistique. Le schéma d'annotation est fondé sur une évolution des dépendances (universelles) de Stanford (de Marneffe et al., 2006, 2008, 2014), des balises universelles de parties de discours de Google (Petrov et al., 2012) et de l'interlingua Interset pour les balises morphosyntaxiques (Zeman, 2008).

Tableau 2 :*Labélisation POS et DEP d'une phrase*

#	Mots	POS	UD-Référence	DEP	UD-Référence
1	Je	PRON	<i>pronoun</i>	nsubj	<i>nominal subject</i>
2	suis	AUX	<i>auxiliary verb</i>	cop	<i>copula</i>
3	un	DET	<i>determiner</i>	det	<i>determiner</i>
4	étudiant	ADJ	<i>adjective</i>	ROOT	<i>root</i>
5	équatorien	ADJ	<i>adjective</i>	amod	<i>adjectival modifier</i>
6	qui	PRON	<i>pronoun</i>	nsubj	<i>nominal subject</i>
7	habite	VERB	<i>verb</i>	acl:relcl	<i>Relative clause modifier</i>
8	à	ADP	<i>adposition</i>	case	<i>case marking</i>
9	Paris	PROPN	<i>proper noun</i>	obl	<i>oblique nominal</i>

Note : POS (*Part Of Speech*), UD-Référence (*Référence dans l'Universal Dependencies*), DEP (*Dépendance syntaxique*), Élaboration personnelle (2021).

Ces 9 mots se rassemblent dans une phrase qui peut se fragmenter différemment.

Processus - *Chunking* :

Exemple 1 Chunk : Je suis un étudiant équatorien qui habite à Paris

Exemple 2 Chunks : a) Je suis un étudiant équatorien, b) équatorien qui habite à Paris

Exemple 3 Chunks : a) Je suis un étudiant, b) étudiant équatorien qui habite, c) il habite à Paris

Ainsi, le niveau de fragmentation donné à la chaîne de caractères dépend du type d'analyse que nous voulons mener sur ces données.

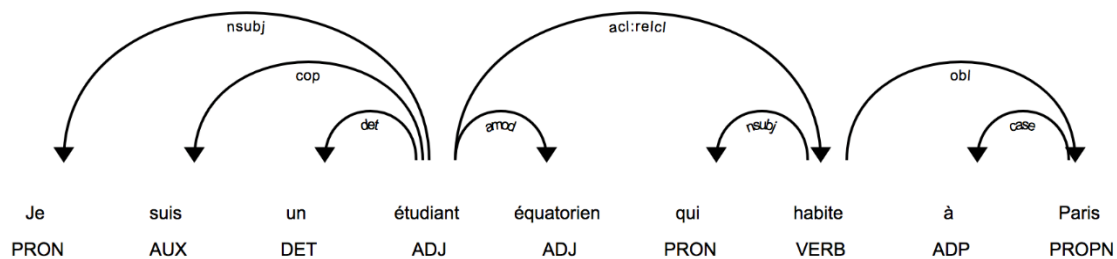
Processus – *Tokenization* :

La *tokenization* organise les différents *chunks* dans une structure cohérente du type texte où chaque mot est en relation avec chaque phrase, celle-ci à son tour avec le paragraphe, puis ce dernier avec le document. Ainsi, nous obtenons une structure de données qui permet de

caractériser cette chaîne de caractères. En matière d'information, nous sommes passés d'une chaîne de caractères simples à une structure de données liées.

Figure 10 :

POST, Chunking et Tokenization



Note : Exemple d'une chaîne de caractères caractérisée par une structure de données de type POS et DEP, Élaboration personnelle avec l'outil d'affichage de dépendances de la bibliothèque SpaCy. (2021).

Dans le schéma de la *Figure 10*:

« Je » est un pronom, c'est le sujet du verbe attributif « suis », qui est la copule d'étudiant, noyau nominal de la phrase et attribut nominal du sujet « Je ».

« un » est un article indéfini qui détermine « étudiant ».

Le même noyau « étudiant » relie « Je » et « habite ».

« équatorien » est un modificateur adjectival épithète d' « étudiant » qui est le sujet nominal du verbe habiter par le truchement du pronom « qui ».

« qui habite à Paris » fonctionne comme la proposition relative adjective complément de l'antécédent « étudiant » et permet le lien entre ce dernier et « Paris » en tant que complément essentiel de lieu du verbe habiter.

Toutes ces informations sont organisées dans une structure de données qui peut être interprétée par un ordinateur selon le modèle morphosyntaxique de la langue utilisée, dans notre exemple le français.

1.2. Lexicométrie et statistique textuelle

Dans notre expérience, nous utilisons aussi des principes de la lexicométrie¹⁶ et de la statistique textuelle¹⁷. L'objectif est de créer une structure de données textuelles manipulables qui permette d'établir des relations entre les fonctions cognitives du sujet (attention, mémoire,

¹⁶ Branche de la linguistique qui se focalise sur l'étude ou la quantification du lexique utilisé dans la langue.

¹⁷ Travail multidisciplinaire sur la langue et le discours à partir d'une approche quantitative, statistique et informatique pour rendre quantifiables leurs relations en tant que système.

prise de décision, etc.) et les aspects propres à l'ergonomie de la connaissance, comme l'usage et l'interaction avec des instruments de connaissance (documents) en forme de textes.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur le traitement quantitatif du texte sur la base de la linguistique et l'analyse de discours et ont développé différents outils et méthodologies. Par exemple, Tournier a introduit la lexicométrie du texte (1980). Guiraud a appliqué la statistique linguistique (1954 ; 1960). Puis, Muller a développé la statistique lexicale ou linguistique quantitative (1985 ; 1969, 2000). Enfin, Salem utilise ce qu'il appelle la statistique textuelle (1994 ; 1986, 1991). Le point commun de ces auteurs est que les approches quantitative, statistique et informatique peuvent contribuer aux éléments d'analyse et aux outils pour la compréhension du langage et ses usages. Le principe le plus utilisé par ces méthodologies, et en général par tout type de TALN, est le principe de *fréquence*, c'est-à-dire à la possibilité de compter des lexèmes (mots) dans des contextes linguistiques (corpus). Dans les années 1930, l'application de ce principe a permis à George Kingsley Zipf (1932) de trouver des relations entre la fréquence et le rang d'un mot dans un contexte linguistique ponctuel :

Lorsqu'on ordonne une table de l'ensemble des mots d'un texte quelconque et qu'on la classe par ordre de fréquence décroissante, on trouvera que la fréquence de ce mot est inversement proportionnelle à son rang dans la liste (Zipf, 1932).

Cette relation peut être représentée comme une fonction $f(n)=K/n$ où K est une constante et n est le rang dans lequel ce mot apparaît. À partir de ces études, Zipf (1949) définit le principe du *moindre effort* dans le comportement humain. Dans cet ouvrage, l'auteur suggère que la relation entre fréquence et rang n'est pas exacte, mais approximative. Elle fonctionne indépendamment du locuteur, du type de document et de la langue. Cette loi a été utilisée plus tard dans les travaux sur la communication menés par Shannon (1948) et ceux de Mandelbrot (2010) sur les fractales.

1.3. Dimensions d'analyse d'un texte à partir d'une approche cognitive

Un texte peut être analysé de différents points de vue à partir de ses aspects linguistiques et grammaticaux. Du point de vue morphologique, nous nous intéressons aux différentes formes que peut prendre un mot, par exemple : le genre, le nombre, la personne, etc. Nous nous focalisons dans ce cas sur la part variable du mot, celle qui porte des informations grammaticales : les morphèmes. Un deuxième point de vue, celui de la syntaxe, s'intéresse aux aspect relationnels et fonctionnels d'un mot au sein d'une phrase. Dans ce cas, le centre d'intérêt est la fonction et la place de ce mot dans un contexte de phrase et la manière dont cela porte

des informations fonctionnelles qui rendent possible la compréhension du discours. Enfin, dans le domaine de la sémantique, nous nous focalisons sur le sens des mots qui dévoilent l'intention du discours et de son contenu. Ce plan sémantique porte des informations qui seront associées à un référent hors du contexte de la phrase. En général, il s'agit d'une structure conceptuelle, culturelle, cognitive ou les trois, qui se manifeste ou apparaît dans l'esprit de celui qui lit ou interprète la phrase pendant l'activité de lecture.

Toutes ces analyses sont des exercices grammaticaux associés à l'apprentissage et à la compréhension de la langue. Dans le cadre de notre expérience, nous nous intéressons à eux en tant que traces cognitives d'une activité de connaissance. Celle-ci a été menée par un agent cognitif qui a construit un document sous forme de texte à partir de son propre point de vue, tout en utilisant ses ressources mentales pour accéder à des connaissances externes et internes. Ces connaissances sont particulières à la situation qui a déclenché la construction du document, par exemple la préparation d'un cours ou d'un *paper*. À partir de cette approche cognitive, nous pouvons supposer que l'information véhiculée par un mot dans un contexte a trois niveaux d'utilisation qui permettent d'instrumentaliser et d'instrumenter les connaissances associées à ce mot. Le premier est le niveau morphologique. Celui-ci permet à l'agent de disposer des informations caractéristiques et individuelles sur l'utilisation de ce mot, indépendamment du contexte dans lequel il se trouve. Nous appellerons ce niveau *contexte élémentaire*. Le deuxième est le niveau syntaxique, qui établit les aspects relationnels entre tous les mots utilisés dans le texte et donne lieu à ce que nous appellerons *contexte situationnel*. Enfin, le troisième, le niveau conceptuel, permet à l'agent cognitif de faire le lien avec un contexte plus large, extérieur au texte et spécifique aux agents cognitifs, en tant qu'utilisateurs ou créateurs du document (instrument). Ces trois niveaux d'utilisation comme partie de l'activité rendent possibles l'interaction et l'émergence d'un travail collectif entre l'auteur et le lecteur du document. Nous appelons ce niveau *contexte cognitif*.

1.4. La cartographie et les propriétés cartographiques appliquées aux textes

La cartographie a comme principe la représentation de données sur un support réduit. En général, elle est associée à l'espace réel et traduit des informations topologiques, ainsi que d'autres caractéristiques d'une surface donnée vers un plan (Rekacewicz, 2006). Son objectif est de produire une représentation concise et simple des phénomènes complexes qui se déroulent dans l'espace réel, en les transposant dans un espace réduit qui rend ces informations

manipulables. L'application des principes cartographiques dans la connaissance et les textes n'est pas nouvelle. Différents outils psychologiques ont déjà utilisé certains de ces principes (Ausubel, 1963 ; Bloom, 1956 ; Novak, 1990 ; Rabardel et Verillon, 1990 ; Vigotsky, 1978). L'idée de pouvoir représenter la complexité d'un document et rendre les phénomènes cognitifs manipulables a été explorée depuis longtemps par la psychologie du développement et les théories de l'apprentissage, comme l'explique Fournier (2016) dans sa synthèse de la littérature sur l'éducation et la formation de connaissance.

Pour notre recherche exploratoire, nous utilisons la cartographie afin de résoudre deux problèmes. Le premier concerne la caractérisation des textes et de leurs éléments constitutifs comme des structures uniques qui peuvent être interprétées par un ordinateur. En général, les machines différencient les chaînes de texte en fonction de leurs caractéristiques physiques et de leur représentation binaire. Cependant, cette dernière ne prend en compte ni leurs propriétés linguistiques ni le contexte dans lequel ces mots se trouvent ou agissent. Analyser le texte comme une sorte de surface physique et cartographier ses propriétés nous permet d'établir un lien entre les structures internes du texte et l'agent cognitif qui a produit ou qui lit le texte à un moment donné. Cette approche rend analysable le texte sur les plans computationnel, linguistique et cognitif. Le deuxième problème réside dans la difficulté de l'analyse comparative des textes à plusieurs niveaux (macro, méso et micro) associés aux activités d'écriture et de lecture. L'exploration des relations internes d'un document permet de le comparer avec d'autres, indépendamment de leurs spécificités, en utilisant des caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques. Ces cartes permettent de mettre en relation ces caractéristiques de façon dynamique. L'expérience exploratoire menée afin de résoudre ces deux problèmes a produit un résultat additionnel. Cette notion de carte du texte permet aussi d'ajouter des informations sous la forme de couches de données où chaque élément (mot) a N propriétés qui peuvent s'ajouter en fonction des besoins de l'analyse. Cette caractéristique servira pour nos analyses ultérieures (cf. Ch. 3 § 4).

Pour cette expérience, nous avons utilisé un échantillon de textes expérimentaux en français provenant du corpus Chambers-Rostand du français journalistique, distribué par l'université d'Oxford avec une licence libre « Créative Commons ». Le corpus a 979 831 mots et il est construit à partir de 1 723 articles de trois journaux français enregistrés chaque jour entre 2002 et 2003. Les articles sont classés en six catégories : éditorial, culture, sports, nouvelles nationales, nouvelles internationales et finance. Les trois journaux sont *Le Monde* (576 articles / 355 046 mots), *L'Humanité* (576 articles / 367 486 mots) et *La Dépêche du Midi* (570 articles

/ 257 299 mots). Pour notre recherche exploratoire, nous avons utilisé un échantillon de 288 articles du journal *Le Monde* de l'année 2003 organisé en 6 groupes de 48 textes par catégorie (Annexe 1). L'objectif est de mesurer l'efficacité des algorithmes du TALN (cooccurrence de termes et méthodes vectorielles) pour différencier les éléments à l'intérieur d'un document (article du journal). En résumé, cette première expérience exploratoire visait à mesurer la capacité des algorithmes à donner une valeur unique à chaque terme d'un document. Ce dernier est compris comme un système de relations linguistiques, grammaticales et cognitives.

1.5. Méthodes fondées sur la cooccurrence de mots

1.5.1. Fréquences des termes (TF)

Pour calculer les fréquences des termes (*TF*) dans le texte, nous utilisons des techniques du TALN, plus spécifiquement la technique du *sac de mots*. Celle-ci propose que la fréquence d'un mot (*W*) dans un texte est égale au nombre d'occurrences du terme *W* dans le document, divisé par le nombre total de termes du document. Les termes que nous allons analyser sont des termes uniques.

Exemple :

Le texte *X* de notre corpus a au total 718 mots. Dans ce total, nous avons seulement 343 mots uniques qui sont les unités d'analyse sur lesquelles nous calculons les fréquences.

$$Tf(W) = \frac{\text{Nombre d'occurrences de } W}{\text{Nombre total de termes dans le document}}$$

Les fréquences calculées montrent des valeurs entre 0,001392 (*Tf_min*) et 0,072423 (*Tf_max*). 16 de ces fréquences seulement sont différentes.

Notre indice d'efficacité de différenciation va être calculé comme :

$$EfD = \frac{Nfd}{Ntf} \times 100$$

Où :

Nfd est le nombre de fréquences différentes du total de fréquences identifiées pour chaque mot unique du texte.

Ntf est le total de mots uniques du texte

Ainsi :

Dans notre exemple le EfD est $16/343 \times 100$, $EfD = 4,66 \%$

Ce pourcentage de différenciation montre que seulement 4,6 mots de chacun des 100 mots du texte pourront être différenciés numériquement par l'ordinateur.

1.5.2. TF-IDF (*term frequency-inverse document frequency*)

Une deuxième possibilité est d'utiliser la fréquence du terme, mais associée à la fréquence des occurrences du mot dans un groupe de documents. Celle-ci est une mesure statistique qui permet de pondérer les termes dans un document, mais par rapport à une collection des documents (corpus). Elle est fondée sur les principes de la Loi de Zipf (1932) et est souvent utilisée dans la classification de textes, l'inclusion et l'exclusion de données textuelles dans des bases de données et l'organisation de requêtes dans les systèmes à base de connaissance. Le principe est simple : si un mot est fréquent dans un document, mais peu fréquent dans les autres documents, cela signifie que ce mot est plus pertinent pour le document que nous analysons. À l'inverse, si un mot est fréquent dans plusieurs documents, il aura moins de pertinence pour le contenu du document que nous analysons car c'est un mot d'usage plus générique. C'est le cas des articles *le* ou *la* versus un mot qu'on ne retrouve pas dans autre document.

Exemple :

Reprenons le texte X , mais dans ce cas, nous l'analysons en rapport au corpus défini pour notre recherche exploratoire : celui-ci est composé de 288 textes, avec un total de 247 048 mots dont 24 029 mots sont uniques. Nous allons comptabiliser les occurrences des différents mots dans le texte et calculer le TFIDF en utilisant le raisonnement suivant. :

$$TfIDf = Tf(W) \times IDf(W)$$

Où :

$Tf(W)$ est le nombre d'occurrences du terme W dans le document, divisé par le nombre total de mots dans le texte.

Et $IDf(W)$ est le logarithme du nombre de documents divisé par le nombre de documents qui contiennent le terme W .

Alors comparons le Tf et le $TfIDf$ avec deux mots du texte :

$$Tf(abandonnant) = 0,00139 \text{ (moins pertinent)}$$

$$Tf(le) = 0,02507 \text{ (plus pertinent)}$$

vs

$$Tf - IDf(abandonnant) = 0,00789 \text{ (plus pertinent)}$$

$$Tf - IDf(le) = 0,0000004 \text{ (moins pertinent)}$$

Nous appliquons notre indice d'efficacité de différenciation mais en utilisant les valeurs

$TfIDf$:

$$EfD = \frac{111}{343} \times 100 \text{ (111 } TfIDF \text{ différentes sur un total de 343 mots pour 100)}$$

$$EfD = 32,36 \% \text{ pour notre texte X}$$

Avec les valeurs TFIDF, nous observons une amélioration significative de 4,66 % à 32,36 % de différenciation mais celle-ci est toujours au-dessous de 50 %.

1.6. Méthodes fondées sur la sémantique du texte et des espaces vectoriels

Outre les méthodes de cooccurrence de termes, nous pouvons utiliser des méthodes fondées sur la sémantique. Ces méthodes nous donnent la possibilité de pondérer les termes par rapport à leur proximité sémantique avec un corpus particulier. Les deux méthodes les plus connues pour organiser des textes par rapport aux aspects sémantiques des textes sont l'analyse sémantique latente (LSA) et le *Reflective Random Indexing* (RRI). Nous proposons ici une variation méthodologique avec une approche mixte qui utilise des outils vectoriels et prend aussi en compte les caractéristiques grammaticales du texte. Nous appelons cette méthode lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV). Nous présenterons ci-dessous une comparaison de l'efficacité de différenciation des trois méthodes appliquées au corpus sélectionné.

1.6.1. LSA (analyse sémantique latente)

L'analyse sémantique latente utilise les méthodes de cooccurrence (Tf ou $TfIDf$) pour construire un espace vectoriel de $N \times M$, où N représente le nombre de lignes qui contiennent les documents du corpus, et M le nombre de colonnes qui contiennent les mots du corpus. Il s'agit d'une matrice document-mot contenant l'information de cooccurrence des mots, où chaque case représente une valeur de cooccurrence de mot dans un document. Ces relations font émerger un espace vectoriel à n dimensions où chaque dimension représente un document et chaque mot peut être référencé comme un vecteur à l'intérieur de ce système de documents. Les modèles d'espaces vectoriels des mots utilisent des statistiques distributives pour créer des

représentations des signifiants de mots. L'hypothèse est que les mots utilisés dans un contexte déterminé sont plus proches entre eux et par conséquent leur vecteurs aussi. Pourtant, ceux-ci gardent une relation directe avec le contenu sémantique du contexte où ils se trouvent. Une fois créé cet espace vectoriel avec le corpus, nous pouvons créer une représentation ou un profil distributionnel et géométrique de chaque mot d'un texte déterminé ou d'un ensemble des mots et établir ainsi une relation de proximité. Cette structure permet le traitement computationnel à une échelle plus complexe.

Exemple :

Étant donné un texte $X \in Z$ (corpus sélectionné de 288 textes), nous voulons calculer la proximité d'un terme $T \in X$ par rapport à Z .

Le premier pas est la construction d'un espace vectoriel par une matrice document-mot de dimensions $288 \times 24\,029$. Après une décomposition en valeurs singulières (DVS), nous avons deux types de vecteurs : les vecteurs documents Vd_{288}^0 et le vecteur mot Vm_{24029}^0 qui sont représentés comme des vecteurs de 288 dimensions. Une fois construit cet espace vectoriel où sont référencés le document et les mots, nous pouvons calculer la proximité des vecteurs à partir de la forme généralisée de l'équation du cosinus. Les vecteurs voisins ont des valeurs proches de 1, qui représente le cosinus d'un angle de 0° , et les vecteurs éloignés ont des valeurs proches de 0, qui représente le cosinus d'un angle de 90° .

$LSA(Ganesh) = 0,643473$ (proximité élevée)

$LSA(signe) = 0,356798$ (proximité moindre)

Dans ce cas, nous pouvons conclure que le mot *Ganesh* est plus proche de la sémantique du texte X que le mot *signe*. Par conséquent, il est plus représentatif. Ce type de technique est utilisé dans la fouille de textes, l'identification des mots clés et la classification des corpus.

1.6.2. RRI (*Reflective Random Indexing*)

L'indexation aléatoire réflexive (RRI) est également une application linguistique d'une approche vectorielle. Elle est utilisée pour faire émerger des éléments importants du texte dans la fouille de données et la classification des corpus. Cette technique utilise un espace de travail plus réduit que la LSA. Étant donné qu'elle n'utilise pas une matrice complète documents-mot, cette méthode est plus performante au regard des ressources computationnelles. Elle utilise une structure vectorielle aléatoire donnée à chaque texte du corpus et un dictionnaire de termes qui accumule la valeur vectorielle des textes en fonction de l'occurrence des termes dans les

différents éléments du corpus. La fonction réflexive se produit lorsque nous actualisons les données vectorielles de chaque document à partir des vecteurs de termes (*terms vectors*), et nous répétons ce processus plusieurs fois de sorte que les données cumulatives atteignent une convergence naturelle qui réduit la marge d'erreur.

Exemple :

Étant donné un texte $X \in Z$ (corpus sélectionné de 288 textes), nous calculons la proximité d'un terme $T \in X$.

Le premier pas est la construction d'un espace vectoriel robuste. Il est conseillé d'avoir au moins le même nombre de dimensions (k) que de textes dans le corpus. Le processus commence par créer un dictionnaire de mots. Puis, on met les vecteurs de dimension k à zéro. Ensuite, nous attribuons à chaque texte un vecteur aléatoire de dimension k , dont la valeur est comprise entre -1 et 1. L'indexation consiste à accumuler cycliquement les vecteurs aléatoires à chaque cooccurrence de mot dans le document analysé. À chaque fin de cycle, nous remettons les vecteurs mot à zéro et recalculons la somme de vecteurs mot cumulés relatifs au document. Le même processus est répété au moins 3 fois. À la fin, nous avons deux types de vecteurs cumulés : les vecteurs documents Vd_{288}^0 et les vecteurs termes Vm_{24029}^0 , représentés comme des vecteurs de k dimensions.

Nous pouvons déterminer la distance vectorielle à partir de la forme généralisée de l'équation du cosinus de la même façon que la LSA. Nous commençons par normaliser les vecteurs et nous calculons les coefficients de proximité. Les vecteurs voisins ont une valeur proche de 1 qui représente le cosinus d'un angle de 0° et les vecteurs éloignés ont une valeur proche de 0 qui représente un cosinus d'un angle de 90° .

T par rapport au X :

$RRI(Ganesh) = 0,92836$ (similitude élevée)

$RRI(\text{signe}) = 0,9653$ (similitude élevée)

Avec cette approche, les deux mots semblent pertinents pour le texte en question.

1.6.3. Méthode mixte : lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV)

Cette méthode utilise des éléments et des techniques associés à la cooccurrence des mots propres de la lexicométrie et des modèles vectoriels à n-dimensions, utilisés pour la fouille de textes dans les modèles fondés sur la sémantique du texte. Nous appliquons ces techniques à

des caractéristiques grammaticales. Notre objectif est de trouver une trace quantifiable des caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques du texte en tant qu'instrument. Les mots à l'intérieur du texte servent d'éléments d'usage et d'interaction entre sujet et texte. Ceci permet de représenter ces caractéristiques et de les analyser mathématiquement. Face à la problématique de la quantification des éléments grammaticaux, l'approche lexicométrique semble un peu limitée. Nous pouvons compter le nombre d'occurrences ou établir la fréquence d'usage dans un contexte spécifique, mais cette information ne permet pas d'établir une vision complète du système *texte* ni de ses relations dans un *contexte situationnel et cognitif*. Dans la ligne de l'analyse sémantique des textes et de l'indexation réflexive aléatoire, nous nous servons des outils mathématiques pour obtenir des informations lexicométriques. Sur la base de ces informations, nous rendons visibles les relations plus complexes entre les éléments et les contextes. Concrètement, nous organisons les données (morphologiques, syntaxiques et sémantiques) dans des systèmes n-vectoriels pour référencer les textes à différents niveaux : mot, texte ou groupe de textes (si on travaille avec un corpus). Cela nous permet d'obtenir une structure générale et interconnectée du texte et de l'analyser à partir des termes relationnels et des distances.

Le premier pas est la *tokenization* du texte et l'analyse morphologique, syntaxique et sémantique. Ensuite, à partir de la cooccurrence des mots et des caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques, nous construisons 3 vecteurs globaux avec un nombre de dimensions adapté pour chaque type d'analyse : VG_{mor} , VG_{sin} , VG_{sem} . Selon la taille des vecteurs globaux, nous construisons des vecteurs adaptés en taille dimensionnelle pour chaque *token* du document et pour chacun des trois types d'analyse possibles. Enfin, nous obtenons trois espaces vectoriels à n-dimensions (E_{mor} , E_{sin} , E_{sem}) adjacentes où nous pouvons établir la similitude et la proximité des mots entre eux ou par rapport au document dans chaque type d'espace. Un fois les espaces vectoriels définis, nous utilisons le cosinus comme mesure de distance entre deux vecteurs. Nous calculons cette distance entre le mot et le document pour chaque dimension d'analyse. Enfin, nous avons trois distances qui peuvent être exprimées comme des mesures dans un espace vectoriel à trois dimensions (x,y,z) de taille 1 où chaque mot peut être représenté comme un vecteur de module $\vec{X}$. Étant donné que la similarité entre vecteurs doit s'approcher de 1, avant de tracer un vecteur, il faut calculer les distances par rapport à 0. Donc, le vecteur final sera (1-x, 1-y, 1-z) avec un module $\vec{X}$ qui représente la proximité du terme par rapport au texte en fonction des caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques.

Exemple :

Étant donné un texte $X \in Z$ (corpus sélectionné de 288 textes), nous calculons la proximité d'un terme $T \in X$.

On commence par calculer les vecteurs globaux (morphologique-syntaxique-sémantique). Pour ce faire, nous prenons les caractéristiques morphologiques et syntaxiques du texte et nous créons des espaces vectoriels à k dimensions en fonction du nombre des caractéristiques. Nous calculons les cooccurrences dans chaque dimension d'analyse et nous obtenons des vecteurs globaux VG_{morf} ou VG_{syn} respectivement de taille k_{morf} et k_{syn} .

De la même façon, nous mettons un vecteur de taille k à zéro pour chaque dimension d'analyse et nous les assignons à 1 pour chaque mot. Ce vecteur 0 accumule les valeurs en fonction des caractéristiques morphologiques ou syntaxiques du mot analysé. Nous obtenons des vecteurs mots et des vecteurs globaux référencés dans des espaces vectoriels. En parallèle, nous construisons un espace vectoriel sémantique en utilisant *LSA* ou *RRI*. Nous calculons les distances entre chaque vecteur mot et les vecteurs document. Les différents vecteurs de module $\vec{X}_{mot}$ s'éloignent ou s'approchent. Nous pouvons calculer cette distance en utilisant le cosinus pour chaque espace vectoriel. À la fin, nous avons trois distances entre 0 et 1, une pour chaque dimension d'analyse. À partir de ces valeurs, nous construisons un espace tridimensionnel pour représenter un $Vecteur_{Mf-Sx-Sem}$ de module $|\vec{X}|$ qui exprime la distance globale entre le mot et le texte. Il faut noter qu'en raison de l'utilisation du cosinus, il faut inverser la valeur de chaque dimension afin d'obtenir une distance positive.

$$\text{Cela veut dire } |\vec{X}| = \sqrt{(1 - d_{Mf})^2 + (1 - d_{Sx})^2 + (1 - d_{Sem})^2}$$

Pour faciliter la lecture, nous normalisons la valeur à 1 en divisant $|\vec{X}|$ pour la valeur maximale du $|\vec{X}|$.

$$LGV(Ganesh) = 0,646294 (LSA) / 0,651480(RRI) \text{ (proximité moindre)}$$

$$LGV(signe) = 0,62356 \text{ (proximité moindre)}$$

Dans ce cas, nous pouvons conclure que le mot *signe* est plus proche du texte X que le mot *Ganesh*. Mais les deux ont une proximité moindre que celle rapportée par les autres méthodes.

Si nous calculons l'indice d'efficiencia de la différenciation dans ce texte pour les trois méthodes, nous obtenons les valeurs ci-dessous :

79,88 % (*LSA*)

79,30 % (*RRI*) sur un total de 343 *tokens* uniques dans le texte

99,86 % (*LGV*) sur un total de 704 *tokens* dans le texte.

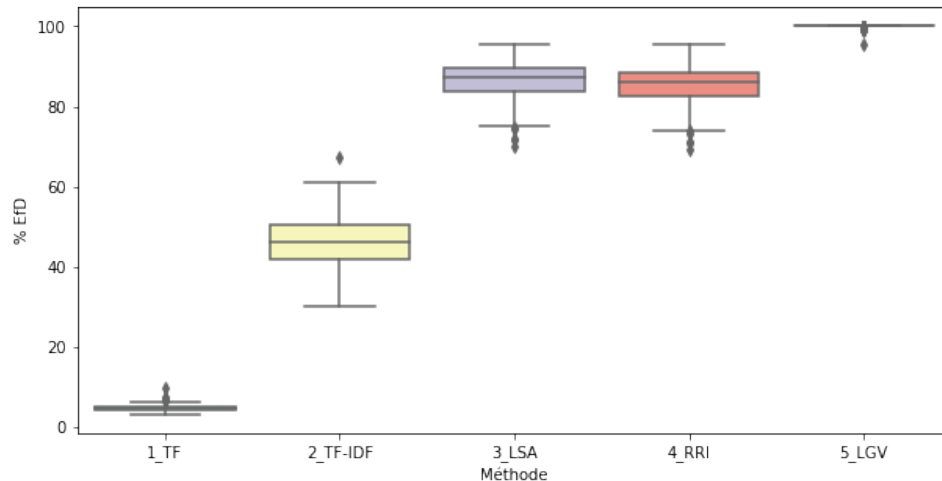
1.7. Analyse comparative des méthodes

Nous avons appliqué les différentes méthodes d'analyse à tout le corpus. En fonction de notre indice d'efficacité de différenciation (%), nous avons obtenu les résultats suivants :

- 4,97 % pour la méthode *TF* (écart-type 0,79 %)
- 45,74 % (écart-type = 6,3 %) pour la *TFIDF*
- 86,41 % (écart-type = 4,61 %) pour l'analyse sémantique latente (*LSA*)
- 85,52 % (écart-type = 4,69 %) pour l'indexation réflexive aléatoire (*RRI*)
- 99,95 % (écart-type = 0,28 %) pour la lexicométrie grammaticale vectorielle (*LGV*)

Figure 11 :

Effets du type de méthodes sur le pourcentage d'efficacité de différenciation (EfD)



Note : Comparaison de la capacité de différenciation des mots des différentes méthodes de traitement automatique du langage naturel (TALN). La moyenne de l'EfD (indice d'efficacité de différenciation) calculée après l'application de la méthode sur chacun des 288 textes du corpus expérimental est utilisée comme mesure de comparaison.

Si nous utilisons des méthodes vectorielles au lieu de celles de cooccurrence, nous trouvons une amélioration substantielle d'au moins 40 % dans l'efficacité pour différencier des mots. Nous obtenons une amélioration d'au moins 18 % si nous utilisons la méthode LGV en lieu du *LSA* ou la *RRI*. L'avantage de cette différenciation des mots et de la cartographie détaillée du texte est la bonne structuration des données qui en résulte. Dans ce type d'analyse, le niveau de détail des comparaisons peut être plus précis que lorsque nous travaillons avec des

données brutes. Par ailleurs, les macro phénomènes sont beaucoup plus évidents. Les relations systémiques entre les données des relations linguistiques et les éléments (mots, phrases et paragraphes) sont également plus perceptibles. Ceci facilite le passage d'une analyse macro à une analyse micro.

Un autre avantage est la possibilité d'appliquer ce type d'analyse dans des expériences d'interaction homme-machine. En effet, ce type de cartographie du texte permet d'améliorer la précision des différences et des nuances du langage naturel pour le traitement automatique du langage.

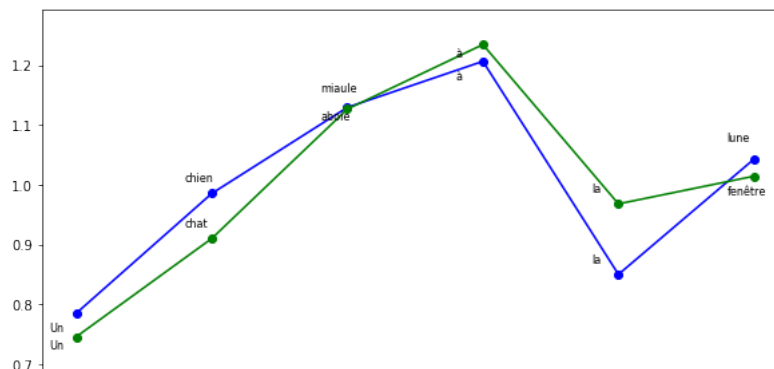
Un exemple :

Voici deux phrases : « Un chien aboie à la lune » et « Un chat miaule à la fenêtre ». Nous pouvons supposer qu'un être humain trouvera facilement une certaine similitude entre ces phrases, mais qu'il pourra en même temps facilement parler de leur différence. En effet, nos processus cognitifs fournissent des éléments et des stratégies qui permettent d'extraire des informations pertinentes à utiliser dans un contexte donné. C'est-à-dire que nous intégrons des informations préalablement structurées. Nous savons que le chien et le chat ont une fonction centrale dans la phrase, que l'article indéfini *Un* nous place dans un scénario de sujets quelconques *chien et chat* mais masculins. Nous savons également que dans le cas du chat, l'action se déroule dans un lieu *fenêtre*, tandis que dans le cas du chien, bien que la lune puisse être un lieu, l'action se rapporte à l'objet *lune* qui reçoit l'action de l'aboiement du chien. Dans ce contexte, nous comprenons parfaitement que l'utilisation de *à la* dans la phrase du chien n'est pas la même que dans la phrase du chat. Réfléchissons maintenant aux limites auxquelles une machine peut faire face au moment de l'analyse. Pour la machine, les mots *chat* et *chien* sont différents. Il n'y a pas de doute. Toutefois, nous, les humains, nous savons qu'ils ont quelque chose en commun. Comment la machine peut-elle saisir cette proximité ? Ensuite, prenons les mots *lune* et *fenêtre*. Les deux peuvent être des lieux ou des objets selon le cas. Enfin, la formule *à la* est composée techniquement par les mêmes mots, mais son usage est complètement différent. Donc, le contexte de la phrase et les actions cognitives que nous pouvons tirer de la lecture de ces phrases ne sont pas évidentes pour la machine.

La technique « LGV » que nous proposons crée une structure de données qui permet à la machine de différencier ces nuances. Regardons-la sous forme visuelle dans le graphique suivant (*Figure 12*) :

Figure 12 :

Deux phrases d'exemples, proximité calculée avec la méthode LGV



Note : Nous comparons deux phrases présentant des caractéristiques similaires afin de démontrer le potentiel de la LGV en tant que méthode d'analyse du langage naturel. La proximité des mots est donnée par la similarité (cosinus) entre les vecteurs de mots et les vecteurs de phrases.

La Figure 12 montre la structuration de données de notre cartographie appliquée à ces deux phrases. À partir de cette structuration, nous pouvons voir que les valeurs attribuées aux mots permettent de produire une représentation plus proche de l'analyse menée pour un humain :

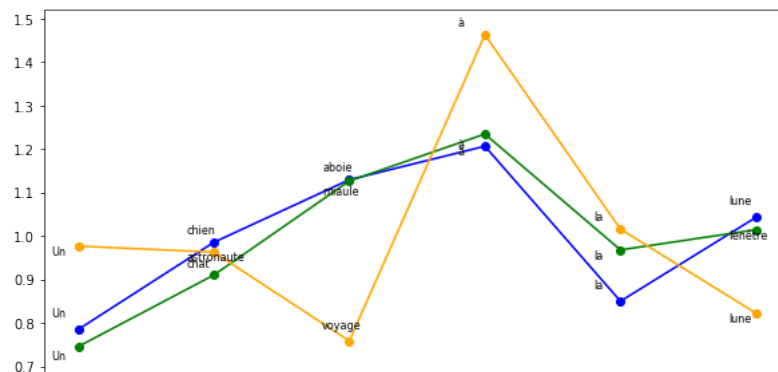
- Les deux phrases ont une forme très proche.
- Les verbes ont une valeur très similaire, même s'il ne s'agit pas des mêmes mots.
- « un » et la formule « à la » sont clairement différents, même s'il s'agit des mêmes mots.

Si nous ajoutons une 3^e phrase : « Un astronaute voyage à la lune », nous pouvons observer que dans la

Figure 13, le mot *astronaute* est proche des mots *chien* et *chat*. Au contraire, le verbe *voyager* est loin de *miauler* et d'*aboyer*. Dans le cas du mot *lune*, elle n'est pas la même dans cette phrase que dans le contexte du chien.

Figure 13 :

Trois phrases d'exemple, proximité calculée avec la méthode LGV.



Note : Nous ajoutons une troisième phrase des caractéristiques similaires mais dans un contexte différente pour illustrer le degré de raffinement dans la différenciation des mots de la LGV en tant que méthode d'analyse du langage naturel. La proximité des mots est donnée par la similarité (cosinus) entre les vecteurs de mots et les vecteurs de phrases.

Il faut noter que selon la méthode utilisée et le degré d'efficacité de la différenciation, cette structure de données sera plus lisible et réduira l'ambiguïté des termes pour l'interprétation de la machine. Il faut également expliquer que cette structuration se fait avec une approche mixte qui partage l'information relative de chaque texte à la fois pour lui-même et par rapport à un corpus, ce dernier étant un ensemble de textes traités ou un autre texte de référence externe aux textes analysés.

2. Exploration 2 - Cartographie des stratégies visuo-cognitives

Cette deuxième exploration vise à compléter l'expérience précédente avec une analyse du rapport entre la caractérisation des stratégies visuelles des sujets et la cartographie des textes expérimentaux. À cette fin, nous avons utilisé un ensemble de données oculaires obtenues lors de l'expérience de laboratoire mené par le docteur U. Ballenghein en 2018, dont les résultats ont été publiés dans son travail *Traitement référentiel pendant la lecture : enregistrements simultanés des mouvements oculaires et des mouvements de la tête* (2018). Cette expérience visait à analyser le comportement oculaire des sujets lors d'une tâche de lecture qui fait passer le référent linguistique des textes de la première à la troisième personne. Notre objectif étant d'une nature différente, nous avons récupéré les données brutes de cette expérience sans aucune sorte de prétraitement afin d'explorer la possibilité de les différencier et caractériser en appliquant la méthodologie des espaces vectoriels. Notre hypothèse dans cette deuxième étude exploratoire est qu'il est possible de caractériser les stratégies visuelles en les associant aux espaces linguistiques des textes.

2.1. Matériels et méthodes

2.1.1. Caractéristiques des équipements de mesure et réglages de l'expérience

Les mouvements oculaires ont été recueillis avec un système fixe *SMI RED 500*, qui utilise le réflexe cornéen avec des sources infrarouges et une compensation automatique de l'angle de vue. Le taux d'échantillonnage a été fixé à 500 Hz et la précision du suivi du regard a été déterminée comme étant inférieure à 0,4° de l'angle visuel dans toutes les directions. L'instrument de suivi du regard a été calibré à 40° en horizontal et à 60° en vertical. Les textes étaient présentés sur un écran *LCD Dell P2210 22"*, avec une résolution de 1680x1050 px et un taux de rafraîchissement de 60 Hz. Les sujets étaient assis à une distance de (60-70) cm de l'écran.

2.1.2. Le corpus des mouvements oculaires

Le corpus est composé de 10 fichiers bruts, avec des informations relatives aux mouvements oculaires de 32 sujets pendant une tâche de lecture de 26 textes organisés en 3 catégories : a) Avec changement de référentiel (AC-8), b) Sans changement de référentiel (SC-8) et c) Distracteurs (D-8). Le corpus de données oculaires a été récupéré dans des fichiers en format *CSV* directement avec le programme natif *SMI Begaze (v 3.7)*. Les fichiers contiennent

des informations détaillées sur le comportement oculaire concernant : les fixations dans les zones d'intérêt (64 355 enregistrements), les saccades (82 811), les fixations (41 462), la position d'atterrissage (37 071), les pauses (91 027), les régressions dans les zones d'intérêt (2 956), les régressions entre les zones d'intérêt (6 763), les saccades de régression initiale (43 991), les balayages de retour (5 029) et la vitesse de lecture globale (818).

2.1.3. Configuration des données de l'expérience de laboratoire original :

D'après le protocole expérimental original, nous savons que les textes ont été présentés de manière aléatoire au cours de l'expérience. En outre, les 32 sujets ont été organisés en 2 groupes (G1 et G2) désignés au hasard avant de commencer l'expérience qui a permis de recueillir les informations oculaires. Les 16 sujets du G1 ont observé les stimuli manipulés de manière contrebalancée par rapport aux 16 sujets du G2. C'est-à-dire, les textes du stimulus SC pour G1 étaient les textes du stimulus AC pour G2 et vice versa. Les textes distracteurs étaient les mêmes pour les deux groupes.

2.1.4. Prétraitement du corpus des mouvements oculaires

Nous avons organisé le corpus de mouvements oculaires selon le protocole expérimental original : participants (32), groupes (2) et catégories de stimulus (4). Ensuite, nous avons nettoyé la base des données et supprimé les enregistrements incomplets. Après ce prétraitement, le corpus des mouvements oculaires auquel nous avons appliqué notre analyse exploratoire a été réduit à : 22 sujets (11 - G1) et (11 - G2), qui ont lu 21 textes (Annexe 2) catégorisés en 3 types : 7 sans changement référentiel (SC), 7 avec changement référentiel (AC) et 7 distracteurs (D). Enfin, un filtrage des données par aire d'intérêt (AOI) de type mot a été effectué lorsque l'ensemble de données le permettait.

2.2. Macro-analyse : espaces de travail à n-dimensions

Une fois la base des données oculaires nettoyée et délimitée, nous avons procédé à l'extraction et à l'organisation des informations pertinentes de chacun des fichiers CSV. Nous avons ainsi créé un tableau général avec les valeurs moyennes de chacune des variables pour chaque participant et chaque texte. Ce tableau compte 462 enregistrements, résultat de la combinaison des 22 sujets et des 21 textes lus. Chaque enregistrement compte 18 dimensions

de travail¹⁸. Chaque dimension contient la moyenne des mesures correspondantes enregistrées par sujet et par texte. Ainsi, la lecture des différents textes faite par chaque participant, quelles que soient ses caractéristiques, produit des informations qui sont compilées et organisées dans ces 18 dimensions de l'espace de travail que nous avons créé. À partir de cet espace à n-dimensions ($d=18$), nous avons étudié les différents comportements des sujets en fonction de caractéristiques internes (par rapport à leur comportement global) et externes (par rapport aux textes « stimulus »).

2.2.1. Le comportement des yeux comme un type de vecteur à k-dimensions

Lorsque nous compilons la moyenne des différentes mesures spatiales et temporelles obtenues au cours de la lecture d'un texte par un participant et que nous les organisons dans notre espace à n-dimensions, nous générons un vecteur de comportement oculaire (VCO_{18}) de 18 dimensions. En répétant cette opération avec chacun des participants, sur chacun des textes, nous pouvons remplir notre espace à n dimensions avec des vecteurs à k-dimensions. Cette procédure permet ensuite d'utiliser une série d'opérations algébriques spécifiques aux vecteurs.

2.2.2. Vecteurs oculaires de référence

Nous avons défini 2 types de vecteurs oculaires de référence : a) le vecteur global de comportement oculaire (VGCO) qui est la somme des différents VCO et b) le vecteur moyen de comportement oculaire que nous appellerons vecteur de comportement oculaire normalisé (VCN), qui est le résultat de la division du VGCO par le nombre de comportements enregistrés pour chaque cas. Il est important de souligner que chaque vecteur oculaire, qu'il s'agisse du VCO, VGCO ou du VCN, possède les mêmes caractéristiques que n'importe quel autre vecteur : module, direction et sens. Étant donné que toutes les mesures oculométriques augmentent positivement sur une échelle de nombres réels, le sens des vecteurs est toujours positif.

¹⁸ Chaque dimension est une des mesures d'intérêt identifiées lors de la phase de prétraitement : nombre de fixations, durée de la fixation unique [ms], durée de la saccade [ms], amplitude de la saccade px, durée de la fixation [ms], position d'atterrissage de l'AOI [%], durée de la fixation [ms], pause de la fixation [ms], PFD[ms]_IAOI, NFD[ms]_IAOI, RSD[ms]_IAOI, Prev. durée de la fixation [ms], durée de la fixation suivante [ms], durée de la saccade régressive [ms], durée du balayage de retour de la saccade [ms], durée de la correction de la saccade [ms], durée intermédiaire de la fixation [ms], lecture de l'AOI Hits Word.

2.2.3. Mesures de la similarité et de la distance entre les vecteurs

Les espaces vectoriels permettent de travailler avec plusieurs vecteurs. Pour cela, nous nous servons de propriétés algébriques des vecteurs qui permettent de les comparer et/ou de les mettre en relation. Une première opération possible entre deux vecteurs est la comparaison de leur module ou leur norme, c'est-à-dire la longueur du segment de droite résultant de la somme des différentes projections du vecteur sur chacun des axes de l'espace vectoriel (dimensions) entre son point initial et son point final. Dans le cas des vecteurs bidimensionnels, cela se fait à l'aide du célèbre théorème de Pythagore. Dans ce cas, le module est égal à la longueur de l'hypoténuse du triangle rectangle formé entre celle-ci et sa projection sur les axes x (côté adjacent) et y (côté opposé). Il ne faut pas oublier que cette valeur est toujours absolue. Dans le cas d'espaces vectoriels non euclidiens générés par des vecteurs à k -dimensions, le module résulte d'une généralisation de ce théorème, à condition que tous les vecteurs appartiennent au même espace orthonormé. Pour cette raison, une partie importante du processus de prétraitement des données de la méthodologie que nous proposons consiste à référencer chaque VCO dans le même nombre de dimensions (dans ce cas $d=18$).

Une deuxième opération entre vecteurs est le calcul du produit scalaire. Celui-ci désigne le produit des modules des vecteurs par le cosinus de l'angle qui marque leur direction. Cette opération permet d'obtenir une seule et unique valeur numérique scalaire à partir de la mise en relation de deux vecteurs de dimensions égales.

Une troisième opération possible entre vecteurs est le calcul de l'écart entre les angles directeurs, autrement dit l'angle qui les sépare. Si deux vecteurs de taille similaire et de direction similaire ont un angle de séparation de 0° , nous dirons que les vecteurs sont similaires et donc que le cosinus de leur angle de séparation tend vers 1. En revanche, si deux vecteurs sont de taille similaire, mais ont un grand angle de séparation de 90° , ils seront dissemblables et le cosinus de leur angle de séparation tend vers 0. Ce même principe est utilisé dans le processus TALN pour trouver la similarité entre les termes référencés dans des corpus à n dimensions, car avec plus de 3 dimensions, une représentation graphique du problème serait impossible.

Enfin, d'autres outils mathématiques permettent de calculer la similarité entre les vecteurs sur la base du calcul de la distance vectorielle entre eux. La distance euclidienne mesure le module du vecteur résultant du résidu des vecteurs que l'on compare. La distance de Manhattan résout le problème de relier deux points non pas directement par une ligne droite, mais en

utilisant des segments verticaux et horizontaux de même taille, comme s'il s'agissait de blocs sur une grille.

2.2.4. Traitement et organisation des données oculométriques dans des espaces vectoriels

Pour cette analyse exploratoire, nous utilisons la base des données définies précédemment. Nous commençons par calculer les vecteurs référentiels VGCO et VCN pour chacun des participants de l'expérience en utilisant les données globales disponibles. Ensuite, nous construisons une base de données avec le VCO de chaque participant sur chacun des textes de l'expérience. À partir de cette base de données, nous effectuons des opérations de comparaison entre le VCN et les VCO pour chacun des participants. Nous utilisons pour cela la mesure de similarité fondée sur la comparaison des cosinus directeurs (COS). Nous calculons également le module (MOD) de chaque VCO et nous ajoutons aussi le calcul de la distance de Manhattan (MH) entre les points définis par le VGCO et les VCO de chaque participant pour chacun des textes lus. Enfin, nous organisons une nouvelle base de données contenant les 462 enregistrements (22 participants x 21 textes) et leur comparaison par les cosinus, les modules et les distances. Cette base de données est organisée selon la structure de l'expérience par groupes (G1, G2) et par catégorie de stimulus (AC, SC, D).

2.2.5. Analyse des données et résultats : données oculaires à n dimensions

L'un des objectifs de notre étude exploratoire était de vérifier si un corpus des enregistrements de mouvements oculaires peut être traduit dans un espace vectoriel à n dimensions avec des vecteurs à k dimensions qui expriment les relations entre les caractéristiques du comportement oculaire des sujets et la situation dans laquelle les données ont été recueillies.

Dans le cas de notre exemple, comme nous l'avons déjà signalé, la collecte des données a été effectuée lors d'une tâche de lecture de stimuli de type texte catégorisés en trois types : AC, SC et D. Deux d'entre eux (AC et SC) ont été manipulés expérimentalement afin d'étudier les réactions comportementales au changement du sujet référentiel du texte. La troisième catégorie de textes a été incluse en tant que distracteurs (D).

Notre première analyse a utilisé des mesures de similarité du cosinus pour déterminer si le comportement oculaire d'un individu sur un texte donné (VCO_{21}^1) et le comportement référentiel global du même individu, représenté dans un vecteur VCN, change en fonction du

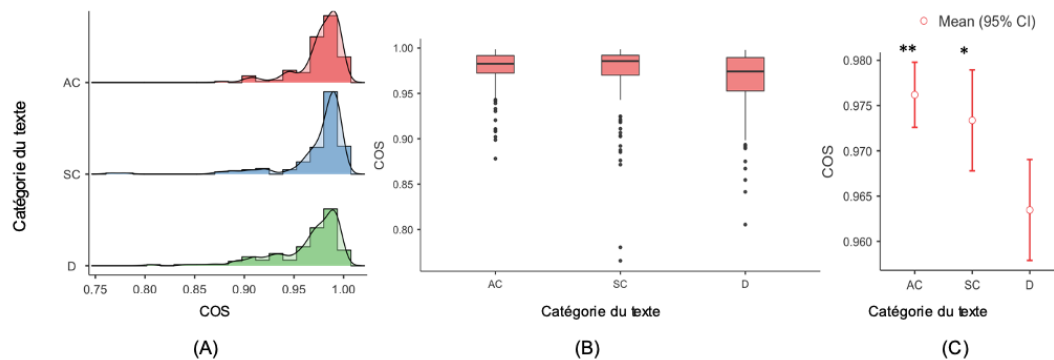
type de catégorie de stimulus. En d'autres termes, nous voulons déterminer dans quelle mesure un comportement oculaire spécifique (VCO) diffère d'un comportement oculaire standard (VCN) lorsque la catégorie du texte lu est différente. Pour ce faire, nous avons effectué une analyse de la variance entre les échantillons prélevés pour chaque catégorie de texte en utilisant comme mesure de similarité le cosinus par rapport au VCN de chaque participant pour chacun des textes. Nous avons constaté que les échantillons ne présentent pas l'hypothèse d'homoscédasticité ou d'égalité des variances, ni l'hypothèse de normalité (*Figure 14 - A*). Pour cette raison, nous avons eu recours au *test de Welch* comme ressource statistique valide pour comparer statistiquement nos données. Les résultats montrent qu'il y a effectivement une différence significative dans la distance entre le comportement standard et le comportement particulier sur le texte et que cette différence est liée au type du texte ($F_{(2,291)} = 7,20, p\text{-value} < 0,001$). Dans l'analyse post-hoc, le test de *Games-Howell* montre que les différences sont marquées entre les textes distracteurs et les textes manipulés AC ($t_{(262)} = 3,79, p\text{-value} < 0,001$) ou SC ($t_{(306)} = 2,48, p\text{-value} < 0,05$), alors qu'il n'y a pas de différence significative entre ces deux catégories (*Figure 14 - C*).

Si nous traduisons notre VCO en termes cognitifs, cette analyse montrerait que les participants de l'expérience concentrent leurs ressources cognitives, au moyen d'une stratégie visuelle, selon une norme (standard-p) d'utilisation des ressources oculomotrices (VCN). Cela définit une stratégie visuelle qui adapte l'activité de lecture en fonction de la catégorie de texte lu. Les données montrent que la stratégie visuelle standard de l'expérience est activée lorsque les participants sont confrontés aux textes manipulés (AC ou SC) du schéma de l'expérience de laboratoire. Une explication probable de ce phénomène, qui est soutenue par les résultats statistiques, est que les participants sont capables d'identifier les textes distracteurs et de les différencier des textes d'évaluation. Ainsi, dans le cas des textes distracteurs, la stratégie visuelle utilisée par le participant s'éloigne de la stratégie standard. Cela n'est pas le cas lorsque les participants sont confrontés aux textes d'évaluation : la stratégie visuelle est alors proche de la stratégie visuelle standard. Nous n'avons pas trouvé de différence statistiquement significative entre les stratégies visuelles standard pour les textes d'évaluation AC et SC. Toutefois, il faut noter que dans la *Figure 14 - C*, nous observons une petite différence et une réduction de la variance entre les distances des stratégies utilisées avec les textes AC (0,000511) et celles utilisées avec les textes SC (0,001227). Il convient de noter que ces valeurs de variance sont faibles en raison de l'échelle sur laquelle fonctionne la similarité avec les cosinus directs. L'explication cognitive de ce phénomène est que les textes manipulés AC et SC ont

des caractéristiques très similaires et que cela rend difficile la différenciation du stimulus pendant la lecture.

Figure 14 :

Similarité(cos) des stratégies visuocognitives particulières par catégorie de texte



Note: A) Histogramme - Distribution des valeurs de distance vectorielle entre le vecteur de comportement standard (VCN) et le vecteur de comportement oculaire (VCO). B) Boîte à moustaches - Distribution des valeurs de distance vectorielle par catégorie de texte. C) Effet de la catégorie de texte sur la distance entre le VCN et le VCO. Intervalle de confiance à 95 %.

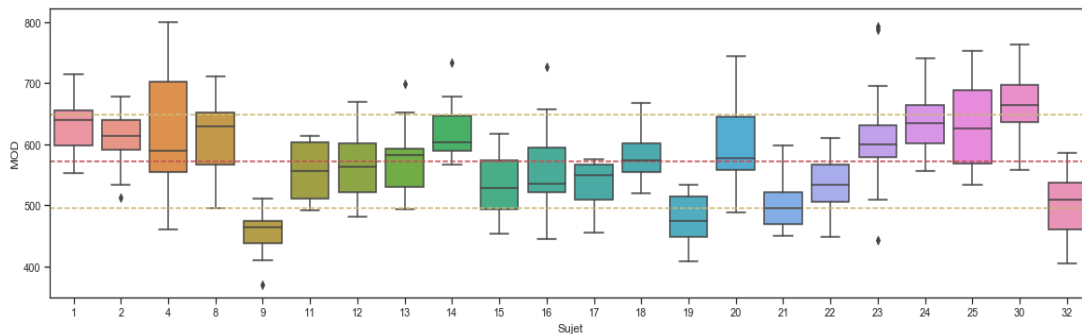
Pour notre deuxième analyse, nous avons utilisé le module et la distance de Manhattan. L'objectif était également de vérifier si les valeurs du module du vecteur permettent de caractériser la stratégie visuelle des participants. Pour cela, nous avons utilisé la base de données des comportements oculaires de chaque participant (VCO_{21}^1). Étant donné que nous disposons du groupe auquel chacun des participants a été assigné au hasard pendant l'expérience de contrebalancement, nous avons décidé d'analyser si la configuration spécifique des stimuli pendant le contrebalancement pouvait affecter le comportement oculaire des participants. Deux mesures ont été calculées : le module de chaque VCO par participant et par texte ; et la distance de Manhattan entre le vecteur global du comportement oculaire VGCO et chaque VCO de chaque participant. Si, dans la première partie de notre analyse, nous avons cherché une stratégie visuelle standard et ses variations par rapport aux différents textes, dans cette deuxième partie, nous nous sommes intéressés à la définition d'une valeur globale de l'utilisation des ressources cognitives, traduite par la magnitude de chaque VCO. A priori, la variance entre les données de chaque participant doit être faible. En outre, il ne devrait pas y avoir de différences significatives entre les groupes auxquels chaque participant a été affecté, cette opération ayant été effectuée au hasard. Cependant, cela n'est pas toujours le cas, comme le montre l'analyse statistique qui suit.

En ce qui concerne l'utilisation du module (norme d'un vecteur) comme mesure caractéristique du comportement oculaire des sujets, nous avons constaté que la moyenne générale des magnitudes est de 572,03 (écart-type = 76,98). La Figure 15 montre que les

moyennes des différents sujets sont groupées normalement autour de la moyenne générale des modules. Pour corroborer ces informations, nous appliquons un test de Shapiro-Wilks ($w = 0,95$, $p > 0,05$) et rejetons l'hypothèse nulle en déterminant que les moyennes suivent une distribution normale.

Figure 15 :

Distribution des sujets par rapport aux comportements oculaires moyens.

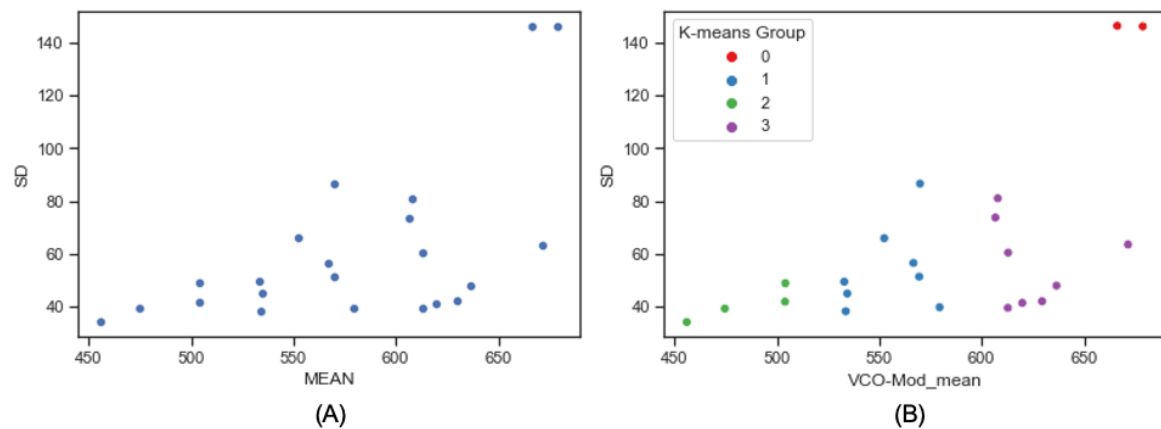


Note : Boîte à moustaches - Module du vecteur moyen du comportement oculaire par sujet. Intervalle de confiance à 95 %.

Si nous supposons que la stabilité de ce type de comportement est une représentation de la stratégie visuo-cognitive de chaque participant, nous pourrions utiliser ces mêmes mesures de stabilité statistique comme ressource pour la classification des sujets en fonction de leur stratégie visuelle. Pour faciliter la compréhension de cette proposition, nous utilisons un schéma de nuage de points (*scattert plot*) dans laquelle nous représentons chaque participant de l'expérience. Nous utilisons la moyenne des modules des VOC de chaque sujet pour déterminer leur position sur l'axe des X et l'écart-type des mêmes VOC pour l'axe des Y (*Figure 16 - A*). Les mesures de stabilité par rapport à la magnitude des VCO permettent à leur tour d'appliquer n'importe quelle technique de regroupement (*clustering*) aux participants du groupe. Comme exercice pratique pour notre exploration, nous avons utilisé une classification de type *K-means* pour définir 4 groupes de participants selon la similarité de leurs stratégies visuocognitives (*Figure 16;Error! No se encuentra el origen de la referencia. - B*).

Figure 16 :

Caractérisation des sujet par stabilité des comportements oculaires et classification (K-means)

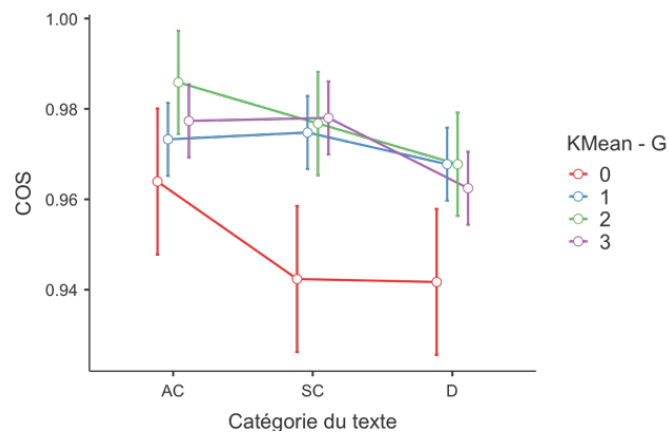


Note : A) Nuage de points – relation moyen et écart-type du VCN par sujet. B) Catégorisation de sujets par K-means.

L'avantage de cette procédure est que nous pouvons utiliser la classification des participants comme catégorie d'analyse. Si nous comparons les distances entre les stratégies particulières par type de texte et les stratégies standard, en considérant aussi le *cluster* défini par la stabilité de la stratégie visuelle, notre analyse des effets est enrichie. La Figure 17 présente cette analyse combinée de $similarité_{VCN}^{VCO}$ par catégorie de participant et type de texte :

Figure 17 :

Effets de la catégorie de texte sur la similarité (cos) des comportements oculaires



Note : Groupes définis par K-means.

Cette figure montre la stabilité de la stratégie visuelle donnée par les cosinus directeurs des différents participants dans les 3 conditions expérimentales (AC, SC, D), et la stabilité de la stratégie visuo-cognitive référencée par le module des VCO (K-means - G) .

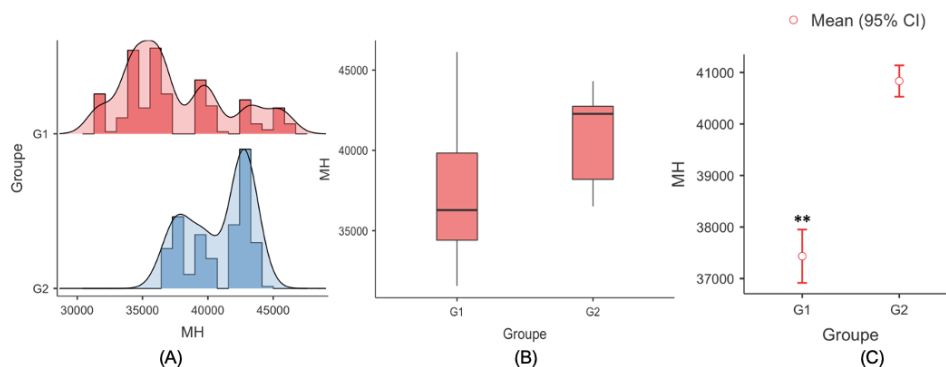
Nous observons que les divergences entre les stratégies standard et les stratégies pour chaque type de texte sont différentes selon les groupes identifiés. Pour le groupe KM-0 (rouge), la divergence est plus grande dans les textes de type SC et D que dans les textes de type AC.

Pour les autres groupes, cette divergence est plus importante que dans les textes de type D. De plus, le groupe (KM-2, verte) montre une divergence réduite par rapport à la stratégie standard pour les textes de type AC. Enfin, la divergence dans les groupes KM-1 (bleu) et KM-3 (violet) reste stable pour les textes AC et SC, mais s'inverse dans le cas des textes D. Ces variations de comportement par groupe pourraient être attribuées à la fois aux caractéristiques épigénétiques des participants et aux caractéristiques des textes.

Quant à l'utilisation de la distance relative de type Manhattan entre les VGCO et chacun des VCO, nous avons effectué les analyses statistiques correspondantes pour déterminer si elles nous fournissaient des informations sur les différences dans l'usage des ressources cognitives par type de texte. L'analyse de la variance ne révèle pas de différences significatives par type de texte. Cependant, cette analyse montre une différence entre la variance par rapport au groupe d'affectation des participants à l'expérience (G1 et G2). En effet, si nous organisons nos données par rapport à ces groupes, nous observons que les données ne répondent pas aux hypothèses d'homoscédasticité et de normalité (*Figure 18 - A et B*). Par conséquent, nous avons utilisé un test non paramétrique pour des échantillons indépendants, en l'occurrence, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney ou test U. Selon cette analyse, il existe une différence significative (*Figure 18 - C*) entre G1 et G2 ($U = 7,20$, $p\text{-value} < 0,001$, avec une taille d'effet de 52,7 % par *correlation biserial rang*).

Figure 18 :

Distance des stratégies visuocognitives par facteur « groupe du contrebalancement »



Note : A) Histogramme - Distribution des valeurs de distance Manhattan entre le vecteur général de comportement oculaire (VGCO) et le vecteur de comportement oculaire du texte (VCO). B) Boîte à moustaches - Distribution des valeurs de distance Manhattan par facteur « groupe du contrebalancement ». C) Effet du facteur « groupe du contrebalancement » sur la distance (MH) entre le VGCON et le VCO. Intervalle de confiance à 95 %.

2.2.6. Discussion : différence entre G1 et G2

Cette différence a deux explications possibles. D'abord, nous supposons que cette différence ne peut pas être expliquée par la configuration de l'expérience, car elle était de nature aléatoire. Si c'est le cas, on présume que les différences trouvées entre G1 et G2 sont causées par le matériel expérimental. En d'autres termes, les textes manipulés (AC et SC) dont les stimuli ont été inversés pour G1 et G2 peuvent produire un effet sur l'utilisation globale des ressources visuocognitives des participants. La deuxième possibilité est que les participants de G1 et G2 ont des différences significatives en termes de capacité de lecture. Cela peut être l'effet d'un niveau d'éducation ou de professionnalisation différent entre les participants de deux groupes. Malheureusement, le manque d'informations sur les caractéristiques des participants à l'expérience ne permet pas un contrôle adéquat de cette deuxième hypothèse. Nous nous limiterons donc à faire une analyse de la première hypothèse. Pour ce faire, nous avons mesuré la magnitude du vecteur VCO. Celle-ci peut être comprise comme le comportement visuo-cognitif cumulé attribué pendant l'activité de lecture pour chacun des différents textes. Nous avons effectué l'analyse statistique en configurant l'information avec la variable de groupe (G1 et G2). Dans ce cas, l'hypothèse d'homoscédasticité est vérifiée, mais non celle de normalité. Nous avons donc utilisé un test *F-ANOVA* pour sa robustesse et nous avons trouvé une différence significative ($F_{(1)} = 46,30$, $p\text{-value} < 0,001$) entre les groupes (

Figure 19 -A) Cependant, seulement 9 % ($\eta^2 = 0,09$) de la différence est influencée par la caractéristique du groupe. Nous avons ajouté la variable du type de texte (AC, SC, D) à cette analyse mais nous n'avons pas trouvé de différence significative (

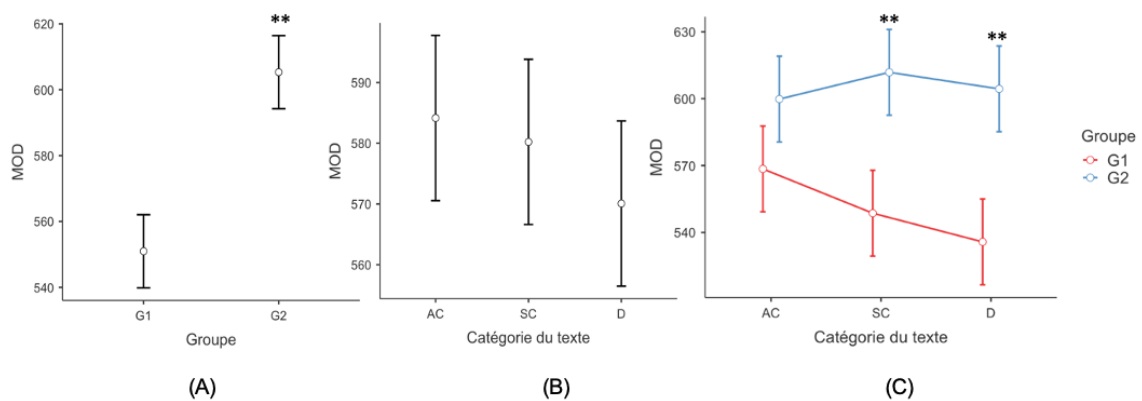
Figure 19 - B). Or, si nous croisons les informations des deux caractéristiques, nous observons que le comportement de l'effet est différent entre G1 et G2 (

Figure 19 - C). Ceci nous donne des pistes à traiter qui pourraient être analysées avec un test post-hoc (

Tableau 3).

Figure 19 :

Effets du comportement visuo-cognitif (MOD) par groupes et type de texte



Note : A) Effets du facteur « groupe » sur le module (MOD) du vecteur du comportement oculaire (VCO) — comportement visuo-cognitif—. B) Effets du facteur « catégorie du texte » sur le comportement visuo-cognitif. C) Effet du facteur « catégorie du texte » sur le comportement visuo-cognitif par groupe du contrebalancement. Intervalle de confiance à 95 %.

Nous constatons que la magnitude de l'VCO a un comportement similaire pour G1 et G2 dans les catégories de texte SC et D. La différence des groupes (

Figure 19 - C) est significative dans les deux catégories SC ($t_{(456)} = -4,56$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -0,73$) et D ($t_{(456)} = -4,96$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -0,79$). Cependant, ce n'est pas le cas pour les textes de type AC où la magnitude des VCO est très similaire et ne nous permet pas de confirmer la différence entre les groupes G1 et G2 ($t_{(456)} = -2,26$, $p\text{-value} = 0,36$). Si nous analysons cela à la lumière des faits cognitifs, nous pourrions dire que les textes de type AC génèrent une stratégie d'utilisation des ressources cognitives similaire pour G1 et G2, tandis que les textes SC et D produisent des stratégies clairement différenciées. Ce comportement peut être attribué à la structure des textes utilisés pour G1 par rapport à ceux utilisés pour G2.

Afin d'évaluer l'effet que les caractéristiques du texte peuvent produire, nous changeons l'espace vectoriel et passons d'une échelle macro à une échelle méso. Nous analyserons non seulement le comportement global du texte, mais aussi le comportement au niveau des mots, en tant que structures internes d'interaction d'un instrument de connaissance de type texte.

Tableau 3 :**Comparaisons Post Hoc - groupe et catégorie du texte**

Post Hoc Comparisons - Groupe * Catégorie du texte

Comparison					Mean Difference	SE	df	t	pbonferroni	Cohen's d
Groupe	Catégorie du texte		Groupe	Catégorie du texte						
G1	AC	-	G1	SC	19.87	13.8	456	1.436	1.000	0.2314
		-	G1	D	32.75	13.8	456	2.366	0.276	0.3813
		-	G2	AC	-31.31	13.8	456	-2.262	0.363	-0.3645
		-	G2	SC	-43.31	13.8	456	-3.129	0.028	-0.5043
		-	G2	D	-35.90	13.8	456	-2.594	0.147	-0.4180
	SC	-	G1	D	12.88	13.8	456	0.930	1.000	0.1499
		-	G2	AC	-51.18	13.8	456	-3.698	0.004	0.5959
		-	G2	SC	-63.19	13.8	456	-4.565	<.001	-0.7357
		-	G2	D	-55.77	13.8	456	-4.029	<.001	-0.6494
		-	G2	AC	-64.06	13.8	456	-4.628	<.001	0.7458
	D	-	G2	SC	-76.06	13.8	456	-5.495	<.001	0.8856
		-	G2	D	-68.65	13.8	456	-4.960	<.001	-0.7993
G2	AC	-	G2	SC	-12.01	13.8	456	-0.867	1.000	-0.1398
		-	G2	D	-4.59	13.8	456	-0.332	1.000	-0.0535
	SC	-	G2	D	7.41	13.8	456	0.536	1.000	0.0863

*Note : La comparaison est basée sur les moyennes marginales estimées.***2.3. Méso-analyse : espaces vectoriels de type « Document »**

Dans cette section, nous utiliserons un nouvel espace vectoriel avec trois éléments : a) Documents, b) Mots et C) Données oculométriques. Elles sont liées aussi bien au document qu'aux mots qui le composent. Nous appliquerons notre méthode d'espaces à n-dimensions et de vecteurs à k-dimensions à l'analyse oculométrique afin de répondre à trois questions : a) Quelle est la cause des différences entre les groupes G1 et G2 dans l'utilisation des différentes catégories de texte ? b) Comment cette différence détermine-t-elle le comportement oculaire lors de l'expérience ? et c) La méthode de cartographie des stratégies visuo-cognitives montre-t-elle les effets sur le comportement oculaire produits par le changement de référent linguistique ?

2.3.1. Prétraitement du corpus et structure de la base de données

L'exploration de données oculométriques a commencé par l'organisation d'une base de données permettant la construction de l'espace à n-dimensions qui accueille les différents types de vecteurs. Afin de garder les résultats de cette deuxième d'exploration comparables, et en accord avec les résultats de la première, nous avons décidé d'utiliser la même configuration de données expérimentales. Notre base de données contient les données oculométriques de 22 sujets. L'enregistrement des mouvements oculaires a été effectué pendant l'activité de lecture de 21 textes divisés en trois catégories : 7 sans changement de référentiel (SC), 7 avec

changement de référentiel (AC) et 7 distracteurs (D). Les textes sont présentés aléatoirement pendant l'expérience, y compris les informations concernant le groupe de contrebalance (G1 et G2), qui a également été assigné aléatoirement avant le début de l'expérience.

Dans cette section, nous entamons une méso-analyse, qui montre certains avantages de notre méthodologie d'analyse oculométrique. En passant d'une échelle macro à une échelle méso, notre méthode permet d'améliorer la précision des résultats. Dans cette analyse, nous n'utiliserons que les données relatives aux domaines d'intérêt du type de mot (56 489 enregistrements dans les données brutes). Une fois les informations des 22 sujets et des 21 textes sélectionnées, la base de données a été complétée par 33 814 enregistrements de données oculométriques.

2.3.2. Création de l'espace à n-dimensions et identification des vecteurs de référence

Après avoir sélectionné et organisé les informations oculométriques relatives aux caractéristiques du plan expérimental (S-22 * T-21), nous avons procédé au discernement de l'espace n-dimensionnel optimal à utiliser dans l'analyse, de son nombre de dimensions et des dimensions à prendre en compte. Cette méso-analyse prend en compte 12 dimensions¹⁹ construites à partir des informations temporelles et spatiales du comportement oculaire des sujets expérimentaux sur les différents textes. Pour ce niveau d'analyse, nous avons défini plusieurs vecteurs de référence. Le premier est un type de vecteur lié au document : le vecteur général du comportement oculaire du document (VGCO_D). Ce type de vecteur est construit à partir de chaque document présenté dans l'expérience et du comportement oculaire de chaque individu sur ce document. En d'autres termes, chaque VGCO_D est unique pour chaque sujet. Ce vecteur accumule le comportement général d'un sujet pendant la lecture d'un texte ou d'un document donné. Cette opération est répétée pour chaque sujet expérimental par rapport à chaque texte de l'expérience. Enfin, il est nécessaire de référencer chaque vecteur documents dans notre espace vectoriel (E_{12}^1). Cette phase de l'étude s'est achevée avec le référencement de 462 VGCO_D₁₂¹, un pour chaque sujet (22) par rapport à chacun des 21 textes de l'expérience.

¹⁹ Nombre de fixations [n], fixations progressives [n], régressions vers le centre d'intérêt [n], régressions hors du centre d'intérêt [n], fixations régressives [n], durée de la fixation unique [ms], durée de la première fixation [ms], temps de lecture du premier passage [ms], premier retour au centre d'intérêt [ms], temps de lecture du deuxième passage [ms], rapport saccade / fixation suivante [%], rapport saccade / fixation précédente [%].

2.3.3. Zones d'intérêt et vecteurs de type mots

Une fois les VGCO_D définis, la tâche suivante consiste à cartographier le comportement oculaire dans chaque document et à l'organiser en une structure cohérente pouvant être référencée dans un même espace (E_{12}^1). Pour cela, nous avons mobilisé les outils fournis par le TALN. Un prétraitement de découpage (*chunking*) est nécessaire afin d'identifier chaque mot du texte auquel est attribuée la caractéristique de zone d'intérêt (AOI), dans ce cas une AOI spécifique pour chaque mot (AOI-W). Avec l'aide de l'utilitaire *Begaze*²⁰ et l'utilisation de stimuli de type texte dans le cadre de la construction de l'expérience avec l'utilitaire *ExperimentCenter*²¹ de la marque SMI, cette tâche est moins laborieuse car nous pouvons obtenir des données brutes déjà organisées. Sans ces outils, il faudrait réaliser un prétraitement des vidéos de l'expérience et des données oculométriques, en définissant à la main chacune des zones d'intérêt de type mots, et en récupérant les informations oculaires calculés sur chacune des zones d'intérêt (mots) pendant la lecture du texte. Dans notre cas, lors de la phase de *chunking*, les 22 textes ont été pris comme une seule unité d'analyse. Cela a donné lieu à un groupe de textes comportant en moyenne 73 mots (*écart-type* = 4) qui ont été superposés avec une structure AOI-W en utilisant le logiciel *Begaze*. Une fois l'information AOI-W récupérée, nous avons procédé à l'organisation des vecteurs de comportement oculaire de type mot ($VCO_P_{12}^1$).

Ce type de vecteur VCO_P est défini pour chacun des mots des différents textes (21) à partir des données oculométriques de chacun des 22 sujets. Comme pour les VCOG_D, les VCO_P sont également uniques pour chaque sujet. Pour cette raison, ce processus a été effectué pour chaque sujet et chaque texte séparément. Enfin, nous les avons tous référencés dans le même espace de travail vectoriel E_{12}^1 . Un total de 709 632 $VCO_P_{12}^1$ a été identifié et référencé.

2.3.4. Relations entre les vecteurs dans un espace à n dimensions

La méso-analyse commence par établir une série de relations entre les mots et les documents qui nous permettent de réduire la complexité des éléments existant dans notre espace E. Nous avons établi des relations entre les documents représentés par les vecteurs VGCO_D et les mots représentés par les vecteurs VCO_P à partir de trois types de relations possibles :

a) La similarité, exprimée par la différence des cosinus directeurs entre les deux vecteurs. b) La

²⁰ Logicielle native de SMI pour l'analyse de données oculométriques.

²¹ Logicielle utilitaire native de SMI pour l'organisation des expériences oculométriques.

magnitude, représentée par le module de chaque VCO_P et VCGO_D. Enfin c) La stabilité, représentée par le module du vecteur résiduel résultant de la soustraction entre les vecteurs document et les vecteurs mots contenus dans le document.

En tenant compte du fait que l'expérience utilise 14 textes manipulés de manière contrebalancée entre G1 et G2, et que par conséquent leurs caractéristiques linguistiques ne sont pas exactement les mêmes²², nous avons assumé que toutes les opérations de normalisation suivent la logique de deux groupes : 11 sujets appartenant à G1 et 11 sujets appartenant à G2. Cela sert à éviter les influences qui peuvent se produire par des AOI fantômes sur les textes manipulés entre la condition SC et AC. À la fin de toutes ces opérations, les informations ont été réintégrées dans une seule base de données.

Après avoir calculé les différentes relations entre tous les VGCO_D et VCO_P, il a été jugé nécessaire de les regrouper en calculant une moyenne pour chaque texte et chaque sujet. De cette façon, nous avons réduit l'espace d'analyse à 1 386 enregistrements, 462 pour chaque type de relation : similarité, magnitude et stabilité. Chaque bloc de 462 enregistrements a été organisé de manière interne avec les informations de 22 sujets par rapport à 21 textes (7 AC, 7 SC, 7 D). Toutefois, avant d'intégrer les informations nous avons normalisé les données de chaque sujet par rapport à leur comportement global. À cette fin, les enregistrements individuels de chaque sujet (22) ont été regroupés et divisés par la somme totale de ceux-ci. Une fois les informations intégrées, il a été décidé d'ajouter un élément d'information supplémentaire à chaque registre. Trois types de configurations ont été établis et codés comme suit : a) Configuration A : textes observés par G1 en format AC et par G2 en format SC, b) Configuration B, groupe de textes observés en format SC par G1 et AC par G2 et c) Configuration C, textes (distracteurs) observés par les 22 sujets indépendamment du groupe.

2.3.5. Analyse des données et résultats : espaces vectoriels de type Document

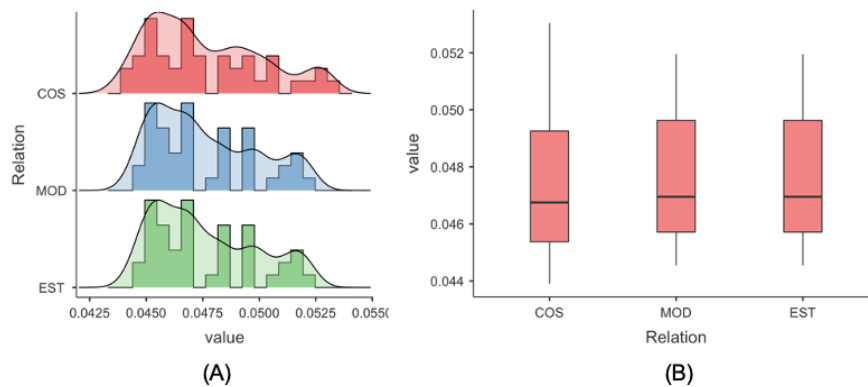
Nous avons effectué une analyse exploratoire des données pour observer leur comportement. Les trois types de relations se comportent de manière similaire (*Figure 20 - B*). La moyenne dans les trois cas reste à 0,0476 (*écart-type* = 0,00253) dans un intervalle de 0,043 à 0,053 avec de petites variations entre l'un et l'autre. La distribution ne répond pas aux

²² À proprement parler, les 14 textes manipulés constituent en fait 28 stimuli différents, qui ont été respectivement configurés pour l'analyse des différences de référent linguistique. La première configuration prend les textes de 1 à 7 avec la caractéristique AC et les textes de 8 à 14 avec la caractéristique SC, alors que dans la deuxième configuration, le sens est inversé : les textes de 1 à 7 ont la caractéristique SC et les textes de 8 à 14 la caractéristique AC.

caractéristiques de la normalité. Toutefois, les trois mesures sont similaires en termes de kurtosis et d'asymétrie (*Figure 20 - A*).

Figure 20 :

Comportement de mesures de relation interne.



Note: A) Histogramme - Distribution des valeurs de mesures des relations internes Similarité (COS), Magnitudes (MOD), Stabilité (EST). B) Boîte à moustaches - Distribution des valeurs de mesures des relations internes.

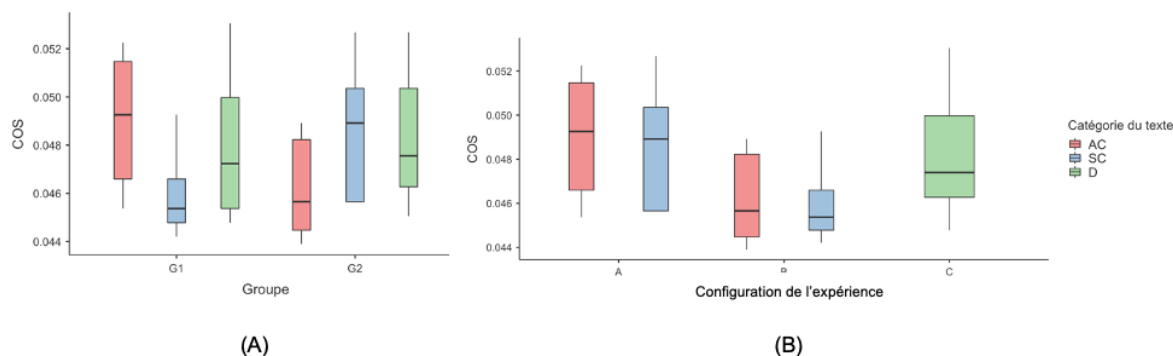
Pour le reste de l'analyse, nous ne prendrons que la mesure donnée par les cosinus directs car les trois mesures de relation ont des comportements similaires. Nous intégrons les informations de la structure de l'expérience : les catégories de textes (AC, SC, D), les groupes de sujets (G1 et G2) et les configurations de l'expérience (A, B, C). Nous avons décidé d'analyser le comportement des données pour chaque catégorie de texte et de les organiser en fonction des groupes (

Figure 21 - A). Les résultats de cette analyse montrent que le comportement est similaire pour le cas des textes distracteurs. Cependant, lorsque nous analysons les textes AC et SC, le comportement est inversé et moins régulier. En revanche, lorsque nous analysons le comportement en rapport à la configuration d'expérience (

Figure 21 - B) et en écartant le comportement des textes distracteurs (type C), nous constatons qu'il y a une plus grande cohérence entre les données de chaque groupe de données A et B que lorsque nous effectuons l'analyse par groupe (G1 et G2). La configuration de type A s'exprime comme la plus congruente.

Figure 21 :

Comportement de la similarité interne entre groupes et type de configuration de l'expérience.

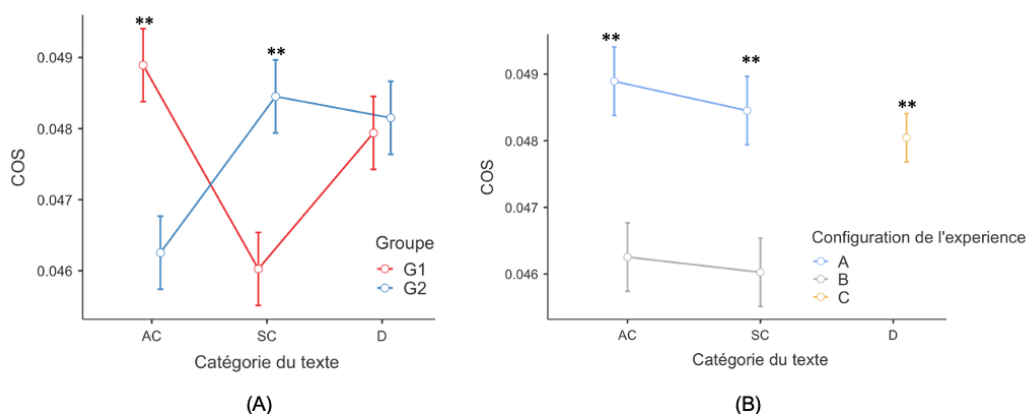


Note: A) Boîte à moustaches - Distribution des valeurs de similarité par facteur « groupe de contrebalancement »+, différenciation par catégorie du texte. B) Boîte à moustaches - Distribution des valeurs de similarité par facteur « configuration de la expérience », différenciation par catégorie du texte.

L'analyse statistique plus approfondie de ces phénomènes montre que les hypothèses de normalité et d'homogénéité des échantillons ne sont pas vérifiées. Par conséquent, nous avons appliqué une analyse de variance de type ANOVA non paramétrique avec F de Welch. Dans le cas de l'analyse par groupe (Figure 22 - A), une différence significative a été constatée ($F_{(5,211)} = 26,7, p\text{-value} < 0,001$) entre G1 et G2. En appliquant les analyses post-hoc respectives avec le test de Games-Howell, on a constaté qu'il existe des différences significatives entre les textes AC et SC pour G1 ($t_{(127)} = 8,46, p\text{-value} < 0,001$), et pour G2 ($t_{(139)} = -6,21, p\text{-value} < 0,001$). Une différence significative est également observée entre les textes sans changement de référentiel (SC) et les distracteurs (D) pour G1 ($t_{(122)} = 5,42, p\text{-value} < 0,001$). Pour G2, la différence significative est trouvée entre les textes avec changement référentiel (AC) et les distracteurs (D) ($t_{(142)} = -5,48, p\text{-value} < 0,001$).

Figure 22 :

Effets du facteur « catégorie du texte » sur la similarité interne (COS).



Note : A) Différenciation par facteur groupe de contrebalancement. B) Différenciation par facteur configuration de l'expérience. Intervalle de confiance à 95 %.

Dans le cas de l'analyse par type de configuration d'expérience (*Figure 22 - B*) qui subdivise les 14 textes manipulés en 2 groupes indépendamment des caractéristiques AC et SC, on constate qu'il existe également des différences significatives entre les configurations A, B et C ($F_{(4,208)} = 33,3$, $p\text{-value} < 0,001$). Dans les tests post-hoc, il a été constaté que les mêmes différences se manifestent entre la configuration A et B, tant pour les textes de la catégorie AC ($t_{(139)} = 7,41$, $p\text{-value} < 0,001$) que pour les textes de la catégorie SC ($t_{(127)} = -7,20$, $p\text{-value} < 0,001$). En outre, des différences significatives ont été identifiées entre la configuration B (AC $t_{(201)} = 6,12$, $p\text{-value} < 0,001$, SC ($t_{(220)} = 7,44$, $p\text{-value} < 0,001$)) et la configuration C (textes distracteurs).

L'analyse par groupe (*Figure 22 - A*) montre des effets qui nous permettent de répondre dans une certaine mesure à nos questions initiales. En effet, l'utilisation des différentes catégories de texte varie entre G1 et G2. Cela a été déjà observé dans la macroanalyse. La méso-analyse montre en outre que cette différence se reflète aussi dans un comportement oculaire inversé respectivement entre les catégories de texte AC et SC, alors que dans le cas de la catégorie D, ces comportements sont similaires quel que soit le groupe. La méso-analyse de groupe confirme également que la différence entre le référent linguistique AC et SC produit des effets sur le comportement oculaire des sujets, qui peuvent influencer le comportement du reste de l'expérience.

Lorsque nous analysons les données par la variable de configuration, nous constatons que cet effet de différenciation entre AC et SC peut être le résultat de la configuration de l'expérience. Même si nous pouvons affirmer qu'il existe une différence claire entre les configurations A et B, indépendamment du fait que les textes soient de caractéristiques AC ou SC au sein de chaque configuration, nous ne pouvons pas confirmer s'il existe une différence entre les catégories AC et SC. Nous écartons l'idée que le changement de référent linguistique a des effets dans le comportement oculaire global des sujets. Afin de clarifier ce point, une analyse plus détaillée ou micro est nécessaire.

2.3.6. Discussion : explications cognitives du phénomène

L'une des conclusions de la macroanalyse était que les groupes 1 et 2 étaient différents, mais ce niveau d'analyse ne nous a pas permis d'expliquer la raison de ce phénomène. Deux explications étaient possibles : soit ce phénomène était associé aux textes qui ont servi de stimuli pendant l'expérience, soit ce phénomène était le reflet des stratégies utilisées par les sujets au moment de leur lecture. Avec la méso-analyse, nous avons atteint un niveau de

compréhension plus détaillé de ce phénomène. Grâce à l'utilisation d'espaces n-dimensionnels de type document, nous pouvons confirmer que ces différences répondent à l'existence d'une stratégie de comportement oculaire inversé entre G1 et G2 par rapport aux textes ayant des caractéristiques AC et SC. L'analyse par configuration de l'expérience confirme également que cette différence ne répond pas aux textes en particulier, mais à la configuration du groupe de textes présentés lors de l'expérience. Si l'on va au-delà de l'expérience et que l'on prend en compte le fait que le comportement oculaire est une manifestation des processus cognitifs, on peut affirmer que : les sujets du groupe 1 (G1) ont fixé comme référent cible de l'expérience la catégorie de textes AC. Par conséquent, cette catégorie montre une plus grande distance entre la stratégie particulière d'utilisation des ressources cognitives et la stratégie standard définie par l'expérience globale, tandis que la stratégie utilisée avec la catégorie des textes SC ressemble ou se rapproche de la stratégie standard. Les textes sans changement référentiel requièrent une moindre utilisation des ressources cognitives de la part des sujets car, dans la logique du lecteur, ils ne sont pas pertinents pour l'expérience. Au contraire, dans les textes avec changement référentiel, le lecteur utilise davantage de ressources afin de mieux servir ses attentes cible. Si nous prenons les données du groupe 2 (G2), nous observons que le référent cible (*target*) tombe sur la catégorie des textes SC contrairement à G1, ce qui fait que la stratégie d'utilisation des ressources visuelles ou cognitives fonctionne de manière opposée à celle du groupe 1. En G2, le comportement particulier des yeux est plus éloigné de la stratégie standard dans le cas des textes SC, tandis que dans les textes AC, il est plus proche de la stratégie standard. Au cours de la macroanalyse, ces données et les stratégies particulières de G1 et G2 par rapport aux cibles respectives se chevauchent et produisent un effet compensatoire inverse. Ceci engendre la perte de puissance de l'effet global du phénomène. Cette situation est contrôlée grâce à la méso-analyse.

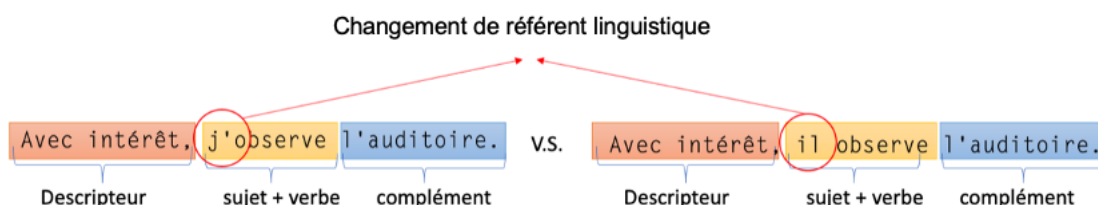
Un autre point que nous voulons souligner dans cette méso-analyse est que par rapport à la catégorie des textes distracteurs (D), on peut également observer des distances plus grandes. Ceci nous amène à penser qu'il y a une plus grande consommation de ressources dans le cas des textes distracteurs. Du point de vue cognitif, cela pourrait être le reflet de la tentative de catégorisation du texte entre la cible définie par le lecteur et son inverse, car s'il n'entre dans aucune des deux catégories, l'utilisation des ressources augmente afin de vérifier que l'on ne néglige pas une caractéristique qui permettrait d'inclure le texte dans la catégorie cible. Cela se produit pour les sujets des groupes G1 et G2.

Enfin, l'analyse par configuration de l'expérience (*Figure 22 - B*) montre que la stratégie comportementale pour le groupe de textes de la configuration A (textes de 1 à 7) est proche du comportement rapporté dans la configuration C (textes distracteurs de 15 à 21). Les deux stratégies sont différentes de la stratégie utilisée dans la configuration B (textes de 8 à 15), quelle que soit la catégorie à laquelle appartiennent les textes, que ce soit AC ou SC.

Or, même si la méso-analyse nous permet d'élucider certains aspects du phénomène cognitif à l'œuvre dans la lecture de textes avec un changement de référent linguistique, jusqu'à présent nous n'avons pas pu confirmer si cet effet est observable dans nos données expérimentales tel qu'indiqué par la théorie et les expériences originales de Baccino et Pynte (1998) et Ballenghein (2019) sur le traitement de référentiel pendant la lecture. Nous n'avons pas non plus été en mesure de vérifier si un tel phénomène est observable en utilisant notre méthode d'espace vectoriel à n-dimensions. Afin de répondre à ces questions et en raison de la polyvalence de notre méthode dans l'analyse du comportement des yeux à différentes échelles, nous entamons un nouveau type d'analyse à une échelle encore plus précise d'observation du phénomène. Dans la section suivante, nous utiliserons l'espace vectoriel de type document, mais nous nous focaliserons sur le niveau d'un syntagme particulier, plus exactement sur les syntagmes où le changement référentiel se produit dans chacun des textes. L'intérêt de cette micro-analyse est de vérifier si le comportement des yeux varie lors du changement de référent linguistique, indépendamment de la configuration à laquelle appartient le texte stimulus (A ou B). Si c'est le cas, cette micro-analyse nous permettrait d'expliquer comment ce phénomène se produit au niveau du comportement des yeux sur une échelle syntagmatique, qui a la structure suivante : descripteur, sujet + verbe, complément (*Figure 23*).

Figure 23 :

Exemple de changement de référent linguistique.



Note : Élaboration personnelle.

2.4. Micro-analyse : syntagmes

2.4.1. Prétraitement et configuration des données

Pour cette microanalyse, nous commencerons par définir la structure syntagmatique à évaluer, puis nous construirons un index référentiel pour sélectionner cette structure et enfin nous la séparerons du total général des mots dans chaque texte. Pour cela, nous utiliserons les AOI-W de notre base de données, et nous marquerons ces AOI avec un indice d'ordre référentiel afin d'éviter les duplications avec les mots couramment utilisés (tels que les articles, les pronoms ou autres) qui peuvent être répétés plus d'une fois dans le texte. Au cours de cette micro-analyse, nous ne prendrons en compte que les textes manipulés, puisque les textes distracteurs ne présentent pas la structure syntagmatique que nous voulons évaluer. En d'autres termes, pour cette microanalyse, nous avons constitué notre base de données à partir des informations oculaires de 22 sujets, face à 14 textes organisés en deux configurations : une configuration A (textes de 1 à 7) où le groupe 1 observe des textes de type AC et le groupe 2 les mêmes textes mais avec des caractéristiques de type SC, et une configuration B (textes de 8 à 14) dans laquelle cette condition expérimentale est inversée. Une fois notre structure syntagmatique définie et référencée dans chacun des 14 textes, nous avons procédé à son extraction de la base de données générale afin d'obtenir une base de données réduite pour la microanalyse, avec les caractéristiques globales de l'expérimentation concernant les groupes (G1 et G2), les catégories de textes (AC et SC) et la configuration de l'expérience (A ou B). Pour l'analyse dimensionnelle des syntagmes, nous sommes partis de la méso-analyse, c'est-à-dire que nous avons calculé les différentes relations internes de notre espace vectoriel de travail E : similarité, magnitude et stabilité pour chacun des textes (14) et pour chaque sujet (22). Nous avons extrait les données concernant tous les mots qui forment les syntagmes à évaluer. Étant donné que les syntagmes varient en interne d'un texte à l'autre, nous avons décidé de prendre la moyenne des mesures de relation des mots qui composent chaque partie du texte : descripteur (D), sujet + verbe (S+V) et complément (C). Notre base d'analyse est configurée ainsi : 308 enregistrements représentant chacun des informations sur le comportement oculaire de 22 sujets sur chacun des 14 syntagmes. Ces syntagmes proviennent de textes présentant respectivement les caractéristiques AC (7) et SC (7). De plus, chaque registre contient des informations sur le sujet, le groupe auquel il appartient, le texte auquel appartient le syntagme, la configuration de l'expérience pour ce syntagme, et les mesures relatives à chaque partie du syntagme D, S+V et

C. Les mesures comprennent chacune des relations de notre espace vectoriel à n-dimensions de type document : la similarité, la magnitude et la stabilité.

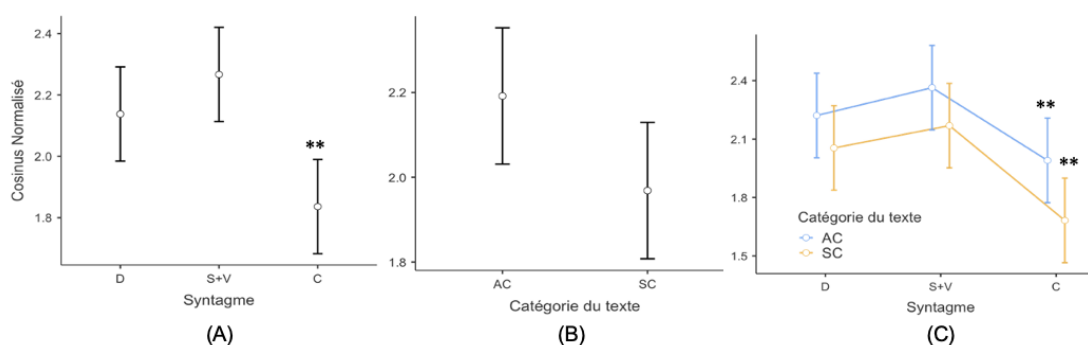
2.4.2. Analyse des données et résultats : syntagmes et espaces vectoriels de type Document

Nous appliquons une analyse de variance *F-ANOVA* à mesures répétées, les conditions expérimentales se référant à chaque partie du syntagme : D, S+V, C. Nous analysons ces conditions par rapport à trois types de variables, une pour chaque type de relation possible dans notre espace vectoriel : similarité, stabilité et magnitude. Après les analyses préliminaires, nous avons conclu que la relation la plus appropriée pour poursuivre notre microanalyse est celle de la similarité, car elle est la plus sensible à cette échelle de travail. Cette relation est représentée par une mesure exprimée par un cosinus et se réfère à la distance moyenne entre le VGCO_D et le VCO_P des mots qui composent chacune des parties du syntagme (D, S+V, C). Ces valeurs sont normalisées par rapport au comportement global de chacun des 22 sujets, et une mesure indépendante est considérée pour chaque texte (14). Dans ce qui suit, nous rapportons les résultats significatifs de cette micro-analyse.

Les hypothèses de sphéricité et d'homogénéité ont été testées en appliquant une correction de Greenhouse-Geisser ($\varepsilon = 0,995$). Nous avons constaté des différences significatives au sein de la structure du syntagme (*Figure 24 - A*) avec un ($F_{(1,99)} = 11,72, p\text{-value} < 0,001$), mais la taille de l'effet est relativement faible ($\eta^2 = 0,017$).

Figure 24 :

Effets de l'élément du syntagme et de la catégorie du texte sur la similarité.



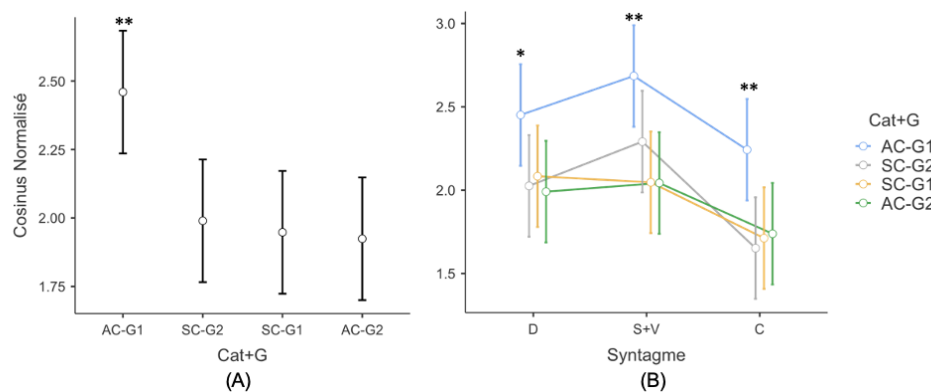
Note : Le cosinus normalisé (similarité) est la distance moyenne entre le VGCO_D et le VCO_P des mots qui composent chacune des parties du syntagme D, S+V ou C. A) Effets du facteur « élément du syntagme » sur la similarité B) Effets du facteur « catégorie du texte » sur la similarité. C) Effets du facteur « élément du syntagme » sur la similarité groupé par catégorie du texte. Intervalle de confiance à 95 %.

L'analyse globale ne montre aucune différence significative entre les catégories AC et SC (*Figure 24 - B*). Cependant, dans les analyses post-hoc où le test t de Bonferroni a été appliqué,

nous avons pu localiser des différences significatives au niveau du complément du syntagme (C) par rapport au descripteur (D) ($t_{(612)} = 3,30$, p -value de 0,003), et avec l'ensemble Sujet + Verbe (S+V) ($t_{(612)} = 4,72$, p -value < 0,001) (Figure 24 - C). Aucune différence significative n'a été confirmée entre les catégories AC et SC ($t_{(306)} = 1,93$, p -value de 0,054). Cependant, lorsque nous analysons conjointement la structure du syntagme et les catégories AC et SC, nous obtenons des résultats intéressants. Concernant la structure du syntagme, nous observons des différences significatives dans la catégorie SC entre S+V et complément C ($t_{(612)} = 3,75$, p -value 0,003). Bien qu'aucune autre différence significative n'ait été identifiée, nous sommes intéressés par la comparaison des moyennes de la catégorie AC concernant le rapport : S+V - C ($t_{(612)} = 2,896$, p -value de 0,059) et dans la catégorie SC pour le rapport D-C ($t_{(306)} = 2,886$, p -value de 0,061). Ces derniers résultats ainsi que les conclusions de la méso-analyse ayant montré que la configuration de l'expérience a des effets sur le comportement oculaire nous amènent à effectuer une analyse qui inclut des variables de groupe (G1 et G2) (*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*), ainsi que la configuration de l'expérience (A et B).

Figure 25 :

Effets de la configuration de l'expérience sur la similarité.



Note : Le cosinus normalisé (similarité) est la distance moyenne entre le VGCO_D et le VCO_P des mots qui composent chacune des parties du syntagme D, S+V ou C. A) Effets du facteur « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité, B) Effets du facteur « élément du syntagme » sur la similarité groupé par « catégorie du texte groupé par contrebalancement ». Intervalle de confiance à 95 %.

Cette nouvelle analyse montre un comportement similaire que la précédente : une différence significative dans le syntagme ($F_{(1,99)} = 11,69$, p -value < 0,001) avec la correction de Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0,994$) et une taille d'effet de ($\eta^2 = 0,017$). Pour l'analyse croisée des variables, une différence significative est remarquée entre le groupe de données dans la condition AC-G1 par rapport au reste des configurations (Figure 24 - A) SC-G2 ($t_{(304)} = 2,92$, p -value < 0,023), SC-G1 ($t_{(304)} = 3,18$, p -value < 0,01) et AC-G2 ($t_{(304)} = 3,33$, p -value < 0,006). Les tests post-hoc de l'analyse des syntagmes localisent ces différences entre

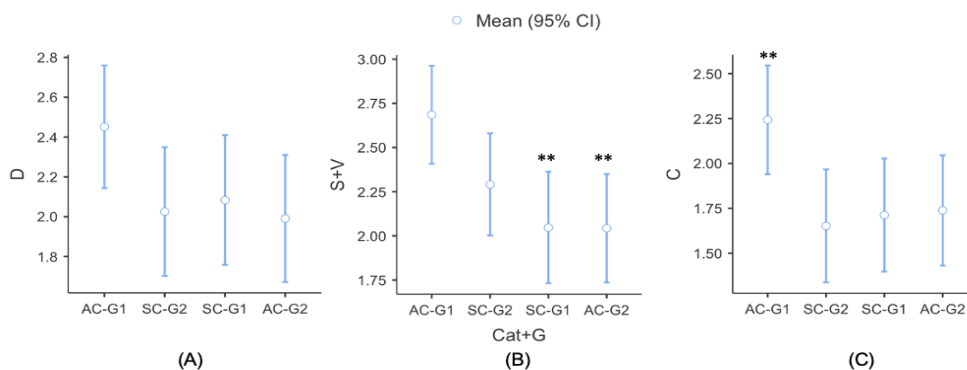
S+V-C ($t_{(608)} = 4,71, p\text{-value} < 0,001$) et D-C ($t_{(608)} = 3,30, p\text{-value} 0,003$) du syntagme. Le comportement similaire entre les catégories de texte AC-G1 et SC-G2 avec leurs catégories inverses respectives (SC-G1 et AC-G2) mérite une analyse plus détaillée. Si l'on tient compte des résultats de la méso-analyse concernant la différence de cible entre les groupes 1 et 2, il serait nécessaire de faire ces comparaisons détaillées individuellement afin de définir s'il existe ou non des différences significatives au niveau du syntagme par rapport aux catégories de texte, ou si cette différence est un effet de la configuration de l'expérience elle-même.

Pour cela, nous avons effectué une analyse de variance *F-ANOVA* qui inclut les variables combinées et nous permet de comparer la catégorie AC (cible de G1) à la catégorie SC (cible de G2) et leurs inverses respectifs (SC-G1 vs AC-G2). Les résultats sont détaillés ci-dessous :

L'analyse globale des variables combinées (AC-G1 et SC-G2) (*Figure 26 - B et C*) montre des différences significatives au niveau S+V ($F_{(3,304)} = 4,09, p\text{-value} < 0,007$) et C ($F_{(3,304)} = 3,08, p\text{-value} < 0,028$) du syntagme. Un test post hoc de Bonferroni a été effectué pour vérifier ces différences.

Figure 26 :

Effets de la « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité – D, S+V, C.

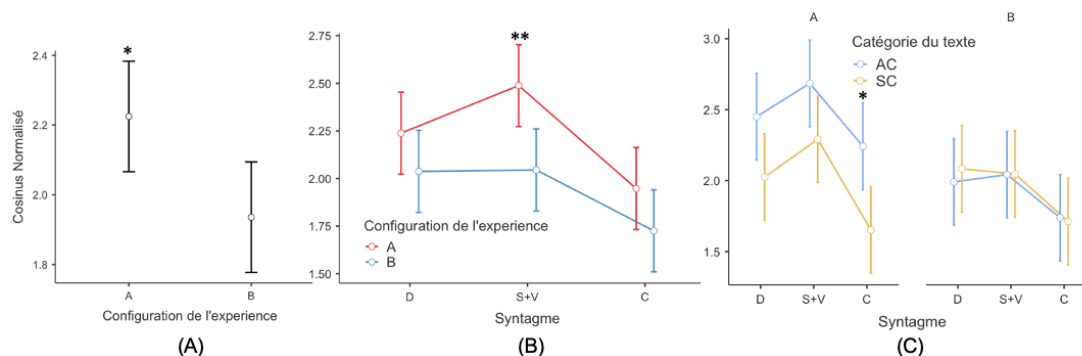


Note : Le cosinus normalisé (similarité) est la distance moyenne entre le VGCO_D et le VCO_P des mots qui composent chacune des parties du syntagme D, S+V ou C. A) Effets du facteur « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité dans le distracteur. B) Effets du facteur « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité dans le sujet et le verbe. C) Effets du facteur « catégorie du texte groupé par contrebalancement » sur la similarité dans le complément du syntagme. Intervalle de confiance à 95 %.

En ce qui concerne notre analyse, nous n'observons qu'une seule différence significative entre l'ensemble de données AC-G1 et SC-G2, qui se situe au niveau de l'élément C du syntagme ($t_{(304)} = 2,68, p\text{-value}$ de 0,038) avec un d de Cohen de 0,43 (*Figure 26 - C*). Cela indique une taille d'effet beaucoup plus importante, bien que toujours faible dans l'analyse statistique globale.

Figure 27 :

Effets de la configuration de l'expérience et l'élément du syntagme sur la similarité.



Note : Le cosinus normalisé (similarité) est la distance moyenne entre le VGCO_D et le VCO_P des mots qui composent chacune des parties du syntagme D, S+V ou C. A) Effets du facteur « configuration de l'expérience » sur la similarité. B) Effets du facteur « élément du syntagme » sur la similarité différenciés par configuration de l'expérience. C) Effets du facteur « élément du syntagme » sur la similarité différenciés par catégorie de texte dans la configuration A et B. Intervalle de confiance à 95 %.

Quant à l'analyse croisée par configuration et syntagme, nous avons confirmé l'existence d'une différence significative par type de configuration (Figure 27 - A) ($t_{(304)} = 2,54$, p -value de 0,012) entre A et B, alors que dans le syntagme (Figure 27- B) cette différence se manifeste au niveau du S+V ($t_{(608)} = 4,18$, p -value <0,001). En croisant cette analyse avec la variable catégorie de texte (Figure 27- C), nous avons également constaté une différence significative dans le groupe de textes de la configuration A, entre la catégorie AC et SC au niveau du complément (C) du syntagme ($t_{(304)} = 2,68$, p -value de 0,046) avec une taille d'effet de 0,43 (d de Cohen).

2.4.3. Discussion : différences comportementales dans la structure syntagmatique

Ce dernier résultat confirme qu'il existe effectivement une différence de comportement oculaire entre les textes des catégories AC et SC. Cependant, cette différence ne se manifeste que lorsque la catégorie de texte est la cible définie par les sujets, une situation qui varie selon les groupes. La stratégie dans la situation inverse entraîne une stabilisation du comportement oculaire des sujets par rapport à la norme comportementale. Cette condition ne se manifeste que dans la configuration de type A, où G1 observe un groupe de textes AC (cible-G1) et G2 observe des textes SC (cible-G2). Pour compléter cette conclusion, il est nécessaire de souligner que cette différence de comportement n'est clairement marquée que dans le complément du syntagme (C).

De manière générale, cette microanalyse nous a permis de corroborer certains des résultats de Ballenghein (2019) et de Baccino et Pynte (1998) sur la différence du

comportement oculaire dans l'encodage des référents linguistiques pendant la lecture. Cette différence ne réside pas dans le changement du référent linguistique lui-même, mais dans le complément qui suit ce changement au sein d'une structure syntagmatique tant que le lecteur est engagé dans le texte ciblé. Nous avons également réussi à ouvrir une porte sur l'étude du regard comme ressource pour comprendre l'intentionnalité du sujet et les processus de catégorisation qui ont lieu au cours de l'action.

2.5. Discussion générale : entre l'analyse et la théorie

L'un des principaux avantages de cette microanalyse est qu'il permet un nombre large de configurations pour l'analyse et la comparaison des comportements oculaires sur des stimuli relativement différents, que ce soit par la forme, la taille ou le sens. Ainsi, l'avantage essentiel fourni par notre méthode d'espaces vectoriels à n-dimensions de type document est qu'elle permet de comparer des stimuli de nature différente tels des mots, des syntagmes, des phrases, des textes complets, le tout dans le cadre d'une même activité de lecture, même à des moments différents. Il faut noter que cette activité se manifeste intentionnellement de la part du sujet et est liée au but ou à l'objectif que le sujet a défini sur la base des conditions référentielles qui déclenchent l'expérience de lecture. Cela rejoint les propositions de Yarbus (1967) sur l'intentionnalité du regard pendant l'action et aussi les propositions instrumentales de Rabardel (1985) et Vigotsky (1978) sur le développement d'instruments fondés sur l'utilisation d'artefacts, dans ce cas du type document. Si nous traduisons les résultats de cette microanalyse en termes cognitifs, nous pourrions dire que les stratégies d'utilisation des ressources oculomotrices représentent à la fois une stratégie d'utilisation des ressources cognitives que le sujet met en jeu pendant l'activité de lecture, des ressources attentionnelles, des processus de mémorisation, de catégorisation et de prise de décision. L'analyse que nous venons de réaliser aux trois niveaux macro, méso et micro révèle ces usages. La manière dont l'expérience est présentée donne lieu à une série d'ajustements et de décisions de la part du sujet qui influencent la manière dont l'activité de lecture est réalisée. Dans le cas spécifique de cette expérience, nous pouvons observer ce phénomène dans l'émergence²³ d'une cible objective, qui change entre les sujets de G1 et G2. Cette décision ou cet ajustement marque complètement le comportement oculaire des sujets tout au long de l'expérience. Les analyses effectuées avec notre méthode confirment ce fait et nous renvoient à la notion de régulation telle que soutenue par Leplat (2006). Les données oculométriques de l'expérience montrent concrètement comment ce

²³ Relative au phénomène d'émergence dans un système complexe.

processus de régulation se manifeste chez les sujets, et comment chacun d'entre eux ajuste son comportement pour faire face à l'activité dans les conditions requises par celle-ci. Ainsi, nous pouvons dire que les sujets mettent en jeu une série de ressources oculomotrices et cognitives afin de faire face au mieux à l'activité de lecture demandée par l'expérience. Cela inclut un ajustement de la part des sujets, et la définition d'un objectif cible basé sur les éléments dont dispose chacun des sujets au cours de l'expérience. En particulier, cet ajustement diffère entre les groupes 1 et 2, en raison des particularités et des exigences du milieu dans lequel se déroule l'activité de lecture (expérience de laboratoire). Il est probable que la logique de présentation des textes comprenait un caractère aléatoire qui ne contrôlait pas de manière équilibrée la présentation des textes de type AC et SC pour chaque groupe. Cela a pu finir par entraîner que cet ajustement soit résolu de manière inverse. Ce dernier point nous ramène à certains concepts de l'ergonomie de l'activité et à l'importance de l'analyse situationnelle, où les décisions du sujet concernant l'activité jouent un rôle prépondérant dans la définition et la caractérisation des actions.

3. Expérimentation 1 : conception d'objets de connaissance (OC)

Cette section présente une étude expérimentale dont l'objectif est de tester l'utilisation de la lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV) (cf. Ch. 3 § 1), comme outil d'analyse ergonomique des connaissances. Plus précisément, nous nous concentrerons sur la conception et l'évaluation des objets de connaissance (OC) – des documents de type texte – à partir d'une approche instrumentale et sociotechnique. Cette expérience s'inscrit dans le cadre de l'analyse de l'activité des travailleurs de la connaissance dans l'environnement d'enseignement d'une université. Nous avons travaillé en étroite collaboration avec un enseignant rapporteur. Cette expérience a été réalisée avec deux objectifs : a) Analyser la conception de l'OC à partir de l'approche instrumentale et b) Développer des outils pour améliorer le retour d'information sur l'évaluation de l'OC, une activité récurrente des travailleurs de la connaissance.

Afin d'atteindre ces objectifs a été organisé un plan expérimental d'approche mixte, avec des outils quantitatifs et qualitatifs. Nous utilisons des documents de nature descriptive rédigés par 38 étudiants dans le cadre d'un cours de méthodologie de la recherche en deuxième année de licence de sociologie d'une université privée en Équateur. Ces objets de connaissance contiennent les descriptions d'un même personne, d'un même endroit et d'un même événement, faites du point de vue de chaque étudiant. Ces trois sujets ont été préalablement convenus entre l'expérimentateur et l'enseignant rapporteur. L'analyse des OC est effectuée à l'aide de techniques de traitement du langage naturel combinées avec l'analyse fondée sur des espaces à n-dimensions. Les résultats de l'étude ont servi au processus d'auto-confrontation avec les concepteurs (étudiants) et l'utilisateur (enseignant rapporteur), afin d'établir une série de lignes directrices qui rendent possible l'ergonomie des activités associées aux OC. Nous présentons ici le parcours méthodologique, les outils et les résultats les plus pertinents.

3.1. Conception et l'évaluation des objets de connaissance en tant qu'activité

L'une des activités les plus récurrentes des travailleurs de la connaissance est la conception et l'évaluation des objets de connaissance de type document. Ceux-ci sont produits dans les scénarios les plus variés au sein de systèmes de connaissance sociotechniques tels que les universités. D'après l'analyse de l'activité des travailleurs de la connaissance, nous la définissons comme une série d'actions communes aux travailleurs de la connaissance, déterminées par deux situations de travail :

Situation A : L'activité est encadrée dans des processus d'évaluation des OC. L'objectif dans cette situation est d'obtenir des informations efficaces qui permettent d'ajuster et de réguler l'activité de transfert de connaissances (enseignement).

Situation B : L'activité est encadrée dans la conception de nouveaux OC. Dans ce cas, l'objectif est de sélectionner de manière adéquate des informations utiles provenant d'autres OC, qui permettront le développement et la construction effective de nouveaux OC. Ceux-ci sont généralement associés à des processus de sauvegarde, de diffusion ou de transfert spécifique de connaissances (publication et diffusion scientifique).

Pour cette expérience, nous travaillons sur deux fronts parallèles. D'un côté, nous étudions les OC et leur potentiel d'instrumentalisation, c'est-à-dire l'ensemble des actions possibles qui peuvent opérer sur un OC donné et qui se manifestent par des stratégies psychophysiologiques et cognitives mises en jeu par un agent cognitif (lecteur). De l'autre côté, nous développons l'étude de ce que nous appellerons l'utilisabilité des OC, c'est-à-dire ici l'intégration de critères ergonomiques dans les OC pour faciliter leur utilisation future (lecture a posteriori à des fins multiples). Ceci peut être compris comme un processus d'instrumentation qui dans le cas des OC est aligné avec la dynamique d'externalisation des connaissances proposée par Leontyev (1981). Ces deux fronts ont pour objectif de permettre l'analyse de l'interaction entre les agents cognitifs et les OC, ce qui inclut un processus instrumental de type genèse (Rabardel, 1995).

Les OC sont des objets techniques finis. Selon l'approche sociotechnique, cela signifie que ce sont des objets fabriqués par des humains, auxquels sont intrinsèquement associées certaines possibilités d'utilisation qui leur donnent une fonction utilitaire dans un contexte sociotechnique déterminé. Cette fonction va de pair avec un objectif concret, soit individuel soit collectif, qui s'exprime par une action dans le même contexte sociotechnique. D'après la perspective de la psychologie cognitive et ergonomique, ces objets ont un caractère éminemment artefactuel et, dans ce cas particulier, un caractère cognitif également. Pour cette raison, les OC peuvent aussi être compris comme des artefacts cognitifs selon la perspective vygotskienne (Vigotsky, 1978). En effet, leur conception et leur utilisation rendent possible l'acte instrumental individuel, collectif et socioculturel. Dans cette recherche, un artefact de connaissance (AC) est un OC qui s'exprime en terme d'utilisabilité et s'inscrit dans le cadre d'un système sociotechnique (SST) de connaissances. Enfin, nous mobilisons également le concept de genèse instrumentale (Rabardel, 1995), ce processus par lequel l'artefact devient un instrument par l'usage qui fait de lui un agent cognitif. Ce processus de genèse instrumentale

repose sur l'existence de processus antérieurs d'instrumentation lors de la conception de l'artefact, et d'instrumentation lors de son utilisation.

Or, les OC ne permettent pas une observation directe de leur utilisation à l'œil nu comme c'est le cas pour les artefacts physiques. Ces derniers peuvent être observés directement lors de leur utilisation afin de comprendre les gestes que l'opérateur met en jeu au sein d'un SST. Le processus d'observation de l'utilisation d'un OC nécessite quant à lui l'incorporation de technologies ayant une échelle temporelle et spatiale adéquate pour l'analyse dynamique des processus cognitifs. C'est le cas de l'oculométrie, technique que nous utiliserons dans une deuxième expérience (expérience 2). Toutefois, nous voulons d'abord nous concentrer sur les techniques hors ligne qui permettent d'étudier un OC en tant qu'objet fini et de recréer d'une certaine manière ses possibilités d'utilisation, une sorte d'archéologie des objets cognitifs. Pour cela, il nous faut analyser la manière dont un OC a été construit d'un point de vue artefactuel. D'abord, nous prendrons les caractéristiques que l'OC possède et les possibilités d'utilisation qu'il manifeste, et nous les organiserons comme des hypothèses d'utilisations possibles. Ensuite, nous relierons la notion d'utilisabilité des OC à l'activité du travailleur de la connaissance en situation, aussi bien au moment de l'évaluation (enseignant) qu'au moment de la conception (étudiants). Ainsi, à partir d'une approche d'ergonomie participative, nous explorerons comment la conception et l'utilisation d'un OC peut avoir un impact direct sur la régulation de l'activité productive d'un travailleur au sein d'une SST de la connaissance.

3.2. Matériaux et méthodes

Pour cette expérience, nous avons utilisé du matériel textuel produit sous forme d'OC par 38 étudiants en deuxième année de licence de sociologie d'une université privée en Équateur. Les textes sont descriptifs et leur but était de fournir des informations sur 3 sujets différents : une personne, un lieu et un événement (Annexe 3). Les textes de chaque catégorie ont été rédigés selon des critères spécifiques afin d'effectuer une analyse a posteriori des relations systémiques entre la conception d'un OC et son évaluation dans le cadre du processus de régulation de l'activité.

3.2.1. Activité pédagogique et analyse préalable

La conception de cette expérience dérive de l'analyse de l'activité du travailleur de la connaissance. Lors de cette analyse, nous avons interviewé plusieurs enseignants, dont un a accepté de participer en tant que sujet d'observation et rapporteur pour cette deuxième phase

expérimentale. Cette expérience cherche à analyser le problème de l'évaluation des OC terminés, une activité récurrente pour les travailleurs de la connaissance.

L'analyse qualitative et les entretiens exploratoires préalables ont permis de constater qu'un enseignant gère un groupe moyen de 40 étudiants pendant le semestre. Ceux-ci produisent un texte par mois, c'est-à-dire un total moyen par groupe d'au moins 240 documents (OC) dans chaque cycle d'étude. Ces documents doivent être évalués dans des périodes limitées (semaine d'évaluation) à une fréquence mensuelle. Donc un enseignant a au moins 40 textes à lire par semaine chaque mois. Ceci représente une bonne partie de la charge de travail de l'enseignant. En général, les enseignants utilisent pour cette activité une série de rubriques qui permettent d'évaluer impartialement les OC produits par les étudiants. Toutefois, même si ce processus répond aux exigences institutionnelles en matière de notes dans le cadre d'un système d'évaluation éducatif typique, il ne permet pas nécessairement au travailleur d'obtenir des informations claires sur la manière d'améliorer son activité de transfert de connaissances. Le résultat de l'utilisation de telles rubriques produit un certain sentiment d'incertitude sur l'activité du travailleur. Cet extrait de l'un des entretiens réalisés illustre le problème :

« Cela nous donne une idée assez vague de l'assimilation des connaissances que nous essayons de transmettre à l'étudiant, nous notons la qualité du texte et l'utilisation des concepts que nous donnons en classe, mais nous ignorons complètement la quantité de travail intellectuel que l'étudiant investit dans son travail et comment nous pouvons l'aider. »

3.2.2. Sélection de l'échantillon

Notre groupe d'étude était composé de 38 étudiants en deuxième année de sociologie d'une université privée en Équateur, âgés en moyenne de 21 ans (*écart-type* = 2), avec 48 % d'hommes et 52 % de femmes, de langue maternelle espagnole. Le critère d'inclusion pour l'étude était qu'ils étaient inscrits au cours de méthodologie de recherche.

3.2.3. Objets de connaissance (OC)

Compte tenu des caractéristiques de l'activité d'enseignement et de l'état d'avancement du programme d'études au moment de l'expérience, nous avons proposé une configuration expérimentale dans laquelle chaque étudiant devait concevoir 3 documents (OC) en utilisant les ressources méthodologiques apprises dans le cours. Ceux-ci devaient contenir des descriptions courtes (entre 400 et 500 mots) de trois objets/situations différentes: a) Un « lieu » — un lieu commun à tous les sujets a été choisi : la cafétéria de l'université ; b) La description d'une « personne », dans ce cas un professeur avec lequel tous les sujets avaient suivi un cours

le semestre précédent ; et c) La description d'un « événement » : pour ce dernier, nous avons utilisé comme critère l'ouverture d'une exposition dans le Centre culturel de l'Université, à laquelle ils allaient tous assister. Puisque notre intérêt était de travailler dans une situation naturelle et avec les OC réalisés de manière écologique, aucune limitation de temps n'a été proposée pour l'activité de conception, ni de lieu défini pour la réaliser. Les élèves pouvaient visiter les lieux ou observer l'exposition, le professeur ou la cafétéria qu'ils devaient décrire avant de développer la description, comme s'il s'agissait d'une tâche commune qu'ils pouvaient réaliser in situ ou à distance. La seule restriction était que les descriptions devaient être soumises par e-mail dans un document Word, au plus tard à la fin de la semaine de l'expérience.

3.2.4. Questions directrices et sélection des outils

Nous avons utilisé plusieurs questions directrices afin d'organiser l'expérience : a) Est-il possible d'exprimer la complexité de la conception des OC à l'aide d'outils de traitement automatique du langage naturel (TALN) ? b) Ces outils permettent-ils de caractériser et de détecter les différences entre ces OC, et d'expliquer l'utilisation des ressources cognitives lors de leur conception ? c) Ces techniques ou méthodologies peuvent-elles être utilisées pour établir une mesure de l'utilisabilité des OC en tenant compte des aspects d'instrumentation et d'instrumentation ? et d) Ces outils et méthodes livrent-ils un retour d'information adéquat permettant de réguler l'activité du travailleur de la connaissance ?

Afin de répondre à ces questions, nous avons utilisé des techniques de traitement du langage naturel. Pour la cartographie des textes, nous avons utilisé la méthode mixte développée pendant la phase d'exploration, appelée lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV). En outre, nous avons développé une série de scripts en langage Python pour obtenir des statistiques textuelles en espagnol. Dans le traitement du langage naturel, nous avons utilisé des bibliothèques spécifiques de Python : SpaCy 3.1 en combinaison avec TextaCy 0.11.0. Pour les aspects sémantiques, nous avons incorporé dans la chaîne de traitement le corpus « ES_CORE_NEWS_MS » pour la langue espagnole, optimisé pour l'utilisation du CPU, qui combine les travaux de l'UD Spanish AnCora v2.5 (Martínez Alonso, Héctor ; Zeman, Daniel) et du WikiNER (Joel Nothman, Nicky Ringland, Will Radford, Tara Murphy, James R Curran). Pour les analyses des OC, nous intégrons dans notre méthode des espaces et vecteurs à n et k dimensions respectivement.

3.3. Le traitement des données et les résultats

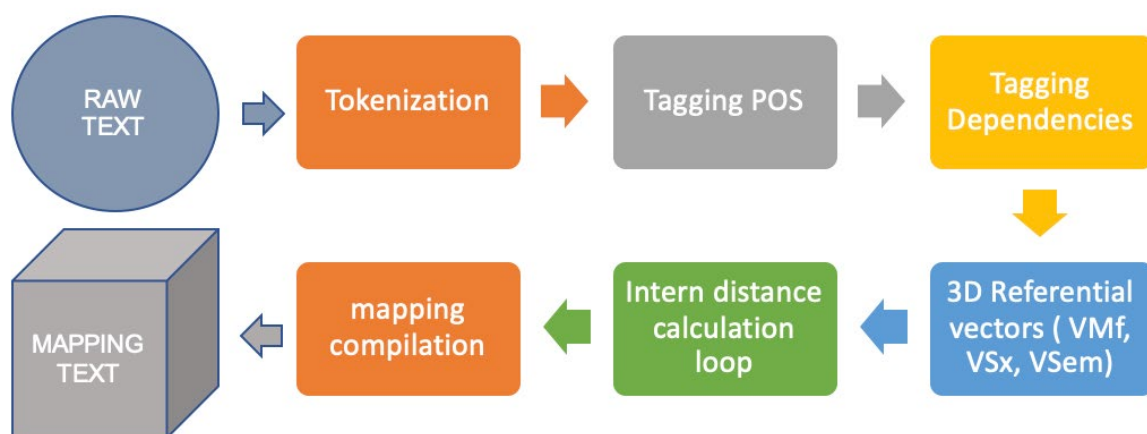
3.3.1. Traitement des données

Dans un premier temps, les OC ont été récupérés dans des fichiers textes Word fournis par l'enseignant rapporteur. Ces documents ont été codés en préservant la confidentialité des sujets au moyen d'un code numérique. Ensuite, nous avons construit une première base de données avec une structure de 114 registres organisés avec le code du sujet, la catégorie OC et le texte. Nous avons effectué une première phase de nettoyage du texte, supprimant les doubles espaces et les sauts de page inutiles afin de pouvoir traiter correctement les textes. Nous avons utilisé la bibliothèque spaCy 3.1 pour la phase de découpage (*chunking*) et de prétraitement ; le corpus de langue espagnole pour le processus de balisage POS (*tagging*) ; la bibliothèque « *spacy-readability* » pour le calcul des indices de lisibilité linguistique ; et enfin la bibliothèque « *syllables* » pour le calcul des statistiques textuelles au niveau des syllabes et des mots.

La méthodologie LGV pour la cartographie de texte a été appliquée. Elle utilise une chaîne de traitement qui suit le schéma suivant (*Figure 28*) :

Figure 28 :

Flux du processus pour appliquer la méthode - LGV



Note : Élaboration personnelle (2021).

Une fois le processus de cartographie réalisé et avec l'information de chacun des textes en format LGV, nous avons appliqué notre méthode des espaces à n-dimensions. D'abord, nous avons créé un espace E tridimensionnel pour chacun des textes (114). Cet espace contient les vecteurs d'analyse. Nous avons établi deux vecteurs de référence globaux : l'un par rapport aux caractéristiques morphologiques du texte et l'autre par rapport à ses caractéristiques

syntaxiques. Le premier vecteur a été construit à partir du nombre total de moyennes des ressources morpho-linguistiques utilisées et a été appelé VGRL_M. Le second vecteur a été appelé VGRL_S et a été généré à partir du nombre total de moyennes des ressources syntaxiques utilisées dans le texte. Les deux vecteurs référencés sont de taille 3 et respectent le format de structure tridimensionnelle fourni par la cartographie de type LGV où chaque élément de texte est présenté comme un vecteur tridimensionnel²⁴. Avec les deux vecteurs généraux référencés dans l'espace E_3 de chaque texte, nous avons procédé à l'analyse de l'ensemble des textes. Nous avons procédé au calcul des vecteurs individuels des ressources linguistiques. Dans le cas des ressources morphologiques, nous avons créé une moyenne de 14 vecteurs VRL_M avec une plage variant entre 12 et 15 selon le texte. Pour les ressources syntaxiques, nous avons créé une moyenne de 24 vecteurs VRL_S dans une plage comprise entre 20 et 27, selon le texte et la configuration de notre expérience.

Une fois que les vecteurs individuels des ressources linguistiques ont été calculés et référencés dans l'espace E_3 de chaque texte, nous procédons au calcul des relations entre les vecteurs dans l'espace à n dimensions. En suivant la méthodologie des espaces vectoriels, trois types de relations possibles sont établis : a) Les relations de similarité, qui utilisent la différence entre les cosinus principaux des VGRL syntaxiques et morphologiques et leurs VRL respectifs ; b) Les relations de magnitude, qui impliquent le calcul des modules des VRL respectivement syntaxiques et morphologiques; et c) Les relations de stabilité, qui sont le résultat du calcul du module du vecteur résiduel, résultat de la soustraction entre les VGRL et les VRL. Une fois que les 3 mesures de relation dans chaque dimension (Morphologique (M) et Syntaxique (S)) ont été calculées, la valeur moyenne de ces mesures a été choisie comme valeur représentative du texte dans son ensemble. Trois paires de mesures ont été établies pour chaque texte analysé : a) la similarité, b) la magnitude et c) la stabilité, tant morphologique que syntaxique. Avant d'intégrer les informations dans la base de données pour l'analyse, ces valeurs ont été normalisées par rapport aux données totales pour chaque sujet expérimental. Le résultat de ce processus est une base de données de 114 enregistrements, 3 mesures de relation pour chaque dimension (M et S), ainsi que la structure de base de l'expérience concernant respectivement : les sujets (38), les catégories OC (3) et les textes bruts.

Parallèlement au processus de traitement des textes avec le TALN, quelques travailleurs de la connaissance expérimentés (5) ont été invités à évaluer chacun des 114 textes sur une

²⁴ Dimension morphologique, dimension syntaxique, dimension sémantique.

échelle de 0 (-) à 10 (+) dans les dimensions suivantes : sémantique, grammatical et lexico-morphologique. Nous leur avons demandé de noter l'heure de début et de fin de chaque lecture afin d'avoir une estimation du temps de lecture de chaque texte. Une fois les informations recueillies auprès des cinq experts, nous en avons calculé la moyenne et nous avons intégré toutes ces informations dans notre base de données. Enfin, nous avons également inclus le calcul d'une moyenne globale composée des 3 dimensions évaluées séparément (sémantique, grammaticale et lexico-morphologique) dans chaque texte. Le temps moyen de lecture a été transformé en secondes afin d'obtenir une mesure standardisée et de l'incorporer de manière organisée dans chacun des 114 enregistrements de notre base de données.

Nous avons aussi calculé l'indice de lisibilité de la langue de Flesch-Szigriszt ou *formule de clarté* proposée par Francisco Szigriszt (Flesch 1948). Cet indice reflète la complexité d'un texte sur la base d'un rapport entre le nombre de mots par phrase et le nombre de syllabes par mot. Cette méthode a été initialement publiée et validée pour l'anglais aux États-Unis en 1943, puis révisée par le même auteur (Flesch, 1948). Aux États-Unis, différents types d'indices de lisibilité de la langue sont régulièrement utilisés dans les environnements académiques ou pour l'évaluation des compétences linguistiques dans postes de travail. Toutefois, ces types d'indices n'ont pas nécessairement leurs adaptations et validations respectives dans d'autres langues. Nous avons choisi cet indice car Francisco Szigriszt valide le « *Flesch Reading Ease Index* » pour l'espagnol et le français selon un processus rigoureux²⁵.

L'indice de Flesch-Szigriszt utilise la formule suivante pour la langue espagnole :

$$IFZ = 206,835 - (62,3 * S/P) - P/F$$

Où :

- P est le nombre de mots dans le texte ;
- S le nombre de syllabes ;
- F est le nombre de phrases.

La formule utilise une échelle logarithmique pour établir une note entre 0 et 100, 0 notant le texte le plus difficile et 100 le plus facile.

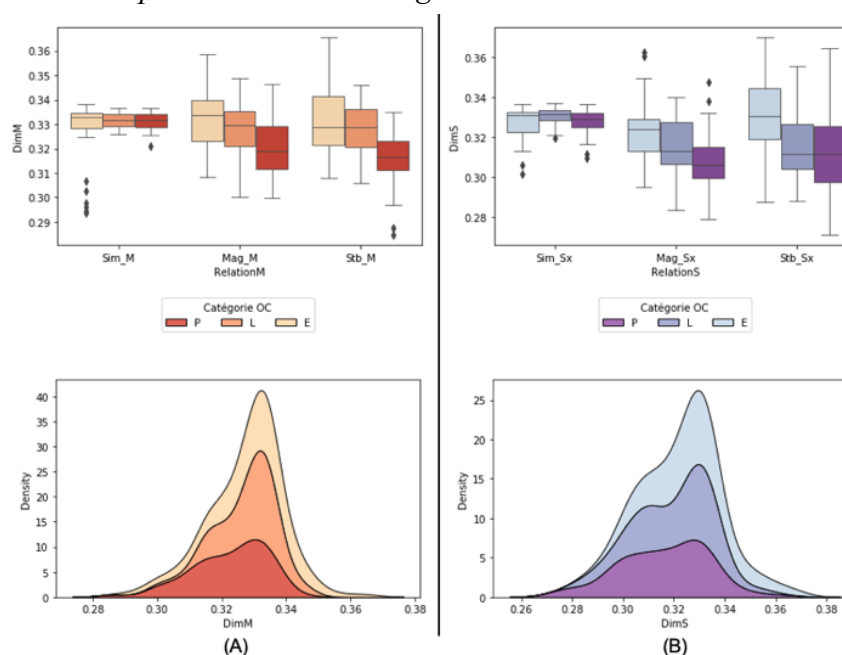
²⁵ Pour plus de détails sur la validation de cet indice et le fonctionnement d'autres indices du même type, leurs utilisations et leurs applications, nous vous recommandons de consulter la thèse de Barrio (2007) ou celle de Szigriszt (1993).

3.3.2. Résultats

L'analyse exploratoire des données nous a permis d'observer les caractéristiques des trois catégories d'OC (Personne, Lieu et Événement) tant dans la dimension morphologique (*Figure 29 - A*) que dans la dimension syntaxique (*Figure 29 - B*). Chaque OC possède 3 mesures de relation interne : similarité (sim), magnitude (mag), stabilité (stb). Il faut noter que les mesures de relation font référence aux caractéristiques de l'OC dans une dimension morphologique (M) et dans une dimension syntaxique (S).

Figure 29 :

Distribution de données par dimension et catégorie d'OC



Note : A) Dimension morphologique : Boîte à moustaches - Distribution des données des relations internes par catégorie d'OC. Courbe de densité des données kurtosis et asymétrie des données. B) Dimension syntaxique : Boîte à moustaches - Distribution des données des relations internes par catégorie d'OC. Courbe de densité des données kurtosis et asymétrie des données.

L'OC est mesuré par rapport à sa structure interne et aux relations qu'il présente comme unité d'analyse. Ainsi, la mesure de similarité se réfère à la proximité entre le vecteur global de ressources linguistiques utilisées dans l'OC (gamme de ressources mises en jeu) et le vecteur particulier de chaque ressource (degré d'usage de la ressource linguistique). La magnitude, de son côté, exprime la quantité relative de ressources linguistiques utilisées dans la conception de l'OC. Cette mesure est relative car elle est basée sur les valeurs du LGV qui expriment la similarité tridimensionnelle de chaque mot dans ces trois dimensions (morphologique, syntaxique et sémantique), selon sa proximité avec la structure globale de l'OC. Par conséquent, cette mesure ne représente pas une quantité effective, mais la quantité relative de ressources en fonction de sa proximité avec la quantité de ressources globales utilisées dans l'OC. Enfin, nous

utilisons la mesure stabilité. Elle fait référence au caractère structurel de chaque ressource linguistique utilisée et représente le degré de divergence avec la structure globale de l'OC.

En général, nous avons constaté que le comportement des données des deux dimensions reflète une normalité relative qui a été vérifiée au moyen du test de Shapiro Wilks. De plus, comme nous pouvons l'observer dans les graphiques de densité (*Figure 29*), les données sont distribuées de manière similaire dans chacune des différentes dimensions et catégories d'OC, mais cette distribution tend à augmenter autour de la moyenne selon le type d'OC. Par conséquent, la mesure de kurtosis de la distribution augmente. Enfin, l'analyse descriptive montre une congruence et une homogénéité dans les mesures de similarité (sim) pour les deux dimensions (M et S) et pour les trois types d'OC. En raison de cette constatation, nous écartons l'utilisation de la variable de similarité (sim) dans les analyses suivantes et nous nous concentrons uniquement sur les mesures de magnitude (mag) et de stabilité (stb).

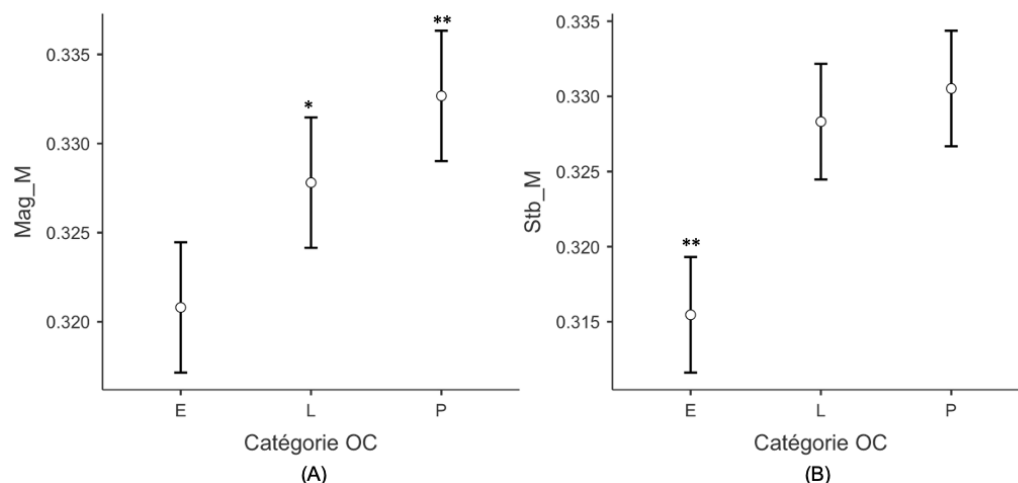
Cette analyse descriptive nous permet de répondre affirmativement à la première question directrice concernant la possibilité d'exprimer le degré de complexité d'un OC. Cette méthode d'analyse nous permet en effet de rendre compte de la complexité des relations entre les ressources linguistiques structurelles d'un OC, d'un point de vue tant syntaxique que morphologique. Cette première réponse nous ramène au concept d'interface d'un OC et à son caractère artefactuel au sein de l'IHKM défini auparavant (cf. Ch. 2 § 2.2.2). Un OC est, en principe, composé et structuré par des mots, qui ont à leur tour des usages structurels qui permettent au texte d'être utilisé, c'est-à-dire d'être lu de multiples façons. Notre méthode des espaces vectoriels à n-dimensions permet de rendre compte de cette complexité, parce que ses mesures de relation permettent de relier chaque mot et son rôle à la structure globale du texte. Cela donne une place à chacun d'entre eux et nous permet d'observer l'OC comme un ensemble complexe de ressources linguistiques connectées qui émergent dans une structure artefactuelle que permet son utilisation.

Quant à notre deuxième question directrice sur la caractérisation et la différenciation des OC à travers les outils que nous proposons, la réponse est également affirmative. Nous avons mené une analyse de la variance en utilisant les données générées par chaque OC afin de montrer les éventuelles similitudes et différences entre eux. Même si les OC sont des documents de type texte qui possèdent des caractéristiques très similaires, nous pouvons supposer que l'utilisation des ressources linguistiques utilisées et instrumentées par les sujets est adaptée et régulée selon le type d'OC. Cette utilisation de ressources linguistiques configure les caractéristiques instrumentales de l'OC en tant qu'artefact et facilite son utilisation *a posteriori*.

La méthode d'analyse que nous proposons permet de rendre compte de ces stratégies d'utilisation des ressources langagières et de caractériser les différents OC. En effet, cette méthode permet non seulement d'établir leurs différences et leurs similitudes en tant que textes instrumentés, mais aussi d'identifier le lien avec les processus cognitifs du sujet en situation de conception (dans ce cas, les élèves). Le texte est le résultat de la gestion de ressources cognitives manifestées au moyen du langage, mises en jeu pour le concepteur au moment de la création de l'OC avec une intention instrumentale. Ce qui suit présente les résultats de comparaisons et d'analyses des dimensions syntaxique et morphologique, ainsi que des mesures de relations internes (similarité, magnitude et stabilité) des différents types d'OC (personne, lieu et événement).

Figure 30 :

Effets de la catégorie d'OC sur les mesures de relation interne – Dim morphologique.



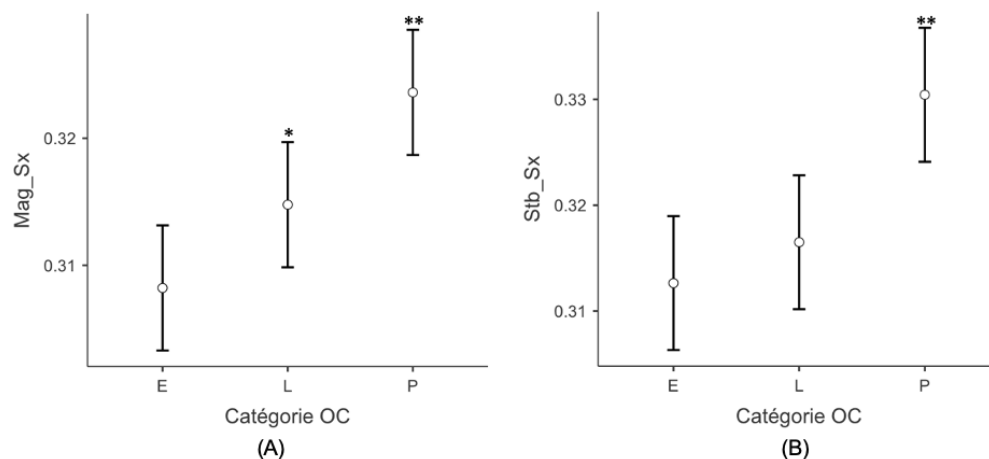
Note : Dimension morphologique : effets de la catégorie d'OC sur la mesure de relation interne A) Magnitude. B) Stabilité. Intervalle de confiance à 95 %.

Nous avons comparé les OC dans la dimension morphologique selon leurs caractéristiques de magnitude et de stabilité. Après avoir examiné les hypothèses de normalité et d'homogénéité, nous avons appliqué le test paramétrique *F-ANOVA* unidirectionnel avec les deux mesures. Pour la magnitude (*Figure 30 - A*), nous observons une différence significative entre les différentes catégories d'OC ($F_{(2,111)} = 10,5$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,15$). Dans les analyses *post hoc* avec correction de Bonferroni, nous observons des différences entre la magnitude relative des ressources linguistiques utilisées dans la description d'un événement et celle des ressources linguistiques utilisées dans la description d'un lieu ($t_{(111)} = -2,68$, $p\text{-value} < 0,025$, $d = -0,616$) ; ou une personne ($t_{(111)} = -2,68$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -0,616$). Lorsque nous analysons les mesures de stabilité (*Figure 30 - B*), nous trouvons une différence significative globale entre les catégories d'OC avec une légère augmentation de la taille de

l'effet ($F_{(2,111)} = 17,5$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,24$). Les analyses *post hoc* avec Bonferroni localisent ces différences entre les caractéristiques structurelles des ressources utilisées dans la description des événements et celles des ressources utilisées dans la description des personnes ($t_{(111)} = -5,484$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -1,258$) et des lieux ($t_{(111)} = -4,682$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -1,074$).

Figure 31 :

Effets de la catégorie d'OC sur les mesures de relation interne – Dim syntaxique.

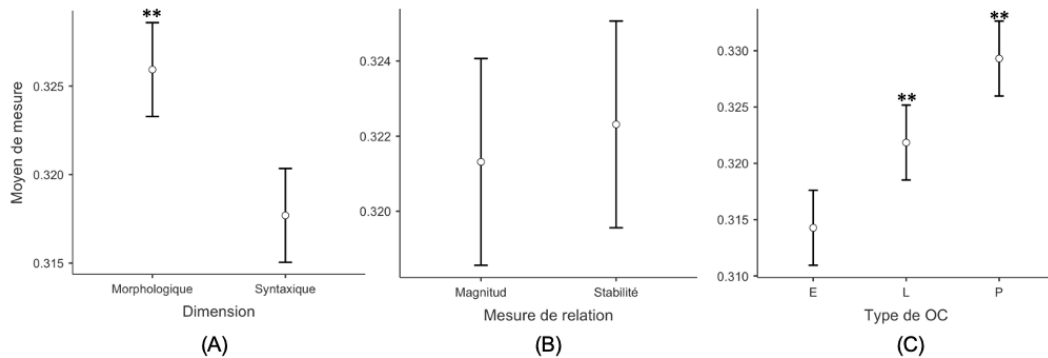


Note : Dimension syntaxique : effets de la catégorie d'OC sur la mesure de relation interne A) Magnitude. B) Stabilité. Intervalle de confiance à 95%.

Ensuite, nous avons effectué le même type de comparaison des OC, mais selon leur dimension syntaxique. Comme dans l'analyse précédente, nous nous sommes uniquement concentrés sur leurs caractéristiques de magnitude et de stabilité. Après les vérifications des hypothèses de normalité et d'homogénéité, nous avons appliqué un test paramétrique d'analyse de la variance du type *F-ANOVA*. Concernant l'analyse de la magnitude (Figure 31- A), nous constatons un effet global ($F_{(2,111)} = 9,66$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,148$) entre les catégories d'OC. La vérification *post hoc* de type Bonferroni situe ces différences entre la magnitude relative des ressources linguistiques utilisées dans les descriptions de personnes et celle des ressources utilisées dans la description des événements ($t_{(111)} = -4,38$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = -1,005$) et des lieux ($t_{(111)} = -2,51$, $p\text{-value} < 0,040$, $d = -0,577$).

Figure 32 :

Effets du type de dimension analysé et du type d'OC sur la mesure de relation interne.



Note : A) Effets du facteur « Dimension » sur les mesures de relation moyenne. B) Effets du facteur « mesure de relation » sur les mesures de relation moyenne. C) Effets du facteur « type de OC » sur les mesures de relation moyenne. Intervalle de confiance à 95 %.

Afin de comprendre le comportement des effets et leurs éventuelles interactions, nous avons effectué une analyse de la variance ANOVA avec des mesures répétées. L'organisation de l'analyse est donnée par 3 facteurs et un échantillon de 38 sujets avec une configuration 2 x 2 x 3 : 2 dimensions (morphologique ou syntaxique), 2 mesures de relation (magnitude ou stabilité) et 3 types d'OC (personne, lieu ou événement) (

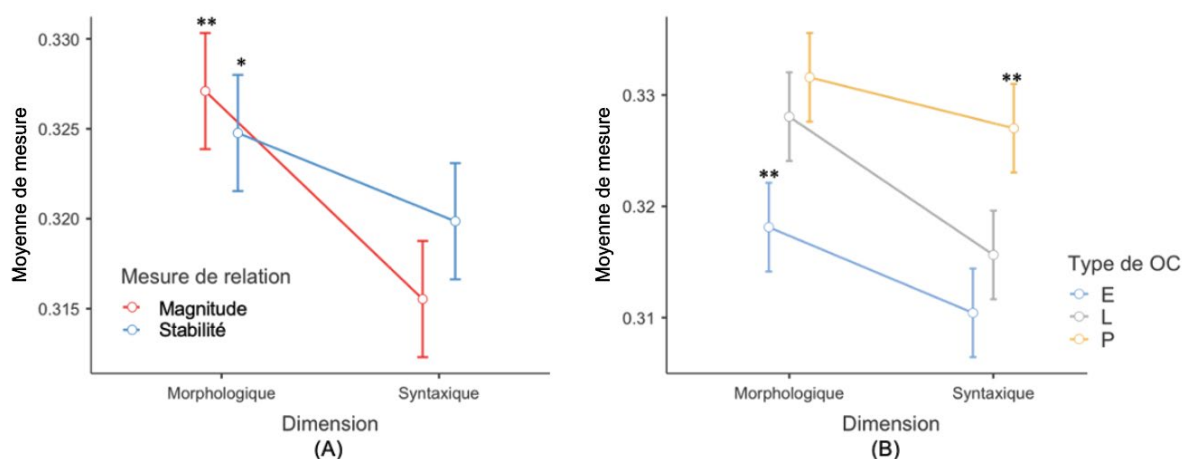
Figure 32 - C). Nous avons effectué les contrôles de sphéricité respectifs avec le test W de Mauchly et des corrections de Greenhouse-Geisser ont été appliquées. Nous rapportons ci-dessous les résultats les plus pertinentes. Dans l'analyse globale, nous avons confirmé des différences significatives entre les dimensions morphologiques et syntaxiques analysées ($F_{(1)} = 36,770, p\text{-value} < 0,001, \eta^2 = 0,061$) et entre les types d'OC ($F_{(1,96)} = 24,698, p\text{-value} < 0,001, \eta^2 = 0,135$). Les analyses *post hoc* avec correction de Bonferroni confirment une différence de 0,00824 entre les moyennes des mesures obtenues à partir de la dimension morphologique et celles obtenues à partir de la dimension syntaxique ($t_{(222)} = 7,26, p\text{-value} < 0,001, d = -0,507$) (

Figure 32 - A). Dans le type OC (

Figure 32 - C), les différences significatives se situent entre les moyennes des mesures prises à partir des descriptions d'événements et celles prises à partir des descriptions de lieux ($t_{(74)} = -3,54, p\text{-value } 0,002, d = -0,492$) ; entre celles des événements et celles de la personne ($t_{(74)} = -7,03, p\text{-value} < 0,001, d = -0,938$) et entre celles de lieu et de la personne ($t_{(74)} = -3,49, p\text{-value } 0,002, d = -0,484$) .

Figure 33 :

Interaction des effets par dimensions d'analyse sur les mesures de relation moyenne groupées par OC et type de mesure.



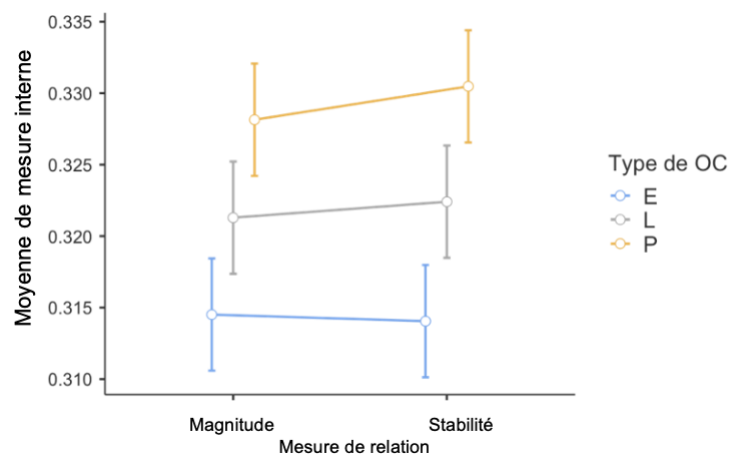
Note : A) Interaction des effets groupée par type de mesure de relation. B) Interaction des effets groupée par type d'OC. L'intervalle de confiance à 95 %.

L'analyse croisée des facteurs montre des différences significatives dans la relation entre le facteur dimension et ses mesures de relation interne (Figure 33 - A) ($F_{(1)} = 9,354, p\text{-value} < 0,004, \eta^2 = 0,010$) ; et entre les facteurs dimension et les types d'OC (Figure 33 - B) ($F_{(1.86)} = 3,27, p\text{-value} < 0,001, \eta^2 = 0,009$). Les analyses *post hoc* avec correction de Bonferroni localisent ces différences entre les dimensions. La différence est particulièrement marquée entre les mesures de magnitude de chaque dimension ($t_{(70.6)} = 6,64, p\text{-value} < 0,001, d = 0,796$). Concernant le croisement des variables entre les types de dimension (M ou S) et les types d'OC, les résultats les plus significatifs de la dimension morphologique se trouvent entre les mesures relatives aux descriptions de type d'événement et les deux autres OC ; lieu ($t_{(135)} = -3,765, p\text{-value } 0,004, d = -0,901$), personne ($t_{(135)} = -5,105, p\text{-value} < 0,001, d = -1,078$). Quant à la dimension syntaxique, la différence la plus importante se situe entre les mesures relatives à la

description du type personne et celles des descriptions des deux autres types : événement ($t_{(135)} = -6,290, p\text{-value} < 0,001, d = 0,90$) et lieu ($t_{(135)} = -4,317, p\text{-value} < 0,001, d = 0,65$).

Figure 34 :

Interaction des effets par dimensions d'analyse par type d'OC.



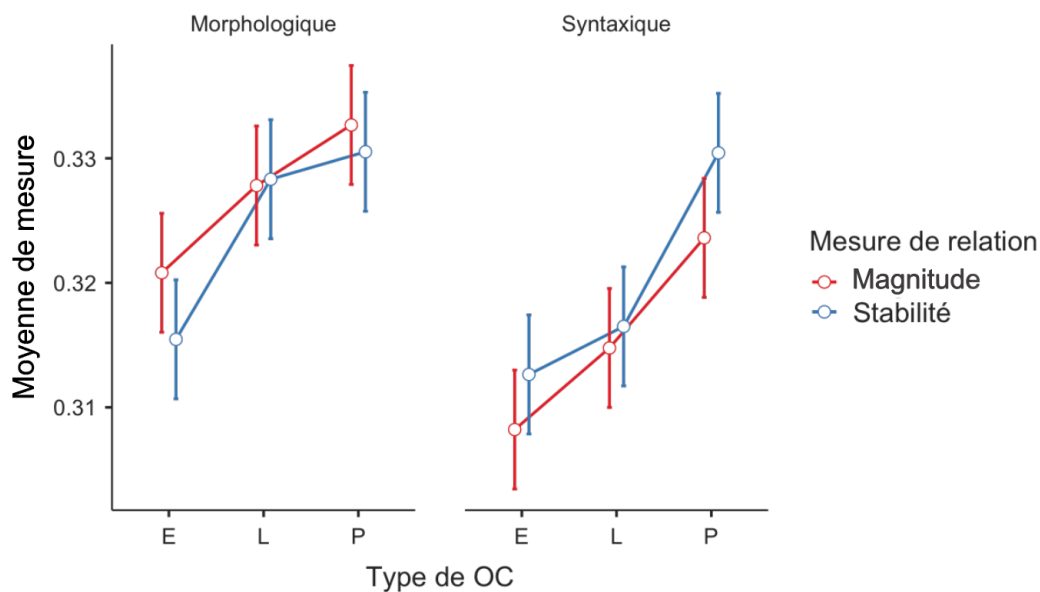
Note : Interaction des effets par type de mesure interne (magnitude et stabilité) ; mesure moyenne groupée par OC. Intervalle de confiance à 95 %.

Même si l'analyse générale du croisement des variables mesurant la relation et le type d'OC ne montre pas de différences significatives, il faut analyser ce comportement des effets sur la base des analyses *post hoc* avec correction de Bonferroni (

Figure 34). L'une des raisons pour lesquelles ce croisement de variables ne produit pas d'effets significatifs est qu'il n'y a pas de différence majeure entre les mesures de magnitude et de stabilité. Cependant, en croisant ce type de mesures avec le type d'OC, nous observons que chaque type d'OC est exprimé dans un certain espace de la gamme générale des mesures, qui va de 0,31 à 0,33. Ainsi, les descriptions de type événement s'expriment dans la plage inférieure, ce qui reflète une plus grande proximité avec la stratégie globale d'utilisation des ressources linguistiques établie comme référent par le sujet. Les descriptions de type personne occupent la plage supérieure, ce qui reflète une distanciation de la stratégie particulière par rapport à la stratégie globale. Même si le comportement est proche pour les deux mesures (mag et stb), nous observons que les effets sont plus significatifs pour la mesure de stabilité. Les mesures de stabilité produites par les descriptions de type événement (plage inférieure) marquent une différence significative avec les mesures de stabilité produites par les descriptions de type lieu (plage moyenne). ($t_{(120.1)} = -3,365$, $p\text{-value } 0,015$, $d = -0,516$) et celles-ci marquent à leur tour une différence significative par rapport à celles produites par les descriptions de type personne (plage supérieure) ($t_{(120.1)} = -3,248$, $p\text{-value } 0,023$, $d = -0,494$).

Figure 35 :

Interaction des effets du type d'OC par mesures de relation et dimension.



Note : Interaction des effets par type d'OC sur la moyenne de mesures internes groupée par dimension d'analyse syntaxique et morphologique. Intervalle de confiance à 95 %.

Enfin, nous examinons les interactions et le comportement des données en croisant les 3 facteurs : les dimensions M et S, les mesures de relation (mag et stb) et le type d'OC (*Figure 35*). Les mesures de magnitude et de stabilité des OC de la catégorie lieu suggèrent que les ressources linguistiques utilisées dans ce type de description sont plus homogènes entre les sujets. Ce n'est le cas ni pour les OC événement ni pour les OC personne dans aucune des deux dimensions. D'autre part, nous avons également observé une configuration inverse des mesures de relation entre les dimensions morphologique et syntaxique. Alors que dans la dimension morphologique, les magnitudes relatives s'éloignent de la stratégie standard, elles s'en rapprochent dans la dimension syntaxique, et ce comportement se répète pour les 3 types d'OC. Ce phénomène suggère que les sujets utilisent une quantité relativement plus élevée de ressources morphologiques que de ressources syntaxiques dans la conception du même OC, indépendamment du type spécifique de description.

Cette analyse des données confirme que cette méthode permet d'obtenir une mesure approximative de l'utilisation des ressources linguistiques par les sujets dans chaque type d'OC, en se servant de la structure interne de l'OC comme seule source d'information. En outre, elle permet de dévoiler une stratégie d'utilisation des ressources linguistiques mise en œuvre par le sujet lors de la conception de chacune des OC, ce qui permet une comparaison des stratégies d'utilisation à posteriori (lecture).

3.3.3. Utilisabilité des OC

Pour répondre à la question de l'utilisabilité, nous avons dû incorporer une nouvelle variable dans l'analyse. Nous intégrons à nos analyses précédentes l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). Notre objectif est d'établir une méthode pour analyser l'utilisabilité d'un OC sur la base des stratégies de conception (instrumentation) et des possibilités de lecture (instrumentalisation) qu'il offre. Pour cela, nous partons des principes d'utilisabilité et nous les adaptons au domaine des OC :

a) Facilité d'apprentissage : Un OC avec un meilleur indice de lisibilité linguistique a des structures morphologiques et syntaxiques qui permettent la réutilisation de connaissances préalables, ce qui facilite l'activité de lecture.

b) Robustesse : La structure syntaxique et morphologique d'un OC permet de compartimenter l'activité de lecture. Un meilleur indice de lisibilité assure la stabilisation des phrases et des paragraphes et permet une décomposition de l'OC en parties utiles qui peuvent être manipulées différemment par le geste de lecture.

c) Facilité d'utilisation : Les structures linguistiques compliquées et atypiques sont susceptibles de produire une plus grande consommation de ressources pour l'adéquation de l'activité de lecture et la fluidité du geste de lecture. Les OC avec un meilleur indice de lisibilité linguistique permettront des gestes de lecture plus fluides.

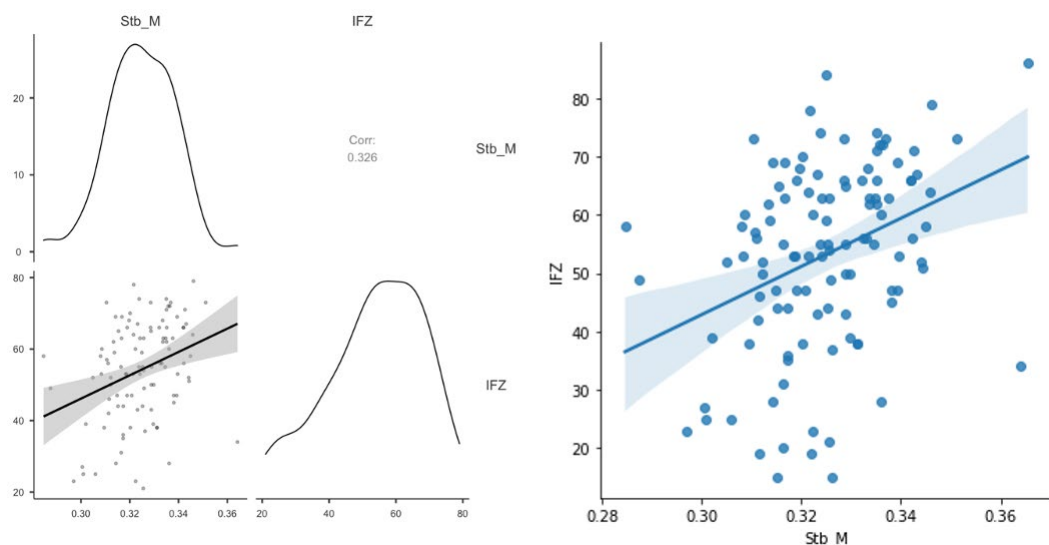
d) Flexibilité : Dans le cas des OC ce principe se manifeste dans les possibilités d'activation des champs sémantiques en fonction de la situation de l'utilisateur, ce qui élargit la gamme des usages. Un meilleur indice de lisibilité linguistique facilite la concentration des ressources attentionnelles sur les aspects sémantiques du OC qui sont les mieux alignés sur les intérêts du lecteur (sélection des mots importants).

3.3.4. Analyse de la facilité d'apprentissage d'un OC en termes d'utilisabilité

Afin de tester cette approche, nous mesurons la corrélation entre l'indice de lisibilité linguistique (IFZ) et les caractéristiques des OC représentées par les mesures de relation interne : similarité, magnitude et stabilité des dimensions morphologique et syntaxique des OC. Nous avons utilisé une analyse de corrélation non paramétrique avec le coefficient Rho de Spearman puisque les données de l'IFZ sont de nature ordinale sur une échelle de 0 à 100. Lors du nettoyage des données, nous avons éliminé les valeurs aberrantes extrêmes de la IFZ (<20 et >80). L'analyse de corrélation a donc été appliquée à 105 enregistrements de données des différents OC ont été utilisés pour l'analyse de corrélation. Nous présentons ci-dessous les résultats les plus intéressants :

Figure 36 :

Relation entre stabilité morphologique et IFZ.



Note : A) Matrice de corrélation entre la moyenne de mesure interne (stabilité) et l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). B) Régression linéaire, la mesure interne (stabilité) et l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). Intervalle de confiance à 95 %.

La stabilité de la dimension morphologique (Stb_M) (Figure 36) confirme une corrélation effective avec l'IFZ ($\rho_{(103)} = 0,326, p\text{-value} < 0,001$). Nous avons aussi appliqué une analyse de régression linéaire pour déterminer si l'IFZ peut également être configurée comme une variable dépendante en fonction des caractéristiques de stabilité morphologique de l'OC :

$$\text{IFZ} = -84,7 + 421,5 * \text{Stb_M} \quad (t = 3,72, p\text{-value} < 0,001)$$

Toutefois, la valeur de prédictibilité R^2 de ce modèle n'atteint que 0,11.

Ces résultats n'expliquent qu'une partie du rapport entre la facilité d'apprentissage d'un OC et sa lisibilité linguistique. En effet, nos analyses confirment qu'au moins 32,6 % de la stabilité morphologique de l'OC est directement associée à l'IFZ. Cependant, ces valeurs ne prédisent que 11 % de la lisibilité linguistique due l'OC. Nous ne considérons donc pas ce résultat comme vraiment utile ou prometteur.

3.3.5. Analyse de la robustesse d'un OC au regard de son utilisabilité

Quant à la deuxième hypothèse concernant l'utilité des OC en matière de robustesse, il nous a d'abord fallu ajouter des informations sur les phrases qui composent chaque OC analysé.

La procédure est expliquée ci-dessous :

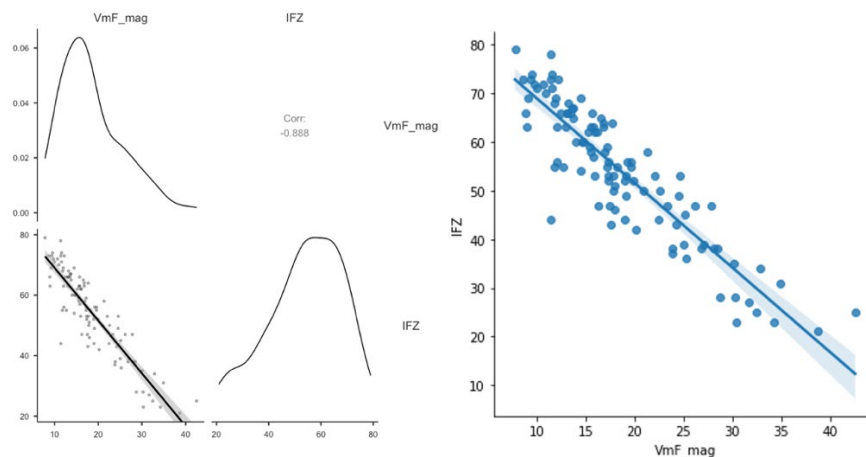
Tout d'abord, nous calculons les vecteurs de phrase (Vf) qui composent l'OC. Pour ce faire, nous utilisons les vecteurs mots (Vp) fournis par la LGV. On sélectionne les Vp correspondant aux mots qui composent chaque phrase que l'on veut vectoriser. La somme de ces Vp forme un Vf. À son tour, la somme de Vf donne comme résultat un vecteur de document

(VD). Une fois que les différents Vf et VD ont été calculés, nous générons un vecteur moyen qui représente le nombre global de phrases de l'OC (VmF). Pour ce faire, on divise chaque dimension du VD par le nombre de phrases qui le composent. Le résultat est un vecteur tridimensionnel représentatif des caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques du groupe de phrases composant un OC.

Étant donné que pour l'analyse statistique nous avons besoin de valeurs uniques, nous avons décidé d'utiliser la magnitude du VmF (VmF_mag), qui est une valeur unique représentative du groupe de phrases qui composent un OC donné. Il exprime la magnitude relative des ressources linguistiques utilisées dans la conception de cet OC. Une fois les magnitudes des différents vecteurs textuels calculées (114), nous avons effectué une analyse de corrélation non paramétrique avec le coefficient Rho de Spearman entre l'IFZ et le VmF_mag. Comme dans l'analyse de la facilité d'apprentissage, nous avons éliminé les valeurs extrêmes de l'IFZ (<20 et >80), ce qui donne comme résultat 105 données valides pour notre analyse.

Figure 37 :

Relation entre Magnitude et IFZ.



Note : A) Matrice de corrélation entre la moyenne de mesure interne (magnitude) et l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). B) Régression linéaire, la mesure interne (magnitude) et l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). Intervalle de confiance à 95 %.

Cette deuxième analyse (Figure 37) montre une forte corrélation négative entre la magnitude du vecteur de phrase moyen d'un OC et son indice de lisibilité linguistique IFZ ($\rho_{(103)} = 0,888$, $p\text{-value} < 0,001$). Nous avons aussi appliqué une régression linéaire afin de déterminer le degré de dépendance entre les variables. Le modèle prédicteur montre une $R^2 = 0,816$ pour l'équation $IFZ = -86,48 - 1,74 * VmF_mag$ ($t = -21,4$, $p\text{-value} < 0,001$). Le modèle a été testé avec une ANOVA omnibus qui confirme la validité du modèle ($F_{(1,103)} = 456$, $p\text{-value} < 0,001$).

Ces résultats suggèrent que la robustesse des phrases OC a une relation directe avec la lisibilité linguistique. En effet, au moins 88 % de la lisibilité linguistique est directement associée aux caractéristiques morphologiques, syntaxiques et sémantiques des phrases composant le CO. En outre, le modèle de régression linéaire confirme que la magnitude du vecteur de phrase moyen (VmF_mag) peut prédire 81,4 % ($\text{écart-type} = 0,0817$) de la lisibilité linguistique avec un intervalle de confiance de 95 %. Cela signifie que plus la magnitude du vecteur phrase représentatif d'un texte est élevée (quantité relative de ressources utilisées dans le texte dans les dimensions morphologiques, syntaxiques et sémantiques), plus son indice de lisibilité linguistique est faible.

Les principes 3 et 4 de l'utilisabilité des OC ne pouvaient pas être évalués uniquement sur la base de l'OC en question, car l'utilisabilité et la flexibilité répondent toutes les deux au geste du lecteur et à la composante cognitive que le lecteur apporte à l'utilisation et à l'interaction avec un OC donné.

3.4. Analyse qualitative exploratoire de l'interaction avec des objets de connaissance

Une fois les analyses des OC individuels terminées, nous nous sommes tournés vers une analyse qualitative de la conception et des utilisations des mêmes OC, mais en tant qu'artefacts dans le cadre d'une activité de connaissance. Pour cette analyse exploratoire et qualitative, nous avons utilisé à la fois les concepteurs (étudiants) et l'utilisateur (enseignant rapporteur). L'objectif de cette analyse était de confronter les résultats des analyses quantitatives des OC avec les activités de conception et d'évaluation de ces objets. Nous cherchons à placer l'objet fini comme déclencheur d'un dialogue sur les déterminants de l'activité réelle de son utilisation en tant que artefact de connaissance (AC).

3.4.1. Auto confrontation avec les concepteurs et les utilisateurs sur l'utilisabilité

Pour cette analyse, nous nous servons de la méthode d'auto confrontation (Theureau, 2010), en adaptant les ressources de la *clinique de l'activité* de Clot (2004) et de la *remise en situation* du même Theureau à l'utilisation d'artefacts de connaissance. La principale contribution de ce type de méthode est de promouvoir la compréhension et la transformation de l'activité par la discussion des controverses soulevées pendant l'activité. Dans l'approche classique de l'ergonomie de l'activité, on peut utiliser des séquences vidéo du travailleur utilisant l'artefact sélectionnées par l'ergonome, puis présentées au même travailleur afin de

déclencher un dialogue sur sa propre activité. Ainsi, grâce à un entretien, il est possible de mobiliser les connaissances qui se cachent derrière les manières d'utiliser un dispositif, et de comprendre les éléments que le travailleur met en jeu lors de l'acte instrumental. Ce processus peut être individuel ou collectif et vise à collecter et à valider des informations sur l'activité réelle afin de générer des stratégies d'amélioration d'un point de vue ergonomique. Cela peut concerner le processus de régulation de l'individu dans le contexte de l'activité ou du système sociotechnique dans laquelle l'activité est réalisée. Dans le cas particulier de notre recherche, nous avons un double objectif : a) Utiliser l'entretien d'auto-confrontation avec les étudiants pour reconstruire l'activité de conception d'un OC comme processus d'instrumentalisation ; et b) Utiliser l'entretien d'auto-confrontation avec l'enseignant pour comprendre ses marges d'action quant à la régulation de l'activité de transfert de connaissances à partir de l'évaluation d'un OC comme processus d'instrumentalisation du même.

Nous avons réalisé deux séances de travail de 30 minutes avec l'enseignant et 5 séances de 30 minutes avec les étudiants, dont 4 individuelles et 1 collective avec la participation des 4 étudiants volontaires.

3.4.2. La conception de l'OC comme acte d'instrumentation

Un protocole d'entretien a été établi sur la base des résultats obtenus dans la phase quantitative de l'analyse des OC. Les étudiants ont été invités à participer à cette deuxième étape de l'étude, et ils ont signé un accord de participation et de confidentialité des données. Les descriptions (artefacts de connaissance dans l'approche instrumentale) sont analysées avec leurs concepteurs. Les sessions de travail individuelles consistaient en la lecture de leur propre description suivie d'une série de questions concernant la conception de chaque OC. Au cours de la session collective, un rappel des points individuels concernant la conception des OC a été initié et les résultats de l'analyse quantitative des OC ont été présentés. Cela a permis de déclencher un dialogue collectif autour des données.

Dans les 4 sessions individuelles, les sujets rapportent avoir pris plus de temps et de travail pour l'élaboration de la description du type événement, puis pour la description du lieu et enfin pour la description du type personne qui a été la plus facile. Lorsqu'ils sont interrogés sur les raisons pour lesquelles il était difficile d'écrire sur l'événement, les étudiants soulignent que le sujet de l'événement nécessite un exercice de mémoire plus complexe, car l'événement n'a eu lieu qu'une seule fois, alors que le lieu ou la personne sont des sujets plus familiers ou plus fréquemment consultés (« vus plusieurs fois »). Ils expliquent également que, pour

l'élaboration de la description de l'événement, ils ont dû prendre une série de notes avec des noms de lieux et des thèmes spécifiques de l'exposition qui étaient totalement inconnus avant la réalisation de la description. Lorsqu'ils ont été interrogés sur la possibilité d'utiliser d'autres mots pour décrire le lieu, les élèves ont répondu qu'ils avaient du mal à trouver d'autres mots pour décrire l'espace. Voici un extrait de l'entretien qui exprime cette constatation :

« Que puis-je dire d'autre sur la cafétéria, tenez compte du fait que faire cette description était un exercice plus concret, on dit ce qu'on voit et c'est tout. On ne peut pas se perdre, contrairement à ce que j'ai écrit sur l'enseignant ou sur l'événement. Dans ces descriptions, je pouvais exprimer comment quelque chose était fait, comment les gens agissaient [...] Je pense que c'était quelque chose de plus dynamique, mais pas le lieu. [...]. C'est comme la statique de l'espace [...]. Peut-être s'il y avait eu plus de texte pour décrire ce qui se passe à l'intérieur de cet espace, mais ce n'était pas l'exercice. Je ne saurais pas comment décrire la même chose avec d'autres mots, les chaises sont des chaises... »

Interrogé sur l'utilisation des ressources linguistiques syntaxiques ou morphologiques par rapport aux différents OC, aucun des étudiants n'a pu définir clairement si l'une des descriptions pouvait être clairement différenciée d'une autre. Toutefois, tous ont affirmé que la description de l'événement a demandé une plus grande spécificité dans les termes, alors que dans la description d'une personne le champ lexical était beaucoup plus large ou plus libre. L'extrait ci-dessous est un exemple :

« Je ne pourrais pas vous dire si j'ai utilisé plus de l'un ou de l'autre en fonction du type de description, mais par exemple, pour la description de l'événement il fallait être plus précis. Comme l'exposition parlait des Espagnols et de l'Amérique, il fallait détailler certains points, des noms, des dates, etc. Je ne sais pas si je me suis fait comprendre [...]. Au contraire, par exemple, avec la description de [X (la personne décrite dans l'un des trois OC)], on peut voler. Il y a plus de façons de dire comment il est, d'essayer d'exprimer la façon dont il donne ses cours, il faut se donner des moyens et chercher des mots et des phrases qui l'expliquent ».

Enfin, lors de la session individuelle, les analyses quantitatives ont été présentées, montrant les différentes dimensions du OC et les différences dans l'utilisation des ressources en fonction du type d'OC. Tous les participants signalent que la description la plus difficile à produire et la plus éloignée de la possibilité d'utiliser une stratégie d'écriture commune est la description de l'événement. Cette description a exigé de s'éloigner du lieu et de la personne. Dans ce cas, l'important a été de pouvoir transmettre la dynamique de la situation. Ils suggèrent également que dans la description de la personne, il y a un engagement affectif, ce qui permet à l'écriture d'être plus fluide.

Ils signalent également qu'il est plus complexe de réfléchir à l'élaboration de phrases claires qu'à l'utilisation qu'elles font de différents mots :

« Il est plus difficile d'écrire l'idée, parfois vous avez tous les mots de ce que vous voulez dire, mais vous passez des heures à essayer de trouver une phrase, et ensuite vous la lisez et la relisez et vous la changez cinq fois ».

3.4.3. L'instrumentalisation d'un OC comme *feedback* pour la régulation de l'activité

Dans les sessions avec l'enseignant, nous avons travaillé directement avec des questions suivies de la présentation des résultats de l'analyse des OC.

À la différence des élèves, lorsqu'on a demandé à l'enseignant quel type de description il avait trouvé le plus facile à lire, il a signalé les descriptions de l'événement. Ceci se reflète également dans les notes attribuées à la tâche par le groupe d'experts (14,3/20) versus 12,5 (lieu) et 13,3 (personne). En confrontant cette réponse avec les informations sur la lisibilité linguistique et l'utilisation des ressources par les élèves, l'enseignant a déclaré :

« Vous avez raison, peut-être que c'est ce que j'ai trouvé le plus facile à lire, pas parce que le texte est plus simple, mais parce qu'il y avait plus de soin apporté au travail ».

Ce phénomène se reflète aussi dans la lecture des textes faite par des experts. En effet, le temps de lecture moyen a été de 160 s pour les OC de type événement, contre 166 pour le type lieu et 162 pour le type personne. C'est aussi le cas dans la note globale moyenne des textes.

« Les événements étaient les descriptions qui m'ont pris le moins de temps à lire, donc je suppose que cela a quelque chose à voir avec cette chose de la lisibilité dont vous parlez... »

Lorsqu'on lui a demandé quelles descriptions semblaient présenter le moins ou le plus de variabilité entre les différents élèves, il a répondu que la description du lieu (la cafeteria) présentait le plus de points communs, tandis que la description de la personne (un enseignant) présentait le plus de variabilité entre les étudiants :

« En lisant les descriptions de la cafétéria, je me suis un peu ennuyé. Je me suis rendu compte qu'ils manquaient de créativité. Ils disent tous la même chose, bien que chacun y ajoute sa propre couleur. C'est comme si c'était la même chose. Par contre, j'ai trouvé les descriptions du professeur très amusantes, je n'avais jamais vu [X] sous autant d'angles... »

Interrogé sur l'influence de la lisibilité linguistique sur la lecture des textes, l'enseignant s'est dit surpris. Même si les données indiquent qu'un texte était plus difficile à lire qu'un autre, la perception qu'il en avait en tant que lecteur était opposée. Lorsqu'on lui a montré l'information sur les ressources linguistiques utilisées, l'enseignant a suggéré que l'outil peut être utile pour déterminer l'effort dans le processus de conception d'un texte et que ceci peut l'aider dans son activité :

« Ce que je trouve intéressant, c'est qu'en tant que lecteur, on pense que le texte le plus difficile est tel ou tel et il s'avère que ce n'est peut-être pas le cas. Il s'agit justement d'enlever la subjectivité du travail. Il est intéressant de constater que ce qui est le plus facile à lire pour moi est le plus difficile à faire pour l'élève. C'est là où il a fait le plus d'efforts. L'outil peut être utile pour voir s'ils ont suffisamment travaillé sur les textes, cela m'éviterait de faire des allers-retours dans le processus de correction. Parfois, on révise et renvoie le travail 3 ou 4 fois, ce qui n'est pas très productif et on ne progresse pas. Cela m'aiderait à être plus précise dans mon travail de correction ».

De manière générale, on peut dire que l'analyse de l'instrumentalisation des OC est une stratégie qui permet de récupérer des informations précieuses pour une meilleure compréhension de l'activité de connaissance mise en œuvre par l'enseignant et les élèves. Dans ce cadre, le feedback est utile en termes de régulation, car il permet à l'enseignant d'établir à l'avance des points clairs pour l'évaluation des OC produites par les élèves. De plus, la possibilité d'auto-confronter leur propre activité de lecture par rapport aux OC améliore leur capacité à donner un feedback approprié et précis aux apprenants.

3.5. Discussion générale

Nous avons constaté que l'utilisation de la cartographie textuelle avec la lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV) peut être utilisée comme un outil d'analyse des activités de connaissance. Nous avons également confirmé que le travail d'analyse et d'évaluation d'un OC à partir de l'approche instrumentale et en utilisant les outils des espaces n-dimensionnels permet de démêler la complexité des relations entre les ressources linguistiques et cognitives utilisées par les concepteurs et les ressources linguistiques et cognitives requises par le lecteur lors de l'utilisation de l'OC. Ce constat nous permet d'utiliser cet outil comme une ressource dans la compréhension de l'activité des travailleurs de la connaissance. Cette étude nous a également permis d'aborder le phénomène de la conception des OC par l'approche instrumentale. Cela veut dire que ces objets artefactuels rendent compte des ressources d'usage mises en jeu par le concepteur pour une activité future : celle d'un éventuel lecteur. Cela rejoint les approches théoriques instrumentales proposées par Vygotsky, Leontiev et Rabardel (Vigotsky et Cole 1978 ; Vigotsky et Kozulin 1986 ; Leontyev 1981a ; Leontyev 1981b ; Rabardel 1995 ; Rabardel et Verillon 1990), qui parlent d'un processus d'externalisation d'un savoir-faire qui permet la synchronisation et l'interaction entre les agents cognitifs, même lorsque ces agents ne sont pas dans le même espace ni le même temps. Enfin, cette étude ouvre la possibilité de développer des outils qui, à partir de l'analyse de la conception et de l'utilisation d'un artefact de connaissance, permettent et favorisent le dialogue sur les activités cognitives qui rendent compte des activités des travailleurs de la connaissance dans une perspective ergonomique.

3.5.1. Cognition et objets de la connaissance

Cette étude suggère l'existence d'une stratégie d'utilisation des ressources linguistiques qui émerge lors de la conception d'un OC. L'utilisation des ressources linguistiques, dans ce cas, devient une expression de la tâche cognitive des concepteurs analysés (étudiants). Compte tenu de la complexité de l'OC, cette émergence peut être analysée à travers des outils de traitement du langage naturel et des espaces à n-dimensions que nous avons testés et qui permettent une lecture du phénomène à différents niveaux : un niveau macro avec une perspective globale sur l'utilisation des ressources syntaxiques et morphologiques et un niveau micro ciblant les caractéristiques spécifiques des différents types d'OC. Notre étude confirme également le potentiel de caractérisation des espaces LGV et la méthode des espaces n-dimensionnels pour l'analyse des OC et leur classification. Ils ouvrent ainsi une perspective d'utilisation future dans la génération des inputs pouvant être utilisés et associés dans des processus plus complexes utilisant de l'IA pour l'amélioration des OC ou des activités de connaissance. Enfin, notre étude propose le concept d'utilisabilité appliqué aux OC, soutenu par une analyse quantitative et corroboré par le dialogue avec les concepteurs et les utilisateurs à l'aide de techniques qualitatives.

3.5.2. Objets de connaissance et ergonomie

Notre étude prend en compte les aspects d'instrumentation et d'instrumentalisation d'un OC en le plaçant dans la catégorie des artefacts et en recherchant ses caractéristiques instrumentales pour l'interaction entre agents cognitifs. Les résultats quantitatifs de l'étude sont organisés de manière à permettre le dialogue des agents cognitifs impliqués dans le processus (concepteurs et utilisateurs). Cette ressource sert à son tour de déclencheur pour générer un dialogue qui permet de discuter de l'activité productive dans un système sociotechnique de connaissances, et de le fonder sur des faits qui permettent une pratique ergonomique prenant en compte les aspects de régulation de l'activité productive en matière de connaissance.

3.5.3. Utilisabilité du OC, lisibilité linguistique et interaction

Notre étude propose le concept d'utilisabilité de l'OC. Grâce à une analyse quantitative, nous confirmons la possibilité d'étudier la facilité d'apprentissage et la robustesse d'un OC à l'aide des techniques TALN et des espaces à n-dimensions. Nous nous intéressons à l'étude de la lisibilité linguistique des OC, et nous confirmons qu'il est possible d'extraire cette information de la structure même de l'OC. Nous avons validé ces résultats au moyen d'un modèle de

régression linéaire qui utilise comme entrée la magnitude du vecteur moyen de référence de phrases d'un texte. Notre analyse qualitative sur ce sujet fourni des éléments de discussion autour de la lisibilité linguistique par l'utilisateur final (enseignant) et de l'utilisation des ressources linguistiques utilisées par le concepteur (étudiant). Les données globales de l'analyse des OC par les experts (moyenne des notes globales et temps de lecture) ne sont pas directement liées aux indices de lisibilité calculés, mais fonctionnent de manière inverse : meilleure est la lisibilité linguistique, plus basses sont les notes. Ceci confirme que l'activité d'évaluation des OC n'est pas structurée à partir de la complexité du texte en lui-même, mais que l'effort cognitif du concepteur dans l'utilisation des ressources linguistiques permet une plus grande utilisabilité du texte et que cela contribue vraiment à sa lisibilité linguistique. Nous avons validé ces résultats lors d'un processus d'auto-confrontation des données quantitatives avec les concepteurs et l'utilisateur final des OC.

Enfin, cette étude ouvre plusieurs possibilités pour l'utilisation de l'approche instrumentale dans l'analyse des activités de connaissance, et anticipe certaines lignes d'étude pour le futur. Nous sommes intéressés à poursuivre l'analyse des caractéristiques d'utilisabilité d'un OC avec d'autres outils, et des possibilités de combiner ces analyses avec des éléments de l'IA pour le prototypage d'outils ergonomiques qui aident dans les processus et les activités au sein d'une système sociotechnique de connaissance.

4. Expérimentation 2 : la genèse instrumentale des artefacts de connaissance (AC)

Cette section analyse le processus de genèse instrumentale des artefacts de connaissance (AC). Nous utilisons une méthode expérimentale qui combine la cartographie du texte et l'analyse de l'activité visuelle pour rendre compte des relations instrumentales qui existent entre les AC et les utilisateurs. Pour la cartographie des textes, nous utilisons spécifiquement la méthodologie de la lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV) (cf. Ch. 3 § 1) et pour l'analyse de l'activité visuelle, nous utilisons la cartographie des stratégies visuocognitives développée dans le Ch. 3 § 2. Nous avons réalisé cette dernière cartographie sur un corpus de mouvements oculaires générés à partir d'une expérience en laboratoire.

L'expérience de laboratoire est fondée sur la lecture d'un groupe de textes expérimentaux descriptifs organisés en 3 catégories instrumentales (littéraire, journalistique et historique). Cette expérience a permis de recueillir des informations sur l'activité oculaire de 32 sujets lors de la lecture des textes expérimentaux. Pour l'analyse des données, nous avons utilisé des techniques de traitement du langage naturel et le modèle d'analyse vectorielle à n-dimensions à différents niveaux d'analyse, tant pour les AC que pour les stratégies visuelles des sujets. Les résultats de cette expérience confirment l'influence du type d'instrumentation lors de la lecture d'un document. Ceci met en question la relation entre l'usage d'un objet de connaissance et la conception du même.

4.1. Artefacts de connaissances

Hilpinen (1995, 2008) décrit les artefacts comme des objets fabriqués intentionnellement pour atteindre ou réaliser un objectif. Ces objets aux caractéristiques artifactuelles sont créés par et pour les êtres humains. Dans le cadre d'un système sociotechnique, nous pouvons dire que les caractéristiques d'utilisation et les possibilités d'interaction avec ces artefacts permettent à l'activité de se dérouler efficacement. Dans ce sens, un artefact est un objet technique fini qui permet une interaction préalablement pensée et conçue par l'être humain.

Dans notre recherche, nous reprenons cette idée d'artefact et la transposons dans le domaine de la connaissance. Un artefact de connaissance (AC) peut être compris comme un objet de connaissance (OC) créé avec une intention et un but, dont la structure d'utilisation est conçue par et pour des agents cognitifs, afin de rendre leur activité cognitive plus efficace au sein d'un système de connaissance sociotechnique. Cela rejoint les réflexions sur la fonction

des artefacts et l'approche centrée sur l'action (Houkes et al., 2004) selon lesquelles la fonction d'un artefact est représentée dans la capacité (supposée ou réelle) de l'artefact, qui a un statut privilégié dans le contexte de certaines actions et croyances. Par conséquent, un AC répond essentiellement à une propriété relationnelle, qui va au-delà de la structure physique de l'artefact, et est liée aux croyances et aux actions des concepteurs et des utilisateurs de l'artefact. Nous suivons aussi les réflexions sur l'esprit étendu (Clark et Chalmers, 1998) et nous partageons l'idée que les processus cognitifs cohabitent avec l'environnement et intègrent des éléments en fonction des différentes exigences qui apparaissent dans la réalisation d'une tâche. Celle-ci est généralement partagée et coordonnée au sein d'un système coopératif (Hutchins, 2006; Hutchins et Klausen, 1996). Ainsi, les AC permettent de manipuler des représentations et de répartir la charge cognitive avec l'environnement grâce à l'interaction des agents cognitifs avec ces artefacts au sein d'une structure organisationnelle où les connaissances sont requises et utilisées. Cela produit une sorte d'échafaudage pour les processus cognitifs et permet une activité plus efficace et moins coûteuse pour l'individu.

4.1.1. La genèse instrumentale des AC de type document

L'interaction avec l'artefact rend possible l'acte instrumental (Vigotsky et Cole, 1978) par des processus préalables d'instrumentalisation générés lors du processus de conception de l'artefact. Les caractéristiques artefactuelles conçues par les agents cognitifs à des fins particulières et incluses de manière appropriée dans l'interface d'utilisation de l'artefact rendent possible l'émergence de processus d'instrumentalisation cohérents qui facilitent l'activité vers le but de la tâche. Ce processus asynchrone d'alignement entre la conception et l'utilisation de l'artefact est ce que Rabardel (1995) appelle la « genèse instrumentale ». Ceci fait référence au processus par lequel un artefact devient un instrument par son utilisation. Cette utilisation intentionnellement pensée et développée relie deux ou plusieurs agents cognitifs dans un même but.

Les AC sont des conceptions cognitives qui comprennent des structures d'utilisation récurrente opérées par une action cognitive (utilisation de la langue, mémoire, prise de décision, etc.) Les AC de type documentaire comprennent l'utilisation de ressources linguistiques (morphologiques, syntaxiques et sémantiques) organisées d'une certaine manière. Cette manière est influencée par la structure globale de la langue, mais adaptée aux intentions du concepteur de l'artefact de connaissance. Ces intentions ont à leur tour un temps et un espace qui sont, en quelque sorte, inclus dans l'AC au moment de l'instrumentation. Dans un second

temps, ces AC sont instrumentalisés par d'autres agents, dans un autre temps et un autre espace, avec des intentions *a priori* similaires. Cela génère un processus collaboratif et asynchrone qui intègre les logiques intentionnelles des différents agents à partir de l'utilisation des AC. Cet étayage des processus cognitifs permet une activité collaborative et efficace, qui transforme les AC dans des instruments facilitant l'activité du travailleur de la connaissance.

4.1.2. Les hypothèses de l'étude

L'un des grands défis de l'étude de l'interaction avec la connaissance est de guider les actions qui nous permettent de comprendre l'articulation de l'utilisabilité des AC. Notre intérêt est d'étudier comment l'utilisation de la cartographie visuo-cognitive et textuelle nous permet de générer une structure d'analyse pour les interactions entre les agents cognitifs et les artefacts de connaissance. Cette structure nous permet d'identifier les possibilités instrumentales de cette relation et permet une action ergonomique sur ce processus. L'hypothèse de travail qui guide notre étude est la suivante : le type d'instrumentation (conception) d'un AC a un effet sur l'adaptation de la stratégie cognitive requise pendant sa phase d'instrumentalisation (lecture). Si cette hypothèse s'avère juste, dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à identifier si cet effet concerne l'ensemble de l'AC ou s'il se concentre sur l'utilisation des dispositifs spécifiques (mots importants du texte, syntagme). Troisièmement, nous cherchons à déterminer s'il y a une corrélation entre les ressources cognitives utilisées lors de la conception de l'AC (instrumentation) et celles requises par l'utilisateur lors de la lecture de l'AC (instrumentalisation).

4.2. Matériels et Méthodes

Afin de mettre à l'épreuve notre hypothèse, nous avons organisé une expérience de laboratoire, sélectionné le matériel expérimental, et organisé une phase de recueil des données en suivant un protocole expérimental.

4.2.1. Les textes stimulus

Pour l'expérience, nous avons utilisé des textes descriptifs afin de nous assurer que la conception des textes (AC) vise la transmission des informations détaillées sur un événement particulier. Nous avons inclus dans la sélection des textes la catégorie du type d'instrumentation afin de vérifier notre hypothèse. Pour ce faire, nous avons cherché du matériel expérimental sur Internet et nous avons choisi 12 textes instrumentés différemment (Annexe 4) : 4 sous forme

journalistique (www.lemonde.fr), 4 sous forme historique (www.histoire-pour-tous.fr) et 4 sous forme littéraire (www.books.google.com). Les textes sont des passages d'un paragraphe composés en moyenne de 196 mots ($\text{écart-type} = 23$) qui répondaient aux critères de cohérence textuelle, d'orthographe et de syntaxe. Les thèmes des textes de chaque type d'instrumentation ont été organisés de manière variée. Toutefois, nous avons établi comme critère général qu'au moins 2 des textes sélectionnés portent sur des sujets liés au contexte culturel dans lequel ils ont été appliqués.

4.2.2. Appareillage

Les mouvements oculaires ont été recueillis avec un système fixe SMI RED 500, qui utilise le réflexe cornéen avec des lampes infrarouges et une compensation automatique de l'angle de vue. Le taux d'échantillonnage a été fixé à 500 Hz et la précision du suivi du regard a été déterminée comme étant inférieure à $0,4^\circ$ d'angle visuel dans toutes les distances. L'instrument de suivi du regard a été calibré à 40° horizontal et 60° vertical. Les textes ont été présentés sur un moniteur LCD Dell P2210 22", avec une résolution de 1680 x 1050 px et une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz. Les sujets se sont assis à une distance du moniteur comprise entre 60 et 70 cm.

Pour la présentation des textes, on a utilisé le logiciel natif de *SMI, Experiment Center*, combiné avec une interface que nous avons développée spécifiquement pour cette expérience en langage Python 3.0. Cette interface interagit avec un déclencheur référentiel envoyé par le port LPT1 pour générer l'activation de l'interface de sélection de mot. Celle-ci présente le même texte aléatoire lu par le participant sur l'écran. Dans l'interface de sélection, le participant peut sélectionner ou désélectionner les mots en un clic. Les mots ont été colorés en jaune et affichés dans le sélecteur de mots sur le côté droit de l'interface (*Figure 40*).

4.2.3. Participants

La taille de l'échantillon a été déterminée par une analyse de puissance à l'aide du logiciel *G * Power 3* (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007). Ceci a déterminé qu'il faut un échantillon d'au moins 24 participants afin de détecter les effets moyens ($d = 0,30$) avec une puissance ($1 - \beta$) fixée à 0,80 et $\alpha = 0,05$ pour le test *F-ANOVA* à mesures répétées, plan intra-sujets. Nous avons recruté ($N = 31$) participants via une liste de diffusion. Six participants ont été exclus en raison de la perte de données pendant la phase d'enregistrement des données ou de problèmes de calibrage de l'oculomètre. L'ensemble final de données comprenait 25

participants. Tous les participants étaient francophones, l'âge moyen était de 21,30 ans (*écart-type* = 3,23), 12 hommes et 13 femmes. Tous les participants avaient un diplôme d'études secondaires et une moyenne de 3,27 années d'études postsecondaires (*écart-type* = 1,12).

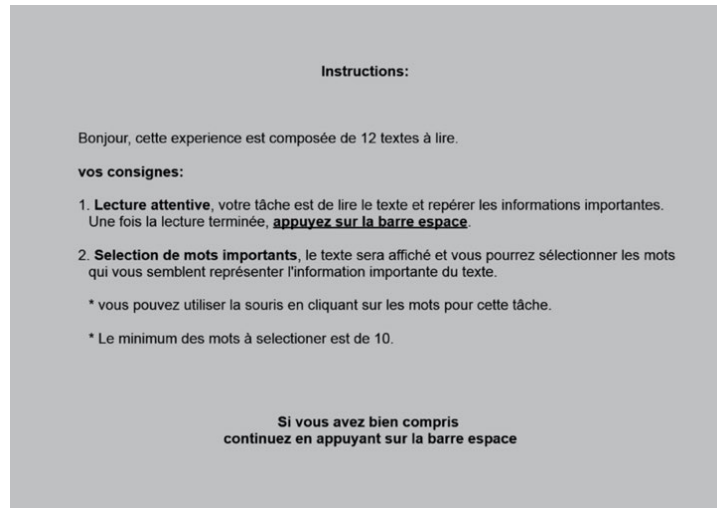
4.2.4. Procédure

Dès leur arrivée au laboratoire, les participants ont signé un formulaire de consentement. Après une brève explication de l'expérience, de l'équipement et du calibrage, l'oculomètre a été calibré et l'expérience réalisée. Les instructions de l'expérience ont été présentées directement sur l'écran (*Figure 38*). Lorsque le participant était certain de les avoir comprises, il cliquait sur la barre d'espace et l'expérience commençait. Les textes ont été présentés aléatoirement sur l'écran (

Figure 39). Chaque fois que le participant terminait la lecture d'un texte, il passait sur l'interface de sélection des mots (Figure 40) qui présente le texte sur l'écran et, à l'aide de la souris, il pouvait sélectionner les mots qu'il jugeait importants. Ceux-ci sont soulignés en jaune et s'affichent dans le conteneur des mots sélectionnés sur le côté droit de l'écran.

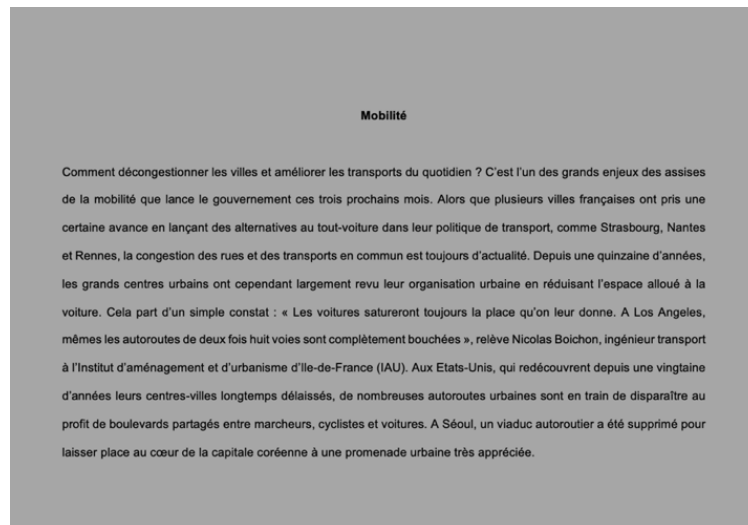
Figure 38 :

Écran d'instructions.



Note : Instructions présentées lors du début de l'expérience en laboratoire.

Figure 39 :
Écran de texte.



Note : Exemple de texte présenté lors de l'expérience en laboratoire.

Figure 40 :
Écran de sélection de mots.



Note : Exemple d'écran de sélection de mots utilisé lors de l'expérience en laboratoire

4.3. Macro-analyse : oculométrie et espaces vectoriels

4.3.1. Prétraitement des données et analyse descriptive

Dans un premier temps, nous avons procédé à l'élimination des données des participants avec un mauvais calibrage ($n = 6$), ainsi que celles relatives aux écrans d'instruction et de fin d'expérience qui avaient également été enregistrées lors de la collecte des données oculométriques. Ensuite, nous avons assigné les données des observations aux différentes variables de l'analyse oculométrique, en gardant la structure de l'expérience avec 25 participants et 12 textes de stimulus. Nous avons pris en compte les données de l'expérience relatives à la

zone d'intérêt (AOI : 72566 enregistrements), aux fixations (FIX : 23734 enregistrements), aux saccades (S : 72350 enregistrements) et aux pauses (P : 73085 enregistrements). Pour les enregistrements de type AOI, une sélection supplémentaire a été faite pour les AOI de type mot afin d'éviter la duplication de certaines données. Le nombre total d'enregistrements par mot AOI est 62 166.

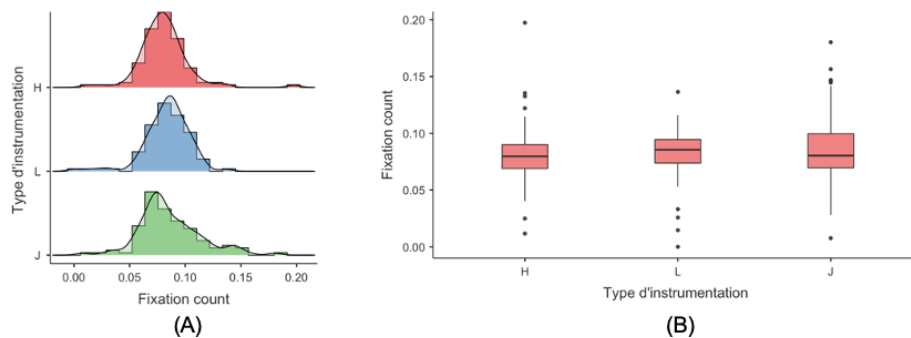
Il faut d'abord réduire les dimensions pour l'analyse. Pour cette expérience, nous avons travaillé avec un espace à n-dimensions de taille 5 afin de référencer les différents vecteurs structurés à partir des données oculaires dans les bases de données de AOI, FIX, S et P. Nous avons procédé à l'intégration des informations provenant des différents fichiers CSV afin de créer une base de données unique contenant les informations des différentes variables pour chacun des participants de l'expérience et pour chacun des textes stimuli présentés pendant l'expérience. Notre espace de travail final est constitué de 300 enregistrements (25 sujets x 12 textes) évalués avec 5 types de variables²⁶. Chaque enregistrement est le résultat de la moyenne des observations par variable et par texte lu par chaque sujet. La variable de durée de fixation compile une moyenne de trois variables différentes enregistrées différemment (*durée de fixation unique* par rapport aux zones d'intérêt, *durée de fixation* par rapport aux fixations et *durée de fixation* par rapport aux pauses). En outre, toutes les valeurs ont été normalisées de deux manières : la première par rapport au nombre de mots du texte stimulus, afin d'exclure les effets possiblement causés par la différence de nombre de mots entre les différents textes. La deuxième normalisation a été effectuée par rapport au comportement oculaire de chaque participant, en divisant les valeurs par la somme totale de chaque variable par sujet et par texte.

L'analyse descriptive des différentes variables standardisées inclut le nombre de fixations (*Figure 41*), la durée de fixation (*Figure 42*), la durée de la saccade (*Figure 43*), l'amplitude de la saccade (*Figure 44*) et la durée de la pause (*Figure 45*) pour chaque type d'instrumentation (historique, journalistique et littéraire).

²⁶ Nombre de fixations, durée de la saccade [ms], amplitude de la saccade [px], pause de fixation [ms], durée de la fixation [ms].

Figure 41 :

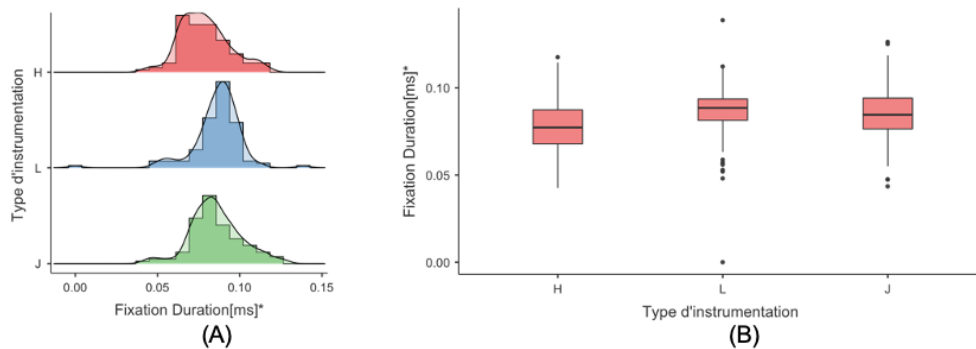
Comportement du nombre de fixations par type d'instrumentation.



Note: A) Histogramme - Distribution des nombres de fixation groupés par type d'instrumentation. B) Boîte à moustaches - Distribution des nombre de fixations par type d'instrumentation.

Figure 42 :

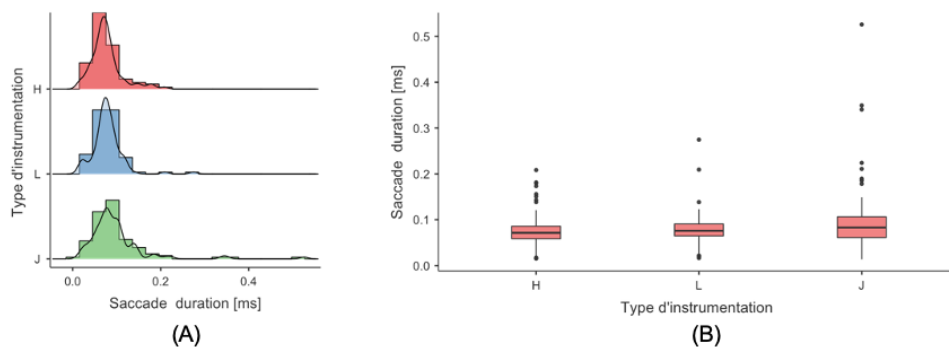
Comportement de la durée des fixations par type d'instrumentation.



Note: A) Histogramme - Distribution des durées des fixations groupées par type d'instrumentation. B) Boîte à moustaches - Distribution des durées des fixations par type d'instrumentation.

Figure 43 :

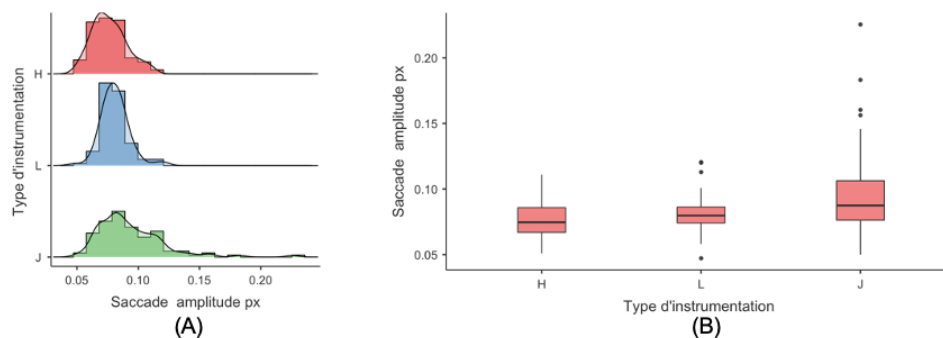
Comportement de la durée de la saccade par type d'instrumentation.



Note: A) Histogramme - Distribution des durées de la saccade par type d'instrumentation. B) Boîte à moustaches - Distribution des durées de la saccade par type d'instrumentation.

Figure 44 :

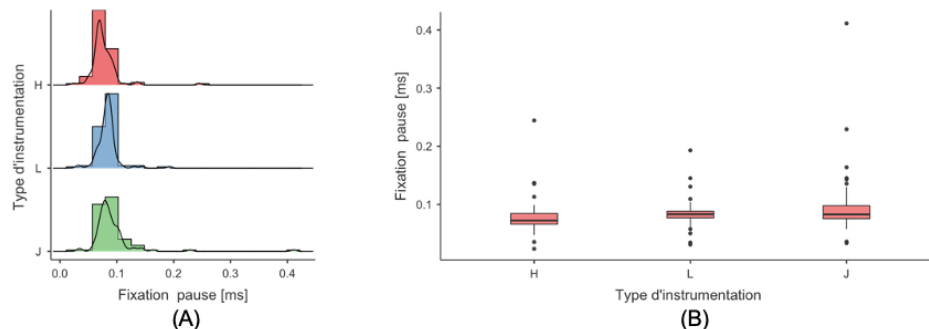
Comportement de l'amplitude de la saccade par type d'instrumentation.



Note: A) Histogramme - Distribution des amplitudes de la saccade par type d'instrumentation. B) Boîte à moustaches - Distribution des amplitudes de la saccade par type d'instrumentation.

Figure 45 :

Comportement de la durée des pauses.



Note: A) Histogramme - Distribution de la durée des pauses par type d'instrumentation. B) Boîte à moustaches - Distribution de la durée des pauses par type d'instrumentation.

Même si les données montrent un comportement similaire des différentes variables dans les trois types d'instrumentation (H, L, J), le test de Shapiro-Wilk indique que ce comportement ne suit pas une distribution normale. En effet seule la variable durée de fixation montre un comportement normal pour les textes historiques ($W = 0,976$, $p\text{-value} = 0,065$) et journalistiques ($W = 0,98$, $p\text{-value} = 0,169$). Ce type de comportement exige d'appliquer un test d'homoscédasticité aux données afin de vérifier si les analyses ultérieures seront paramétriques ou non.

4.3.2. Comportements visuels et type d'instrumentation des AC

Nous avons appliqué un test $F\text{-ANOVA}$ à sens unique avec les différentes variables (5) entre les trois types d'instrumentation : historique, journalistique, littéraire. Lors du test d'homogénéité de la variance, nous avons constaté que les données ne sont pas conformes à l'hypothèse d'égalité des variances entre les différents groupes. Pour cette raison, nous avons

décidé d'appliquer une ANOVA non paramétrique avec le test de Welch. Nous rapportons les résultats les plus pertinents concernant les différentes variables :

Durée de fixation ($F_{2,197} = 8,67, p\text{-value} < 0,001$)

Durée de la saccade ($F_{2,188} = 4,29, p\text{-value} = 0,015$)

Amplitude de la saccade ($F_{2,184} = 15,84, p\text{-value} < 0,001$)

Durée de la pause ($F_{2,185} = 6,42, p\text{-value} = 0,002$).

Nous avons effectué les analyses *post-hoc* respectives avec le test de *Games-Howell* pour identifier les différences entre les types d'AC. Nous présentons ci-dessous les résultats les plus pertinents. En ce qui concerne la durée de fixation (

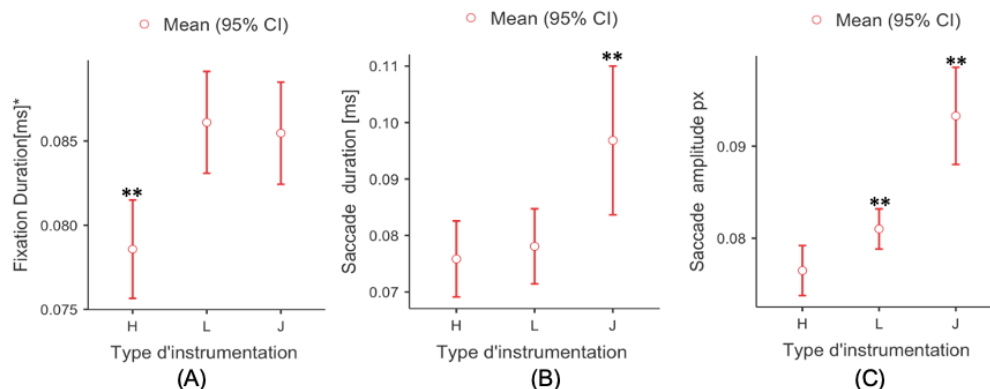
Figure 46 - A), nous observons des différences significatives entre les AC historique et littéraire ($t_{194} = -4,07$, $p\text{-value} < 0,001$) et historique et journalistique ($t_{198} = -2,963$, $p\text{-value} = 0,010$). En ce qui concerne la durée des saccades (

Figure 46 - B), nous avons constaté qu'il existe des différences significatives entre les AC de type journalistique et les autres : historique ($t_{146} = -2,91, p\text{-value} = 0,012$) et littéraire ($t_{147} = -2,55, p\text{-value} = 0,032$). Lorsque nous analysons l'amplitude de la saccade (

Figure 46 - C), nous constatons que les différences significatives sont situées entre les AC historique et littéraire ($t_{191} = -2,57$, $p\text{-value} = 0,029$), entre les AC historique et journalistique ($t_{149} = -5,60$, $p\text{-value} < 0,001$) et entre les AC littéraire et journalistique ($t_{134} = -4,21$, $p\text{-value} < 0,001$). Pour poursuivre notre analyse, nous avons vérifié le comportement et la taille des effets produits par le type d'instrumentation sur les comportements oculaires représentés par les 5 variables sélectionnées. Pour ce faire, nous avons effectué un test *F-ANOVA* à mesures répétées. Pour la lisibilité des résultats, nous avons décidé de regrouper notre analyse en 3 blocs de variables associées : fixations (nombre et durée), saccades (amplitude et durée) et pauses.

Figure 46 :

Effets du type d'instrumentation sur des variables oculométriques.

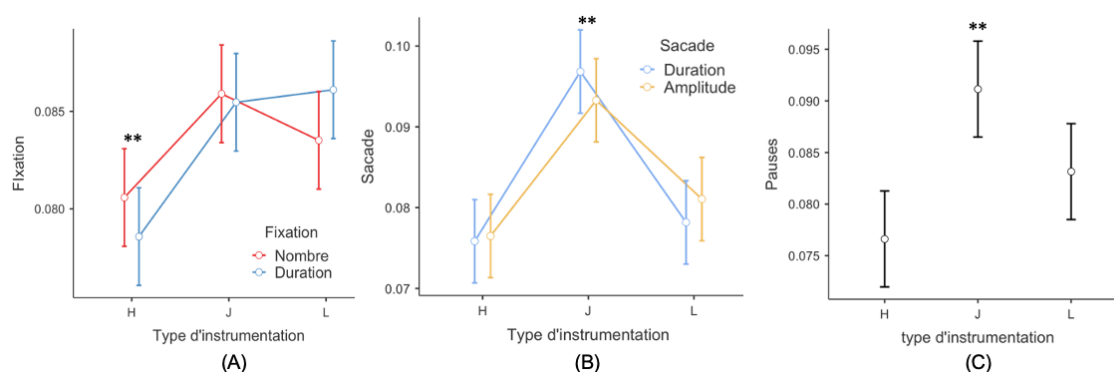


Note : A) Effets du type d'instrumentation sur la durée des fixations (ms). B) Effets du type d'instrumentation sur la durée des saccades. C) Effets du type d'instrumentation sur l'amplitude des saccades. Intervalle de confiance à 95 %.

Pour les fixations, une différence significative par type d'instrumentation de 0,00118 avec la correction de Greenhouse-Geisser est observée ($F_{1,97} = 8,39$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,193$). Les analyses *post-hoc* de Bonferroni localisent les différences des comportements visuels de type fixation entre les AC historique et journalistique ($t_{48} = -3,392$, $p\text{-value} = 0,004$) et entre les AC historique et littéraire ($t_{48} = -3,686$, $p\text{-value} = 0,002$). L'analyse des effets (Figure 47 - A) montre un comportement similaire entre le nombre des fixations et leur durée pour les AC historique et journalistique, mais ce comportement est inversé pour les AC littéraires.

Figure 47 :

Effets du type d'instrumentation sur les fixations, saccades, pauses.



Note : A) Interaction des effets du type d'instrumentation sur la durée (ms) et des effets du type d'instrumentation sur le nombre des fixations. B) Interaction des effets du type d'instrumentation sur la durée (ms) et des effets du type d'instrumentation sur l'amplitude des saccades. C) Effets du type d'instrumentation sur la durée des pauses (ms). Intervalle de confiance à 95 %.

En ce qui concerne les saccades, les différences significatives par type d'instrumentation sont rapportées à 0,01062 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{1,67} = 14,67$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,291$). Les analyses *post-hoc* de Bonferroni permettent de localiser les différences

des comportements visuels de type saccade entre les AC historique et journalistique ($t_{48} = -5,095, p\text{-value} < 0,001$) et entre les AC journalistique et littéraire ($t_{48} = 4,140, p\text{-value} < 0,001$). L'analyse des effets (*Figure 47 - B*) montre un comportement similaire entre la durée de la saccade et l'amplitude de la saccade pour les AC historique et journalistique. Toutefois, comme pour les fixations, ce comportement est inversé pour les textes littéraires. Enfin, nous observons également des différences significatives pour l'analyse de la variable pauses (*Figure 47 - C*) : 0,00296 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{1,48} = 7,09, p\text{-value} = 0,005, \eta^2 = 0,228$). Les analyses *post-hoc* de Bonferroni montrent que cette différence se situe au niveau de la comparaison entre les AC historique et journalistique ($t_{48} = -3,76, p\text{-value} = 0,001$).

Pour vérifier la taille de l'effet de ces différences, nous avons décidé d'inclure une vérification des comparaisons clés en utilisant des tests *t de Student* à échantillons appariés avec le *d* de Cohen pour les comportements normaux et le *W de Wilcoxon* avec la *correlation biserial rang* (*rB*) pour les échantillons qui ne répondaient pas à l'hypothèse de normalité. Les résultats sont les suivants : pour les différences significatives du nombre de fixations entre les AC historique et journalistique ($W = 72, p\text{-value} = 0,014, rB = -0,557$), pour la durée des fixations entre les AC historique et journalistique ($W = -3,75, p\text{-value} = -0,557, rB = -0,557$), pour la durée des fixations entre les AC historique et journalistique ($t_{24} = -3,75, p\text{-value} < 0,001, d = -0,750$), les AC historique et littéraire ($t_{24} = -5,21, p\text{-value} < 0,001, d = -1,043$), ainsi que pour la taille des saccades entre les AC historique et journalistique ($t_{24} = -8,99, p\text{-value} < 0,001, d = -1,799$), entre les AC historique et journalistique ($W = 58, p\text{-value} = 0,004, rB = -0,643$), entre les AC journalistique et littéraire ($W = 324, p\text{-value} < 0,001, rB = 0,994$) et enfin concernant les pauses entre les AC historique et journalistique ($W = 22, p\text{-value} < 0,001, rB = -0,865$) et entre les AC historique et littéraire ($W = 32, p\text{-value} < 0,001, rB = -0,803$).

Les résultats significatifs pour les différents types d'AC et les effets suffisamment importants suggèrent que notre hypothèse sur la relation entre le type d'instrumentation et le comportement oculaire des utilisateurs d'AC est correcte. Ces résultats permettent d'établir des relations entre le type d'instrumentalisation (comportement oculaire sur l'AC) et le type d'instrumentation (conception de l'AC). Dans la lignée des travaux de Yarbus (1967), Just et Carpenter (1980) et Rayner (1998) qui ont contribué à la compréhension des stratégies visuelles associées à l'objectif de l'observateur pendant la lecture, nos résultats confirment qu'il y aurait également une influence sur le comportement oculaire donnée par la configuration même de l'artefact lu. Cela met en évidence l'existence de ce processus instrumental de collaboration entre le concepteur et l'utilisateur, en accord avec les perspectives socioculturelles mises en

avant par Vigotsky (1978, 2004 ; 1979) et Leontieva (Leontyev, 1981a, 1981b) et développées par Egerstrom (1987). Enfin, ces résultats ouvrent la porte à l'analyse de la genèse instrumentale proposée par Rabardel (1995), qui permet de développer une approche ergonomique du phénomène fondée sur la compréhension de l'activité afin de la transformer (Falzon, 2004 ; Leplat, 2006, 2008 ; Teiger & Falzon, 1995).

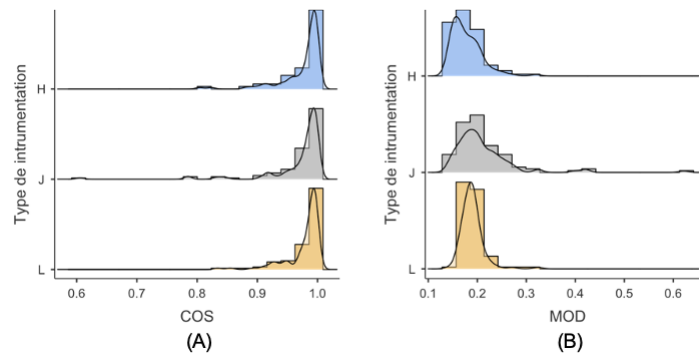
4.3.3. Artefacts des connaissances à n-dimensions

Dans cette section, nous appliquons notre méthode d'espaces à n-dimensions et de vecteurs à k-dimensions pour reproduire l'analyse de l'influence du type d'instrumentation sur le comportement oculaire des porteurs d'AC. Nous travaillons à une échelle réduite avec un espace à n-dimensions de taille 5 (E^5). La première étape de notre méthodologie consiste à établir les vecteurs de référence pour chaque participant de l'expérience. Ce vecteur général du comportement oculaire ($VGCO_5$) est constitué de la somme totale des observations dans chaque dimension (différents types de mesures oculaires) tout au long de l'expérience. Ce vecteur compile en quelque sorte tous les comportements oculaires du participant dans un cadre constitué d'un espace (laboratoire), d'un temps (durée de l'expérience) et d'un but (activité demandée par l'expérience). La deuxième étape de notre méthode consiste à calculer les vecteurs des documents (VD_5). Ceux-ci sont configurés comme la somme des comportements oculaires de chaque participant par rapport à chacun des AC de l'expérience. Une fois les différents vecteurs calculés, ils sont analysés selon deux critères : la similarité entre le VGCO et les différents VD, et le calcul de la magnitude du vecteur. Les mesures de distance permettent d'établir la divergence entre la stratégie visuo-cognitive standard de l'utilisateur et celles utilisées en particulier pour chaque type d'AC. La mesure de la magnitude, quant à elle, représente la quantité de ressources oculométriques utilisées dans la lecture d'un AC donné.

Une fois que toutes les similitudes et les modules ont été calculés pour chaque AC pour chaque participant de l'expérience, nous commençons notre analyse descriptive tant de la similitude représentée par le cosinus (COS - *Figure 48 - A*) de l'angle entre les vecteurs, que de la quantité de ressources représentée par le module du vecteur document (MOD - *Figure 48 - B*). Les données des variables ne suivent pas une distribution normale, donc, pour les comparaisons entre les facteurs, il est également nécessaire d'appliquer un test d'homoscédasticité aux données afin de vérifier s'il est nécessaire d'utiliser un test paramétrique ou non paramétrique.

Figure 48 :

Comportement des données de similarité et quantité de ressources par type d'instrumentation.

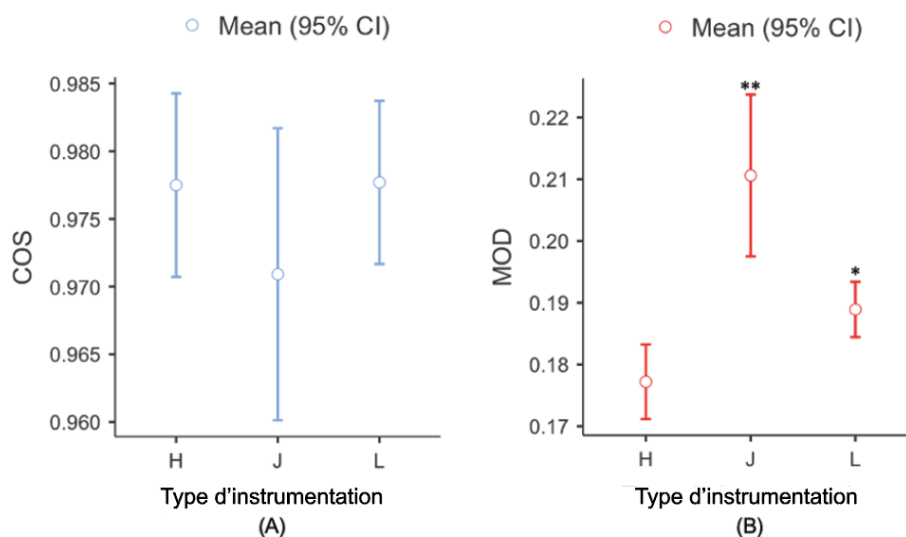


Note : A) Histogramme - Distribution des valeurs moyennes de similarité (COS) par type d'instrumentation B) Histogramme - Distribution des valeurs moyennes de quantité des ressources (MOD) par type d'instrumentation.

Dans l'analyse avec le *test de Leven* pour confirmer l'homogénéité des données entre les échantillons, nous avons constaté que les données de similarité montraient une homogénéité. Ce n'est pas le cas pour les données de magnitude. Nous avons donc appliqué un test *F-ANOVA* à sens unique non paramétrique avec le *test de Welch* pour la magnitude (Figure 49 - B) et paramétrique avec le *F de Fisher* pour la similarité (Figure 49 - A). Les différences significatives ne sont observées que pour la variable de magnitude ($F_{2,179}$). Comme cette variable ne répond pas aux hypothèses de normalité et d'homogénéité, un test de *Games-Howell* a été utilisé pour les analyses *post hoc*, localisant les différences significatives entre les magnitudes des AC historique et journalistique ($t_{139} = -4,60$, $p\text{-value} < 0,001$), historique et journalistique ($t_{139} = -3,09$, $p\text{-value} = 0,006$), journalistique et littéraire ($t_{122} = 3,11$, $p\text{-value} = 0,007$).

Figure 49 :

Effets de similarité et quantité de ressources par type d'instrumentation.



Note : A) Effets du type d'instrumentation sur des valeurs moyennes de similarité (COS). B) Effets du type d'instrumentation sur des valeurs moyennes de quantité de ressources utilisées (MOD). Intervalle de confiance à 95 %.

Afin de vérifier les tailles d'effet globales et les tailles d'effet particulières entre les types d'instruments, nous avons appliqué une analyse ANOVA à mesures répétées, ainsi qu'un test *t de Student* à échantillons appariés pour faire la différence entre des données normales et non normales. Les résultats les plus pertinents sont présentés ci-dessous : nous observons une différence significative entre les différents types d'instrumentation AC de 0,0144 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{1,65} = 18,2, p\text{-value} < 0,001, \eta^2 = 0,387$). Dans les analyses *post hoc* de Bonferroni, nous avons trouvé des différences significatives entre les AC historique et journalistique, ($t_{48} = -5,95, p\text{-value} < 0,001$) et entre les AC journalistique et littéraire ($t_{48} = 3,86, p\text{-value} = 0,001$). Dans l'analyse des échantillons appariés, nous avons observé des différences significatives entre les AC historique et journalistique ($t_{24} = -5,94, p\text{-value} < 0,001, d = -1,189$), entre les AC journalistique et littéraire ($W = 295, p\text{-value} < 0,001, rB = -0,815$) et entre les AC historique et littéraire ($W = 61, p\text{-value} = 0,005, rB = -0,625$).

Les résultats obtenus avec notre méthode sont cohérents avec les résultats des variables étudiées indépendamment. Il est important de souligner que notre méthode d'analyse vectorielle présente une amélioration substantielle dans l'identification de l'effet global des facteurs analysés avec un $\eta^2 = 0,387$ (méthode vectorielle – magnitude) vs les η^2 des différentes variables analysées séparément : fixations ($\eta^2 = 0,193$), saccades ($\eta^2 = 0,291$), pauses ($\eta^2 = 0,228$) ou toutes ensemble ($\eta^2 = 0,195$). Dans le cas des analyses *post hoc* et des tailles d'effet, notre méthode vectorielle ne montre pas d'améliorations substantielles dans l'identification des effets, mais elle est robuste. Par exemple, pour la comparaison entre les AC historique et journalistique, la moyenne des tailles d'effet des différentes variables comparées donne un $d = -1,27$ (variables normales), $rB = 0,754$ (variables à distribution atypique) contre un $d = -1,189$ pour notre méthode vectorielle. Pour la comparaison entre AC historique et littéraire un $d = -1,043$ (variables normales), $rB = -0,803$ (variables de distribution atypique) vs $rB = -0,625$ pour notre méthode. Enfin, pour la comparaison entre AC littéraire et journalistique nous avons un $rB = 0,994$ (variables de distribution atypique) vs $rB = -0,815$ pour notre méthode. Nous considérons que même si les effets identifiés ne sont pas meilleurs que ceux obtenus par les variables séparément, notre méthode donne des résultats fiables et comparables à d'autres méthodes.

4.4. Méso-analyse : dimensions internes pour l'analyse d'un AC

La méso-analyse de ce phénomène prend en compte la structure interne des AC et leur complexité relationnelle par rapport aux mots qui les composent. Pour ce faire, nous intégrons notre méthode des espaces à n-dimensions et des vecteurs à k-dimensions, en utilisant les données sur les centres d'intérêt de type mot. Nous commençons par séparer ces données de notre base de données globale. Pour cette analyse, nous avons utilisé un total de 59 775 enregistrements, relatifs à 25 sujets dont chacun a observé un total de 12 stimuli de type texte.

Nous utilisons la structure interne des différents AC. Cette structure est analysée sur la base de trois caractéristiques : la magnitude (MAG), la similitude (SIM) et la stabilité (STB). La magnitude fait référence au nombre de comportements oculaires d'un sujet manifestés pendant la lecture d'un AC donné. Cette dimension est représentée par la moyenne des modules des vecteurs oculaires relatifs au comportement oculaire sur chaque mot qui compose l'AC. La similitude, quant à elle, fait référence à la proximité entre la stratégie visuelle standard sur l'ensemble du texte et les stratégies visuelles particulières sur chaque mot qui compose l'AC. Cette dimension est représentée par la moyenne des cosinus calculés entre le vecteur de comportement oculaire normalisé (VCO_N) et les vecteurs de comportement oculaire des différents mots (VCO_P) d'un AC donné. Enfin, il y a la dimension de stabilité, qui fait référence au degré d'affectation du comportement visuel sur chaque mot par rapport au comportement global sur l'ensemble du texte. Ce dernier est représenté par la moyenne des modules des vecteurs résultant de la soustraction entre le vecteur global du comportement oculaire ($VGCO$) et le VCO_P de chaque mot qui compose l'AC. Ces trois dimensions permettent d'analyser les comportements visuels engagés par le sujet pour faire face à l'activité de lecture. Elles peuvent être comprises comme des dimensions de l'engagement cognitif et comme des quantités des ressources mises en jeu par le lecteur en relation directe avec le coût oculomoteur par rapport à la tâche globale de lecture.

4.4.1. Prétraitement des données et analyse des données

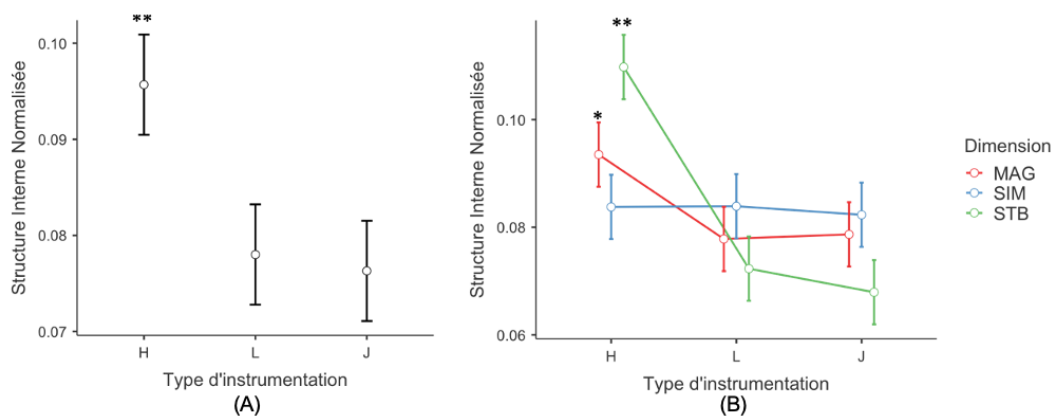
Nous avons extrait les différentes dimensions (3) de chaque AC (12 textes) pour chaque sujet expérimental (25). À la fin de ce processus, nous avons obtenu 3 matrices de travail (MAG, SIM, STB), dont chacune contient les données de 25 sujets pour les 12 textes. Pour la dimension de magnitude, nous avons effectué une normalisation relative au nombre de mots dans chaque AC. Cela permet d'éviter que des différences minimales dans le nombre de mots par texte n'interfèrent avec notre analyse. Nous avons également inclus une normalisation des

données par rapport à chaque sujet afin d'éviter les effets qui pourraient découler des stratégies visuelles particulières de chaque sujet pendant la lecture. Cette dernière normalisation facilite également la comparaison des données entre les sujets et entre les variables. Enfin, nous avons calculé la moyenne des 4 AC pour chaque catégorie instrumentale retenue pour notre expérience (historique, journalistique et littéraire).

L'organisation de notre plan expérimental pour cette méso-analyse part d'une configuration 25x3x3. Nous appliquons une analyse *F-ANOVA* à mesures répétées pour vérifier les effets dans les 3 conditions expérimentales liées au type d'instrumentation (historique, journalistique, littéraire) (*Figure 50 - A*) dans les trois dimensions de la structure interne (magnitude, similarité, stabilité). Dans ce qui suit, nous présentons les résultats les plus pertinents. Nous observons une différence significative globale pour le type d'instrumentation de 0,0173 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{1,84} = 11,24$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,218$). Dans les analyses *post hoc* de Bonferroni, nous avons trouvé des différences significatives entre les AC de type historique et journalistique, ($t_{48} = 4,312$, $p\text{-value} < 0,001$) et entre les AC historique et littéraire ($t_{48} = 3,93$, $p\text{-value} < 0,001$).

Figure 50 :

Effets du type d'instrumentation dans les mesures de structure interne – Méso-analyse



Note : A) Effets du type d'instrumentation sur des valeurs moyennes de structure interne. B) Interaction des effets du type d'instrumentation sur des valeurs moyennes de structure interne (quantité, similarité, stabilité). Intervalle de confiance à 95 %.

Il n'y a pas de différence significative entre les différentes dimensions de la structure interne. Cependant, si nous analysons les caractéristiques instrumentales pour chaque dimension séparément, nous trouvons des différences significatives dans le comportement oculaire présenté dans la structuration interne en raison du type d'instrumentation de l'AC. Ainsi, nous avons des différences significatives pour la dimension de magnitude ($F_{1,88} = 4,76$, $p\text{-value} = 0,015$, $\eta^2 = 0,166$) et pour la dimension de stabilité ($F_{1,69} = 26,5$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,52$), tous les deux avec la correction de Greenhouse-Geisser. La dimension de la

similarité ne montre pas de différences significatives. Dans l'analyse du comportement des effets dans les trois conditions expérimentales (*Figure 50 - B*), on observe clairement ce dernier phénomène. La similarité reste stable entre les 3 types d'instrumentation, alors que la magnitude et la stabilité varient pour l'instrumentation historique de manière positive et importante, tandis que pour les AC journalistiques cette variation est plus atténuée.

Afin de vérifier la taille des effets, un test *t de Student* à échantillons appariés a été réalisé, en différenciant les données à comportement normal et non normal. Les résultats les plus pertinents sont présentés ci-dessous : nous signalons une différence significative entre les différents types d'instrumentation de l'AC pour la dimension de magnitude entre AC historique et journalistique ($t_{24} = 2,41$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = ,482$) et entre AC historique et littéraire ($W = 250$, $p\text{-value} = 0,017$, $rB = 0,53$), ainsi que pour la dimension de stabilité entre AC historique et journalistique ($t_{24} = 5,96$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = 1,192$) et entre AC historique et littéraire ($W = 317$, $p\text{-value} < 0,0001$, $rB = 0,951$).

4.4.2. Indice de charge cognitive, complexité structurelle d'un AC

L'un des avantages de la méso-analyse est qu'elle permet d'obtenir un niveau d'information détaillé et comparable entre différents types d'AC. Cela permet de combiner les différentes dimensions pour établir un indice de l'effort oculomoteur qui peut être traduit en un repère de la charge cognitive pendant l'activité. Analysons les 3 dimensions proposées (magnitude, similarité et stabilité) à la lumière de cette hypothèse. En premier lieu, la magnitude peut être traduite en quantité de ressources oculomotrices réelles engagées par le sujet pour faire face à l'activité de lecture. Cette valeur englobe et représente la quantité de fixations, saccades et pauses qui se manifestent pendant la lecture dans une relation mot-texte. La magnitude est donc une sorte de mesure des ressources nécessaires à l'interaction avec l'artefact cognitif. Si nous extrapolons cette ampleur au niveau cognitif, nous parlons d'un engagement des ressources cognitives du sujet dans l'acte de lecture. Deuxièmement, la similarité. Dans ce cas, l'accent est mis sur l'agence du sujet pendant l'acte de lecture. Comme nous l'avons vu dans la première expérience exploratoire des cartographies visuo-cognitives (cf. Ch 3 § 2), le sujet manifeste dans son comportement oculaire une stratégie référente qui lui permet d'opérer des artefacts cognitifs liés à une même catégorie. La divergence entre cette stratégie référente et la nouvelle stratégie adaptée notamment au cas en train d'être opéré à un moment donné (lecture d'un texte spécifique) suppose une régulation des mouvements oculaires qui reflète l'adaptation des ressources cognitives engagées pour faire face à l'activité. Lorsque nous examinons ce

processus de régulation dans la relation entre les mots et le texte, nous pouvons rendre compte de l'engagement des ressources au cours du processus d'instrumentalisation d'un AC. Il est important de noter que ce processus implique nécessairement deux voies : a) une augmentation de la charge cognitive pour intégrer, par exemple, un mot peu familier ou complexe dans une stratégie de lecture standard ou à l'inverse b) une réduction de cette charge face à un mot familier ou logique dans la structure syntaxique du texte. Ces processus de régulation oculomotrice sont à l'origine de la régulation cognitive de l'acte de lecture. Enfin, la dimension de stabilité fait référence à la structure interne d'un AC. Pour expliquer le caractère cognitif de cette dimension, nous devons comprendre les possibilités de changement dans le traitement cognitif d'un même objet dans une période donnée. Un objet à l'instant T^1 n'est pas le même à l'instant T^2 pour le même observateur. Chaque fois que de nouvelles informations sur un objet donné sont incorporées, celui-ci change pour l'observateur. La connaissance manifeste explicitement cette particularité. La dimension de la stabilité offre une possibilité d'analyser ces variations. Elle représente le degré auquel une stratégie oculomotrice globale est affectée par les variations de la structure interne du texte. Elle montre comment le comportement global est affecté par les multiples formes que peut prendre un AC donné au cours de son utilisation (acte de lecture). Les valeurs calculées dans cette dimension peuvent également être comprises comme un coût cognitif perdu puisqu'elles expliquent l'engagement des ressources cognitives que le sujet applique à chaque changement de la structure interne pendant l'utilisation d'une AC.

4.4.3. Exemple : l'indice de charge cognitive lors de l'interaction avec des AC

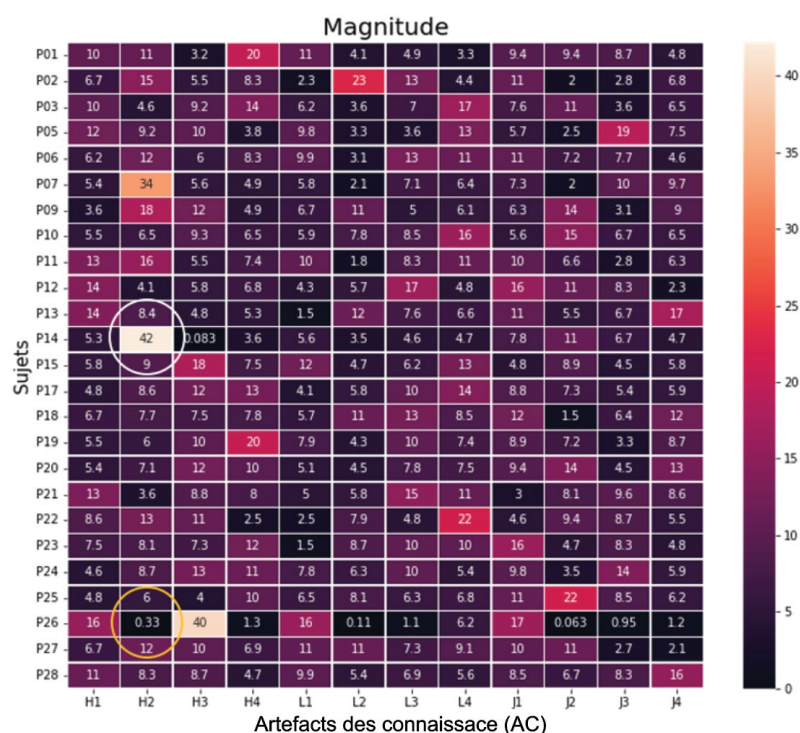
À partir de nos matrices de travail, nous avons généré des informations pour l'analyse de la charge et du coût cognitif de chaque AC utilisée lors de l'expérience. À partir des valeurs normalisées, nous calculons le pourcentage en transposant les données et en les multipliant par 100 dans chaque dimension d'analyse. Une fois les valeurs calculées, nous générons des cartes thermiques qui nous permettent d'identifier les AC présentant une plus grande incidence de charge cognitive pour chaque sujet et dans chaque dimension.

Dans le cas de la magnitude (*Figure 51*), nous pouvons faire deux types d'analyse : par sujet et par AC. Par exemple, nous avons identifié que l'AC ayant la plus forte demande de ressources pour le sujet 1 (P01) est l'AC de type historique, numéro 4 (H4). Cet AC porte sur l'histoire de la prise de la Bastille. Au contraire, le AC le moins demandé dans le même cas du sujet 1 est le AC de type littéraire, numéro 4 (L4). Celui-ci contenait un passage de *La Bête*

humaine d'Émile Zola. Si nous partons des effets de la charge cognitive produite par l'artefact de connaissance, nous voyons que l'AC avec la charge la plus élevée est l'historique 2 (H2), en particulier pour le sujet 14 (P14). Ce même AC produit une charge presque insignifiante pour le sujet 26. Ceci est intéressant à noter puisque l'AC en question contenait un passage historique sur la conquête de l'Amérique, qui présentait généralement une plus grande difficulté pour des raisons de contexte culturel. Les données suggèrent deux hypothèses possibles : la première est que le sujet 26 a une large connaissance de ce passage historique, de sorte que la lecture du texte ne génère pas une plus grande demande. La deuxième hypothèse est que le niveau d'attention du sujet baisse complètement et que l'objectif de l'acte de lecture est interrompu. Il cesse ainsi d'engager des ressources cognitives pendant la lecture du passage et ne s'engage que dans une exploration visuelle générale du texte sans intérêt plus marqué de la part du lecteur.

Figure 51 :

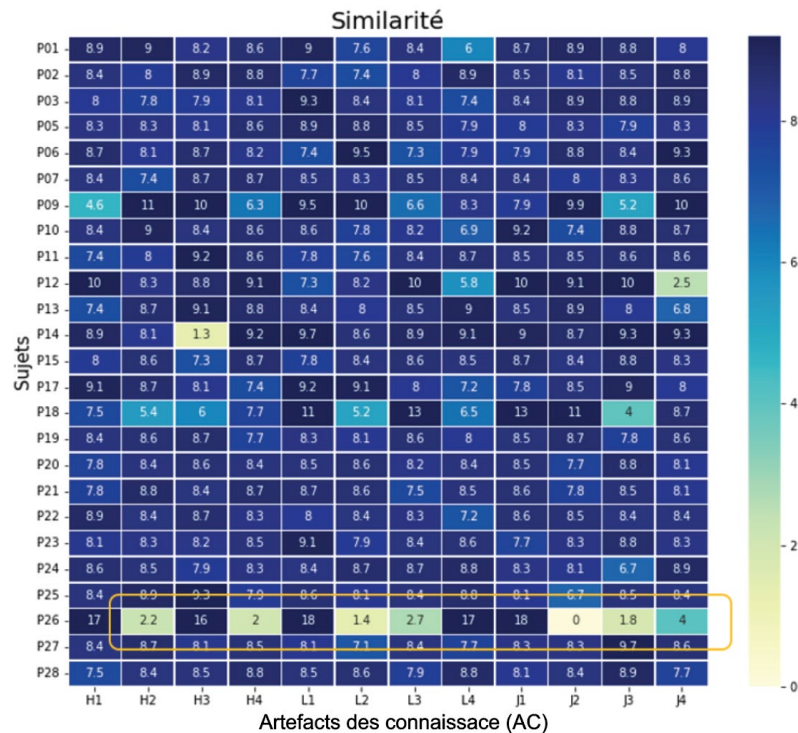
Demande de ressources par artefact de connaissance (AC).



Note : Carte de chaleur – Ressources utilisées par les sujets lors de l'instrumentations des différents AC.

Figure 52 :

Divergence des stratégies visuelles par artefact de connaissance (AC).



Note : Carte de chaleur – Divergences des stratégies utilisées par les sujets lors de l'instrumentations des différents AC.

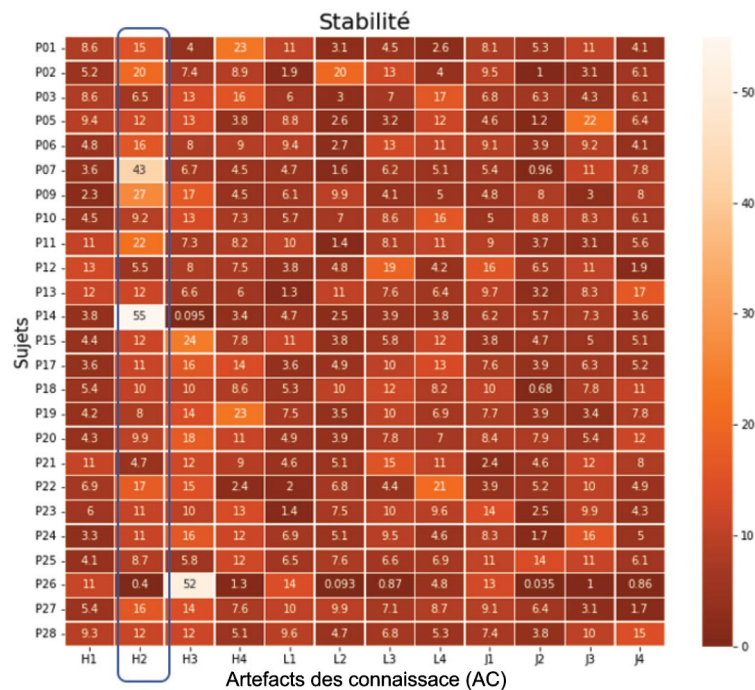
Par contre, si nous prenons la dimension de similitude (

Figure 52) liée à la divergence des stratégies standard, nous pouvons observer que précisément pour le sujet 26 et cet AC (H2), la stratégie est loin de la stratégie standard utilisée par le sujet. Si nous analysons le cas en détail, nous trouvons qu'un comportement similaire se produit avec plusieurs des textes expérimentaux. Ces données suggèrent que le sujet expérimental n'a pas réalisé la tâche de manière adéquate, ou qu'il changeait constamment de stratégie de lecture entre les différents types d'AC. Ceci pourrait représenter un changement d'objectif pendant l'acte de lecture (par exemple, des doutes sur les instructions de l'expérience en laboratoire). Nous pensons que l'utilisation de ce type d'indicateur pourrait être étendue dans les recherches futures.

Enfin, quant à la dimension de la stabilité (*Figure 53*), nous pouvons commenter le cas du sujet 14 face au même AC (H2). Une valeur élevée dans cette dimension suggère que l'AC génère un plus grand changement par rapport au comportement global, ce qui nous renvoie à un plus grand coût cognitif d'adaptation ou de régulation dans l'acte de lire. Cela pourrait s'expliquer par la particularité du passage lui-même, qui contenait des noms incas, une situation peu commune dans le contexte culturel où nous avons appliqué l'expérience de laboratoire (France - Paris). Un cas similaire se manifeste dans le sujet 7, où nous avons identifié un effet moyen pour ce texte chez la plupart des sujets expérimentaux.

Figure 53 :

Adaptation des stratégies par AC.



Note : Carte de chaleur – Stabilité des stratégies visuelles utilisées par les sujets lors de l'instrumentation des différents AC.

À partir de cette première analyse descriptive, nous avons décidé de générer un indice de charge cognitive qui inclut les trois dimensions et permet une évaluation globale de l'AC exprimée en pourcentages. À cette fin, nous avons utilisé la formule suivante :

$$Ick = Mag * (1 - Stb_N) * (1 - Sim)$$

Où :

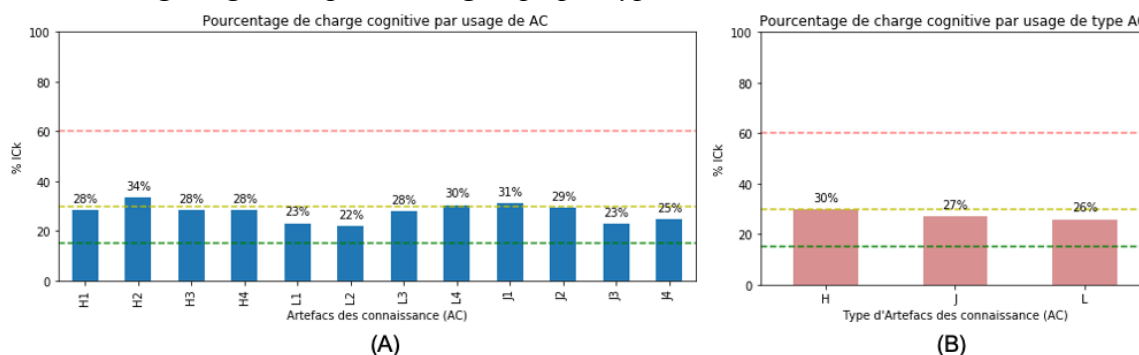
- Ick est l'indice de charge cognitive.
- Mag est la valeur de magnitude représentant la quantité de ressources utilisées pendant l'utilisation de l'AC.

- Stb_N, la valeur de stabilité normalisée par sujet représentant les effets du changement de la structure interne de l'AC sur le comportement oculaire du sujet pendant l'utilisation de l'AC. C'est une valeur inversée donc soustraite de 1.
- Sim est une valeur comprise entre 0 (très similaire) et 1 (très dissemblable) représentant la similarité entre la stratégie standard établie par le sujet et celle appliquée lors de l'utilisation de l'AC.

Nous avons calculé les ICK de chaque AC de l'expérience pour chaque sujet, et nous les avons normalisés par sujet. Nous avons ensuite établi une moyenne par type d'AC. Nous présentons ci-dessous les résultats du calcul de l'ICK sur les différents AC de l'expérience (*Figure 54 - A*). Nous présentons également la moyenne des résultats par type d'AC (historique, journalistique, littéraire) (*Figure 54 - B*) :

Figure 54 :

Indice de charge cognitive, par AC et groupé par type d'AC.



Note : A) Indice de charge cognitive des AC. B) Indice de charge cognitive par type d'AC.

Les résultats obtenus dans cette dernière section coïncident avec certains commentaires qualitatifs rapportés par plusieurs des participants à la fin de l'expérience en laboratoire. En effet, la plupart ont signalé que la lecture du AC - H2 (conquête de l'Amérique) a été la plus difficile et celle du AC - L2 (extrait du *Petit Prince*) la plus facile. Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que la méthode proposée peut être utilisée pour la quantification de la charge cognitive lors de l'utilisation d'artefacts de connaissance. Toutefois, ceci devra être confirmé par des études ultérieures.

Enfin, nous présentons dans la section suivante une micro-analyse des données au niveau du syntagme. L'objectif de cette analyse est de déterminer si les effets du type d'instrumentation, manifestés à une échelle globale, se vérifient également au niveau des mots considérés pertinents dans les textes ou si cette sélection de mots fonctionne indépendamment du type d'instrumentation.

4.5. Micro-analyse : syntagmes et relations entre conception et usage

Pour la micro-analyse, nous avons sélectionné les mots-clés qui forment le syntagme de l'analyse. Nous avons utilisé la base de données des mots sélectionnés, générée à partir de l'interface expérimentale construite à cet effet (*Figure 40*). L'interface enregistre chaque mot sélectionné ou désélectionné, ainsi que des informations sur le temps de sélection du mot en millisecondes pour chaque sujet expérimental. Nous avons compilé les données pour tous les sujets et éliminé tous les mots non sélectionnés. Avec le groupe de mots sélectionnés, nous générons un indice de sélection de mots (*Ids*) à partir de la formule suivante :

$$Ids = \frac{\text{Temps moyen de selection}}{\text{nombre de selections}}$$

Nous séparons les mots *StopWord* récurrents en français tels que : articles, prépositions, auxiliaires, etc. Nous classons les mots par *Ids*, du plus bas au plus haut. Cela garantit deux caractéristiques : a) Les mots sélectionnés sont ceux qui ont pris le moins de temps pour être sélectionnés, c'est-à-dire qui ont fait l'objet d'une prise de décision rapide par les sujets, ce qui assurerait la pertinence logique de ce mot dans le contexte du texte ; b) Les mots sélectionnés sont également ceux qui ont été choisis par la majorité des sujets. Enfin, nous avons appliqué un filtre supplémentaire pour nous assurer que la sélection de mots était compatible avec la majorité des sujets. Le filtre garantit que chaque mot a été sélectionné par au moins 13 sujets, c'est-à-dire la moitié plus un du groupe expérimental total (N = 25).

Une fois le groupe de mots-clés identifié pour chaque AC, nous avons procédé à la structuration d'un espace d'analyse à n-dimensions. Nous avons évalué trois dimensions (3) de la structuration interne pour chaque AC (12 textes) et pour chaque sujet (25). À la fin de ce processus, nous avons consolidé 3 matrices de travail (12x25) avec les valeurs moyennes du syntagme évalué (S). Chaque matrice représente une dimension de l'analyse : similarité (Sim), magnitude (Mag) et stabilité (Stb). Un processus similaire a été effectué pour les mots non sélectionnés (NS) afin de pouvoir comparer le comportement oculaire concernant la sélection ou la non sélection des mots. Ensuite, nous avons normalisé les valeurs de chaque matrice par rapport à chaque sujet, ce qui est réalisé en divisant chaque valeur moyenne S ou NS des différents AC par la somme totale des valeurs pour chacun des sujets. Nous réduisons ensuite l'espace d'analyse par type d'instrumentation en calculant la moyenne entre les valeurs normalisées par type d'AC, en regroupant les 4 historiques, les 4 littéraires et les 4 journalistiques dans chacune des 6 matrices. Enfin, nous avons unifié les matrices en une

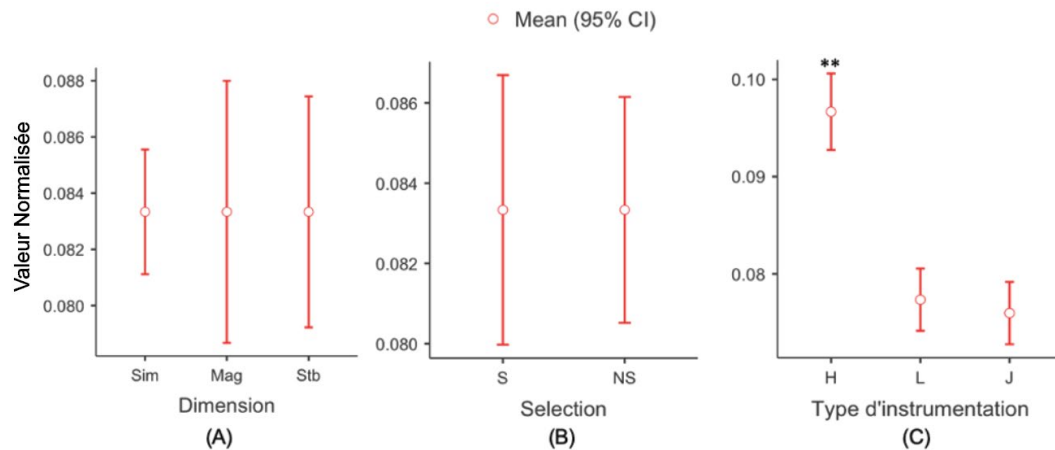
matrice générale (25x18) pour l'analyse statistique. La configuration de cette microanalyse est 25x3x2x3 : 25 sujets, 3 dimensions, 2 types de syntagme d'analyse (sélection/non sélection) et 3 types d'instrumentation (H, L, J). À la fin du processus d'intégration de la matrice, nous avons constaté que pour 2 sujets la sélection du syntagme d'analyse n'existe pas, c'est-à-dire qu'ils n'ont sélectionné aucun des mots des syntagmes attendus. Pour cette raison, ces 2 enregistrements ont été éliminés du processus d'analyse.

4.5.1. Effets du type d'instrumentation au niveau des syntagmes

Nous avons appliqué une *F-ANOVA* à mesures répétées avec une configuration 23x3x2X3. Les facteurs d'analyse sont : a) Dimension avec trois niveaux, similarité, magnitude et stabilité (*Figure 55 - A*), b) Sélection avec deux niveaux : syntagme, non-syntagme (*Figure 50 - ;Error! No se encuentra el origen de la referencia.B*), et 3) Type d'instrumentation avec 3 niveaux : historique, littéraire et journalistique (*Figure 50 - C*). Nous rapportons ci-dessous les résultats les plus significatifs.

Figure 55 :

Effets au niveau du syntagme (dimension, sélection, instrumentation)



Note : A) Effets de dimension sur les valeurs normalisées de mesures internes. B) Effets de sélection sur les valeurs normalisées de mesures internes. C) Effets de type d'instrumentation sur les valeurs normalisées de mesures internes. Intervalle de confiance à 95 %.

Nous observons une différence globale significative pour le type d'instrumentation (*Figure 50 - C*), de 0,037 avec correction de Greenhouse-Geisser ($F_{1,75} = 12.06$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,176$). Dans les analyses *post-hoc* Bonferroni, nous avons situé ces différences significatives entre historique et littéraire ($t_{44} = 4,099$, $p\text{-value} < 0,001$) et entre historique et journalistique, ($t_{44} = 4,391$, $p\text{-value} < 0,001$). Aucune différence significative n'est signalée

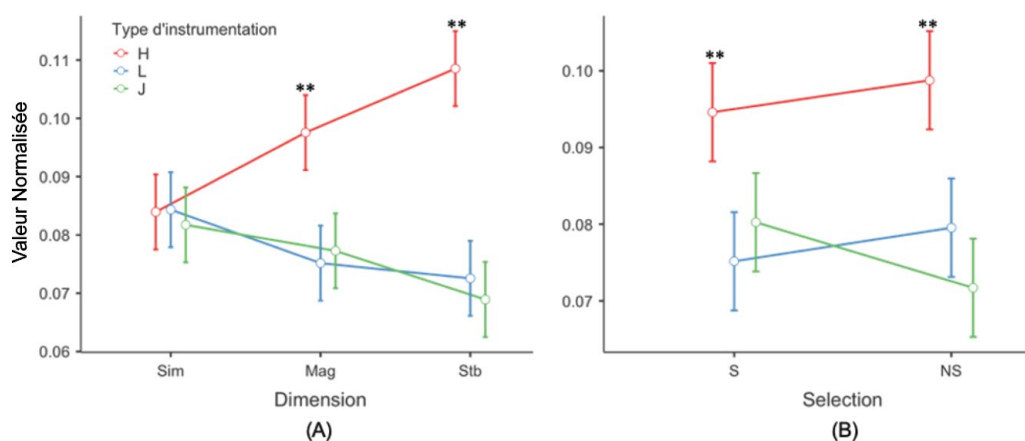
pour les valeurs normalisées de la dimension et de la sélection du syntagme. Ceci nous permet d'effectuer des analyses composites entre la dimension, la sélection et le type d'instrumentation.

Concernant l'analyse de la dimension et du type d'instrumentation ensemble (*Figure 56 - A*), nous avons identifié une différence globale significative de 0,0213 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{3,57} = 17,08$, $p\text{-value} < 0,001$, $\eta^2 = 0,10$). Nous avons appliqué des analyses *post-hoc* Bonferroni pour localiser ces différences. Les résultats les plus importants se manifestent dans les dimensions de magnitude et de stabilité entre les AC de type historique et littéraire ($t_{80,5} = 4,003$, $p\text{-value} = 0,005$) et les AC de type journalistique ($t_{80,5} = 3,627$, $p = 0,018$). En ce qui concerne la stabilité, une différence significative a été trouvée entre les AC de type historique et littéraire ($t_{80,5} = 6,431$, $p\text{-value} < 0,001$), et les AC de type historique et journalistique ($t_{80,5} = 7,079$, $p\text{-value} < 0,001$). Dans l'analyse des effets entre les dimensions, nous avons constaté que, même si la stratégie oculaire dans les différents types d'instrumentation ne diffère pas, les AC de type historique demandent de plus grandes ressources oculomotrices, ainsi qu'une augmentation du coût cognitif reflété par la stabilité de la structure interne de ce type d'AC (historique).

Nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre les AC de type littéraire et de type journalistique. Cependant, nous avons identifié une configuration inverse entre la dimension de la magnitude et celle de la stabilité. Dans le cas de la magnitude, les AC littéraires présentent une quantité de ressources oculomotrices inférieure à celle des AC journalistiques. Dans le cas du coût cognitif de la stabilité, ce comportement est inversé et les AC littéraires semblent présenter un coût plus élevé que les AC journalistiques.

Figure 56 :

Interaction des effets de dimension et sélection par type d'AC.



Note : A) Interaction des effets de dimension sur les valeurs normalisées de mesures internes. Par type d'instrumentation B) Interaction des effets de sélection sur les valeurs normalisées de mesures internes par type d'instrumentation. Intervalle de confiance à 95 %.

L'analyse de la sélection du syntagme et du type d'instrumentation ensemble (Figure 56 - B), ne montre aucune différence globale significative. Cependant, dans les analyses *post-hoc* avec Bonferroni, nous avons trouvé quelques effets importants que nous soulignons ci-dessous. Concernant les syntagmes sélectionnés, l'effet par type d'instrumentation historique par rapport aux AC littéraires est maintenu ($t_{74.2} = 3,486$, $p\text{-value} = 0,012$). Cette différence ne se reflète plus dans les AC de type journalistique. Même s'il y a une tendance marquée, elle n'est pas significative. Dans le cas des mots non sélectionnés, par contre, cette différence entre les types d'instrumentation se maintient, suivant la tendance générale entre historique et littéraire ($t_{74.2} = 3,449$, $p\text{-value} = 0,014$) et entre historique et journalistique ($t_{74.2} = 4,855$, $p\text{-value} < 0,001$). Quant aux effets entre le syntagme de sélection et les mots communs, nous trouvons également un phénomène d'inversion. La configuration se manifeste comme AC littéraire (-) et journalistique (+) pour le syntagme sélectionné, alors que pour les mots communs (NS) cette configuration est inversée : AC littéraire (+) et journalistique (-).

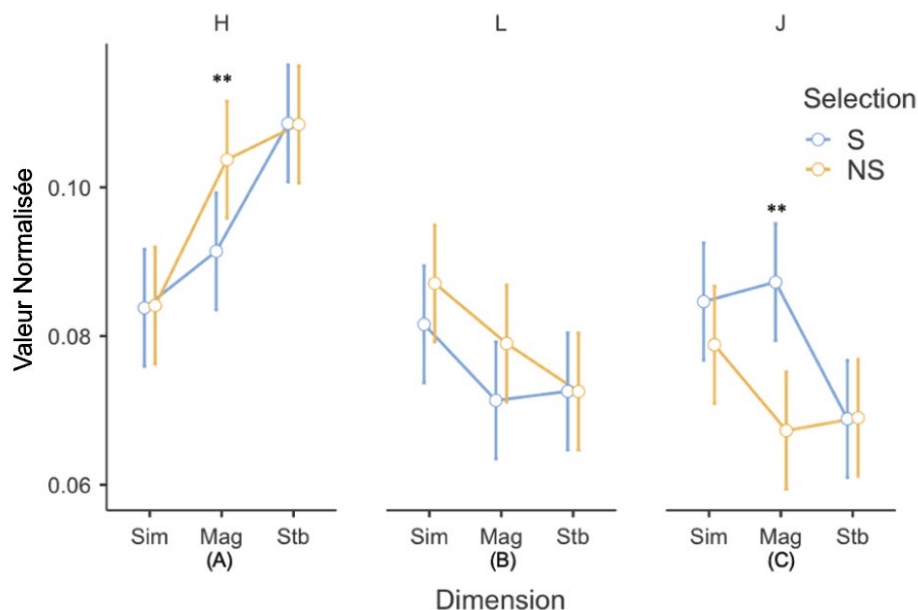
Enfin, nous combinons la sélection et les dimensions ainsi que le type d'instrumentation (

Figure 57). Cette analyse montre un effet global de petite taille 0,00163 avec la correction de Greenhouse-Geisser ($F_{2,43} = 3,84$, $p\text{-value} = 0,021$, $\eta^2 = 0,019$). Les analyses *post-hoc* de Bonferroni placent ces résultats dans la dimension de la stabilité, qui représente le coût cognitif généré par la stabilité interne en fonction du type d'AC. Le phénomène se manifeste par des différences significatives entre les AC de type historique et littéraire ($t_{156} = 5,22$, $p < 0,001$) et entre les types historique et journalistique ($t_{156} = 5,75$, $p\text{-value} < 0,001$). La dimension de similarité, qui représente une stratégie distinctive pour la sélection des mots importants dans un AC, et la dimension de magnitude, qui se réfère à l'utilisation des ressources oculomotrices pendant l'acte de lecture, ne montrent pas de différences significatives. Dans l'analyse des effets par type d'instrumentation, nous pouvons identifier une plus grande synchronie entre les syntagmes sélectionnés et non sélectionnés pour la dimension de similarité et de stabilité dans le cas des AC historiques, alors que dans le cas des AC littéraires et journalistiques, la synchronisation n'a lieu que dans la dimension de la stabilité. En revanche, la dimension de magnitude montre la plus grande variabilité entre sélectionnés et non sélectionnés dans tous les types d'AC. Les AC de type journalistique présentent une plus grande amplitude dans ce sens. Cette situation est confirmée par la seule différence significative enregistrée dans cette comparaison ($t_{110} = 4,279$, $p\text{-value} = 0,006$) entre sélectionné et non sélectionné (

Figure 57 - C).

Figure 57 :

Interaction des effets de dimension sur le syntagme sélectionné par type d'AC.



Note : A) Interaction des effets de dimension sur les valeurs normalisées de mesures internes par syntagme sélectionné ou non dans des instrumentations de type historique. B) Interaction des effets de dimension sur les valeurs normalisées de mesures internes par syntagme sélectionné ou non dans des instrumentations de type littéraire. C) Interaction des effets de dimension sur les valeurs normalisées de mesures internes par syntagme sélectionné ou non dans des instrumentations de type journalistique. Intervalle de confiance à 95 %.

Les résultats de la microanalyse confirment que le phénomène d'instrumentation affecte non seulement l'activité de lecture globale d'un AC, mais qu'il a également des effets à une échelle micro associée au syntagme de sélection (mots importants du texte). Nous n'avons pas pu identifier de différences significatives entre la sélection et la non sélection des mots importants pour aucun des types d'AC. Nous concluons que les stratégies de gestion des ressources oculomotrices sont définies par le type d'AC et ne varient pas entre les syntagmes importants et le reste du texte. Même si l'examen des différentes dimensions montre certaines configurations plus stables que d'autres, comme c'est le cas des AC historiques par opposition aux AC littéraires et journalistiques, nous ne pouvons pas confirmer qu'il existe des stratégies définies et significatives en ce qui concerne la sélection de mots importants selon les différents types d'AC. Nous soulignons qu'il y a une configuration inverse des valeurs des différentes dimensions évaluées entre les AC de type journalistique et de type littéraire. Même si les données ne montrent pas de différences significatives, ce comportement suggère que dans le cas des AC de type littéraire sélectionnés pour cette expérience et avec ces sujets, les mots maintiennent un comportement oculomoteur moins exigeant sur le plan cognitif que ceux des AC de type journalistique. Cela veut dire que les mots importants d'un texte littéraire sont plus faciles à traiter cognitivement que ceux d'un texte journalistique. En revanche, le reste des mots (non importants) semblent plus difficile à traiter dans le cas de textes littéraires ou

journalistiques. Si nous traduisons cela en termes d'activité de lecture, il est probable que dans le cas des AC littéraires, les mots clés sont logiques et évidents en contexte. Ils demandent donc moins de ressources cognitives. Cependant, le reste des mots demande plus de ressources car il exprime la richesse et le détail des œuvres littéraires. Au contraire, pour les textes journalistiques, les mots clés ne sont pas aussi évidents. Ces mots n'ont d'importance qu'en relation avec le contexte, ce qui exige plus de ressources cognitives pour les identifier et les retenir dans l'ensemble du texte. Cela se traduit par une stratégie plus stable et moins coûteuse pour le reste des mots sans importance.

4.5.2. Instrumentation et instrumentalisation d'une AC

Nous nous intéressons aussi aux caractéristiques de la conception des AC utilisés pendant l'expérience et aux relations avec leur utilisation pendant l'acte de lecture. Pour cela, nous avons appliqué une stratégie de traitement du langage naturel (TALN). Nous commençons par traiter les textes du stimulus en générant un étiquetage des parties du discours (*POS*) et des dépendances syntaxiques (*DEP*). Sur cette base, nous avons sélectionné et analysé les données oculaires sur les groupes de mots présentant des caractéristiques fonctionnelles dans le texte. Cette analyse a été réalisée en deux étapes, une première relative à l'aspect morphologique à l'aide de balises POS et une seconde relative à l'aspect syntaxique à l'aide de balises DEP.

Nous commençons par associer les informations POS à chaque mot de la base de données du comportement oculaire, et nous générons un vecteur pour chaque mot, puis nous calculons le module des vecteurs de mots. Nous les regroupons par type de POS et calculons la valeur moyenne pour chacun d'eux, puis nous répétons cette procédure pour chaque participant et chaque texte de l'expérience. Nous avons sélectionné les POS communs à tous les textes²⁷ (10 pour cette analyse), avec eux nous avons généré différents tableaux de travail 12x25 (textes x personnes) avec la valeur moyenne des magnitudes des vecteurs mots relatifs à chaque type de POS. Nous avons effectué deux normalisations des données pour éviter les effets indésirables dans nos analyses ultérieures. La première est relative au nombre de mots de chaque type de POS dans les différents AC, et la seconde est relative au comportement oculaire global de chaque participant. Ces normalisations nous permettent de faire des comparaisons entre les différents types de POS, AC et participants. Nous avons éliminé deux participants aberrants et calculé la moyenne des valeurs de magnitude normalisées par type d'instrument

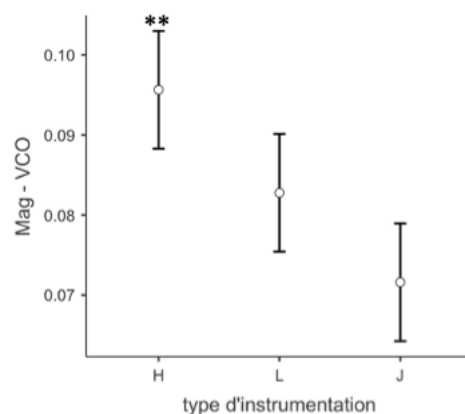
²⁷ DET, NOUN, ADV, ADP, ADJ, PRON, VERBE, PROPN, CCONJ, AUX.

(3) : historique (4), littéraire (4), et journalistique (4). Nous avons ainsi établi notre base pour les analyses statistiques.

L'analyse des données a été réalisée à l'aide d'une *F-ANOVA* à mesures répétées, avec une configuration 23x10x3 (sujets x types de POS x type d'instrumentation) et les résultats les plus significatifs sont rapportés ci-dessous. Les différences entre les sujets montrent un effet global avec correction de Greenhouse-Geisser de 0,0384 par type d'instrumentation ($F_{1,74} = 7,25$, $p\text{-value} = 0,003$, $\eta^2 = 0,042$) ainsi que pour la combinaison du POS et de l'instrumentation de 0,0197 ($F_{8,04} = 3,05$, $p\text{-value} = 0,003$, $\eta^2 = 0,101$). Dans les analyses *post-hoc* de Bonferroni (Figure 58), nous avons repéré de telles différences pour le type d'instrumentation entre les AC historiques et journalistiques ($t_{44} = 3,81$, $p\text{-value} = 0,001$). Même s'il y a une légère différence entre les facteurs présentés par les données, nous ne pouvons pas confirmer d'autres différences significatives par type d'instrumentation.

Figure 58 :

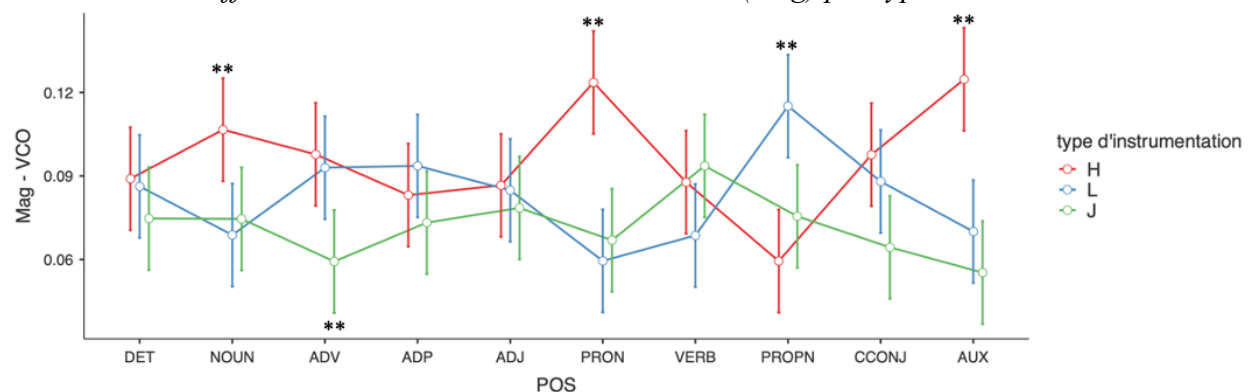
Effets du type d'AC sur la magnitude de vecteur POS.



Note : Effets du type d'instrumentation sur la magnitude de vecteur POS. Intervalle de confiance à 95 %.

Figure 59 :

Interaction des effets de POS sur les ressources utilisées (mag) par type d'AC.



Note : Interaction des effets de POS sur les ressources utilisées (magnitude de vecteur) lors de l'instrumentation des différents types d'AC. Intervalle de confiance à 95 %.

Lorsque nous avons combiné le type d'instrumentation et le type de POS pour analyser le comportement des variables par rapport aux différents facteurs, nous avons trouvé des différences significatives pour certains types de POS (*Figure 59*) tels que les noms, les pronoms, les noms propres, les adverbes et les auxiliaires. Nous avons décidé d'analyser ces relations séparément. À cette fin, nous avons effectué une analyse T-Test pour les POS qui présentaient des comportements différenciés. Nous avons trouvé les différences significatives suivantes : les POS du type nom montrent des différences d'utilisation entre les AC de type historique et littéraire ($t_{22} = 4,51, p\text{-value} < 0,001, d = 0,940$), et entre les AC de type historique et journalistique ($t_{22} = 4,19, p\text{-value} < 0,001, d = 0,874$). Les POS de type adverbe montrent des différences significatives d'utilisation entre les AC de type historique et journalistique ($t_{22} = 2,57, p\text{-value} = 0,017, d = 0,537$) et entre les AC de type littéraire et journalistique ($t_{22} = 2,22, p\text{-value} = 0,037, d = 0,463$). Le type POS pronom montre une différence significative d'utilisation entre les AC de type historique-littéraire ($t_{22} = 4,71, p\text{-value} < 0,001, d = 0,870$), et les AC de type historique-journalistique ($t_{22} = 2,39, p\text{-value} = 0,026, d = 0,498$). Les POS de type nom propre présentent des différences significatives entre les AC de type historique et ceux de type littéraire ($t_{22} = -3,14, p\text{-value} = 0,005, d = -0,655$). Enfin, les POS auxiliaires présentent des différences significatives dans leur utilisation entre les AC de type historico-littéraire ($t_{22} = 2,31, p\text{-value} = 0,031, d = 0,482$) et les AC historique-journalistique ($t_{22} = 2,76, p\text{-value} = 0,012, d = 0,575$).

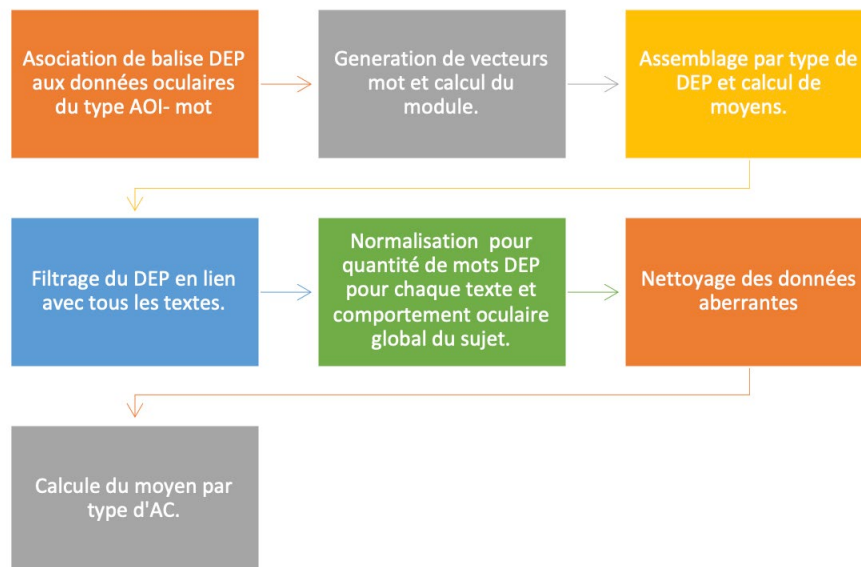
Ces résultats confirmeraient que les processus d'instrumentation, lors de la conception des différents types d'AC – c'est-à-dire l'utilisation de noms, d'adverbes, de noms propres, etc. –, influencent leur utilisation future. Les comportements oculaires représentés par la magnitude moyenne du vecteur de comportement oculaire indiquent que même s'il existe parfois des traitements communs ou synchrones par type de POS, dans d'autres cas ce comportement est différencié par le type d'instrumentation. Par exemple, les adjectifs ont un traitement similaire quel que soit le type d'instrumentation de l'AC. Cependant, dans le cas des pronoms, nos résultats confirment une plus grande demande de ressources oculomotrices lorsqu'ils se trouvent dans un contexte d'AC de type historique par rapport aux ressources requises lorsque le contexte est de type littéraire ou journalistique. Dans le cas des noms propres, c'est le type d'AC littéraire qui demande plus de ressources que le type historique ou journalistique. Cela suggère également une relation entre l'utilisation que les sujets font de certains éléments d'interaction (mots) d'un artefact de connaissance (texte) et les moyens de régulation mis en œuvre par le même sujet pour atteindre l'objectif de la tâche. Parmi le nombre infini d'éléments

d'interaction (POS), le sujet n'en sélectionne que certains auxquels il attribue des ressources plus importantes. Cette sélection est influencée par la catégorie dans laquelle le sujet a placé l'artefact de connaissance (historique, journalistique ou littéraire).

Nous répétons la procédure de prétraitement des données, mais cette fois en utilisant les aspects syntaxiques (DEP) (Figure 60).

Figure 60 :

Flux du processus de prétraitement de données - Vecteurs des dépendances syntaxiques.



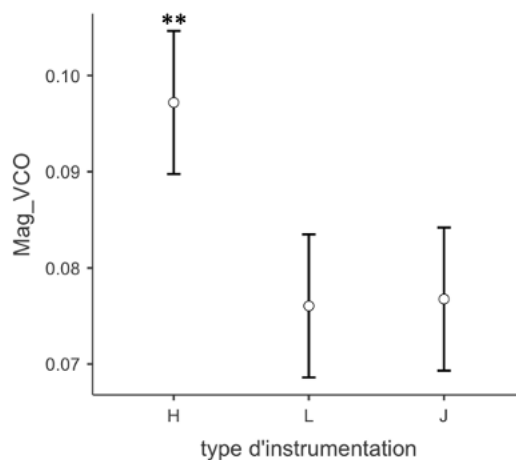
Note : Élaboration personnelle (2021).

Dans ce cas, les dépendances syntaxiques communes dans les textes ont été au nombre de 15²⁸. Les tables de travail 12x25 (textes x personnes) ont été générées avec la valeur moyenne des magnitudes des vecteurs mots liés à chaque type de DEP. L'analyse des données a été effectuée par une analyse *F-ANOVA* à mesures répétées, avec une configuration 23x15x3 (sujets x type de DEP x type d'instrumentation). Nous présentons ci-dessous les résultats les plus significatifs (Figure 61). Les différences entre les sujets sont rapportées avec un effet global avec correction de Greenhouse-Geisser de 0,0497 par type d'instrumentation ($F_2 = 7,06$, $p\text{-value} = 0,002$, $\eta^2 = 0,029$), ainsi que pour la combinaison du DEP et de l'instrumentation de 0,008 ($F_{28} = 1,79$, $p\text{-value} = 0,008$, $\eta^2 = 0,066$). Dans les analyses *post-hoc* de Bonferroni, nous avons repéré des différences pour le type d'instrumentation entre les AC historiques et journalistiques ($t_{44} = 3,198$, $p\text{-value} = 0,008$), et entre les AC historiques et littéraires ($t_{44} = 3,198$, $p\text{-value} = 0,008$).

²⁸ det, obl:mod, nmod, advmod, case, nsubj, amod, appos, ROOT, obj, obl:arg, advcl, cc, conj, xcomp.

Figure 61 :

Effets du type d'AC sur la magnitude de vecteur DEP.

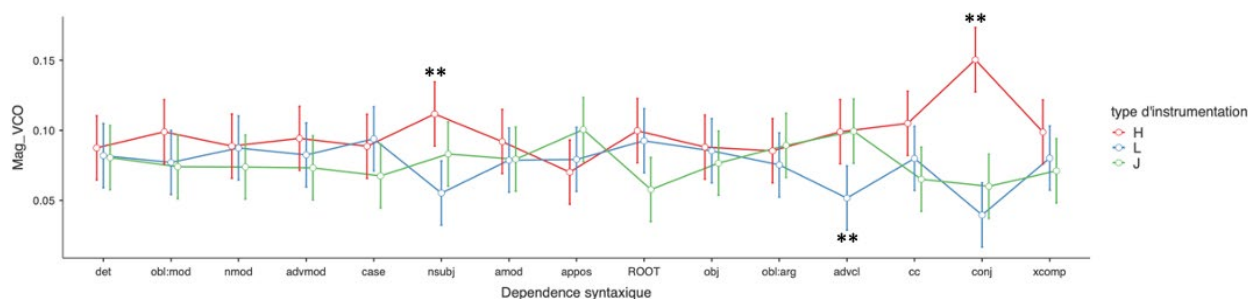


Note : Effets du type d'instrumentation sur les ressources utilisées lors de l'instrumentalisation de dépendances syntaxiques. Intervalle de confiance à 95 %.

Comme pour les étiquettes morphologiques, nous avons combiné le type d'instrumentation et le type d'étiquette syntaxique afin d'identifier les dépendances avec plus de variabilité du comportement oculaire par rapport au type d'AC (Figure 62).

Figure 62 :

Interaction des effets de DEP sur les ressources utilisées (mag) par type d'AC.



Note : Interaction des effets de DEP sur les ressources utilisées (magnitude de vecteur) lors de l'instrumentalisation des différents types d'AC. Intervalle de confiance à 95 %.

Nous avons effectué une analyse par test t pour échantillons appariés pour les DEP sélectionnés. Nous avons fait les constatations suivantes : les sujets nominaux (*nsubj*) présentent des différences significatives d'utilisation entre les AC de type historique et de type littéraire ($t_{22} = 5,45$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = 1,139$) et entre les AC de type historique et de type journalistique ($t_{22} = 2,29$, $p\text{-value} = 0,032$, $d = 0,477$). Les DEP de type racine (root) montrent des différences significatives d'utilisation entre les AC de type historique et journalistique ($t_{22} = 3,12$, $p\text{-value} = 0,005$, $d = 0,651$), et entre les AC de type littéraire et journalistique ($t_{22} = 3,63$, $p\text{-value} = 0,001$, $d = 0,757$). Les DEP de type modificateur adverbial (*advcl*) présentent des différences significatives entre les AC de type historique et littéraire ($t_{22} = 2,73$,

$p\text{-value} = 0,012$, $d = 0,570$), et entre les AC de type littéraire et journalistique ($t_{22} = -2,66$, $p\text{-value} = 0,014$, $d = 0,554$). Enfin, pour les DEP de relation conjonctive, il existe des différences significatives entre les AC de type historique et littéraire ($t_{22} = 5,48$, $p\text{-value} < 0,001$, $d = 1,144$), et entre les AC de type historique et journalistique ($t_{22} = 3,74$, $p\text{-value} = 0,001$, $d = 0,780$).

Comme dans le cas des éléments morphologiques, ces résultats confirment que les processus d'instrumentation lors de la conception des différents types d'AC au niveau syntaxique influencent leur utilisation future. Les comportements oculaires représentés par la magnitude moyenne du vecteur de comportement oculaire indiquent qu'il y a des traitements synchroniques par type de dépendance syntaxique pour certains cas, mais que dans d'autres ce comportement est différencié par le type d'instrumentation. C'est le cas pour les sujets nominaux. En effet, nos données confirment que lorsqu'ils sont dans un contexte historique, ils sont traités avec un plus grand nombre de ressources que dans un contexte littéraire ou journalistique. Il en va de même pour les modificateurs adverbiaux. Dans ce cas, les données montrent que dans les contextes littéraires, ils sont traités avec moins de ressources oculomotrices que dans les contextes historiques ou journalistiques. Comme dans le traitement morphologique, ce phénomène reflète les relations d'utilisation et d'interaction avec les mots d'un texte au niveau syntaxique, ces mots sont des éléments d'interaction qui permettent une fonction régulatrice des ressources cognitives où le sujet parvient à affronter l'activité de lecture dans un contexte donné et avec un objectif spécifique. La tâche assignée pendant l'expérience était la même quel que soit le type d'instrumentation de l'AC (historique, journalistique ou littéraire). Dans ce cas, nos résultats confirment que la conception des artefacts permet d'influencer les stratégies de gestion des ressources oculomotrices au cours de la lecture. Ce processus d'utilisation de ces éléments particuliers au cours de la lecture rend compte des processus d'instrumentalisation mis en jeu par le sujet au moment de l'utilisation de l'AC. Cela génère un acte instrumental, et un travail collaboratif entre le concepteur et l'utilisateur de la connaissance.

4.5.3. Charge cognitive lors de la genèse instrumentale d'un AC

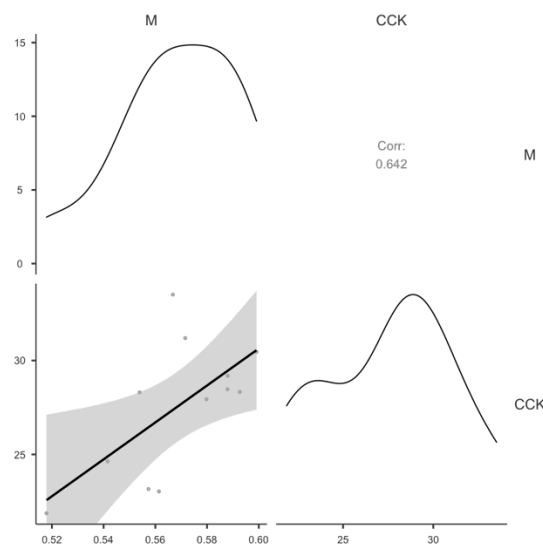
Pour conclure notre analyse, nous avons analysé les relations entre la charge cognitive générée par la lecture d'un AC donné et ses caractéristiques internes en tant qu'objet de connaissance (OC). Pour cela, nous commençons par générer une cartographie textuelle des textes stimuli. Nous utilisons la méthode LGV (cf. Ch 3 § 1). Cette méthode génère un vecteur

tridimensionnel pour chaque mot du texte, sur la base des caractéristiques internes du texte concernant les aspects morphologiques, syntaxiques et sémantiques du texte.

Nous avons effectué une analyse de corrélation avec le coefficient *R de Pearson* (Figure 63). Douze ensembles de données ont été comparés, un pour chaque texte stimulus. Les résultats cherchent à établir le niveau de relation entre les mesures moyennes de la charge cognitive calculées à partir des données oculaires de 25 sujets et les caractéristiques internes du CO, représentées par la magnitude moyenne des vecteurs mots de chacun des textes stimulus. Notre analyse montre qu'il existe une corrélation positive entre la charge cognitive rapportée par les données oculaires et la magnitude moyenne des vecteurs mots du texte ($r_{(12)} = 0,642$, $p\text{-value} = 0,024$). Ces résultats montrent que ce type de relations existe dans le contexte de notre expérience, mais étant donné la taille restreinte de notre échantillon, ils ne peuvent pas être généralisés. Toutefois, ils pourraient être confirmés par des recherches futures.

Figure 63 :

Relation entre charge cognitive et magnitude moyenne de vecteur mots.



Note : A) Matrice de corrélation entre la charge cognitive (CCK) et la magnitude moyenne de vecteurs mots. Intervalle de confiance à 95 %.

4.6. Discussion générale

L'analyse des résultats de notre expérience nous permet de conclure sur cinq aspects. Premièrement, cette analyse montre qu'il est possible et pertinent d'étudier l'interaction avec la connaissance à partir d'une approche instrumentale. En effet, les méthodes développées pour cette recherche permettent d'établir des relations entre des objets artefactuels de connaissance (textes) et les usages qui se manifestent à travers l'acte de lecture d'un agent cognitif. Cette analyse confirme notre hypothèse initiale sur l'influence du type d'instrumentation (processus

de conception) d'un AC sur l'adaptation de la stratégie cognitive adoptée par l'agent au moment de la lecture. Deuxièmement, les cartographies visuo-cognitives et textuelles permettent plusieurs niveaux d'analyse, allant d'une dimension macro du phénomène d'interaction à une échelle micro, laquelle permet de démêler les éléments constitutifs et fonctionnels d'un artefact de connaissance et la façon dont ceux-ci sont exploités par un agent cognitif à travers le geste de lecture. Troisièmement, les processus d'instrumentation d'un AC influencent les processus d'instrumentalisation de ce dernier. Ceci explique les processus d'autorégulation qu'un agent cognitif met en œuvre pour faire face à l'activité, conformément aux objectifs précédemment définis. Nous voudrions souligner aussi que la méthode développée pour cette recherche permet d'observer la stratégie de régulation de ces ressources oculomotrices tout au long de l'utilisation d'un AC donné. En quatrième lieu, il faut souligner que l'effet du type d'instrumentation sur les stratégies visuo-cognitives se manifeste à différentes échelles de structuration d'un AC. Les effets au niveau macro sont le résultat des particularités avec lesquelles les dispositifs d'usage spécifique (les mots) sont traités cognitivement à travers le geste de lecture. Ce geste de lecture est adapté aux caractéristiques morphologiques et syntaxiques particulières des éléments et prennent en compte le type d'instrumentation avec lequel le texte a été créé. Cela met en évidence les objectifs propres de l'individu lors de la lecture et montre le processus d'instrumentalisation qui se poursuit dans le processus de catégorisation et de prise de décision du sujet. Enfin, cette analyse montre la genèse instrumentale des objets de connaissance, c'est-à-dire les relations entre conception et utilisation. D'ailleurs, nous avons constaté qu'il existe une relation entre la charge cognitive générée par un AC et sa structure linguistique interne en tant qu'objet complexe. Ceci nous permet d'établir des lignes directrices pour une pratique ergonomique de l'interaction avec la connaissance. Nous proposons donc un outil de mesure d'un indice de charge cognitive. L'utilisation de cet indice permet d'étudier le comportement d'un agent cognitif dans un contexte de lecture, ce qui représente l'utilisation des ressources cognitives pendant l'activité et permet d'identifier les différentes impasses de l'utilisateur lors de l'utilisation d'un AC déterminé.

Conclusions

Cette recherche a exploré différents aspects, concepts, méthodes et outils qui peuvent servir de base au développement d'une ergonomie de l'interaction des humains avec la connaissance. La problématique des limites des techniques traditionnelles pour analyser cette interaction avec la connaissance nous a amené à explorer différentes possibilités d'application des techniques de sciences cognitives, telles que l'oculométrie cognitive et le traitement du langage naturel, pour résoudre le problème de l'analyse et de la compréhension de l'activité des travailleurs de la connaissance dans un contexte sociotechnique. Dans ce but, nous avons analysé une série de quatre expériences. Les deux premières, de nature exploratoire, ont cherché à préciser les possibilités d'utilisation de ces approches cognitives dans le cadre spécifique des activités de conception et de lecture de textes. Les deux dernières, de nature expérimentale, ont cherché à reproduire ces premiers résultats dans des contextes réels contrôlés afin d'élargir leur portée. Les résultats de ces quatre expériences offrent de nouvelles perspectives pour faire face aux limites des techniques traditionnelles d'ergonomie dans l'analyse des activités de connaissance.

Les deux premiers chapitres de cette thèse ont défini le cadre historique et théorique duquel émerge et dans lequel s'inscrit la problématique de l'ergonomie de la connaissance. À cette fin, nous avons commencé par présenter une brève analyse historique de l'évolution de l'ergonomie et de ses rapports avec les transformations sociales et économiques des deux derniers siècles. Étant donné que le sujet de cette recherche se situe à l'intersection de l'ergonomie et des sciences cognitives, nous avons également inclus dans cette analyse certains points de repère pour ces dernières. Ce travail préliminaire nous a permis de mettre en évidence et de préciser les problèmes méthodologiques de l'ergonomie face aux activités de la connaissance, plus spécifiquement dans le contexte techno-économique contemporain. Dans un deuxième temps, nous nous sommes appliqués à définir, analyser et encadrer les activités de connaissance, en tant que processus d'interaction et d'échange entre agents cognitifs au sein d'un système de connaissance sociotechnique. Pour ce faire, nous avons examiné l'activité des travailleurs de la connaissance afin d'identifier les possibilités de transformation ergonomique de celle-ci et les outils dont on aura besoin pour cela. D'après cette analyse, nous avons identifié deux activités clés et récurrentes de ce type de travailleurs : la lecture et la création d'objets de connaissance. Nous avons aussi identifié et esquissé un modèle d'interaction homme-

connaissance. Ce modèle permet l'intégration d'outils cognitifs pour l'étude et l'évaluation des activités des travailleurs de la connaissance, en particulier l'interaction et l'utilisation des objets de connaissance.

Ensuite, nous avons défini un cadre théorique qui nous a permis de relier, de clarifier et de délimiter ces premières idées, définitions et modèles, ainsi que de mettre en place les bases pour l'étude et l'analyse des activités de connaissance. Ce cadre théorique repose sur trois piliers. Le premier se focalise sur la compréhension des mécanismes cognitifs naturels et artificiels, ainsi que sur le traitement des connaissances et leur représentation sous forme d'objets. Cela inclut les caractéristiques de l'activité de représentation en tant qu'acte agencé, ainsi que les outils artificiels et les modèles informatiques associés à la connaissance. Le deuxième pilier concerne les théories et les approches ergonomiques qui permettent de rendre compte de l'activité de la connaissance en tant qu'activité en soi. Nous reprenons certains concepts tels que la régulation de l'activité, les facteurs humains, la gestion des ressources et, particulièrement, la genèse instrumentale, et nous étendons leur portée au domaine de la connaissance, de son utilisation et de sa représentation. Enfin, le troisième pilier offre des outils pour la compréhension de l'interaction homme-machine dans les activités de connaissance et les systèmes complexes. Ceux-ci nous ont permis de développer un modèle d'interaction homme-connaissance-machine qui intègre ces deux perspectives. À la fin nous intégrons aussi certains aspects de la prise d'information comme base psychophysique fondamentale pour qu'une telle interaction soit possible. Cette collecte d'informations intègre nécessairement l'étude des mouvements oculaires et leurs applications en termes d'analyse de l'activité.

Sur la base de ce cadre théorique et conceptuel, nous nous sommes fixé comme objectif de développer des outils qui permettent l'analyse et la compréhension des activités de connaissance pour leur transformation. Pour cela, deux études méthodologiques exploratoires ont été réalisées. Celles-ci nous ont fourni des outils de travail et d'évaluation pour faire de l'ergonomie dans les activités de connaissance. Une fois ces outils développés, nous les avons testés sur le terrain. Les deux expériences organisées à cette fin ont permis d'identifier les possibilités d'utilisation et d'amélioration de ces outils et méthodologies. Les résultats de ces expériences confirment la possibilité de doter l'analyse ergonomique des activités de connaissance d'outils issus des sciences cognitives. Les résultats généraux de cette recherche suggèrent plusieurs pistes de recherche et développement pour l'ergonomie des activités de connaissance qui peuvent améliorer la situation de ce type de travailleurs. Ce qui suit présente synthétiquement ces outils et les principales contributions de cette recherche.

1. Outils proposés pour l'analyse des activités de connaissance

1.1. Lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV)

Notre premier exercice exploratoire a conduit à l'élaboration d'une sorte de cartographie textuelle qui permet d'analyser des objets de connaissance finis, en particulier des documents de type texte. Pour ce faire, nous avons développé une méthode fondée sur le traitement automatique du langage naturel (TALN) qui caractérise un texte à partir de l'analyse et de la quantification de sa propre structure émergente. Cette méthode identifie et quantifie les relations entre les éléments constitutifs du texte, c'est-à-dire les mots, et la structure globale du même texte. Trois dimensions sont quantifiées (sémantique, syntaxique et morphologique), puis intégrées à partir d'une approche vectorielle. Nous nous servons pour cela des différentes techniques de prétraitement de texte, ainsi que des techniques de base du TALN. Sur la base d'une approche mixte, cette méthode combine les modèles de cooccurrence de mots et les modèles vectoriels afin de générer ce que nous avons appelé **lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV)**. Cette technique nous permet de quantifier les relations entre les mots et l'ensemble du texte et nous offre une structure globale d'analyse à plusieurs niveaux. Le résultat obtenu de l'application de cette technique est un texte quantifié par des vecteurs uniques, un pour chaque mot constitutif d'un texte, mais en relation à tous les autres. Cette technique offre ainsi plusieurs avantages pour différencier les mots d'un texte et l'analyse d'un objet de connaissance. Afin de tester et comparer la méthode proposée avec d'autres techniques classiques du TALN, nous avons mis en place une étude expérimentale comparative à partir d'un indice qui mesure l'efficacité de chaque technique pour différencier les mots dans un texte²⁹. Pour cette étude, nous avons utilisé un échantillon de textes expérimentaux provenant du corpus Chambers-Rostand de français journalistique, distribué par l'université d'Oxford. Ce corpus contient 1 723 articles de journaux français enregistrés quotidiennement entre 2002 et 2003. Les articles sont classés en 6 catégories : éditorial, culture, sport, actualité nationale, actualité internationale et finance. Toutes les données sont extraites de trois journaux : *Le Monde* (576 articles / 355 046 mots), *L'Humanité* (576 articles / 367 486 mots), *La Dépêche du Midi* (570 articles / 257 299 mots). Pour notre test d'efficacité, nous avons utilisé uniquement un échantillon de 288 articles de presse extraits du journal *Le Monde* en 2003. Ceux-ci ont été organisés selon les 6 catégories du corpus, avec un total de 48 textes pour chacune d'elles.

²⁹ $\frac{\text{N}^\circ \text{ de mots identifiées}}{\text{N}^\circ \text{ total de mots}} \times 100 (\%)$

L'objectif de l'étude était de mesurer la capacité des différentes méthodes du TALN à dévoiler la structure interne d'un texte à partir de la différenciation de ses unités minimales, c'est-à-dire les « mots », en leur assignant des valeurs numériques uniques. Nous avons comparé les méthodes suivantes : fréquence des termes (4,97 %, *écart-type* = 0,79 %), fréquence inverse des documents (45,74 %, *écart-type* = 6,3 %), analyse sémantique latente (86,41 %, *écart-type* = 4,61 %), indexation aléatoire réflexive (85,52 %, *écart-type* = 4,96 %) et notre méthode : lexicométrie grammaticale vectorielle (99,95 %, *écart-type* = 0,28 %). Cette dernière montre une amélioration substantielle dans la différenciation des mots constitutifs d'un texte indépendamment de la catégorie (6) de texte analysé. Cette constatation nous permet de proposer cette technique, première contribution de cette thèse, comme un outil qui permet de réaliser des analyses détaillées des textes à différents niveaux : macro (texte complet), méso (paragraphe et phrases) ou micro (mots). Il permet également de passer d'un niveau à l'autre sans devoir générer de nouveaux calculs.

1.2. Cartographie visuo-cognitive (CVK)

Ce deuxième outil dérive de l'application d'une approche vectorielle (espaces à n et vecteurs à k dimensions) à l'analyse des mouvements oculaires. Pour cette deuxième étude exploratoire, nous avons utilisé un corpus de mouvements oculaires recueillis lors d'une expérience de laboratoire réalisée par le docteur Ugo Ballenghein en 2018³⁰. La méthode développée pour cette analyse exploratoire intègre des éléments de l'approche instrumentale et ergonomique afin de produire ce que nous avons appelé une cartographie visuo-cognitive (CVK). Sur la base de cette méthode, nous avons recréé le plan expérimental de l'étude originale sur les effets du traitement référentiel pendant la lecture à partir des données brutes sans aucun prétraitement. Après avoir segmenté les données originales par rapport à leur complétude, nous avons sélectionné un échantillon de mouvements oculaires de 22 sujets pendant la lecture d'un groupe de textes (21) catégorisés en 3 types : avec changement de référentiel (7), sans changement de référentiel (7) et distracteurs (7), tous présentés aléatoirement. Les résultats de cette expérience introduisent de nouveaux éléments par rapport aux résultats trouvés par l'expérience originale de Ballenghein et permettent une analyse plus approfondie de l'activité de lecture des sujets. Nos résultats suggèrent l'existence d'une agence cognitive dans la stratégie de lecture et ouvrent de nouvelles perspectives pour la recherche sur l'interaction et la

³⁰ « Traitement référentiel pendant la lecture : enregistrements simultanés des mouvements oculaires et des mouvements de la tête » (2019).

régulation face à un objet de type texte. Ces résultats montrent le potentiel de l'utilisation de la CVK et des méthodologies des espaces à n -dimensions comme outils analytiques pour l'étude de l'interaction entre les sujets et les objets de type texte.

Par ailleurs, cette expérience nous a permis d'établir des ponts entre le geste oculomoteur observé pendant la lecture (mouvement des yeux) et les aspects cognitifs qui le sous-tendent. Nous avons ainsi intégré des concepts issus de l'approche ergonomique tels que la régulation de l'activité et l'utilisation des ressources pendant l'action. Ces dialogues et réflexions théoriques et exploratoires s'inscrivent dans le cadre de ce que nous appelons l'analyse de l'activité des travailleurs de la connaissance, qui peut devenir la base d'une éventuelle pratique ergonomique sur cette activité.

Comme dans le cas de la première méthode proposée (LGV), la cartographie visuo-cognitive (CVK) permet de faire des analyses à différentes échelles. Nous avons ainsi d'abord effectué une analyse à l'échelle macro, qui montre le comportement oculaire global de tous les sujets sur les différents textes de l'expérience. Cette démarche est la plus proche de l'analyse classique des mouvements oculaires. Toutefois, la principale différence de notre méthode est qu'elle intègre en même temps les mesures oculomotrices totales (spatiales et temporelles) des différents comportements oculaires (fixations, saccades et pauses). Cela permet de réaliser une analyse globale par stratégie de lecture, ce qui n'est pas possible dans l'analyse classique. Ce traitement par stratégie globale a ouvert de nouvelles questions sur l'expérience de lecture. En effet, l'application de cette technique nous a permis d'identifier l'effet de la variable du groupe de contrebalancement, qui n'est pas prise en compte dans l'analyse originale de Ballenghein. Cette constatation montre les possibilités et les avantages offerts par notre méthode de regroupement de sujets à partir de quantificateurs pour faire une analyse plus détaillée.

Quant à l'échelle d'analyse méso, elle a donné des pistes pour expliquer le phénomène identifié au niveau macro. En effet, l'analyse à cette échelle a permis d'identifier l'existence des stratégies inverses par rapport aux deux catégories cibles. Ces stratégies inverses ont été compensées dans le phénomène global ; ce qui les fait disparaître. Cela explique pourquoi les résultats de l'expérience originale de Ballenghein ne sont pas significatifs sur ce point. En outre, l'analyse à cette échelle a permis de lire la stratégie visuelle à partir d'une approche cognitive. En effet, ces résultats montrent que ces stratégies sont liées aux processus de prise de décision et à l'utilisation des ressources qui peuvent être observés et quantifiés par la méthode proposée. Cela contribue à la compréhension de l'activité de lecture et ouvre de nouvelles perspectives pour l'étude des aspects instrumentaux de l'interaction avec la connaissance.

Enfin, l'analyse à l'échelle micro s'a focalisée sur les effets produits au niveau du syntagme de changement référentiel dans les textes cibles. Ceci a permis d'identifier avec plus de précision les effets de la configuration du groupe de contreponds lors de l'expérience originale. Les résultats de cette analyse suggèrent que cet effet ne se manifeste pas au niveau du pronom, où se localise le déplacement référentiel, mais plutôt dans le complément ultérieur, où la quantité de ressources oculomotrices augmente. Ces résultats confirment ceux trouvés par Ballenghein dans son expérience originale, mais avec plus de précision sur la localisation de ces effets.

Cette possibilité de lecture et d'analyse à plusieurs échelles est l'un des principaux avantages de la CVK par rapport aux méthodes classiques d'analyse du comportement oculaire. D'un côté, elle permet de mettre en relation les effets au niveau des mots, des phrases et du texte global. D'un autre côté, elle ouvre de nouvelles perspectives pour comprendre les aspects cognitifs mis en jeu par les sujets lors de l'activité de lecture. Ces deux caractéristiques offrent plusieurs possibilités d'application comme outils pour la compréhension de l'activité des travailleurs de la connaissance.

2. Mise à l'épreuve des outils proposés en situation réelle avec des travailleurs de la connaissance

La phase exploratoire nous a permis de développer et d'ajuster nos deux outils méthodologiques : LGV et CVK. Ces outils ont ensuite été mis à l'épreuve lors d'une deuxième phase expérimentale avec 2 expériences d'utilisation en situation réelle contrôlée. L'idée de cette deuxième phase était de tester la fiabilité de nos outils dans l'exploration des phénomènes liés aux activités des travailleurs de la connaissance.

2.1. L'utilisation des ressources cognitives lors de la conception d'objets de connaissance

La première expérience a testé la LGV dans l'analyse de la conception et l'évaluation de ce que nous avons appelé objets de connaissance (OC) : des documents de type texte dans un contexte sociotechnique de connaissance. Cette expérience avait deux objectifs : a) Analyser la conception des OC à partir d'une approche instrumentale et b) Définir des critères techniques pour le développement des outils qui permettent la restitution des informations associées à l'activité d'évaluation d'un OC. Pour ce faire, nous avons mis en place un plan expérimental mixte (quantitatif et qualitatif) en coordination avec un enseignant universitaire. Les 38

étudiants inscrits au cours de méthodologie de la recherche en deuxième année de licence de sociologie d'une université privée en Équateur ont été invités à rédiger de courts documents descriptifs (environ 500 mots) sur trois axes thématiques spécifiques : a) une personne, b) un lieu et c) un événement. Ensuite, nous avons analysé les OC produits par les étudiants avec la méthode LVG et des méthodologies d'espace n -dimensionnel. Les résultats de ces analyses ont été confrontés avec les étudiants et avec l'enseignant afin d'identifier les principaux éléments mis en jeu lors de la conception et de l'évaluation d'un OC.

L'analyse a pris en compte deux dimensions, morphologique (M) et syntaxique (S). À l'aide de méthodes vectorielles, nous avons calculé trois mesures de relation et de structuration interne pour chacune : similarité (sim), magnitude (mag) et stabilité (stb). Sur la base des données générées par la LGV, nous avons calculé les relations internes pour chaque dimension. Enfin, nous avons fait une analyse descriptive des données. La première conclusion de cette analyse est que la LGV permet de représenter la complexité d'un OC par sa structure. Celle-ci est traduite par les valeurs référentielles attribuées à chaque mot qui composent l'OC selon ses différentes dimensions (morphologique, syntaxique et sémantique). La complexité des ressources linguistiques connectées est caractéristique de chaque OC et détermine son utilisation artefactuelle.

Un deuxième niveau d'analyse montre aussi que la méthode LGV facilite l'analyse entre les sujets et entre les catégories d'OC. En effet, elle permet d'identifier les différences et les similitudes entre les OC de différentes catégories en tant que textes instrumentés par n'importe quel sujet. Ainsi, la méthode proposée permet de redessiner l'activité et le type de choix suscités par le concepteur (les étudiants) au moment de la création d'un OC. Nos résultats corroborent le fait que l'utilisation du langage dans la phase de conception caractérise la stratégie d'instrumentation du concepteur. Cette caractérisation nous permet d'obtenir une mesure approximative de l'utilisation des ressources linguistiques pour chaque type d'OC lors de sa conception, à partir de l'objet finalisé.

Une troisième partie de cette analyse s'est focalisée sur les caractéristiques d'utilisabilité des OC à partir de l'indice de lisibilité linguistique (IFZ). L'objectif de cette analyse était de comparer les stratégies de conception d'un OC (instrumentation) avec les possibilités d'utilisation (lecture - instrumentalisation) offertes par l'objet finalisé. Il y a quatre critères d'utilisabilité, mais dans cette étude nous nous concentrons uniquement sur les deux premiers : la facilité d'apprentissage et la robustesse. Quant au premier, un OC avec une meilleure lisibilité linguistique doit avoir une structure interne, soit morphologique, soit syntaxique, qui facilite la

réutilisation des éléments et ressources préalables lors de son usage. Nos résultats montrent que 32,6 % de la mesure de la relation interne de stabilité dans la dimension morphologique sont directement liés à la lisibilité linguistique. Cependant, ces valeurs ne pouvaient pas prédire plus de 11% de la lisibilité linguistique en général. Concernant le second critère, la robustesse, nous supposons que la structure syntaxique et morphologique d'un OC permet de compartimenter l'activité de lecture. Ceci augmente le degré de lisibilité linguistique d'un OC. Pour le mesurer, nous avons calculé les vecteurs de phrase moyens de chaque OC dans ses différentes dimensions et nous les avons synthétisés dans une valeur de magnitude qui représente les caractéristiques morphologiques et syntaxiques d'une phrase moyenne d'un OC donné. Les résultats de cette deuxième opération ont confirmé une corrélation négative entre la magnitude du vecteur de phrase moyen et la valeur de lisibilité linguistique (IFZ) d'une OC. Sur la base d'un modèle de régression linéaire, nous avons trouvé qu'au moins 88 % de la lisibilité linguistique sont directement associés aux ressources caractéristiques morphologiques et syntaxiques de la phrase moyenne. Ce modèle³¹ prédit la lisibilité linguistique dans 81,4 % des cas (*écart-type* = 0,082 %) avec un intervalle de confiance de 95 %. La magnitude du vecteur phrase représentatif se réfère à la quantité de ressources linguistiques utilisées lors de la conception d'un texte (aspects morphologique et syntaxique). Quand ces ressources augmentent, le degré de lisibilité linguistique d'un texte aussi. Autrement dit, plus l'investissement en ressources linguistiques dans la conception d'un OC est important, meilleurs sont les indices d'utilisabilité (lisibilité linguistique) d'un OC.

Enfin, nous avons mené une analyse qualitative des résultats des analyses quantitatives. Pour cela, nous avons organisé une confrontation des résultats avec les concepteurs (étudiants) et le travailleur de la connaissance (enseignant) dont l'activité est l'évaluation des OC. Les résultats de ce processus suggèrent que notre méthode peut fournir des informations complémentaires à l'évaluation traditionnelle des OC et réduire la subjectivité dans le processus d'évaluation des OC.

2.2. Analyse de la genèse instrumentale dans les artefacts de connaissance

Une deuxième expérience s'est focalisée sur le processus de genèse instrumentale des artefacts de connaissance. Un artefact de connaissance (AC) est un objet finalisé de connaissance contextualisé dans la relation d'usage par un agent cognitif. Pour ce faire, nous

³¹ IFZ = -86,48 - 1,74 * VmF_mag (t = -21,4, p-value < 0,001).

avons utilisé une méthode expérimentale qui combine la LGV avec la CVK afin de rendre compte des relations instrumentales qui existent entre les artefacts de connaissance (AC) et les utilisateurs. Nous avons organisé une expérience de laboratoire avec 32 sujets qui ont lu un corpus de textes descriptifs expérimentaux récupérés sur Internet et organisés en 3 catégories instrumentales (littéraire, journalistique et historique). L'objectif était de recueillir des informations sur l'activité oculaire de ces sujets pendant la lecture.

Nous avons effectué une analyse classique des variables oculaires, puis appliqué notre méthodologie pour corroborer les résultats. Dans les deux cas, les résultats confirment notre hypothèse initiale selon laquelle le type d'instrumentation (conception) d'un AC a un effet sur l'adaptation de la stratégie cognitive requise pendant sa phase d'instrumentation (lecture). Il est important de souligner que notre méthode CVK présente une amélioration substantielle dans l'identification de l'effet global des facteurs analysés avec un $\eta^2 = 0,387$ (méthode vectorielle - magnitude) vs les η^2 des différentes variables analysées séparément : fixations ($\eta^2 = 0,193$), saccades ($\eta^2 = 0,291$), pauses ($\eta^2 = 0,228$) ou toutes ensemble ($\eta^2 = 0,195$). Malgré cela, dans le cas des analyses *post hoc* et des tailles de l'effet, notre méthode vectorielle ne montre pas d'améliorations substantielles dans l'identification des effets, bien qu'elle soit robuste.

L'analyse à l'échelle méso nous a permis de développer un indice de charge cognitive fondé sur la complexité structurelle d'une AC. Pour ce faire, nous avons combiné les différentes dimensions du comportement oculaire sur les AC et nous avons établi un indice de l'effort oculomoteur, qui peut être traduit comme une référence de charge cognitive pendant l'activité de lecture. À partir de l'analyse des 3 dimensions proposées : magnitude (mag), similarité (sim) et stabilité (stb), nous générons un indice de charge cognitive comme évaluation globale de l'AC exprimée en pourcentage³². Cette analyse confirme que la méthode proposée peut faciliter la quantification de la charge cognitive lors de l'utilisation des artefacts de connaissance.

Enfin, l'analyse à l'échelle micro a utilisé la sélection de mots faite par les sujets expérimentaux lors de l'expérience. L'objectif a été d'établir une analyse comparative entre le syntagme sélectionné et les mots du texte non sélectionnés. Les résultats montrent que les effets globaux par type d'instrumentation sont reproduits à l'échelle du syntagme dans les instrumentations de type historique. Cependant, la différence entre les instrumentations de type littéraire et de type journalistique n'est pas claire. Quant aux différences entre les syntagmes sélectionnés et non sélectionnés, on en a identifié dans la magnitude. Ceci suggère que les

³² $ICk = Mag * (1 - Stb_N) * (1 - Sim)$.

ressources utilisées dans le syntagme sélectionné diffèrent du reste des mots, mais ce phénomène ne peut pas être observé en détail, hormis dans les AC instrumentés sous forme journalistique. Ces résultats suggèrent que les relations contextuelles données par le type d'instrumentation influencent la manière dont les stratégies de lecture globale et les stratégies de sélection de l'information sont exécutées par l'utilisateur. À partir de cette piste, nous avons inclus dans cette échelle d'analyse l'étude des relations entre la conception et l'utilisation d'un AC. À cette fin, nous avons utilisé des techniques TALN pour l'étiquetage morphologique et syntaxique des AC expérimentales. Nos résultats confirment que les processus d'instrumentation lors de la conception de différents types d'AC, c'est-à-dire l'utilisation de noms, d'adverbes, de noms propres, etc., influencent leur utilisation future. Les comportements oculaires quantifiés indiquent que, même s'il existe des traitements communs ou synchrones pour certains cas, il en existe d'autres où ce comportement est différencié par le type d'instrumentation. L'utilisation et l'interaction avec les mots d'un texte au niveau syntaxique ou morphologique remplissent une fonction régulatrice des ressources cognitives que le sujet gère pour faire face à l'activité de lecture dans un contexte donné et avec un objectif spécifique. Nos résultats confirment que les stratégies de conception des AC (instrumentation) influencent les stratégies de lecture (instrumentalisation) du même. Ce constat est conforme à l'idée ergonomique de l'acte instrumental et sous-tend le travail collaboratif entre le concepteur et l'utilisateur. En effet, les deux travailleurs de la connaissance agissent de manière agencée à l'intérieur d'un système sociotechnique de connaissance.

3. Portée, limites et perspectives

Les principales contributions de cette thèse peuvent être synthétisées en trois points. Premièrement, cette recherche montre qu'il est possible et pertinent d'étudier l'interaction des humains avec la connaissance à partir d'une approche instrumentale. Les méthodes développées et présentées lors de ce travail de recherche permettent d'étudier les relations entre les objets artefactuels de la connaissance (documents de type texte) et leurs usages, qui se manifestent via le geste lecteur d'un agent cognitif. Deuxièmement, ces deux méthodes LGV et CVK rendent possible la réalisation d'analyses à différentes échelles : d'une échelle macro à une échelle micro du phénomène d'interaction. Ce changement d'échelle facilite la compréhension et la caractérisation des éléments constitutifs et fonctionnels d'un artefact de connaissance. Il facilite également l'analyse des usages et des opérations menées par les agents cognitifs via le geste lecteur. Ce processus met en évidence l'activité. Troisièmement, ces méthodes facilitent l'étude

de la genèse instrumentale des artefacts de connaissance. Elles permettent d'étudier les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation inhérents aux activités des travailleurs de la connaissance. Ce type d'analyse met en évidence les processus de régulation et d'arbitrage mis en œuvre par un travailleur pour faire face à l'activité. Cette situation est cruciale dans le cadre de l'étude du travail de la connaissance à des fins ergonomiques.

Cependant, nous avons trouvé plusieurs limites dans le processus de développement de notre recherche. La première découle du caractère interdisciplinaire de notre recherche. Même si cette approche a été fondamentale pour développer nos outils et les mettre à l'épreuve, mettre en relation différentes approches théoriques sur les différents thèmes que nous avons traités a été un défi. Il nous semble nécessaire d'approfondir certains aspects liés à la linguistique ainsi qu'aux systèmes complexes afin améliorer le développement et l'utilisation des outils que nous avons proposés. Nous pensons qu'il est important de pouvoir inclure dans de futures recherches de nouveaux outils, modèles ou algorithmes pour le traitement du langage naturel.

Les quatre expériences de notre travail de recherche ont eu certaines limitations qui devraient être prises en compte dans les études futures. Par exemple, il serait souhaitable d'augmenter la taille des échantillons des expériences. Il faudrait également étudier des populations de travailleurs de la connaissance en différentes situations naturelles. Enfin, il est possible d'améliorer les critères d'inclusion des sujets dans les études, sur la base de variables comme le temps de travail ou le niveau de compétences en lecture. Quant à la méthode LGV, même si nos résultats montrent que technique de quantification d'objets de connaissance est fonctionnelle pour l'analyse de l'activité, il nous semble nécessaire de la tester dans d'autres types d'applications comme la fouille de textes, l'identification de motifs et de thèmes, ainsi que pour la classification de mots et de documents. Nous n'avons pas pu analyser directement ces situations dans notre recherche.

Un quatrième défi a été le travail multilingue. Notre recherche a pu surmonter ce défi dans des conditions relativement acceptables, mais une meilleure maîtrise du français et de ses aspects linguistiques aurait pu donner lieu à d'autres hypothèses de travail. Notre maîtrise limitée de la langue a probablement limité les résultats de cette recherche. Nous avons fait quelques tests du modèle LGV en espagnol et en anglais. Le premier a été mis à l'épreuve lors de la troisième expérience présentée auparavant, mais le modèle anglais n'a pas été testé dans une expérience réelle. La conception des objets de connaissance a été développée avec du matériel en espagnol, en raison des facilités offertes dans la langue maternelle du chercheur principal. Il conviendrait de répéter ce type d'expérience en français et de mieux contrôler les

variables de temps pour la création en laboratoire. Dans l'idéal, nous devrions analyser la création *in situ* et observer comment l'objet de connaissance est créé. Nous pourrions également incorporer d'autres types de variables, comme l'analyse des gestes moteurs productifs avec un stylo intelligent ou le mouvement des yeux. Même si ce type de méthodologie est utilisé dans notre recherche au niveau des objets de connaissance, il est important de tester cette méthodologie dans d'autres types d'applications, tels que l'analyse de scènes, l'utilisabilité et la navigation visuelle pour l'action.

Une cinquième limitation vient de l'utilisation du corpus de mouvements oculométriques de la deuxième expérience exploratoire. Étant donné que ce corpus est issu d'une expérience extérieure à cette recherche, nous n'avons pu contrôler ni la manière dont les données ont été collectées, ni les caractéristiques de la population du groupe de sujets expérimentaux qui pourraient expliquer en partie les phénomènes que nous avons identifiés. En outre, certains problèmes avec la qualité de ces données nous ont contraints à travailler avec un plus petit échantillon de sujets. Même si cela a facilité l'analyse, cela a également réduit le niveau d'impact et la signification des résultats.

Enfin, la quatrième expérience a utilisé un échantillon de population restreint à des étudiants de master et de doctorat. Cette expérience pourrait être répliquée avec des travailleurs de la connaissance expérimentés afin de vérifier comment les processus d'instrumentation modifient les stratégies développées parmi les experts. Il serait également intéressant de tester si la méthodologie du CVK est applicable et fonctionne bien avec d'autres langues comme l'espagnol et l'anglais, entre autres.

La route est longue dans le processus de développement des outils et des méthodologies pour l'étude de l'activité de connaissance. L'inclusion d'éléments et d'approches spécifiques à l'ergonomie de l'activité a enrichi favorablement le développement de cette recherche. Cependant, il semble nécessaire de travailler sur la ligne théorique de l'étude de l'activité de connaissance, la caractérisation du travailleur de la connaissance et les perspectives évolutives des systèmes sociotechniques de connaissance. Il est également important de tester nos méthodes dans d'autres d'études de terrain afin d'élargir encore leur gamme d'utilisation et d'application. Une question fondamentale qui pourrait guider de futures recherches est que ce type d'outil spécifique pourrait permettre d'analyser en détail les déterminants qui structurent une activité de connaissance, Comment pouvons-nous faire pour la comprendre et quelles sont les bases nécessaires pour la changer ?

Bibliographie

Alemdag, E. et Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers & Education*, 125, p. 413-428.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023>

Alioze. (2021, 3 septembre). Chiffres & Tendances Web 2020 - eCommerce SEO Marketing. *Alioze*. <https://www.alioze.com/chiffres-web>

Amadiou, F., Bastien, C. et Tricot, A. (2008). Les méthodes on-line 1 : analyse des parcours. Dans *Ergonomie des documents électroniques* (p. 251-270). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.cheva.2008.02.0251>

Amar, J. et Chatelier, H. L. (1914). *Le moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel*. H. Dunod et E. Pinat.

Anderson, J. R. (1991). The adaptive nature of human categorization. *Psychological Review*, 98(3), p. 409-429. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.98.3.409>

Aristote (1936). *De l'interprétation* (traduit par J. Tricot).

Atkinson, R. C. et Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory. Dans K. W. Spence et J. T. Spence (dir.), *Psychology of Learning and Motivation* (vol. 2, p. 89-195). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)

Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning* (vol. xiv). Grune & Stratton.

Baccino, T. et Colombi, T. (2001). L'analyse des mouvements des yeux sur le web. *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2), p. 127-148.

Baccino, T. et Pynte, J. (1998). Spatial Encoding and Referential Processing during Reading. *European Psychologist*, 3(1), p. 51-61. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.3.1.51>

Baccino, T., Salmerón, L. et Cañas, J. (2008). La lecture des hypertextes. Dans *Ergonomie des documents électroniques* (p. 9-34). Presses Universitaires de France.
<https://doi.org/10.3917/puf.cheva.2008.02.0009>

Backs, R. W. et Walrath, L. C. (1992). Eye movement and pupillary response indices of mental workload during visual search of symbolic displays. *Applied Ergonomics*, 23(4), p. 243-254. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(92\)90152-L](https://doi.org/10.1016/0003-6870(92)90152-L)

Baddeley, A. D. et Hitch, G. (1974). Working Memory. Dans G. H. Bower (dir.), *Psychology of Learning and Motivation* (vol. 8, p. 47-89). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)

Ballenghein, U. et Baccino, T. (2019). Referential processing during reading: concurrent recordings of eye movements and head motion. *Cognitive Processing*, 20(3),

p. 371-384. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0894-1>

Barrio, I. Ma. (2007). Legibilidad y Salud: Los métodos de medición de la legibilidad y su aplicación al diseño de folletos educativos sobre salud.

Bastien, J. et Scapin, D. L. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces. Inria. <https://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00070012/>

Bastien, J. et Scapin, D. L. (1995). Evaluating a user interface with ergonomic criteria. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(2), p. 105-121. <https://doi.org/10.1080/10447319509526114>

Binet, A. (1857-1911) A. du texte. (1894). *Introduction à la psychologie expérimentale / par Alfred Binet,...* ; avec la collab. de MM. Philippe, Courtier et V. Henri. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k758375>

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook 1: Cognitive Domain*.

Brion, S., Plas, J., Mikol, J., Jeanneau, A. et Brion, F. (2001). [Post-traumatic Korsakoff's syndrome: clinical and anatomical report]. *L'Encephale*, 27(6), p. 513-525.

Byrne, M. D., Anderson, J. R., Douglass, S. et Matessa, M. (1999). *Eye tracking the visual search of click-down menus*. New York, NY, USA (p. 402-409). <https://doi.org/10.1145/302979.303118>

Cashman, P. M. et Greif, I. (1984). Workshop on Computer-Supported Cooperative Work. <https://dl.eusset.eu/handle/20.500.12015/4115>

Castells, M. (1996). La era de la información. Economía, sociedad y cultura.

Castells, M. (2000). *La era de la información. Economía, sociedad y cultura*. <https://www.traficantes.net/libros/la-era-de-la-informaci%C3%B3n-econom%C3%ADa-sociedad-y-cultura>

Castells, M. (2010). *The rise of the network society* (2^e éd., vol. 1). Wiley-Blackwell. <http://prezi.com/alkz6i1an5tr/la-era-de-la-informacion-m-castells-prologo-la-red-y-el-yo/>

Castells, M., Castells, M., Castells, M., Castells, M., Castells, M. et Castells, M. (dir.). (2004). *The Network society: a cross-cultural perspective*. Edward Elgar Publishing.

Chanel, J. (1964). Aspects cybernétiques de la physiologie des comportements. *Esprit* (1940-), (331 (10)), p. 630-651.

Chauveau, A. (1827-1917) A. du texte. (1891). *Le Travail musculaire et l'énergie qu'il représente*, par A. Chauveau. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6342009c>

Choi, Y.-H. (2001). Sémiotique et sémantique. *Linx*, (44), p. 75-84. <https://doi.org/10.4000/linx.1035>

- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax* (50^e éd.). The MIT Press.
<https://www.jstor.org/stable/j.ctt17kk81z>
- Clark, A. et Chalmers, D. (1998). The Extended Mind. *Analysis*, 58(1), p. 7-19.
- Clot, Y. (2004). Action et connaissance en clinique de l'activité. *Activites*, 01(1).
<https://doi.org/10.4000/activites.1145>
- Cole, M. (2017). *Selected Writings of A.R. Luria*. Routledge.
- Collins, A. (1969). *Retrieval Time from Semantic Memory*. Academic Press.
- Courrier, Y. (2005). *L'UNESCO sans peine*. L'Harmattan.
- Cuny, X. (1993). Les variations en analyse du travail. *Le Travail Humain*, 56(2/3), p. 233-241.
- DEPS. (2017). *Chiffres clés 2017: statistiques de la culture et de la communication*. Ministère de la culture et de la communication.
- Desclés, J.-P. (2005). Représentations cognitives opérées par les langues. *Neophilologica*, (17), p. 17-42.
- Desnoyers, L. (2004). 5. La prise d'information. Dans *Ergonomie* (1^{re} éd., p. 83). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0083>
- Dictionnaire de français Larousse, É. (2020, mai). *Définitions : représentation*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/repr%C3%A9sentation/68483>
- Dieguez, S. et Annoni, J.-M. (2013). Stranger than fiction: literary and clinical amnesia. *Frontiers of Neurology and Neuroscience*, 31, p. 137-168. <https://doi.org/10.1159/000345526>
- Dinet, J. et Tricot, A. (2008). Recherche d'information dans les documents électroniques. Dans *Ergonomie des documents électroniques* (p. 35-69). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.cheva.2008.02.0035>
- Drucker, P. F. (1959). *Landmarks of tomorrow*. Harper.
- Efros, D., Lemaître, C. N. et Belliès, L. (2015). Analyser l'activité pour comprendre le travail, p. 10.
- Elstein, A. et Bordage, G. (1988). Psychology of clinical reasoning. Dans *Professional Judgment: A Reader in Clinical Decision Making*. Cambridge University Press.
- Engestrom, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research* (1^{re} éd.). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139814744>
- Eysenck, M. W. et Keane, M. T. (2005). *Cognitive psychology: A student's handbook*, 5th ed (p. ix, 646). Psychology Press.

- Falzon, P. (2004). *Ergonomie*. Presses Universitaires de France.
<https://www.cairn.info/ergonomie--9782130514046.htm>
- Falzon, P. (2013). *Ergonomie constructive*.
- Faverge, J.-M. (1966). *L'Ergonomie des processus industriels*. Editions de l'Institut de Sociologie de l'Université Libre de Bruxelles.
- Fenn, J. et Raskino, M. (2008). *Mastering the Hype Cycle: How to Choose the Right Innovation at the Right Time*. Harvard Business Press.
- Flesch, R. (1948). A new readability yardstick. *Journal of Applied Psychology*, 32(3), p. 221-233. <https://doi.org/10.1037/h0057532>
- Fodor, J. A. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press.
- Fournier, M. (2016). *Éduquer et former : connaissances et débats en éducation et formation* (nouvelle éd. revue et augmentée). Éditions « Sciences humaines ».
- Fuchs, C. (2004). *Pour introduire à la linguistique cognitive*. La linguistique cognitive.
<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00067934>
- García Leal, O. et Pedroza Cabrera, F. (2011). Sistemas basados en conocimiento: Una alternativa poco explorada en psicología. *Journal of Behavior, Health & Social Issues*, 3(1), p. 5. <https://doi.org/10.5460/jbhsi.v3.1.27672>
- Gilbreth, F. B. et Gilbreth, L. M. (1916). The Effect of Motion Study Upon the Workers. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 65(1), p. 272-276. <https://doi.org/10.1177/000271621606500130>
- Goldberg, J. et Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(98\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(98)00068-7)
- Google. (2021). Books of the world. <http://booksearch.blogspot.com/2010/08/books-of-world-stand-up-and-be-counted.html>
- Guiraud, P. (1954). *Les caractères statistiques du vocabulaire : essai de méthodologie*. Presses universitaires de France.
- Guiraud, P. L. (dir.). (1960). *Problèmes et méthodes de la statistique linguistique*. Springer Netherlands. <https://www.springer.com/gp/book/9789027700254>
- Hayes-Roth. (1984). Knowledge-Based Expert Systems. *Computer*, 17(10), p. 263-273. <https://doi.org/10.1109/MC.1984.1658976>
- He, C. (2021, 31 décembre). *Transformer in CV*. Medium.
<https://towardsdatascience.com/transformer-in-cv-bbdb58bf335e>
- Henderson, J. M. (1992). Object identification in context: The visual processing of natural scenes. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 46(3),

p. 319-341. <https://doi.org/10.1037/h0084325>

Hilpinen, R. (1995). Belief Systems as Artifacts. *The Monist*, 78(2), p. 136-155.

Hilpinen, R. (2008). On artifacts and works of art1. *Theoria*, 58(1), p. 58-82.
<https://doi.org/10.1111/j.1755-2567.1992.tb01155.x>

Hoc, J. M. (2000). La relation homme-machine en situation dynamique. *Intelligence Artificielle*, 14(1-2), 55-71..

Hoc, J. M. (2003). *Ingénierie Cognitive : IHM et cognition - Chapitre 5*.
<https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/ingenierie-cognitive-ihm-et-cognition-9782746205710/>

Hollnagel, E. et Woods, D. D. (2005). *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*. CRC Press.

Houkes, W., Vermaas, P., et The Hegeler Institute. (2004). Actions Versus Functions: A Plea for an Alternative Metaphysics of Artifacts. *Monist*, 87(1), p. 52-71.
<https://doi.org/10.5840/monist20048712>

Hutchins, E. (2006). *Cognition in the wild*. MIT Press.

Hutchins, E. et Klausen, T. (1996). Distributed cognition in an airline cockpit. Dans Y. Engestrom et D. Middleton (dir.), *Cognition and communication at work* (p. 15-34). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174077.002>

IEA. (2000). What Is Ergonomics? <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>

Isaac, H., Campoy, E. et Kalika, M. (2007). Surcharge informationnelle, urgence et TIC. l'effet temporel des technologies de l'information. *Management & Avenir*, 13(3), p. 149.
<https://doi.org/10.3917/mav.013.0149>

Jackson, P. (1987). Review of knowledge-representation tools and techniques. *IEE Proceedings D Control Theory and Applications*, 134(4), p. 224. <https://doi.org/10.1049/ip-d.1987.0038>

James, W. (1890). *The principles of psychology, Vol I*. (p. xii, 697). Henry Holt and Co.
<https://doi.org/10.1037/10538-000>

Jamet, É., Lemerrier, C. et Février, F. (2008). Évaluer l'utilisation d'un document a posteriori : les méthodes off-line. Dans *Ergonomie des documents électroniques* (p. 231-250). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.cheva.2008.02.0231>

Javal, É. (1905). *Physiologie de la lecture et de l'écriture*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511694561>

Just, M. A. et Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), p. 329.

Karnas, G. et Salengros, P. (2017). L'analyse du travail trente ans après Ombredane et Faverge. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (19-2). <https://doi.org/10.4000/pistes.5122>

Kopelman, M. D. et Bright, P. (2012). On remembering and forgetting our autobiographical pasts: retrograde amnesia and Andrew Mayes's contribution to neuropsychological method. *Neuropsychologia*, 50(13), p. 2961-2972. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.028>

Koszowska-Nowakowska, P. et Renucci, F. (2011). L'hypertexte : approches expérimentale et herméneutique. *Les cahiers du numérique*, 7(3-4), p. 71-91. <https://doi.org/10.3166/lcn.7.3-4.71-91>

Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A. et Hossner, E.-J. (2017). Eye-Tracking Technology and the Dynamics of Natural Gaze Behavior in Sports: A Systematic Review of 40 Years of Research. *Frontiers in Psychology*, 0. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01845>

Lahy, J.-M. et Korngold, S. (1936). *Recherches expérimentales sur les causes psychologiques des accidents du travail*. <https://data.bnf.fr/fr/temp-work/5a210508eb1bed69d5a59d2797540b0a/>

Langacker, R. W. (1987). *Foundations of cognitive Grammar. Volume 1*. Stanford University Press.

Langer, K. G. (2019). Early History of Amnesia. *Frontiers of Neurology and Neuroscience*, 44, p. 64-74. <https://doi.org/10.1159/000494953>

Larousse, É. (2021). Définitions : document - Dictionnaire de français Larousse. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/document/26265>

Latour, B. (1996). On actor-network theory: A few clarifications, p. 369-381.

Lebart, L. et Salem, A. (1994). *Statistique Textuelle*. <http://lexicometrica.univ-paris3.fr/livre/st94/st94-tdm.html>

Lecerf, C. (1997). *Une leçon de piano ou la double boucle de l'apprentissage cognitif*. Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis.

Lecun, Y. et Bengio, Y. (1995). Convolutional networks for images, speech, and time-series. Dans M. A. Arbib (dir.), *The handbook of brain theory and neural networks*. MIT Press.

Léoni, L. (2017). Histoire de la prévention des risques professionnels, p. 10.

Leontyev, A. N. (1981a). *Problems of the Development of the Mind*. Progress Publishers.

Leontyev, A. N. (1981b). Psychology and the Language Learning Process.

Leplat, J. (1982). Les situations de travail, terrains d'avenir pour la psychologie. Dans

Psychologie de demain, p. 311. Presses Universitaires de France.
<https://doi.org/10.3917/puf.frais.1982.01.0311>

Leplat, J. (1993). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique : recueil de textes. Tome 2*. Octarès Editions.

Leplat, J. (2006). La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (8-1). <https://doi.org/10.4000/pistes.3101>

Leplat, J. (2008). *Repères pour l'analyse de l'activité en ergonomie*. Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.lepla.2008.01>

Leplat, J. (2013). Les gestes dans l'activité en situation de travail. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (15-1). <https://doi.org/10.4000/pistes.2951>

Libório, A., Furtado, E., Rocha, I. et Furtado, V. (2005). *Interface design through knowledge-based systems: an approach centered on explanations from problem-solving models*, p. 127-134. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1122961>

Mandelbrot, B. B. (2010). *Les objets fractals : forme, hasard et dimension*. Flammarion.

Marin, B. et Legros, D. (2008). *Psycholinguistique cognitive*. De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.marin.2008.01>

Martin, A. (2013). *La cybernétique : entre reconnaissance et oubli d'un paradigme sociétal*, p. 67.

Martinez-Marquez, D., Pingali, S., Panuwatwanich, K., Stewart, R. A. et Mohamed, S. (2021). Application of Eye Tracking Technology in Aviation, Maritime, and Construction Industries: A Systematic Review. *Sensors*, 21(13), p. 4289. <https://doi.org/10.3390/s21134289>

Maturana, H. et Varela, F. (1980). *Autopoiesis and cognition: the realization of the living*. D. Reidel Pub. Co.

McLuhan, M. et Powers, B. R. (1989). *The Global Village: Transformations in World Life and Media in the 21st Century*. Oxford University Press.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), p. 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>

Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2019). *L'Éducation nationale en chiffres 2019*.

Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. (2011). *REME : répertoire des métiers et des compétences*. enseignementsup-recherche.gouv.fr. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/rem-repertoire-des-metiers-et-des-competences-du-ministere-de-l-enseignement-superieur-de-la-46099>

Minsky, M. (1974). *A framework for representing knowledge*.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-1446-7.50018-2>

Montmollin Maurice de. (dir) (1997). *Vocabulaire de l'ergonomie (2^e édition revue et augmentée)*. dir. Octarès éditions.

Morin, E. (1977). *La nature de la nature*. Seuil.

Mosso, A. (1846-1910) A. du texte. (1894). *La Fatigue intellectuelle et physique, par A. Mosso,...* Traduit de l'italien sur la 5^e édition... par P. Langlois.
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6340859d>

Muller (1909-2015), C. (1985). *Langue française, linguistique quantitative, informatique*. <https://data.bnf.fr/fr/temp-work/5390d9767a81b50c60930c693165a871/>

Muller, C. (1969). La statistique lexicale. *Langue française*, 2(1), p. 30-43.
<https://doi.org/10.3406/lfr.1969.5419>

Muller, C. (2000). *Principes et méthodes de statistique lexicale*. Honoré Champion.

Naylor, C. (1983). *Build your own expert system*. Sigma Technical Press.

Neboit, M. (1983). Évolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et avec l'expérience professionnelle. *Le Travail Humain*, 46(1), p. 33-48.

Newell, A., Shaw, J. C. et Simon, H. A. (1956). *Empirical explorations of the logic theory machine: a case study in heuristic*, p. 6.

Nicolas, S. (2005). Wundt et la fondation en 1879 de son laboratoire. *L'année psychologique*, 105(1), p. 133-170. <https://doi.org/10.3406/psy.2005.3823>

Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. Dans *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface*, p. 17-38. Cambridge University Press.

Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional science*, 19(1), p. 29-52.

Nyckees, V. (2007). La cognition humaine saisie par le langage : de la sémantique cognitive au médiationnisme. *Corela. Cognition, représentation, langage*, (HS-6).
<https://doi.org/10.4000/corela.1538>

Ogden, C. K. (Charles K., Richards, I. A. (Ivor A., Malinowski, B., Crookshank, F. G. (Francis G. et Postgate, J. P. (John P. (1923). *The meaning of meaning; a study of the influence of language upon thought and of the science of symbolism*. London, K. Paul, Trench, Trubner & Co. ; New York, Harcourt, Brace & Co.
<http://archive.org/details/meaningofmeaning00ogde>

Ohsuga, S. (1983). Knowledge-based man-machine systems. *Automatica*, 19(6), p. 685-691.

O'Regan, K. et Lévy-Schoen, A. (1978). Les mouvements des yeux au cours de la lecture. *L'année psychologique*, 78(2), p. 459-491. <https://doi.org/10.3406/psy.1978.28259>

Ouvrier-Bonnaz, R. et Weill-Fassina, A. (2015). *L'analyse du travail, ruptures et évolutions*. OCTARES Editions.

Pazos, F. S. (1993). *Sistemas predictivos de legibilidad del mensaje escrito: formula de perspicuidad*. Universidad Complutense de Madrid.

Pédauque, R. T. (2006). *Document à la lumière du numérique*. C&F éditions.

Peirce, C. S. et Deledalle, G. (1978). *Écrits sur le signe*. Seuil.

Peirce, C. S., Hartshorne, C., Weiss, P. et Burks, A. W. (1931). *Collected papers of Charles Sanders Peirce*.

Piaget, J. (1923). *Le Langage et la pensée chez l'enfant*, p. 212.

Piéron, H. (1922). V. Étude psychotechnique de quelques tests d'aptitude. *L'année psychologique*, 23(1), p. 144-175. <https://doi.org/10.3406/psy.1922.29785>

Quillian, M. R. (1966). *Semantic Memory*. Air Force Cambridge Research Laboratories, Office of Aerospace Research, United States Air Force.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462/document>

Rabardel, P. (2005). *Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir*, p. 22.

Rabardel, P., Neboit, M. et Laya, O. (1985). *Les stratégies visuelles dans la lecture du dessin technique : effets des objets représentés et de la compétence des sujets*, p. 14.

Rabardel, P. et Verillon, P. (1990). *Relations aux objets et développement cognitif*, p. 8.

Ramazzini, B. (1700). *De morbis artificum diatriba - Traité des maladies des artisans*, p. 1380-1382.

Ramirez, C. et Valdes, B. (2012). *A general knowledge representation model of concepts*. INTECH Open Access Publisher. <http://cdn.intechopen.com/pdfs/36656.pdf>

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), p. 372-422.

Reinhardt, W., Schmidt, B., Sloep, P. et Drachsler, H. (2011). Knowledge Worker Roles and Actions-Results of Two Empirical Studies: Knowledge Worker Roles and Actions. *Knowledge and Process Management*, 18(3), p. 150-174. <https://doi.org/10.1002/kpm.378>

Rekacewicz, P. (2006, 1^{er} février). La cartographie, entre science, art et manipulation. *Le Monde diplomatique*. <https://www.monde-diplomatique.fr/2006/02/REKACEWICZ/13169>

Rogalski, J. et Samurçay, R. (1993). *Task Analysis and Cognitive Model as a Framework to Analyse Environments for Learning Programming*. E. Lemut, B. du Boulay et G. Dettori (dir.), Berlin, Heidelberg, p. 6-19. https://doi.org/10.1007/978-3-662-11334-9_2

Roux, T. L. (2010). *Le siècle des hygiénistes*, p. 8.

Salem, A. (1986). Segments répétés et analyse statistique des données textuelles. *Histoire & Mesure*, 1(2), p. 5-28. <https://doi.org/10.3406/hism.1986.1518>

Salem, A. (1991). Les séries textuelles chronologiques. *Histoire & Mesure*, 6(1), p. 149-175. <https://doi.org/10.3406/hism.1991.1390>

Saussure (1857-1913), F. de. (1916). *Cours de linguistique générale*. https://data.bnf.fr/fr/12042896/ferdinand_de_saussure_cours_de_linguistique_generale/

Schement, J. R. (1990). Porat, Bell, and the information society reconsidered: The growth of information work in the early twentieth century. *Information Processing and Management*, 26(4), p. 449-465. [https://doi.org/10.1016/0306-4573\(90\)90067-C](https://doi.org/10.1016/0306-4573(90)90067-C)

Scott, N., Zhang, R., Le, D. et Moyle, B. (2019). A review of eye-tracking research in tourism. *Current Issues in Tourism*, 22(10), p. 1244-1261. <https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1367367>

Shannon, C. E. (1948). *A Mathematical Theory of Communication*, p. 55.

Sharafi, Z., Soh, Z. et Guéhéneuc, Y.-G. (2015). A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software engineering. *Information and Software Technology*, 67, p. 79-107. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.06.008>

Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2), p. 129-138. <https://doi.org/10.1037/h0042769>

Sperandio, J.-C., & Lévy-Leboyer, C. (1988). *L'ergonomie du travail mental*. Masson. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k48056648>

Sperandio, J.-C. et Boujou, F. (1983). L'exploration visuelle de données numériques présentées sur écran cathodique, p. 16.

Squire, L. R. et Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(24), p. 13515-13522. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.24.13515>

Squire, Larry R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), p. 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>

Stasi, A., Songa, G., Mauri, M., Ciceri, A., Diotallevi, F., Nardone, G. et Russo, V. (2018). Neuromarketing empirical approaches and food choice: A systematic review. *Food Research International*, 108, 650-664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.049>

Statista. (2021a). *Infographie : combien y a-t-il de sites Internet ?* Statista Infographies. <https://fr.statista.com/infographie/19063/nombre-de-sites-web-internet-dans-le-monde/>

Statista. (2021b). *IoT : nombre d'appareils connectés dans le monde*. Statista. <https://fr.statista.com/statistiques/584481/internet-des-objets-nombre-d-appareils-connectes-dans-le-monde--2020/>

Strahm, M., Kicka, M. et Baccino, T. (2008). Les méthodes on line 2 : mouvements oculaires. Dans *Ergonomie des documents électroniques*, p. 271-288. Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.cheva.2008.02.0271>

Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper.

Teiger, C. et Falzon, P. (1995). Construire l'activité. *Performances humaines et techniques, hors-série*, p. 34-40.

Theureau, J. (2010). Self-Confrontation Interviews, Re-Situating with Material Traces, and the 'Course of Action' Research Program. *Revue d'anthropologie Des Connaissances, Vol 4, N° 2(2)*, p. 287-322.

Thomas, R. M. et Michel, C. (1994). La théorie du développement cognitif de Piaget. Dans *Théories du développement de l'enfant*, p. 265-316. <http://www.cairn.info/theories-du-developpement-de-l-enfant--9782804115951-page-265.htm>

Tijus, C.-A. et Cordier, F. (2003). Psychologie de la connaissance des objets. Catégories et propriétés, tâches et domaines d'investigation. *L'année psychologique, 103(2)*, p. 223-256. <https://doi.org/10.3406/psy.2003.29635>

Tissot, S. A. A. D. (1728-1797) A. du texte. (1768). *De la santé des gens de lettres*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9761611b>

Tournier, M. (1980). D'où viennent les fréquences de vocabulaire ? La lexicométrie et ses modèles. *Mots, 1(1)*, p. 189-209. <https://doi.org/10.3406/mots.1980.1010>

Ullman, M. T. (2006). Is Broca's area part of a basal ganglia thalamocortical circuit? *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 42(4)*, p. 480-485. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70382-4](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70382-4)

UNESCO. (2005). *Vers les sociétés du savoir*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141907>

UNESCO. (2016). *El Mundo necesita casi 69 millones de nuevos docentes para cumplir con los objetivos de Educación de 2030*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246124_spa

Vanderhaegen, F. (1999). Cooperative System Organisation and task allocation: Illustration of task allocation in air traffic control. *Le Travail Humain, 62(3)*, p. 197-222.

Vanderhaegen, F. (2010). Autonomy Control of Human-Machine Systems. *IFAC Proceedings Volumes, 43(13)*, p. 398-403. <https://doi.org/10.3182/20100831-4-FR->

2021.00070

Varela, F. J., Rosch, E. et Thompson, E. (1992). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.

Vergnaud, G. (2008). De la didactique des disciplines à la didactique professionnelle, il n'y a qu'un pas. *Travail et Apprentissages*, N° 1(1), p. 51-57.
<https://doi.org/10.3917/ta.001.0051>

Vergnaud, G. (2011). La pensée est un geste. Comment analyser la forme opératoire de la connaissance. *Enfance*, 2011(01), p. 37. <https://doi.org/10.4074/S0013754511001042>

Vigotsky. (1978). Interaction between learning and development. *Mind and Society*, p. 79-91.

Vigotsky. (2004). *Teoría de las emociones: estudio histórico-psicológico*.
<http://site.ebrary.com/id/10877003>

Vigotsky et Cole, M. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Vigotsky et Cole, M. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica Barcelona.
http://www.academia.edu/download/38625235/El_desa_de_los_procesos_psico_sup.pdf.pdf

Villermé, L. R. (1840). *Tableau de l'état physique et moral des ouvriers employés dans les manufactures de coton, de laine et de soie*. JRenouard et cie. <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HMS.COUNT:1217578>

Vincent, J. (2012). Ramazzini n'est pas le précurseur de la médecine du travail: Médecine, travail et politique avant l'hygiénisme. *Genèses*, 89(4), p. 88.
<https://doi.org/10.3917/gen.089.0088>

von Neumann, J. (1951). The general and logical theory of automata. Dans *Cerebral mechanisms in behavior; the Hixon Symposium* (p. 1-41). Wiley.

Waterman, D. A. (1985). *A guide to expert systems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Waugh, N. C. et Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72(2), p. 89-104. <https://doi.org/10.1037/h0021797>

We Are Social. (2021, 27 janvier). *Digital 2021*. We Are Social UK.
<https://wearesocial.com/uk/blog/2021/01/digital-2021-uk/>

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA; a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), p. 36-45.
<https://doi.org/10.1145/365153.365168>

Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the*

Machine, Reissue of the 1961 second edition. MIT Press.

Wiener, N. (1950). *The human use of human beings: cybernetics and society.* Free Association Books.

Wiener, N. (1961). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (Reissue Of The 1961 Second Edition). MIT Press.

Wildgen, W. et Thom, R. (1999). *De la grammaire au discours : une approche morphodynamique.* P. Lang.

Wipfli, R. (2015). *Use of eye-tracking technology in clinical reasoning: a systematic review*, p. 6.

Wisner, A. (1985). Ergonomics in industrially developing countries. *Ergonomics*, 28(8), p. 1213-1224. <https://doi.org/10.1080/00140138508963244>

World Bank. (2021). *Artículos en publicaciones científicas y técnicas.*
<https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.JRN.ARTC.SC>

Worldmeter. (2021). *Book Statistics.* <https://www.worldometers.info/books/>

Yamamoto, S. et Kuto, Y. (1992). A method of evaluating VDT screen layout by eye movement analysis. *Ergonomics*, 35(5-6), p. 591-606.
<https://doi.org/10.1080/00140139208967839>

Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision.* Plenum Press.

Zipf, G. K. (1932). *Selected studies of the principle of relative frequency in language, by George Kingsley Zipf.* Harvard University Press.

Zipf, G. K. (1949). *Human behavior and the principle of least effort* (p. xi, 573). Addison-Wesley Press.

Annexe 1 - Exemple de Corpus textuelle

Exploration 1 - Lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV)

Corpus de base : Chambers-Rostand du français journalistique, distribué par l'université d'Oxford avec une licence libre « Créative Commons ».

Échantillon : 288 articles du journal *Le Monde* de l'année 2003 organisé en 6 groupes de 48 textes par catégorie

Type : Culture

Titre : CINEMA. MK2 allume à Tolbiac l'étincelle du cinéma

Sous-titre : La société du producteur et distributeur Marin Karmitz ouvre, au pied de la Bibliothèque François-Mitterrand, à Paris, un multiplexe de 14 salles. Dessiné par l'architecte Jean-Michel Wilmotte, le bâtiment de verre ambitionne d'amener la vie dans ce quartier inachevé et largement désert

Auteur : Frédéric Edelmann, Emmanuel de Roux

Texte : LA PARCELLE qu'occupe le nouveau complexe cinématographique de Marin Karmitz, au pied de la Bibliothèque François-Mitterrand, est une mince lamelle triangulaire, longue de plus de 300 mètres, espace résiduel acquis alors que l'avenue de France était encore un chantier et que la bibliothèque s'achevait seulement. C'est sur cette surface incommode que le producteur-distributeur a choisi d'implanter, non sans courage, le huitième élément de son empire parisien. La parcelle, coincée entre l'avenue et le parvis de la bibliothèque, avait participé à toutes les aventures de cette rive gauche caviardée. Il fut d'abord question d'y installer une sortie du métro Météor. Mais la SNCF, convoitant ce site pour y installer une gare pour trains de nuit, voulut garder les sous-sols, laissant le sol à l'Etat qui commença d'y rêver l'arrivée de Clara Clara, la grande sculpture de Richard Serra. Puis la SNCF s'étant aiguillée sur une autre voie l'Etat récupérera le sous-sol pour le rendre à la Semapa, organisatrice de toutes ces fêtes urbaines. L'idée de la sculpture avait conduit à prévoir, dans le plan d'occupation des sols (POS), une construction en surface de bonne hauteur. Nantie du sol et du sous-sol, la Semapa, pour tenter d'organiser son désert, laissa à Karmitz le site du futur MK2 pour une somme qu'on dit modique. Trois architectes furent alors proposés à Karmitz selon un règlement typiquement local : Dominique Perrault, d'abord. Ayant conçu la bibliothèque, il pouvait souhaiter contrôler son appui arrière. Paul Andreu ensuite, architecte de Roissy qui aura aussi été le plus farouche défenseur de la dalle. Enfin Jean-Michel Wilmotte, producteur d'architecture sympathique, qui a dessiné le kiosque à bons sentiments de Clara Halter, placé en l'an 2000 devant l'Ecole militaire. Choix limité ? Sans hésiter, Karmitz choisit Wilmotte. « Parce qu'il sait dialoguer avec son client », assure benoîtement le maître d'ouvrage impérieux. Il est certain que si dialogue il y eut, l'apport de l'homme d'image ne fut certainement pas mince. « Depuis vingt-cinq ans, explique-t-il, j'étais à la recherche d'un lieu où construire un complexe culturel axé sur le cinéma. J'avais déjà eu l'occasion de reprendre d'anciennes salles de cinéma ou d'en installer dans des bâtiments déjà existants. Jamais d'en créer ex nihilo. Quand on m'a demandé de m'installer ici, dans ce trou mal fichu, le paysage urbain m'a séduit : les voies ferrées en contrebas avec la grande halle de béton de la Sernam, le parvis de la bibliothèque, Bercy de l'autre côté de la Seine, le Panthéon et les tours de Notre-Dame dans le lointain. Et puis construire un

équipement culturel dans un quartier lui-même en construction, c'est assez excitant. » une lanterne magique Marin Karmitz a donc joué ici un rôle qu'il connaît bien, celui de producteur. Mais d'un producteur hollywoodien de la grande époque. Au-delà de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'oeuvre, le metteur en scène, c'est lui. S'il n'a pas tenu l'équerre et le compas, ce sont ses idées qui ont prévalu. Il ne voulait pas ici d'un grand geste architectural à la Frank Gehry à l'espace intérieur « écrasé » comme le sont selon lui ses oeuvres à Bilbao. Or, son idée de cinéophile, sensible aux réalisateurs « qui laissent beaucoup de place aux spectateurs, comme Godard, Kiarostami ou Kieslowski », était de « partir de l'intérieur du cinéma pour aller vers l'extérieur ». L'architecture de la salle - les 14 salles - devait donc commander le reste. Effectivement, la façade d'entrée du complexe correspond au dos de l'écran de la plus grande salle (600 places) et la courbe de ses volumes se lit dans la grande rue intérieure qui traverse le bâtiment. Même la place qui précède l'entrée est traitée comme une salle de projection en plein air. Il fallait ensuite inscrire cet ensemble de verre et de béton dans les lumières de la ville. D'où la reprise de l'idée, désormais un classique des multiplexes intelligents, d'une lanterne magique donnant dans la journée le sentiment d'une transparence totale et permettant de déchiffrer « de l'intérieur » le spectacle de la ville. « Ma référence, ce sont les studios de l'époque de Griffith, ouverts sur la nature extérieure, mais avec plein de décors intérieurs », précise Karmitz. Des décors savamment « éclairés » par des plasticiens de la lumière, Jacques Bobroff ou Matteo Messervy, et un design au rasoir, signé Martin Szekely. Des professionnels tous choisis par lui. « Ce ne sont pas des détails. Le système de présentation d'une oeuvre influe sur l'oeuvre présentée. C'est pour cela que mes 14 salles ont des jauges très différentes, de 600 à 80 places, car on n'exécute pas de la musique symphonique dans les mêmes volumes que de la musique de chambre », feint-il de redécouvrir. De la même manière, il a voulu abriter des boutiques, des restaurants, des cafétérias et un bel espace d'exposition pour les arts plastiques, le tout dans un volume ouvert au public qui peut y déambuler selon la vieille formule parisienne des passages couverts. « Je voulais créer des passerelles entre le cinéma et les autres formes d'expression artistique. » Aussi, pour l'inauguration du MK2 Bibliothèque, le 17 février, les galeries de la rue Louise-Weiss, toute proche, ont envoyé une « délégation » : Mac Adams, Dominique Petitgand, Florence Paradeis, Patrick Corillon, Ange Leccia, Marylène Negro, Richard Fauguet, Yvan Salomone, Jersey Seymour, dont les photos, installations, collages ou enregistrements ont tous un lien avec le cinéma. N'y a-t-il pas un risque commercial à s'installer dans un quartier inachevé, très enclavé, largement désert pendant la journée, vide le soir ? « Lorsque j'ai ouvert les salles du quai de Seine, près de Stalingrad, le quartier était sinistre, dangereux, les gens n'osaient plus y sortir le soir. En 2002, j'y ai reçu 550 000 spectateurs. A partir du moment où l'on crée un lieu de vie, on amène la vie. » Pour rentabiliser cet investissement, « 30 millions d'euros, autant que la dernière production d' Astérix », Marin Karmitz table sur les 7 000 lecteurs quotidiens de la BNF, les premiers habitants du quartier et, demain, sur les étudiants des nouvelles universités. Mais surtout sur le bouche-à-oreille, capable de remplir ses confortables doubles fauteuils et ses restaurants aux noms évocateurs : Jules et Jim, Limelight et MCafé.

Type : Sports

Titre : Ski alpin. Les slalomeurs, dernière chance pour l'équipe de France

Sous-titre : Après une semaine de compétition, le ski tricolore n'a pas réussi à décrocher une médaille aux Mondiaux de Saint-Moritz (Suisse). Les espoirs se sont déplacés sur Jean-Pierre Vidal, champion olympique de slalom Championnats du monde à Saint-Moritz.

Auteur : Olivier Zilbertin

Texte : SAINT-MORITZ (Suisse) de notre envoyé spécial Ainsi vont les championnats du monde de ski. Les uns en ont fini, les autres commencent. Là, on fait ses valises, on plie déjà ses souvenirs; avant de les ranger au fond du sac, on contemple une dernière fois ce que l'on ramène des Grisons, médailles ou désillusions. Ici, on débarque, on s'installe. On tourne inévitablement le regard vers l'étourdissante majesté des cimes. On rêve de lendemains qui gagnent, de bras levés au ciel, de bouquets, de médailles et de drapeaux. Les uns s'en vont, les autres arrivent, donc. A l'Hôtel Bernina de Samedan, où le ski tricolore a posé ses bagages entre boiseries et tapisseries, le chassé-croisé n'a rien de brutal. On se passe le témoin en douceur, avec mille précautions. Dans une alcôve, penchée sur un ordinateur portable, Carole Montillet paraît ne point ruminer les revers de fortune de ces derniers jours. Jeudi, elle chaussera de nouveau ses skis pour participer à sa troisième course des championnats du monde, le géant. Pas une nouvelle lubie, non. Un sujet qui revient de plus en plus fréquemment dans sa conversation. Et pour cause : si d'aventure, elle se mettait en tête de postuler pour le premier rôle du classement général de la Coupe du monde, ne lui faudrait-il pas aller glaner des points supplémentaires dans une troisième discipline ? Pour l'heure, elle n'affiche certes que des ambitions très mesurées. Mais Lionel Finance, le directeur sportif du ski féminin, assure qu'il l'a vue quelques fois accomplir des prouesses dans l'exercice. A suivre. Carole Montillet s'éclipse. Au piano-bar, la musique est lancinante et se fait de plus en plus sucrée. A la réception, on se demande si Marcel Calvat, le nouveau président de la Fédération française de ski, est attendu pour le soir même ou pour le lendemain. Dans un autre salon boisé de l'hôtel rose pâle, les « géantistes » et les slalomeurs français prennent leurs dernières marques avant les grandes explications finales de ces championnats du monde. Depuis le week-end, ils ont eu tout loisir de goûter une neige « agressive », qu'ils connaissent bien, qui ne leur va guère, mais à laquelle il faudra bien qu'ils s'adaptent, selon les mots du champion olympique de slalom Jean-Pierre Vidal. « dans le coup » Scènes de vie du ski français, un soir de transition aux championnats du monde. Le temps déjà d'un premier décompte. « Carole Montillet, 7e en descente; Pierrick Bourgeat, 4e en combiné; Antoine Dénériaz, 8e en descente, énumère Gérard Rougier, le directeur technique national (DTN) du ski français. Les résultats de la première semaine sont finalement dans la lignée du début de saison : c'est une équipe qui est là, qui est dans le coup, qui n'est pas loin des meilleurs, à qui il ne manque pas grand-chose. » Pas grand-chose, sauf l'essentiel : une médaille qui n'aurait pas fait vilain dans la vitrine de l'hôtel. Aux Jeux olympiques de Salt Lake City, à la même époque en 2002, il y avait déjà l'or de Carole Montillet. Et comme depuis, libérée, la jeune femme avait commencé de se bricoler un beau petit palmarès en Coupe du monde, les esprits s'étaient logiquement échauffés. « Oui mais Carole n'a pas eu de chance, remarque le DTN. Dans une des courses - le super-G -, la météo ne lui a pas souri. Dans l'autre - la descente -, une piste peu sélective a nivelé les valeurs. D'ailleurs, aucune des favorites des courses de vitesse féminines ne se retrouve sur un podium. Quand les pistes sont comme ça, moins sélectives, les écarts se réduisent, et la chance prend alors une part plus importante dans le résultat. Depuis le début, la chance n'est décidément pas de notre côté. Mais il n'y a pas péril, on va la provoquer et elle va tourner. » Gérard Rougier le sait : un bon résultat d'emblée est souvent manière de déclic. « Il est incontestable que la victoire de Carole avait provoqué l'étincelle à Salt Lake City », dit-il. Mais il sait aussi combien les voies du destin sportif peuvent être impénétrables. « Aux Jeux en 2002, on misait beaucoup sur Frédéric Covili, alors leader de la Coupe du monde de géant, pour donner le ton, et cela n'avait pas marché. En revanche, Carole n'avait rien gagné et n'était pas attendue », rappelle-t-il. Autant dire que l'échec de cette première semaine, les skieurs tricolores le passeraient volontiers par pertes et profits. « Bien sûr, précise Jean-Pierre Vidal, ce serait mieux si il y avait déjà eu des médailles. Mais on sait qu'on ne peut pas en avoir

à tous les coups, c'est le sport. Si cela doit être à nous d'aller les chercher le dernier jour, ce sera un magnifique challenge à relever, et une occasion supplémentaire de se serrer les coudes.

Type : Nature

Titre : La pollution au fioul progresse vers le nord du littoral atlantique

Sous-titre : Le parquet de Brest a ouvert une information judiciaire, jeudi 2 janvier, pour déterminer les responsabilités dans le naufrage du « Prestige » Deux articles - Marée noire du " Prestige ".

Auteur : Benoît Hopquin

Texte : LA POLLUTION ne cessait de s'étendre sur la façade atlantique française, jeudi 2 et vendredi 3 janvier. Après un long séjour en mer, depuis le lieu du naufrage du Prestige, au large de la Galice, le fioul lourd arrive sous forme de boulettes, de plaques ou de pastilles qui se déposent à chaque marée. Après les Landes, la Gironde et la Charente-Maritime, la Vendée redoutait l'invasion, un avion de la Marine nationale ayant repéré des galettes au large des Sables-d'Olonne. Les courants et la tempête font dériver les résidus toujours plus au nord. Deux concentrations principales étaient observées au large. La première dérive à 80 kilomètres des côtes, entre Oléron et La Rochelle. La seconde se situe à 220 kilomètres de la façade de la Gironde. Les quantités sont difficiles à évaluer, la préfecture maritime évoquant entre 5 000 et 10 000 tonnes. Mais il s'agit d'un produit fortement émulsionné, c'est-à-dire mêlé d'eau, après plusieurs semaines en mer. L'importante concentration de fioul repérée à une centaine de kilomètres au large de la Gironde est en train de se fragmenter, sans qu'il soit possible de prévoir où elle touchera la côte. « Cette nappe, sous l'effet des vents et des courants, est en train de se pulvériser en une accumulation de millions de boulettes et, si les vents continuent à souffler, cette pollution devrait arriver sur une étendue très vaste dans un délai assez court, peut-être ce week-end », a expliqué, jeudi, Christian Frémont, préfet d'Aquitaine. Cette dispersion rend plausibles les prévisions d'écologistes comme Jacky Bonnemaïn, de l'association Robin des Bois, qui redoute que la pollution ne remonte jusqu'en Bretagne. Les autorités s'attendent pour leur part à une longue guérilla contre des arrivées erratiques d'hydrocarbures. Après les Pyrénées-Atlantiques et les Landes, le plan Polmar-terre a été déclenché en Gironde et devait l'être, vendredi, en Charente-Maritime, selon Roselyne Bachelot, ministre de l'écologie. Le nettoyage se poursuivait par petites équipes au gré des arrivages, à la main ou à l'aide de cribleuses. Pompiers et employés municipaux arpentaient la côte, à la recherche de dépôts. Les plages de Biscarrosse, Mimizan (Landes), Montalivet, Hourtin, Carcans-Maubuisson, La Teste (Gironde) ont été frappées. « Je suis consterné, je ne sais pas comment on peut faire », a déclaré à l'Agence France-Presse Michel Sammarcelli, maire de Lège-Cap-Ferret, dont la bande littorale figure parmi les plus touchées. Appel aux volontaires Des milliers de boulettes gluantes se déposent et doivent être ramassées immédiatement, avant de s'incruster dans le sable. Les sites touchés ont été interdits aux curieux, afin d'éviter qu'ils n'enfoncent le pétrole par leur piétinement. Si l'afflux devait se poursuivre, la municipalité envisage de faire appel aux volontaires qui se sont déjà inscrits à la mairie. A d'autres endroits, comme dans le bassin d'Arcachon, les arrivages sont beaucoup plus modestes. Les ostréiculteurs et les habitants font remarquer que cette pollution n'a rien d'exceptionnel, qu'elle correspond au volume qui se récolte à l'année longue après chaque dégazage. Les professionnels de la mer et du tourisme s'inquiètent aujourd'hui d'une trop grande médiatisation de cette pollution, alors que vont débiter les réservations pour la prochaine saison estivale. La météo s'étant apaisée, l'Ailette, bateau de lutte contre la pollution en mer, a pu appareiller, vendredi, du port espagnol de Gijón et devrait revenir dans les eaux

françaises. Des chalutiers ont également quitté Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques) et Saint-Gilles-Croix-de-Vie (Vendée), afin de tenter de récupérer une partie de la pollution dans des filets spéciaux. Un navire de patrouille équipé d'un hélicoptère coordonnera les opérations. Le parquet de Brest a ouvert jeudi une information judiciaire, a annoncé la présidence de la République dans un communiqué. « La pollution qui touche maintenant les côtes françaises nécessite de passer au stade de l'information judiciaire, précise l'Elysée. De façon que les responsables de cette catastrophe écologique soient recherchés et sanctionnés, qu'il s'agisse des responsables à bord, ou du propriétaire, de l'exploitant ou de leurs représentants.

Type : Économie

Titre : Etats de non-droit

Sous-titre : URSS - Russie et les anciennes républiques de l'Union soviétique dont l'Azerbaïdjan (Gueïdar Aliev) et la Géorgie (Edouard Chevardnadze) - La démission de l'oligarque Mikhaïl Khodorkovski

Auteur :

Texte : LES ANCIENNES Républiques de l'Union soviétique n'en finissent pas de liquider leur passé, douze ans après l'effondrement du communisme. Mis à part les trois Républiques baltes, qui vont rejoindre l'Union européenne le 1er mai 2004, les autres morceaux de l'ex-empire, Russie en tête, ont abandonné le système totalitaire pour sombrer dans l'autoritarisme ou le chaos. On est loin des lendemains radieux et démocratiques espérés après la dislocation de l'URSS. La situation n'est pas la même partout. Les Républiques d'Asie centrale sont gouvernées selon les principes du despotisme oriental. C'est aussi le cas de l'Azerbaïdjan, où Gueïdar Aliev a transmis, le 15 octobre, la présidence à son fils Ilham après une caricature d'élections et des arrestations massives. Les observateurs internationaux, qui ont le sens de la litote, ont constaté d'« évidentes irrégularités ». Ils ont fait de même, dimanche 2 novembre, dans une autre République du Caucase, la Géorgie, qui renouvelait son Parlement. Le président Edouard Chevardnadze avait promis que le scrutin serait libre. Il ne l'a été que partiellement, la campagne ayant été parsemée de violences. Au moins, M. Chevardnadze n'a-t-il pas fait bourrer les urnes pour que son parti, arrivé tout de même en tête, ne perde pas la majorité. Gueïdar Aliev et Edouard Chevardnadze ont eu la même formation. Ils viennent tous les deux du KGB, qu'ils ont dirigé dans leur République respective du temps de l'URSS. Mais le président géorgien n'est pas, ou pas seulement, un petit potentat local. Aux côtés de Mikhaïl Gorbatchev, il a été un des héros de la réforme et de la liquidation du régime soviétique. Son malheur est d'être à la tête d'un pays à bout de souffle, tenu à bout de bras par les Etats-Unis, contaminé par la guerre en Tchétchénie et menacé par des sécessions encouragées depuis Moscou. En Russie aussi, le président a fait ses classes au KGB, et ce passage dans les « organes » laisse des traces dans sa manière de gouverner ou de s'entourer, dans ses rapports pour le moins ambigus avec l'Etat de droit. Il ne se maintient pas au pouvoir par la répression massive. Il organise la « démocratie » de telle sorte que son parti domine la Douma après les élections de décembre et qu'il soit certain de gagner le scrutin présidentiel de mars 2004. L'attaque contre les oligarques, et notamment contre Mikhaïl Khodorkovski, le patron de Ioukos qui vient de démissionner depuis sa cellule, fait partie de cette stratégie. Non seulement elle écarte des rivaux potentiels, mais elle assure un regain de popularité dans une opinion russe plus hostile aux nouveaux riches que sensible au respect de la loi. Traditionnellement en Russie, la loi n'est pas là pour être respectée mais pour être interprétée, et donc violée, soit par les citoyens, soit par le pouvoir qui maintient ainsi son emprise sur la société. M. Poutine en apporte

une nouvelle fois la démonstration. C'est, entre autres, ce qui sépare la Russie des démocraties occidentales.

Type : Finances

Titre : La croissance française est toujours à la recherche de son moteur

Sous-titre : Les entreprises vont donner la priorité à l'assainissement financier et aux gains de productivité, avant de renforcer leurs capacités de production

Auteur : Quentin Domart

Texte : Le repli de l'excédent commercial français au mois de mars, annoncé par les douanes le jeudi 14 mai, confirme les prévisions pessimistes des économistes sur les évolutions de la demande extérieure pour l'année 2003. La situation économique de notre principal partenaire commercial, l'Allemagne, qui vient de rentrer en récession, et l'appréciation de l'euro par rapport au dollar, ne permettent pas d'espérer un retournement de tendance. Le moteur « commerce extérieur » serait donc en panne. La France dispose-t-elle de piles de rechange ? Côté gouvernement, situation budgétaire oblige, il n'y a guère de relève à attendre. Côté ménages, la consommation demeure stable, mais les inquiétudes grandissantes sur le chômage et la retraite ne permettent pas d'anticiper d'amélioration à court terme. Reste alors l'investissement des entreprises. Pour le directeur de la veille stratégique du groupe de la Caisse des dépôts et des consignations, Christian de Perthuis, la question n'est pas de savoir si le redémarrage de l'investissement des entreprises aura lieu - après sept trimestres consécutifs de baisse, ce dernier semble avoir atteint un point plancher et ne pourrait que remonter - mais plutôt de savoir quand il aura lieu. Question d'autant plus primordiale que la reprise en est tributaire. Qu'est ce qui militerait en faveur d'un redémarrage de l'investissement des entreprises françaises ? Premier point positif pour Caroline de Tinguy, économiste à la Société générale, « la situation financière des entreprises est meilleure que prévu ». Selon cette spécialiste, les entreprises ont déjà engagé la restauration de leurs marges financières, comme le montre la légère amélioration du taux de marge fin 2002 (32,1 % en 2002 contre 31,6 % en 2001), qui devrait continuer à augmenter en 2003. En outre, les conditions financières sont relativement favorables, avec des taux d'intérêt réels qui n'ont jamais été aussi faibles, de l'ordre de 0,7 %. Enfin, l'appréciation de l'euro par rapport au dollar incite les exportateurs à une recherche accrue de compétitivité, et implique donc des investissements de productivité plus importants. Pourtant, Caroline de Tinguy estime que ces éléments constituent plus une base nécessaire à un redémarrage de l'investissement qu'un catalyseur de la reprise. « Il n'y a pas de sursaut à attendre, la reprise sera graduelle ». En effet, la frilosité des entrepreneurs reste forte. Economiste à la société de Bourse Aurel Leven, Jean-Louis Mourier s'attend à un redémarrage de l'investissement d'ici deux trimestres, c'est-à-dire au début de 2004. Selon l'Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE), après une décroissance de 1,2 % en 2002, l'investissement des entreprises reculera cette année de 2,4 %, avant de repartir sur un rythme de croissance de 2,2 % en 2004. Au-delà des risques que perçoivent leurs dirigeants (inquiétudes géopolitiques, incertitudes quant aux conséquences de la pneumonie atypique, peur de la récession allemande...), les entreprises n'ont pas tout à fait achevé leur période d'ajustement financier. D'autre part, Jean-Louis Mourier insiste sur le fait que le coût, même faible, du capital pèse moins sur les décisions d'investissement que les anticipations plus ou moins bonnes des entreprises quant à leurs débouchés éventuels : la dégradation du marché de l'emploi, les tensions sociales

grandissantes et la bonne tenue du taux d'épargne, ne devraient pas permettre à la consommation de rebondir avant la fin de l'année. En somme, les spécialistes s'accordent à penser que les investissements de l'année 2003 iront plutôt dans le sens de la rationalisation du processus de production et du remplacement des équipements, que dans celui d'un développement de capacités productives supplémentaires. Pour Caroline de Tinguy, il s'agit - entre autres - de moderniser l'appareil de production dans son ensemble. Pour Jean-Louis Mourier, « il ne suffit pas de réduire la voilure », il faut aussi mettre en place un processus d'ajustement qui peut s'avérer coûteux. Une partie des ressources dégagées seraient donc affectées à l'effort de consolidation des bilans financiers. « La recherche de gains de productivité prendrait le pas sur l'investissement véritablement productif ». Les perspectives de croissance semblent donc grippées, d'autant que la recherche de gains de productivité ainsi engagée rendra la faible reprise qui se profile encore moins riche en emplois. Tout semble reposer sur un retournement de la confiance pour qu'une dynamique vertueuse s'impose. Sans leviers budgétaires et monétaires, c'est vers cette variable psychologique que se tourne le gouvernement. Une méthode Coué de la croissance en quelque sorte.

Type : International

Titre : DROITS DE L'HOMME. Chirine Ebadi, le Nobel qui embarrasse les islamistes à Téhéran

Sous-titre : La militante des droits de l'homme est la première femme musulmane à être distinguée par le comité d'Oslo. La désignation de cette avocate, pratiquement inconnue en dehors de son pays, est un message en direction du régime des mollahs, dont la légitimité est de plus en plus contestée

Auteur : Michel Bôle-Richard, Mouna Naïm

Texte : Si le gouvernement réformateur à TÉHÉRAN a finalement félicité Chirine Ebadi pour l'attribution du prix Nobel de la paix 2003 après un sérieux cafouillage, cette récompense irrite les conservateurs, qui voient dans cette distinction une nouvelle CONSPIRATION de l'étranger au moment même où se pose la délicate question du nucléaire. Assadollah Badamchian, homme politique conservateur a qualifié le prix d' « INFAMIE » ajoutant que Mme Ebadi avait été récompensée « pour les services rendus à l'oppression et au colonialisme occidentaux ». Avocate et ancienne magistrate écartée par les islamistes lors de leur arrivée au pouvoir en 1979, cette militante s'est surtout consacrée à la défense des femmes et des enfants. Elle est la première FEMME MUSULMANE à être honorée par le comité d'Oslo. JEAN PAUL II et Vaclav Havel étaient donnés favoris. Finalement, le jury d'Oslo s'est prononcé en faveur d'une militante des droits de l'homme iranienne, Chirine Ebadi, pratiquement inconnue. Elle est la première femme musulmane à recevoir cette distinction parce qu'elle « s'est exprimée clairement et fortement dans son pays et loin à l'extérieur des frontières de l'Iran. Musulmane avertie, elle préconise que la pédagogie et le dialogue sont le meilleur moyen pour changer les attitudes et résoudre les conflits ». Est-elle pratiquante ? Elle refuse de répondre à cette question, se contentant de s'affirmer « musulmane ». Cette avocate explique : « Il y a vingt ans que j'essaie de faire comprendre que l'on peut être musulman et avoir des lois qui respectent les droits de l'homme. » LE DILEMME DU POUVOIR L'attribution du prix Nobel 2003 a une indéniable portée politique. Les cafouillages du porte-parole du gouvernement

iranien, Abdollah Ramezanzadeh, ont traduit jusqu'à la caricature l'embarras dans lequel ce choix a plongé le régime de Téhéran. « Nous sommes heureux qu'une femme iranienne musulmane ait su se faire distinguer par la communauté internationale pour son action en faveur de la paix. Nous espérons pouvoir utiliser davantage ses vues expertes en Iran », a-t-il déclaré, avant de rappeler les journalistes pour leur préciser qu'il s'exprimait à titre personnel et non en qualité. Piteux rattrapage qui en dit long sur le dilemme du pouvoir face à la décision du jury du prix Nobel d'honorer d'une distinction convoitée par les plus puissants de la planète une avocate condamnée il y a trois ans dans son pays à quinze mois de prison avec sursis et à la privation pour cinq ans de ses droits civiques. C'est une avanie qui vient d'être infligée à un régime dont les violations des droits de l'homme ont encore été vivement dénoncées, tout récemment, par la Commission des droits de l'homme des Nations unies, qui a sévèrement critiqué l'appareil judiciaire iranien, singulièrement en la personne du nouveau procureur général de Téhéran, le juge Saïd Mortazavi, accusé d'être à l'origine de la condamnation de nombreux universitaires et intellectuels en l'an 2000. Le message à l'intention du régime des mollahs est d'autant plus cinglant que, bien plus qu'une militante pour la paix stricto sensu, Mme Ebadi est le héraut de la lutte pour le respect des droits de l'homme, en particulier les droits de la femme et de l'enfant. Mme Ebadi n'est certes pas la première femme iranienne honorée par la communauté internationale, mais la distinction suprême qui lui est décernée est la reconnaissance du courage des femmes iraniennes face au pouvoir autocratique du régime islamique. Elle intervient à un moment où la lutte entre les conservateurs et les réformateurs est de plus en plus exacerbée, cependant que les aspirations aux réformes de la société iranienne se heurtent à la répression et à la paralysie du gouvernement réformateur. L'embarras du porte-parole iranien reflète aussi, si besoin en était encore, les divisions qui, depuis des années, minent de l'intérieur un régime iranien tiraillé entre la pesanteur de sa faction la plus rétrograde et les aspirations des partisans de réformes.

CONDAMNATION POLITIQUE Le combat de Mme Ebadi pour la démocratie, la reconnaissance des droits des citoyens et la réforme de l'arsenal judiciaire, en particulier dans le respect de l'islam, est, il est vrai, bien antérieur à l'émergence en République islamique de ceux que l'on appelle les réformateurs, groupés depuis 1997 autour du président Mohammad Khatami. Cette femme, qui dut renoncer aux fonctions de juge qu'elle occupait sous le régime du shah, parce qu'en République islamique d'Iran une femme est considérée « trop émotive » pour présider un tribunal, a inlassablement pointé les contradictions de la loi iranienne pour ce qui concerne les droits des femmes et ceux des enfants. Elle a toujours rejeté sans appel toute justification par l'islam de ces contradictions et violations, les imputant à un esprit traditionaliste archaïque, sinon machiste. Sa condamnation en juillet 2000 en même temps que celle de son collègue Mohsen Rahami, à la même peine, était foncièrement politique. En appel, la sentence a été transformée en amende, à la suite d'une campagne internationale. La télévision d'Etat iranienne a attendu quatre heures avant de donner la nouvelle en quelques mots, l'agence officielle Irna la répercutant en huit lignes seulement. « Si ce prix a été attribué pour les services que les réformateurs ont rendus à la politique de l'Occident, cela constitue une infamie », a déclaré Assadollah Badamchian, président du comité politique de la coalition de l'association islamique, le principal mouvement conservateur. « Rarement le prix Nobel a été attribué à ceux qui ont servi leur pays », a-t-il ajouté, faisant référence à Anouar El-Sadate, le président égyptien assassiné, qui aurait « trahi la Palestine.

Annexe 2 - Matérielle expérimental pour la recollection de données oculaires CVK

Exploration 2 – Cartographie des stratégies visuo-cognitives

Corpus de base : Matérielle expérimental de l'expérience de laboratoire de Ballenghein, Referential processing during reading: concurrent recordings of eye movements and head motion.

Échantillon : 21 textes (7 sans changement référentielle, 7 avec changement référentielle et 7 distracteurs)

Texte 01 Sans changement référentielle

Comment expliquer cela ? Aucune raison tangible n'a pu pousser à un tel acte Personne ne comprend mais chacun s'estime investi d'une certaine responsabilité Les commentaires circulent librement Tous les regards se dirigent vers cette mère de famille sans âge Amèrement elle regrette ce meurtre Le tribunal ne lui accorde pas de circonstance atténuante Elle a commis cet acte pour se libérer d'un cauchemar elle ne supportait plus la présence de cet homme dur

Texte 01 Avec changement référentielle

Comment expliquer cela ? Aucune raison tangible n'a pu pousser à un tel acte Personne ne comprend mais chacun s'estime investi d'une certaine responsabilité Les commentaires circulent librement Tous les regards se dirigent vers cette mère de famille sans âge Amèrement je regrette ce meurtre Le tribunal ne m'accorde pas de circonstance atténuante J'ai commis cet acte pour me libérer d'un cauchemar je ne supportais plus la présence de cet homme dur

Texte 02 Sans changement référentielle

Dans tout le pays environnant ce lieu impose le respect On ne sait dire pourquoi Il n'est ni plus beau ni plus grandiose que bien d'autres endroits de la région mais il est plus mystérieux Quelqu'un marchant rapidement vient troubler cette quiétude Désespéré il poursuit le sentier Il a prévu depuis longtemps de visiter ce site préhistorique mais il ne croyait pas se perdre aussi facilement Sur la carte le chemin est peu balisé

Texte 02 Avec changement référentielle

Dans tout le pays environnant ce lieu impose le respect On ne sait dire pourquoi Il n'est ni plus beau ni plus grandiose que bien d'autres endroits de la région mais il est plus mystérieux Quelqu'un marchant rapidement vient troubler cette quiétude Désespéré je poursuis le sentier J'ai prévu depuis longtemps de visiter ce site préhistorique mais je ne croyais pas me perdre aussi facilement Sur la carte le chemin est peu balisé

Texte 03 Distracteur

Dans une chambre d'hôpital la malade est allongée sans pouvoir faire le moindre mouvement Elle regarde le plafond Près d'elle l'appareil respiratoire qui ronronne indique un parfait repos Assis dans un fauteuil son mari tient un livre à la main

Texte 04 Sans changement référentielle

Depuis quelque temps des plaintes et des gémissements emplissent les étages du grand immeuble Tous les locataires se plaignent de ces bruits bizarres sans se préoccuper de leur origine Un fait amusant est arrivé dont le protagoniste est un petit animal téméraire Avec bonheur il a

quitté sa maîtresse Il est heureux car il lui reste encore de nombreux étages à explorer avant de rentrer à la maison Il va avoir des difficultés pour trouver à manger

Texte 04 Avec changement référentielle

Depuis quelque temps des plaintes et des gémissements emplissent les étages du grand immeuble Tous les locataires se plaignent de ces bruits bizarres sans se préoccuper de leur origine Un fait amusant est arrivé dont le protagoniste est un petit animal téméraire Avec bonheur j'ai quitté ma maîtresse Je suis heureux car il me reste encore de nombreux étages à explorer avant de rentrer à la maison Je vais avoir des difficultés pour trouver à manger

Texte 05 Distracteur

Dès qu'un enfant marche il faut l'équiper de chaussures Elles conditionnent une partie importante de notre bien-être physique A l'école pour amortir le bitume des cours de récréation les souliers de sport à semelles souples et épaisses sont idéales pour les enfants

Texte 06 Sans changement référentielle

L'ambiance du matin a été très houleuse Les récentes déclarations du premier ministre ont jeté la consternation dans la salle Au milieu de cette tension extrême l'activité néanmoins continue Un responsable l'air imperturbable tape sur son ordinateur Avec précaution il évalue son capital Il sait bien que cette réaction intempestive du gouvernement n'est qu'une vaguelette pour les cours du jour Il est décidé à résister au vent de panique

Texte 06 Avec changement référentielle

L'ambiance du matin a été très houleuse Les récentes déclarations du premier ministre ont jeté la consternation dans la salle Au milieu de cette tension extrême l'activité néanmoins continue Un responsable l'air imperturbable tape sur son ordinateur Calmement j'évalue mon capital Je sais bien que cette réaction intempestive du gouvernement n'est qu'une vaguelette pour les cours du jour Je suis décidé à résister au vent de panique

Texte 07 Distracteur

L'appel d'offres a été rapidement clos et l'université refuse les candidats désormais Comme toujours le secrétaire est chargé d'adresser les réponses négatives Il a l'impression d'envoyer toutes ses condoléances aux malheureux postulants et cela le chagrine Les retardataires ont eu tort Cependant les dossiers continuent à s'entasser sur le bureau et une solution doit être prise rapidement Elle incombe au directeur La situation risque de devenir critique

Texte 08 Sans changement référentielle

L'établissement est réputé dans toute la région Tout le monde est satisfait même le directeur qui promène sa mine joviale Les plus heureux sont les pensionnaires qui imaginent de nouvelles aventures palpitantes Pourtant un enfant regarde tristement le calendrier Avec dépit il appréhende cette excursion Il continue à la trouver sans intérêt car il faut marcher pendant des heures sous le soleil Il préférerait beaucoup rester à regarder la télévision

Texte 08 Avec changement référentielle

L'établissement est réputé dans toute la région Tout le monde est satisfait même le directeur qui promène sa mine joviale Les plus heureux sont les pensionnaires qui imaginent de nouvelles aventures palpitantes Pourtant un enfant regarde tristement le calendrier Avec dépit j'appréhende cette excursion Je continue à la trouver sans intérêt car il faut marcher pendant des heures sous le soleil Je préférerais beaucoup rester à regarder la télévision

Texte 09 Sans changement référentielle

La main se lève brusquement et retombe avec bruit puis cela recommence et recommence encore Quelquefois les pieds eux-aussi entrent en action Sur la place cette étrange danse attire des gens qui attendent l'issue finale pleins de pitié pour le pauvre animal Sans répit il reçoit une raclée Meurtri il rue de ses pattes arrières pour atteindre ce maquignon fou furieux qui le bat Sa jeunesse est bien terminée Il va être vendu au marché du canton

Texte 09 Avec changement référentielle

La main se lève brusquement et retombe avec bruit puis cela recommence et recommence encore Quelquefois les pieds eux-aussi entrent en action Sur la place cette étrange danse attire des gens qui attendent l'issue finale pleins de pitié pour le pauvre animal Sans répit je reçois une raclée Meurtri je rue de mes pattes arrières pour atteindre ce maquignon fou furieux qui me bat Ma jeunesse est bien terminée Je vais être vendu au marché du canton

Texte 10 Sans changement référentielle

La procession se déroule dans le chemin ombragé par les grands arbres poussés sur le talus des fermes Les parents viennent d'abord puis les amis et enfin les villageois vêtus d'habits de circonstance clôturent le défilé Au premier rang un vieil homme semble réjoui Avec joie il célèbre un mariage Cette cérémonie est la dernière de son service paroissial Après il prendra sa retraite qu'il partagera entre le repos à la sacristie et les parties de pêche

Texte 10 Avec changement référentielle

La procession se déroule dans le chemin ombragé par les grands arbres poussés sur le talus des fermes Les parents viennent d'abord puis les amis et enfin les villageois vêtus d'habits de circonstance clôturent le défilé Au premier rang un vieil homme semble réjoui Avec joie je célèbre un mariage Cette cérémonie est la dernière de mon service paroissial Après je prendrai ma retraite que je partagerai entre le repos à la sacristie et les parties de pêche

Texte 11 Sans changement référentielle

La salle est silencieuse Plus aucune voix ne se manifeste sauf quelques soupirs qui troublent ce calme apparent A l'extérieur des bruits concerts d'ambulance en urgence transpercent les murs épais du bâtiment Une jeune fille semble très émue par l'événement Avec angoisse elle redoute ce partiel Elle ne trouve pas la réponse à la première question Elle regrette d'avoir fait la fête toute la nuit

Texte 11 Avec changement référentielle

La salle est silencieuse Plus aucune voix ne se manifeste sauf quelques soupirs qui troublent ce calme apparent A l'extérieur des bruits concerts d'ambulance en urgence transpercent les murs épais du bâtiment Une jeune fille semble très émue par l'événement Avec angoisse je redoute ce partiel Je ne trouve pas la réponse à la première question Je regrette d'avoir fait la fête toute la nuit car ce matin toutes mes connaissances se sont évaporées

Texte 12 Sans changement référentielle

La sortie est très périlleuse De nombreux accidents ont déjà eu lieu au même endroit rendant l'opération extrêmement délicate Les jours de tempête on entend souvent des bruits sinistres qui laissent présager les difficultés que quelqu'un est en train de rencontrer Prudemment il manœuvre le chaland Cela fait trois heures qu'il essaie de franchir l'écluse et ce sacré bateau refuse d'avancer dans la tourmente S'il y parvient il gagnera un temps précieux

Texte 12 Avec changement référentielle

La sortie est très périlleuse De nombreux accidents ont déjà eu lieu au même endroit rendant l'opération extrêmement délicate Les jours de tempête on entend souvent des bruits sinistres qui laissent présager les difficultés que quelqu'un est en train de rencontrer Prudemment je manœuvre le chaland Cela fait trois heures que j'essaie de franchir l'écluse et ce sacré bateau refuse d'avancer dans la tourmente Si j'y parviens je gagnerai un temps précieux

Texte 13 Sans changement référentielle

La télévision est présente et un journaliste tente désespérément de réaliser une interview La salle crépite sous le flash des photographes exaltés les gens se bousculent en essayant d'atteindre la tribune Silencieux au milieu du brouhaha un homme se tient debout Aujourd'hui il obtient une récompense Tous les efforts qu'il a fournis n'ont pas été vains Son livre a été choisi pour être adapté à l'écran il sait que des acteurs connus ont été sollicités

Texte 13 Avec changement référentielle

La télévision est présente et un journaliste tente désespérément de réaliser une interview La salle crépite sous le flash des photographes exaltés les gens se bousculent en essayant d'atteindre la tribune Silencieux au milieu du brouhaha un homme se tient debout Aujourd'hui j'obtiens une récompense Tous les efforts que j'ai fournis n'ont pas été vains Mon livre a été choisi pour être adapté à l'écran je sais que des acteurs connus ont été sollicités

Texte 14 Sans changement référentielle

Le public applaudit vivement à l'annonce du haut-parleur Tout le monde s'est levé acclamant avec joie l'exploit A n'en pas douter l'action sera retranscrite dans les journaux du lendemain avec photos et texte à l'appui Un homme calmement salue la foule en délire Brillamment il remporte le combat Il permet ainsi à la France d'assurer sa qualification pour la finale des Jeux Olympiques La salle s'est enflammée dès qu'il a donné ce dernier coup de poing

Texte 14 Avec changement référentielle

Le public applaudit vivement à l'annonce du haut-parleur Tout le monde s'est levé acclamant avec joie l'exploit A n'en pas douter l'action sera retranscrite dans les journaux du lendemain avec photos et texte à l'appui Un homme calmement salue la foule en délire Brillamment je remporte le combat Je permets ainsi à la France d'assurer sa qualification pour la finale des Jeux Olympiques La salle s'est enflammée dès que j'ai donné ce dernier coup de poing

Texte 15 Sans changement référentielle

Le sol est plat entrecoupé parfois de larges ornières Le vélo zigzague entre les trous et le mouvement incessant des pédales efface de l'esprit les rancœurs accumulées La route mène directement à l'entreprise Le cycliste pose son vélo contre le mur du bâtiment Sans cesse il cherche un travail Il a proposé ses services une centaine de fois personne ne veut d'un charpentier A la mairie on lui a dit qu'il pourrait être embauché sur un poste intérimaire

Texte 15 Avec changement référentielle

Le sol est plat entrecoupé parfois de larges ornières Le vélo zigzague entre les trous et le mouvement incessant des pédales efface de l'esprit les rancœurs accumulées La route mène directement à l'entreprise Le cycliste pose son vélo contre le mur du bâtiment Sans cesse je cherche un travail J'ai proposé mes services une centaine de fois personne ne veut d'un charpentier A la mairie on m'a dit que je pourrais être embauché sur un poste intérimaire

Texte 16 Sans changement référentielle

Le soleil luit vaguement sur les rochers C'est une heure étrange où les bruits ne se perçoivent que comme amortis par un voile opaque et les gens ne semblent pas avoir de contour ni de réalité Un personnage se détache cependant du groupe Tristement il débarque du navire Au milieu de gens pressés il descend sur le quai avec fièvre Il n'aime pas les ports et pas davantage cette ville perchée sur la mer du Nord.

Texte 16 Avec changement référentielle

Le soleil luit vaguement sur les rochers C'est une heure étrange où les bruits ne se perçoivent que comme amortis par un voile opaque et les gens ne semblent pas avoir de contour ni de réalité Un personnage se détache cependant du groupe Tristement je débarque du navire Au milieu de gens pressés je descends sur le quai avec fièvre Je n'aime pas les ports et pas davantage cette ville perchée sur la mer du Nord

Texte 17 Distracteur

Les arbres sont décrépés et des quantités de pigeons viennent y trouver refuge La proximité des oiseaux hâte le dépérissement du bois et le mal est incurable Le square abrite des abeilles également Une jeune fille se trouve brusquement entourée par la foule Elle s'est évanouie à cause de la chaleur suffocante qui y règne Son médecin lui avait pourtant interdit les efforts trop prolongés car la maladie qui la ronge épuise rapidement toute son énergie

Texte 18 Distracteur

Les champs de colza d'avoine ou de blé s'étendent à l'horizon La journée va s'avérer moins longue que de coutume car elle va être interrompue par un événement insolite un événement très particulier Encore ignorant le facteur prend sa sacoche Il distribue le courrier lorsque son attention est attirée par une lettre placée au milieu de la route Elle est datée de l'année prochaine et l'adresse indique sa future maison

Texte 19 Sans changement référentielle

Régulièrement un bruit sourd se fait entendre En fait il s'agit moins d'un son précis que d'une vibration des murs qui se propage comme un petit tremblement de terre à travers tous les étages De temps en temps un homme lance un profond soupir Péniblement il soulève la charge Il est fatigué essoufflé en sueur car le gymnase manque d'aération Il se sent faible pourtant le championnat débute demain matin

Texte 19 Avec changement référentielle

Régulièrement un bruit sourd se fait entendre En fait il s'agit moins d'un son précis que d'une vibration des murs qui se propage comme un petit tremblement de terre à travers tous les étages De temps en temps un homme lance un profond soupir Péniblement je soulève la charge Je suis fatigué essoufflé en sueur car le gymnase manque d'aération Je me sens faible pourtant le championnat débute demain matin

Texte 20 Sans changement référentielle

Tous les hommes sont là rassemblés devant l'ignoble bâtiment Les murs sont gris et s'harmonisent parfaitement avec la couleur du ciel d'automne Ils lèvent les yeux vers la tribune et attendent le début des événements Quelqu'un s'avance lentement vers eux Hésitant il harangue les soldats Par peur ou émotion ses premiers mots sont confus Il a pour tâche de former ces légionnaires à endurer les futurs affrontements du conflit Serbe

Texte 20 Avec changement référentielle

Tous les hommes sont là rassemblés devant l'ignoble bâtiment Les murs sont gris et s'harmonisent parfaitement avec la couleur du ciel d'automne Ils lèvent les yeux vers la tribune et attendent le début des événements Quelqu'un s'avance lentement vers eux Hésitant j'harangue les soldats Par peur ou émotion mes premiers mots sont confus J'ai pour tâche de former ces légionnaires à endurer les futurs affrontements du conflit Serbe

Texte 21 Sans changement référentielle

Toute l'assistance est debout et attend le début de la réunion La pièce est ornée d'affiches et quelques hommes se précipitent vers les lieux sacrés Certains consultent leur montre avec impatience Un personnage à l'air affable apparaît enfin Avec intérêt il observe l'auditoire Réunis dans la salle des fêtes il donne son avis sur les problèmes d'emploi dans les chantiers navals Il s'aperçoit que les gens l'écoutent assidument

Texte 21 Avec changement référentielle

Toute l'assistance est debout et attend le début de la réunion La pièce est ornée d'affiches et quelques hommes se précipitent vers les lieux sacrés Certains consultent leur montre avec impatience Un personnage à l'air affable apparaît enfin Avec intérêt j'observe l'auditoire Réunis dans la salle des fêtes je donne mon avis sur les problèmes d'emploi dans les chantiers navals Je m'aperçois que les gens m'écoutent assidument

Annexe 3 - Exemple de Objets de Connaissance (OC)

Expérimentation 1 – conception d'objets de connaissance (OC)

Échantillon : Textes produits par 2 étudiants en deuxième année de licence de sociologie d'une université privée en Équateur.

Trois types de descriptions : personnage, lieu, évènement.

Sujet 1 - Texte 1 - Description de quelqu'un.

Nelson es un hombre, aproximadamente de 70 años de edad. Es profesor catedrático de universidad, filósofo y un gran referente de las ciencias sociales en Quito. Es alto, mide aproximadamente 1,80 metros, tiene el cabello con un corte particular, pero que le favorece mucho, tiene algunas canas también. Y sin duda su característica física más llamativa sería su bigote y la forma en que inconscientemente se lo peina de vez en cuando. Sus ojos son cafés y pequeños, pero no se aprecian mucho por lo lentes que lleva, los cuales son peculiares, pequeños y redondos, muy al estilo de él. Nelson es atlético, según lo que nos ha contado y también un buen deportista. Su estilo de vestir es muy casual pero a la vez un poco deportivo, puede combinar diferentes tipos de suéteres y camisas pero siempre o casi siempre lleva consigo unos zapatos deportivos. Nelson siempre lleva consigo un libro, ya sea filosófico y académico o alguna novela, porque como alguna vez nos ha comentado, es aficionado de novelas. Nelson es un gran profesor, le ha dado clases a casi todos los sociólogos de la PUCE que conozco y su trabajo como académico también es muy rico. Si bien es cierto que a veces sus prenociones y sus aprioris lo llevaban a confundir a la clase, sus cátedras siempre eran muy bien despedidas por mi curso. Al principio creía que era un profesor escolástico, puesto que tiene ciertas características en su personalidad que lo hacían parecer profesor de escuela, aun así fue unos de los mejores que he conocido. Su teoría o su postura crítica es muy interesante y comparto mucho de él, acerca de la religión, acerca del estado, de la política y del sistema económico en sí. Nelson es de esos profesores que aparte de enseñarte la cátedra correspondiente con la malla curricular, te enseña a vivir, a ser un buen ser humano, a ser un buen profesional y te forma el carácter para cuando estemos afuera de la universidad y hagamos algo por el mundo. También me parece que Nelson es una persona simpática en cuanto a su personalidad, es graciosa y siempre está animado para con los demás. Creo que la cualidad más importante de Nelson son sus ganas de enseñar las ciencias sociales y una teoría crítica a nuevas generaciones para hacer un cambio positivo en el mundo. Y su defecto más grande es la intolerancia o la antipatía que a veces emanaba frente a algunos temas o situaciones.

Sujet 1 - Texte 2 - Description de lieu

La cafetería de la torre 2 es amplia, grande, tiene mucha luz puesto que hay muchos ventanales. Tiene dos puertas de acceso, una da justo al hall de la torre y la otra puerta da hacia el exterior yendo al parqueadero. Tiene el suelo de baldosa café y cuadrada, las paredes blancas y el techo igual. La cafetería tiene 34 mesas con 4 sillas cada una por lo tanto la capacidad máxima de ésta es de 136 clientes. Hay 8 mesas blancas de plástico, 4 negras de hierro y 22 cafés de madera. Las sillas son de varios materiales y colores, hay rojas de hierro y blancas de plástico, las sillas de madera son de color café al igual que las mesas. En la caja suele estar una señora de mediana edad adulta, muy simpática y atenta que atiende toda la mañana y parte de la tarde mientras que otra señora se encarga de pasarnos las cosas. A la hora del

almuerzo también hacen comida y ahí salen a trabajar más personas, todas son mujeres. En la cafetería los productos que venden son de poco valor nutricional la mayoría ya que son galletas, dulces, alimentos procesados y ya preparados con mucha anterioridad, refrescos y bebidas. Hay algunos alimentos como sándwiches o empanadas que son más nutritivas. En lo personal creo que los precios de esa cafetería son bastantes elevados y que en comparación con otros sitios deberían bajarlos. También cabe mencionar que el lugar siempre está limpio y aseado. La cafetería siempre está llena de estudiantes y profesores que se sirven de ese servicio, pero también se puede observar siempre a muchas personas realizando otras actividades como por ejemplo estudiantes haciendo deberes, o profesores teniendo tutorías. La ubicación de la cafetería creo que es muy buena, ya que estudiantes no solo de la torre 2 van hacia allí, sino que diferentes facultades por la localización también acuden y el hecho de que sea una cafetería de gran tamaño y gran variedad de productos ayuda.

Sujet 1 - Texte 3 - Description de la évènement.

Esta exposición se llevó a cabo en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en el Centro Cultural de éste, en el tercer piso. Se pudo llevar a cabo gracias a la carrera de historia y sus convenios con el Colegio Ecuatoriano Español "América Latina" y con el Colegio Español "Reyes Católicos" que a su vez estas entidades tienen convenios y tratados directos con el consulado y la embajada Española. Cuando llegué estaban presentes unos estudiantes del Colegio Ecuatoriano Español "América Latina" quienes estaban viendo un documental de la exposición "Expediciones científicas españolas en América Latina durante el siglo XVIII". Cuando entré enseguida se podían observar los cuadros y retratos de quienes fueron los personajes principales que financiaron y auspiciaron dichas expediciones. Habían retratos de muchos reyes y parte de la familia real española de la época, entre ellas se habló y se observó mucho de la dinastía Borbón. Se podía presenciar como en ese tiempo era la vestimenta de la realeza, los vestidos pomposos, el maquillaje rosado, el cabello blanco tanto de hombres como de mujeres y niños. También había imágenes del palacio y de las principales salas en las que estas familias se divertían. Después de los retratos empezaron las carteleras llenas de información acerca de todas las expediciones que se hicieron, a lo largo de toda Latinoamérica, ya sea para estudiar la flora y fauna o para hacer estudios geográficos y geodésicos. También había información de familias reales francesas que tuvieron que ver en estas expediciones. Había muchos cuadros dibujados y pintados acerca de las culturas latinoamericanas como de Cancún, Guayaquil, Panamá, Lima y algunas más. Más adelante también se podía observar mapas reales de cómo eran los territorios cuando las expediciones llegaron a hacer los estudios, de cómo era Latinoamérica y sus diferentes países. Algo muy interesante y bonito de ver en esa exposición fueron los dibujos a mano que estaban exhibiendo de las ciudades en ese entonces. Por ejemplo en Guayaquil se podía observar que las casas estaban hechas de madera y el techo de paja, y la gente estaba vestida con la vestimenta típica de los montubios. En Panamá en esa época ya se notaba el creciente desarrollo y las casas eran de cemento, el lugar donde actualmente se encuentra el canal tenía muchas afluencia comercial con barcos y veleros extranjeros. La exposición también contaba con libros originales de los personajes que realizaron las expediciones y estaban dentro de una caja de vidrio, supongo que para garantizar su seguridad ya que todos los elementos que estaban en la exposición son parte de España, que los habían prestado para poder exhibirlos.

Sujet 2 - Texte 1 - Description de quelqu'un.

Nelson Reascos Vallejo, Licenciado en Filosofía, Egresado Posgrado de Filosofía y profesor de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Maestro por más de 30 años. Nelson Reascos en su momento fue director de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Católica del Ecuador en Quito, dio inicio al ciclo de conferencias organizado por el Consejo Provincial. Nelson como comúnmente lo llamamos quienes tuvimos el placer de ser su alumno tiene a su haber una exposición que jamás podre olvidar y fue con la cual lo llegue a conocer. Su exposición

abarco el significado de la identidad latinoamericana, que ha cambiado de apreciación desde hace 25 años, aproximadamente. Nelson explicó la diferencia entre la cultura mestiza y la barroca, de hecho una frase memorable y que hasta el día de hoy puedo olvidar fue "son exactamente lo mismo, sólo con diferente apreciación por parte de la comunidad". Siguiendo en este tema El mestizaje, según Nelson, es motivo de vergüenza y dolencia para el pueblo ecuatoriano, mientras que ser parte de una cultura barroca evoca orgullo y dignidad entre los pueblos latinos, de manera especial en Ecuador. Asimismo dio a conocer que la identidad no es una ontología (que no cambia) ya que cada vez los seres humanos adquieren nuevas características y se despojan de otras. Otra gran frase profunda fue "Con el paso del tiempo vamos adquiriendo nuevas características, es así que una persona soltera cambia cuando se casa, pero no por eso deja de tener identidad, mucho menos pierde su esencia", Comentarios como estos fueron receptados por los alumnos y personas que asistieron a la exposición, quienes tuvieron la oportunidad de ver con una nueva perspectiva el significado de ser ecuatoriano. Nelson es un maestro con una metodología muy peculiar que en cada clase que hace que prestes toda su atención en ella es muy poco probable que quienes fuimos sus alumnos olvidemos su forma de explicar su clase o cabellera de color blanco y su bigote del mismo color. Hombre de una estatura media pero siempre o en cualquier lugar que lo podías ver siempre traía cargado consigo sus libros ya sea en lado derecho o izquierdo. Dueño de un sentido del humor muy contagioso o ya sea con sus sátiras hacia lo que él creía que estaba mal.

Sujet 2 - Texte 2 - Description de lieu.

La cafetería fundó el 31 de diciembre de 1950, construida de mampostería, con puertas y ventanas de cristal techo de placa y piso de mosaico. Anteriormente estaba dividido por varias áreas, la primera, salón de cafetería con 7 mesas cada una con cuatros sillas, cancha con 10 sillas, mostrador con un frío de conservación de dos puertas. Cuando nos referimos a una cafetería tomamos como referencia aquella que se encuentra en la planta baja de la torre 2. Un lugar muy amplio que cuenta en su parte exterior 2 bancas con la capacidad para 3 personas en cada una de ellas, también la cual cuenta en la parte izquierda, una cartelera cultural con varias hojas ya sea de diferente información de uso para el estudiante o si miramos un al lado contrario se podrá ver una especie de exposición con varios cuadros. Casi en su totalidad la cafetería externamente hablando es vidrio. Si somos muy observadores se logra observar alrededor de unas 10 plantas distribuidas alrededor del espacio fuera de la cafetería. Casi en el centro de este espacio se encuentra una especie de columna informativa en la cual se puede ver toda la información sobre la torre en la que nos encontramos. Ahora bien una vez que ingresamos a la cafetería muchas mesas y sillas distribuidas en lugares estratégicos para la comodidad del usuario. Existen mesas tanto hechas de madera como de plástico, en estas últimas ve una clara división por su color: rojas y blancas. Los productos que ofrece la cafetería se encuentran divididos por secciones tanto en los mostradores de vidrios como en sus respectivos frigoríficos, existe una variedad de productos, snacks, sandwiches, gaseosas, té, venta de café y almuerzo ya sea para el estudiante o para el docente. Para poder hacer ingresa a ella es posible mediante 3 puertas. En su gran mayoría se encuentra pintado de un color blanco exceptuando ciertos lugares también es claro señaléticas y sin olvidar sus 18 focos que se encuentran en él. En el lugar trabajan 3 señoras que trabajan desde las 6:30am hasta las 7pm todo esto depende del día ya que no siempre hay la misma afluencia de clientes. Una de ellas estas encargada tanto como el financiero como del lugar.

Sujet 1 - Texte 3 - Description de la évènement.

Desde las afueras del Centro Cultural podemos apreciar un edificio de cinco pisos el cual está rodeado por árboles y jardines perfectamente cuidados que hacen más vistosa su arquitectura, el color blanco y gris incita a que todo aquel que circule por las inmediaciones del lugar sienta

la curiosidad de saber que hay en el interior. Si la vista de los transeúntes es perspicaz podrán distinguir varias vallas publicitarias en uno de los ángulos del edificio, que divulgan detalles de lo que podría estar dentro del mismo, las mencionadas vallas tienen figuras llamativas, coloridas y poco comunes lo cual hace que los espectadores tengan aún más intriga de lo que podrán observar al ingresar a las instalaciones. Las ventanas son amplias y grandes lo cual denota que el lugar es suficientemente iluminado por dentro, además de que existen una especie de balcón en los tres últimos pisos del edificio mostrando así que las personas que visiten el Centro Cultural tendrán la oportunidad de salir a tomar aire fresco e incluso observar el panorama que rodea al lugar mencionado. Al ingresar se puede identificar claramente varias piezas de arte colgadas en las paredes, las mismas están acompañadas por luces en la parte superior de los marcos para dar mayor facilidad al público de observar con mesura cada uno de los detalles de las diversas pinturas. Todas aquellas muestran figuras excepcionales, poco comunes pero lo que les hace ver aún más vistosas son los matices de colores rojos, amarillos, anaranjados, verdosos, azulados y muchos más que muestran en cada uno de los cuadros quizá algunas reflejan los pensamientos, sueños e incluso sentimientos que los autores poseen al momento de fabricarlas. El color blanco de las paredes hace que resulten aún más atractivas para la vista de los espectadores e incluso el contraste con el color del suelo dan a notar tranquilidad, calma y seguridad al transitar por los pasillos, las obras mostradas en cada uno de los pisos son de gran tamaño por lo que son visibles a una distancia considerada. Los pisos superiores presentan unas texturas cuadradas en los techos que a su vez contienen lámparas con tonalidad blanca para dar mayor realismo a las pinturas, además que mientras se sube a la siguiente planta se puede observar por segunda ocasión los pisos inferiores ya que las instalaciones al interior también presentan una especie de balcones para admirar desde otra perspectiva el lugar.

Annexe 4 - Matérielle textuelle expérimental pour la recollection de données oculaires

Expérimentation 2

Expérimentation 2 - La genèse instrumentale des artefacts de connaissance (AC).

12 textes expérimentaux : 4 Historiques, 4 littéraires, 4 journalistiques.

Textes Historiques :

Premier homme dans l'espace :

Le 12 avril 1961 moins de 4 ans après l'envoi de la petite boule qui bippe, Youri Gagarine fait le tour de la Terre à bord du vaisseau spatial Vostok-1. Il reste 1h48 dans l'espace, avant de redescendre sur Terre. Devenu un héros de l'Union soviétique, il sera par la suite assigné au programme du nouveau vaisseau spatial Soyouz, mais ne sera jamais autorisé à retourner dans l'espace. Il meurt accidentellement en 1968 à bord d'un MIG, ce qui le privera malheureusement du spectacle de la conquête de la Lune. Les Américains, vexés, envoient de leur côté Alan Shepard accomplir un saut de 15 min dans le cosmos (mais sans satellisation) à bord de la cabine Mercury « Liberté-7 », le 5 mai 1961 Il faudra attendre John Glenn, le 20 février 1962 pour faire trois fois le tour de la Terre à bord de la cabine « Américain-7 ». Enfin, la première femme dans l'espace est elle aussi soviétique, Valentina Terechkova accomplit 48 orbites à bord de Vostok 6 du 16 au 19 juin 1963

La conquête de l'empire inca :

Vivant, l'empereur-dieu des Incas était en effet la plus puissante monnaie d'échange dont Pizarro pouvait rêver. Le conquistador avait du même coup décapité l'empire. Véritable pantin entre les mains des Espagnols, Atahualpa dut ordonner, sous la menace, à ses armées de se retirer. Il proposa de payer une rançon pour sa propre liberté : l'équivalent en or du volume de la pièce où il était emprisonné, et une quantité double d'argent. Pizarro accepta l'accord, sans pour autant avoir l'intention de tenir sa parole. Une fois la rançon payée, lorsqu'il devint clair que les généraux d'Atahualpa ne lui obéissaient plus, Pizarro le fit mettre à mort. Ayant accepté d'être baptisé pour ne pas mourir brûlé vif, Atahualpa fut garroté le 29 août 1533 Pizarro, pour sa part, poursuivit la conquête du Pérou, entrant à Cuzco, la capitale inca, le 20 décembre 1533 L'histoire, toutefois, n'était pas terminée. Manco Capac II, allait bientôt rejoindre les généraux renégats qui poursuivaient, dans les montagnes, la lutte contre les Espagnols. Pizarro parvint à faire exécuter son plus dangereux rival, son ancien associé Diego de Almagro, en 1538 ; mais il allait périr à son tour, assassiné par les partisans du fils d'Almagro, en 1541 Ce dernier sera finalement vaincu et mis à mort l'année suivante. Il faudra attendre 1572 pour que le dernier vestige de l'empire inca soit vaincu avec l'exécution du dernier empereur, Tupac Amaru.

Mai 1968 :

La cour de l'université de la Sorbonne est en effervescence, plusieurs centaines d'étudiants y tiennent un meeting. Alors que l'on craint des échauffourées avec des groupes d'extrême droite, les étudiants sont évacués en force par la Police. Dans la foulée plusieurs responsables associatifs et syndicaux sont arrêtés. Mai 68 vient de commencer. Ce mouvement à l'origine étudiantin trouve ses racines dans un courant de pensée libertaire, ancré à gauche qui dénonce père mère la société de consommation, les valeurs bourgeoises et ce qui est décrit comme « l'impérialisme américain ». Il est aussi une réaction au fossé qui se creuse entre les aspirations de la jeunesse et le fonctionnement de l'enseignement supérieur, voire du système social français dans son ensemble. Dans un contexte de troubles sociaux global (l'année 68 est agitée de Prague à Mexico), la contestation étudiante qui tourne rapidement à la confrontation violente avec les forces de l'ordre prend l'allure d'un défi au pouvoir Gaullien. Un défi encore renforcé, lorsque s'y greffent des revendications syndicales, en réaction à diverses difficultés économiques. Fin Mai la situation sera devenue suffisamment instable pour que le Général de Gaulle quitte secrètement le territoire afin de s'assurer de la loyauté des troupes stationnées en Allemagne Néanmoins grâce à l'action concertée de Georges Pompidou et des principaux leaders syndicaux, la crise sociale trouvera une issue pacifique, après près d'un mois de blocage de la vie économique.

La prise de la Bastille (14 juillet 1789) :

Venus des Invalides et menés par un certain Hulin, des Parisiens arrivent au pied de la Bastille autour de 15h30 avec quelques canons. Ils font feu sur la forteresse, galvanisant la foule. Les défenseurs de la Bastille ripostent, mais curieusement sans utiliser leur artillerie. Cela n'empêche pas le nombre de morts d'augmenter parmi les assaillants, et la colère de gronder de

plus en plus. On exige à présent l'ouverture de la Bastille, mais de Launay refuse si la vie des assiégés n'est pas garantie. Le combat, toujours aussi confus, continue. Mais les Parisiens n'ont toujours pas trouvé comment franchir le fossé... Sans que l'on sache pourquoi et par qui, le pont-levis s'abaisse finalement, permettant à la foule de se ruer dans la Bastille et de commencer à la piller. Le gouverneur de Launay est capturé et, emmené à l'Hôtel de Ville, il est exécuté. Un boucher, Desnot, est chargé de le décapiter et sa tête est brandie au bout d'une pique par le peuple. Jacques de Flesselles, accusé d'avoir fait double-jeu, subit le même sort. Les vainqueurs du jour, quant à eux, comptent dans leurs rangs une centaine de morts. La Bastille est pillée toute la nuit, ses prisonniers libérés. Le récit révolutionnaire peut commencer...

Textes Littéraires :

Le condamné :

Il ne croit pas, ce geôlier, que j'aie à me plaindre de lui et de ses sous-geôliers. Il a raison. Ce serait mal à moi de me plaindre ; ils ont fait leur métier, ils m'ont bien gardé ; et puis ils ont été polis à l'arrivée et au départ. Ne dois-je pas être content ? Ce bon geôlier, avec son sourire bénin, ses paroles caressantes, son œil qui flatte et qui espionne, ses grosses et larges mains, c'est la prison incarnée, c'est Bicêtre qui s'est fait homme. Tout est prison autour de moi ; je retrouve la prison sous toutes les formes, sous la forme humaine comme sous la forme de grille ou de verrou. Ce mur, c'est de la prison en pierre ; cette porte, c'est de la prison en bois ; ces guichetiers, c'est de la prison en chair et en os. La prison est une espèce d'être horrible, complet, indivisible, moitié maison, moitié homme. Je suis sa proie ; elle me couve, elle m'enlace de tous ses replis. Elle m'enferme dans ses murailles de granit, me cadenas sous ses serrures de fer, et me surveille avec ses yeux de geôlier.

La planète du petit prince

Et en effet, sur la planète du petit prince, il y avait comme sur toutes les planètes, de bonnes herbes et de mauvaises herbes. Par conséquent de bonnes graines de bonnes herbes et de mauvaises graines de mauvaises herbes. Mais les graines sont invisibles. Elles dorment dans le secret de la terre jusqu'à ce qu'il prenne fantaisie à l'une d'elles de se réveiller. Alors elle s'étire, et pousse d'abord timidement vers le soleil une ravissante petite brindille inoffensive. S'il s'agit d'une brindille de radis ou de rosier, on peut la laisser pousser comme elle veut. Mais s'il s'agit d'une mauvaise plante, il faut arracher la plante aussitôt, dès qu'on a su la reconnaître. Or il y avait des graines terribles sur la planète du petit prince... c'étaient les graines de baobabs. Le sol de la planète en était infesté. Or un baobab, si l'on s'y prend trop tard, on ne peut jamais plus s'en débarrasser. Il encombre toute la planète. Il la perfore de ses racines. Et si la planète est trop petite, et si les baobabs sont trop nombreux, ils la font éclater.

Le fauteuil vert :

Il avait commencé à lire le roman quelques jours auparavant. Il l'abandonna à cause d'affaires urgentes et l'ouvrit de nouveau dans le train, en retournant à sa propriété. Il se laissait lentement intéresser par l'intrigue et le caractère des personnages. Ce soir-là, après avoir écrit une lettre à son fondé de pouvoir et discuté avec l'intendant une question de métayage, il reprit sa lecture dans la tranquillité du studio, d'où la vue s'étendait sur le parc planté de chênes. Installé dans son fauteuil favori, le dos à la porte pour ne pas être gêné par une irritante possibilité de déplacements divers, il laissait sa main gauche caresser de temps en temps le velours vert. Il se mit à lire les derniers chapitres. Sa mémoire retenait sans effort les noms et l'apparence des héros. L'illusion romanesque le prit presque aussitôt. Il jouissait du plaisir presque pervers de s'éloigner petit à petit, ligne après ligne, de ce qui l'entourait, tout en demeurant conscient que sa tête reposait commodément sur le velours du dossier élevé, que les cigarettes restaient à portée de sa main et qu'au nan des grandes fenêtres le souffle du crépuscule semblait danser sous les chênes.

Le Train fou :

Et la machine, libre de toute direction, roulait, roulait toujours. Enfin, la rétive, la fantasque, pouvait céder à la fougue de sa jeunesse, ainsi qu'une cavale indomptée encore, échappée des mains du gardien, galopant par la campagne rase. La chaudière était pourvue d'eau, le charbon dont le foyer venait d'être rempli, s'embrasait ; et pendant la première demi-heure, la pression monta follement, la vitesse devint effrayante. Sans doute, le conducteur-chef, cédant à la fatigue, s'était endormi. Les soldats, dont l'ivresse augmentait, à être ainsi entassés, subitement s'égayèrent de cette course violente, chantèrent plus fort. On traversa Maromme, en coup de foudre. Il n'y avait plus de sifflet, à l'approche des signaux, au passage des gares. C'était le galop tout droit, la bête qui fonçait tête basse et muette, parmi les obstacles. Elle roulait, roulait sans fin, comme affolée de plus en plus par le bruit strident de son haleine''. A Rouen, on devait prendre de l'eau ; et l'épouvante glaça la gare, lorsqu'elle vit passer, dans un vertige de fumée et de flamme, ce train fou, cette machine sans mécanicien ni chauffeur, ces wagons à bestiaux emplis de troupiers qui hurlaient des refrains patriotiques.

Textes Journalistiques :

Mobilité :

Comment décongestionner les villes et améliorer les transports du quotidien ? C'est l'un des grands enjeux des assises de la mobilité que lance le gouvernement ces trois prochains mois. Alors que plusieurs villes françaises ont pris une certaine avance en lançant des alternatives au tout-voiture dans leur politique de transport, comme Strasbourg, Nantes et Rennes, la congestion des rues et des transports en commun est toujours d'actualité. Depuis une quinzaine d'années, les grands centres urbains ont cependant largement revu leur organisation urbaine en réduisant l'espace alloué à la voiture. Cela part d'un simple constat : « Les voitures satureront toujours la place qu'on leur donne. A Los Angeles, mêmes les autoroutes de deux fois huit voies sont complètement bouchées », relève Nicolas Boichon, ingénieur transport à l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France (IAU). Aux Etats-Unis, qui redécouvrent depuis une vingtaine d'années leurs centres-villes longtemps délaissés, de nombreuses autoroutes urbaines sont en train de disparaître au profit de boulevards partagés entre marcheurs, cyclistes et voitures. A Séoul, un viaduc autoroutier a été supprimé pour laisser place au cœur de la capitale coréenne à une promenade urbaine très appréciée.

Exposition :

Avec plus de 20 0 habitants au kilomètre carré, Paris est la ville la plus dense d'Europe et figure dans le top 5 des villes les plus denses du monde. Mais cette caractéristique, loin d'être insupportable ou invivable, est ressentie de façon positive. C'est là l'héritage du paysage urbain haussmannien qui imprègne encore fortement la capitale. A l'heure où la densité et la rénovation/conversion deviennent des questions centrales pour les villes contemporaines, l'exposition « Paris Haussmann, modèle de ville », présentée jusqu'au 7 mai au Pavillon de l'Arsenal à Paris, questionne un modèle urbain qui a su évoluer dans le temps. Cette exposition n'est pas une nouvelle histoire du modèle haussmannien. A travers cartographies, dessins, plans et maquettes - d'un graphisme remarquable -, elle analyse les formes de l'urbanisme haussmannien pour en comprendre le sens et en tirer des enseignements utiles à la construction de la ville de demain.

Culture :

Plus grand que Central Park, à New York ? Il y a Tempelhof. L'aéroport berlinois désaffecté, fermé en 2008 rouvert deux ans plus tard et transformé en parc urbain, est un site époustouflant de près de 400 hectares dont 25 ha réservés aux barbecues et 4 ha de pelouse pour les chiens. Un décor sublime dont on n'aurait pas osé rêver pour un spectacle. Lorsqu'on traverse le hall monumental avec ses tapis à bagages immobiles à jamais pour déboucher sur le tarmac, on reste hébété. Pas assez d'yeux pour tout embrasser. Pas assez de mots pour dire le choc de l'espace, de l'architecture en arc de cercle du bâtiment datant des années 1920 de l'horizon dégagant sur un pré vert d'où s'élèvent des cerfs-volants multicolores. Cette scène unique a accueilli, dimanche 10 septembre, l'opération participative et gratuite Fous de danse, conçue par le chorégraphe Boris Charmatz, directeur du Musée de la danse, à Rennes. De midi à 22 heures, dix heures de performances et de dance floor ouvert à tous et en plein air se sont déployées sur le tarmac. Autour de 16 heures, il y avait, selon les organisateurs, 7000 personnes qui y circulaient, le chiffre global de quinze mille passages ayant été enregistré sur la totalité de la journée, d'après le comptage effectué aux deux entrées.

Sports :

La France vient de valider son ticket pour la Coupe du monde 2018 en battant péniblement la Biélorussie. Mieux, un alignement des planètes improbable vient de la propulser tête de série lors du tirage au sort de la phase finale qui aura lieu le 1er décembre à Moscou. Il fallait pour cela, en supposant que l'Argentine et le Portugal allaient se qualifier (ce qui est le cas), non seulement que la France batte la Biélorussie mais aussi que le pays de Galles, la Suisse, le Chili et le Pérou ne gagnent pas leur dernier match de qualification. Ce qui s'est miraculeusement produit, et va certainement nourrir le mythe de la légendaire baraka de Didier Deschamps. Attendons tout de même de voir le tirage au sort de la phase finale : Deschamps évitera-t-il l'Espagne, l'Angleterre, la Colombie et l'Italie (si elle se qualifie) ? L'importance de ce statut de tête de série ne doit pas être minimisée. Lorsqu'on veut aller le plus loin possible en Coupe du monde, l'essentiel consiste bien sûr à d'abord se qualifier pour la phase finale. Mais être tête de série devrait également constituer un objectif primordial.

RÉSUMÉ

Dans le contexte technologique et informationnel actuel, le volume des données ne cesse d'augmenter et avec lui la complexité des activités liées à leur gestion. Dans ce contexte, l'activité productive se manifeste dans un système complexe d'interactions avec des connaissances générées et manipulées par des agents cognitifs humains et non humains. Les outils dont dispose l'ergonomie pour l'analyse de l'activité semblent insuffisants dans ce contexte. Notre travail s'inscrit dans cette problématique et vise à développer des outils méthodologiques permettant l'étude et l'analyse de cette activité dans ce contexte particulier. Dans notre recherche, nous analysons les thèmes de l'activité, du travailleur et des objets de connaissance sous leurs aspects sociotechnique, ergonomique et cognitif. En conséquence, nous proposons un modèle d'interaction homme-connaissance-machine (IHKM). Nous partons de l'évolution historique de la pensée et des outils de l'ergonomie et des sciences cognitives pour proposer l'utilisation du traitement du langage naturel et de l'analyse des mouvements oculaires, à partir d'une approche instrumentale et pragmatique qui permet l'analyse des interactions au sein de ce système sociotechnique de connaissances. Nous utilisons des concepts issus de la psychologie cognitive, de l'ergonomie de l'activité et des systèmes complexes pour développer deux outils permettant l'étude de ces activités, notamment la conception et l'utilisation d'objets de connaissance. Nos outils, la lexicométrie grammaticale vectorielle (LGV) et la cartographie visuo-cognitive (CVK), sont fondés sur une méthodologie exploratoire et expérimentale, tant en laboratoire qu'en situation réelle. Nos résultats montrent que les outils proposés contribuent à l'étude et à l'analyse pratique des activités de conception d'objets de connaissance de type texte ainsi qu'à l'analyse de leur genèse instrumentale à partir du geste lecteur lors de l'interaction avec les caractéristiques artefactuelles de ces objets. Toutes ces expériences s'inscrivent dans le contexte de ce que nous appelons l'analyse ergonomique de l'activité des travailleurs du savoir et de leur interaction avec les objets/artefacts de la connaissance.

MOTS-CLÉS

Ergonomie, connaissance, interaction, oculométrie, instruments

ABSTRACT

In the current technological and informational context, the volume of data is constantly increasing and with them the complexity of the activities related to their management. In this context, productive activity manifests itself in a complex system of interactions with knowledge generated and manipulated by human and non-human cognitive agents. The ergonomics tools available for the activity analysis seem insufficient in this scenario. Our work aims at developing methodological tools for the study and analysis of this activity in this particular context. In our research, we analyze the topics of the activity, the worker and the objects of knowledge in terms of sociotechnical, ergonomic and cognitive approaches. Consequently, we propose a Human-Knowledge-Machine Interaction model (HKMI). We begin with the historical evolution of ergonomics and cognitive science to propose the use of natural language processing and eye tracking techniques through an instrumental and pragmatic approach that allows the analysis of interactions inside this sociotechnical knowledge system. We use concepts from cognitive psychology, activity ergonomics and complex systems to develop two tools for the study of these activities, including the conception and use of knowledge objects. Our tools, Vector Grammar Lexicometry (VGL) and Visual Cognitive Mapping (VCM), are based on an exploratory and experimental methodology, both in the laboratory and in real-life situations. Our results show that the proposed tools contribute to the study and hands-on analysis of the conception activities of text-based knowledge objects as well as their instrumental genesis based on the reader's gesture when interacting with the artifactual characteristics of them. These experiments are part of the framework of the ergonomic analysis of knowledge workers' activities and their interaction with objects / artefacts of knowledge.

KEYWORDS

Ergonomics, knowledge, interaction, eye-tracking, instruments